

**INFORME N° 00226-2020-OEFA/DEAM-STEC**

A : FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN
Director de Evaluación Ambiental

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

LLOJAN CHUQUISONGO PICÓN
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Energía

ASUNTO : Evaluación ambiental de causalidad en el área de influencia de la unidad minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael de Minsur S.A. en el 2020.

CUE : 2020-01-0003

REFERENCIA : Memorando N.° 01150-2020-OEFA/DSEM
Memorando N.° 00112-2020-OEFA/DSEM

FECHA : Lima, 30 de noviembre de 2020

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

1. INFORMACIÓN GENERAL

Los aspectos generales de la evaluación ambiental de causalidad realizada en el área de influencia de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Tipo de evaluación	Evaluación ambiental de Causalidad
b.	Zona evaluada	Distrito Antauta, Provincia Melgar, Departamento Puno.
c.	Unidades fiscalizables o actividades económicas en la zona	Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael
d.	Problemática identificada	Presunta contaminación del agua superficial y sedimentos, y su afectación en las comunidades hidrobiológicas de las quebradas y río ubicados en el área de influencia de la unidad minera Nueva Acumulación Quenamari- San Rafael
e.	La actividad se realizó en el marco de	Memorando N.° 00112-2020-OEFA/DSEM Memorando N.° 01150-2020-OEFA/DSEM
f.	Periodo de ejecución	Del 01 al 23 de agosto de 2020

Los profesionales que aportaron a este documento se detallan en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.°	Nombres y apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ing. Químico	Gabinete
2	Llojan Chuquisengo Picón	Lic. Químico	Gabinete
3	Omar Merlin Jaimes De la O	Ing. Químico	Campo y gabinete
4	Patricia Mónica Barreto Sáenz	Ing. Ambiental	Campo y gabinete
5	Roy Jak Arone Padilla	Ing. Geólogo	Campo y gabinete
6	Francis Jesús Cari Abril	Biólogo	Campo y gabinete



7	César Gregorio Espíritu Limay	Lic. Químico	Gabinete
---	-------------------------------	--------------	----------

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros y matrices evaluadas en la evaluación ambiental de causalidad en el área de influencia de la unidad minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Parámetros y matrices evaluadas

Matriz evaluada	Mes/Año	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos evaluados
Agua superficial	Agosto/2020	Carbonato, bicarbonato	19
		Metales totales, metales disueltos	19
		Aceites y grasas, DQO	3
		SST, STD	19
		Acidez, alcalinidad	5
		Cromo hexavalente	1
		Cloruros, sulfatos, fluoruros	19
Sedimento	Agosto/2020	Ecotoxicidad	10
		Metales	23
		Granulometría	23
		Materia orgánica	18
		Extracción secuencial Tessier	5
Comunidades hidrobiológicas	Agosto/2020	Ecotoxicidad	8
		Perifiton	17
		Fitoplancton	3
		Zooplancton	3
		Macroinvertebrados	17
		Necton	3
		Metales en tejido de peces	1
Agua subterránea	Agosto/2020	Carbonato, bicarbonato	18
		Metales totales, metales disueltos	18
		SST, STD	18
		Acidez, alcalinidad	18
		Cromo hexavalente	18
		Cloruros, sulfatos, fluoruros, sulfuros	18
Efluentes industrial	Agosto/2020	Carbonato, bicarbonato, metales totales, metales disueltos, SST, STD, acidez, sulfuros, cromo hexavalente, cloruros, sulfatos, fluoruros, ecotoxicidad	1
Efluentes doméstico	Agosto/2020	Metales totales, metales disueltos, aceites y grasas, DQO, SST, ecotoxicidad	1
Agua residual industrial	Agosto/2020	Carbonato, bicarbonato, metales totales, metales disueltos, SST, STD, cromo hexavalente, cloruros, sulfatos, fluoruros	2
Caracterización geológica	Agosto/2020	Petromineraografía	5
		Análisis mineralógico por DRX, énfasis en arcillas	4
		ABA, Shake Flask (metales), Shake Flask (aniones).	12
		Análisis granulométrico, metales	7
		Microscopía electrónica (MEB)	1
		Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	3
Componentes mineros	Agosto/2020	Análisis mineralógico por DRX, énfasis en arcillas	1

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Matriz evaluada	Mes/Año	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos evaluados
		Análisis mineralógico por DRX	5
		Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	7
		ABA, Shake Flask (metales), Shake Flask (aniones), metales	7
		Análisis granulométrico	6
		Microscopía electrónica (MEB)	2

Los parámetros que excedieron la normativa en la Evaluación ambiental de causalidad en el área de influencia de la unidad minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael de Minsur S.A se presentan en la Tabla 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2. Parámetros que excedieron la normativa ambiental para agua, agosto 2020

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental	
				IGA ¹	Vigente ²
Agua superficial	Quebrada Chogñacota	PCA-09	PCA-09	F-SO ₄ ²⁻ -Ca-Fe	F
		AS-09	-	F-SO ₄ ²⁻ -Ca-Fe	F
		SR-37	SR-37	F-SO ₄ ²⁻ -Ca	F
		P-5	P-5	F-SO ₄ ²⁻ -Ca	F
	Quebrada Paccha	AS-05	-	F-SO ₄ ²⁻	F
	Río Antauta	SR-WQ-11	SR-WQ-11	pH	pH
		P-6	P-6	pH	pH
		P-7	P-7	F	F
	Laguna Suyrococha	SR-8	SR-8	pH-Cu-Ni-Pb-Zn	pH-Pb-Zn-Cd disuelto
	Laguna Estancococha	LA-WQ-07	LA-WQ-07	pH-Cd-Cu-Pb-Zn	pH-Cu-Pb-Zn-Cd disuelto
Agua subterránea	Laguna Chogñacota	SR-5	SR-5	pH-Cd-Cu-Ni-Pb-Zn	pH-Cu-Ni-Zn-Cd disuelto
	Manantial M-22	M-22	M-22	pH-OD	pH-OD
	Manantial M-23	M-23	M-23	pH	pH
	Manantial M-13	M-13	M-13	pH	pH
	Manantial M-31	M-31	M-31	OD	OD
	Piezómetro	PM-2	PM-2	OD-Fe-Mn	OD-Fe-Mn
	Piezómetro	AMP-06	AMP-06	OD-Al-Fe	OD-Fe
	Piezómetro	BHSR-KP16-13	BHSR-KP16-13	pH-OD-S ²⁻ -Al-Sb-Fe-Pb	pH-OD -Fe-Pb
	Piezómetro	BHSR-KP17-05	BHSR-KP17-05	pH-OD-Al-Sb-P-Fe-Mn-	pH-OD- Sb-Fe
	Piezómetro	AMP-04	AMP-04	OD-Sb	OD-Sb
	Piezómetro	VW-20	VW-20	OD-F-SO ₄ ²⁻ -Al-As-B-P-Fe-Mn	OD-F-SO ₄ ²⁻ -Al-As-Fe-Mn
	Piezómetro	PZ-01	PZ-01	OD-Al-As-P-Fe-Mn-Pb	OD-Al-As-Fe-Pb
	Piezómetro	AMP-03	AMP-03	OD-Al-Sb-As-P-Fe-Mn-Pb	OD-Al-As-Fe-Mn-Pb
	Piezómetro	DH16-05	DH16-05	pH-OD-As-Fe-Mn	pH-OD-As-Fe-Mn
	Piezómetro	BH-LA13-01	BH-LA13-01	pH	pH
	Piezómetro	BH-LA17-05	BH-LA17-05	pH-Al-Fe	pH-Fe
	Piezómetro	BH-LA17-06	BH-LA17-06	pH-Al-As-P-Fe-Pb	pH-As-Fe-Pb



- ¹ Norma para agua superficial: ECA para agua DS N° 002-2008-MINAM, categoría 3: Riego de vegetales y Bebida de animales y categoría 4: Lagunas.
Norma referencial para agua subterránea: ECA para agua DS N° 002-2008-MINAM, categoría 1-A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.
- ² Norma para agua superficial: ECA para agua DS N° 004-2017-MINAM, categoría 3: D1, Riego de vegetales y D2, Bebida de animales y categoría 4-E1: Lagunas y lagos.
Norma referencial para agua subterránea: ECA para agua DS N° 004-2008-MINAM, categoría 1-A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección.

Tabla 2.3. Parámetros que excedieron las guías referenciales en sedimento, agosto 2020

Matriz	Cuerpo de agua	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental según IGA	
				CEQG ¹	USEPA ²
Sedimentos	Quebrada Vilacota	SR-WQ-03	SR-WQ-03	As-Pb	As-Cu-Pb
	Quebrada Larancota	SED-02	-	As-Cd-Cu-Pb	As-Cd-Cu-Ag-Pb
		AS-06	-	As-Cu-Pb	As-Cu-Ag-Pb
		AS-07	-	As-Cu-Pb	As-Cu-Ag-Pb
		LA-WQ-01	LA-WQ-01	As-Cu-Pb	As-Cu-Ag-Pb
	Quebrada Caquene	R-3	R-3	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ag-Pb-Zn
		R-4	R-4	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ag-Pb-Zn
		LA-WQ-03	LA-WQ-01	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ag-Pb-Zn
	Quebrada Chogñacota	AS-09	-	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ni-Pb-Zn
		SR-37	SR-37	As-Cd-Cu- Pb-Zn	As-Cd-Cu-Pb-Zn
		P-5	SR-37	As-Cd-Cu- Pb-Zn	As-Cd-Cu- Ni-Pb-Zn
		SED-09	-	As-Cu-Pb-Zn	As-Cu-Pb-Zn
	Quebrada Chuquisani	SED-10	-	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ni-Pb-Zn
		SR-14	SR-14	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ni-Pb-Zn
		AS-05	-	As-Cd-Pb-Zn	As-Cd-Cu- Ni-Pb-Zn
	Río Antauta	SED-06	-	As	As-Cu-Ni
		LA-WQ-04	LA-WQ-04	As	As-Cu
		SR-WQ-11	SR-WQ-11	As-Cd-Zn	As-Cd-Cu-Ag-Zn
		P-6	P-6	As	As-Cu
		P-7	P-7	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ni-Pb-Zn
	Laguna Estancococha	LA-WQ-07	LA-WQ-07	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ni-Ag-Pb-Zn
	Laguna Suyrococha	SR-8	SR-8	As-Cd-Cu-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Ni-Ag-Pb-Zn
	Laguna Chogñacota	SR-5	SR-5	As-Cd-Cu-Hg-Pb-Zn	As-Cd-Cu-Hg-Ni-Pb-Zn

¹ Guía de Calidad Ambiental de Canadá.² Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

3. CONCLUSIONES

Generales

De la evaluación ambiental de causalidad para determinar la influencia de los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota, efluente minero y efluente doméstico de la UM Quenamari en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota y su efecto en los peces, se tienen las siguientes conclusiones generales:

- En el agua superficial, la quebrada Chogñacota presentó concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio que superaron los ECA para agua 2008 en la categoría 3 (DS N.º 002-2008-MINAM) en los puntos PCA-09, AS-09, SR-37 y P-5, siendo estos 2 últimos, puntos de control del administrado; asimismo, comparados de manera referencial con el ECA para agua 2017 (DS N.º 004-2017-MINAM) solo excedió el fluoruro. Se determinó que el origen de las concentraciones de los parámetros



mencionados en la quebrada Chogñacota provienen del efluente minero P-4, los cuales no están contemplados en los LMP (DS N.º 010-2010-MINAM).

- En el sedimento, las concentraciones de arsénico, cobre, níquel, plomo y zinc que excedieron referencialmente los valores establecidos en la guía Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL) están asociados al contexto geológico del área evaluada. En cuanto a la movilidad y disponibilidad de dichos metales, estos se encontraron en mayor proporción en la fracción residual estando enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua quedando retenidos en la fase sólida; siendo esta excedencia de metales en sedimento una condición natural de la zona de estudio.
- En el río Antauta, se capturaron 3 peces de la especie *Oncorhynchus mykiss* (Trucha) y 101 del género *Trichomycterus* (Bagre) en los 3 puntos aguas arriba del aporte de la quebrada Chogñacota; mientras que en el punto P-7, ubicado aguas abajo, no se obtuvo registro de ningún pez. Del análisis de cadmio, mercurio y plomo en el tejido muscular, ninguno de estos metales excedió los valores de la norma referencial «Indicadores sanitarios y de Inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para el mercado nacional y de exportación (2016)» del Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (Sanipes). Cabe precisar que en este punto se evidenció un ligero cambio en la coloración, disminuyendo su transparencia, condición similar a lo observado en la quebrada Chogñacota (P-5).

Específicas

Del análisis de los resultados de las 4 zonas de evaluación (Zona 1: Microcuencas Larancota, Zona 2: Microcuencas Chogñacota, Chuquisani y Paccha, Zona 3: río Antauta y Zona 4: Lagunas), se llegaron a las siguientes conclusiones específicas:

Zona 1: Microcuenca Larancota

- Respecto a la calidad del agua superficial, se evaluaron 5 puntos distribuidos en las quebradas Larancota, Vilacota y Caquene, cuyos parámetros no superaron los ECA para agua categoría 3: D1 Riego de vegetales y D2: Bebida de animales (ECA 2008 y 2017); asimismo el efluente doméstico R-2 cumplió con los LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS N.º 003-2010-MINAM). Lo anteriormente descrito evidenció que en la presente evaluación no hubo influencia del depósito de desmonte Larancota ni del efluente doméstico sobre la calidad del agua en las quebradas evaluadas.
- Con relación al agua subterránea, los valores de pH registrados en los manantiales M-13, M-22 y M-23; así como en los piezómetros BH-LA13-01, BH-LA17-05 y BH-LA17-06 incumplieron referencialmente los ECA para agua Categoría 1: A1 aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (2008 y 2017). Así también, los valores de arsénico, hierro y plomo en el punto BH-LA17-06, y de hierro en el punto BH-LA17-05 superaron referencialmente los ECA para agua categoría 1 (2008 y 2017), mientras que las concentraciones de aluminio en estos dos puntos solo superaron el ECA para agua categoría 1 (2008). Cabe precisar que estos metales se encuentran en fase suspendida (mayor al 90%) y relacionados a la presencia de los sólidos suspendidos totales



- La presencia de estos SST se debe a la recarga de los acuíferos que se encuentran en contacto con la Formación Sandía y depósitos glaciofluviales, generando la erosión y transporte (infiltración) de estos materiales disgregados a través de la arena y grava, que se encuentran en la parte inferior de los piezómetros.
- Las concentraciones de metales arsénico, cadmio, cobre, plomo, plata y zinc en el sedimento excedieron los valores establecidos en la guía Canadiense CCME (ISQG-PEL) y la guía USEPA (TEL-PEL), los cuales se deben al contexto geológico el Grupo Ambo y depósitos glaciofluviales en donde se determinó mediante el análisis mineralógico de microscopía óptica la presencia de los minerales arsenopirita, calcopirita, galena, esfarelita y trazas de cadmio. Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad, estos metales se encuentran principalmente en las fracciones 5, 6 y 7 (sulfuros secundarios, sulfuros primarios y residuales); es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.
- Adicionalmente, los resultados históricos muestran que las concentraciones de estos elementos se encontraron con valores similares a lo determinado en el presente estudio y en algunos casos ya se encontraron superando los estándares mencionados.
- La calidad biológica, según el índice ABI, dio como resultados condiciones que variaron entre pésima y mala calidad, debido a la baja riqueza de taxones, donde predominaron organismos preferentes por condiciones de alta carga orgánica. La comunidad de microalgas (perifiton) presentó una composición comunitaria heterogénea donde predominaron los taxones del phylum Bacillariophyta en casi todos los puntos de muestreo, con excepción de LA-WQ-01 (quebrada Larancota).

Zona 2: Microcuenca Chogñacota-Chuquisani

- Todos los puntos evaluados en la quebrada Chogñacota (PCA-09, AS-09, SR-37 y P-5) presentaron concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio, que excedieron los ECA para agua 2008 categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales; además, solo los puntos PCA-09 y AS-09 presentaron concentraciones de hierro total que excedieron dicha norma. De manera referencial los resultados se compararon con el ECA para agua 2017 categoría 3: D1 Riego de vegetales, excediendo las concentraciones de fluoruros en todos los puntos de la quebrada Chogñacota. Los puntos evaluados en la quebrada Chuquisani (SR-14) y las aguas del canal de no contacto (AS-04) cumplieron con los ECA para agua (2008 y 2017); asimismo, el efluente minero P-4 cumplió con los LMP (DS N.º 010-2010-MINAM).
- Como se evidenció en la presente evaluación, las aguas de la quebrada Chogñacota fueron en su totalidad provenientes de la descarga del efluente minero P-4, donde las concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio presentaron poca variabilidad hasta el punto P-5, lo cual indica que la presencia de estos parámetros en este punto se debe al aporte del efluente minero. Asimismo, según el registro histórico del punto P-5 en el periodo 2012 al 2016, reportado por Minsur S.A., las concentraciones de fluoruros excedieron el ECA para agua (2008) en la categoría 3.



- De acuerdo al balance de masa calculados a partir de los resultados en los puntos SR-37 (quebrada Chogñacota) y SR-14 (quebrada Chuquisani), se obtuvo que las concentraciones de fluoruros (15,2 mg/L), sulfatos (387,2 mg/L) y calcio (251 mg/L) superaron los ECA para agua 2008, no cumpliendo con los resultados esperados para una zona de mezcla según la ANA.
- Las aguas subterráneas de los piezómetros BHSR-KP16-13, BHSR-KP17-05 y DH16-05 presentaron valores de pH que incumplieron referencialmente los ECA para agua categoría 1 (2008 y 2017), además en todos los puntos de agua subterránea se incumplen los ECA para agua categoría 1 (2008 y 2017) para al menos alguno de los siguientes metales: aluminio, antimonio, boro, hierro, manganeso y plomo.
- El agua subterránea del piezómetro VW-20, ubicado en la parte baja del depósito de relaves B3 fue de tipo sulfatada cálcica con concentraciones de iones mayoritarios sulfato y calcio de 8,174 meq-l y 6,986 meq-l respectivamente, y elevadas concentraciones de arsénico, calcio, cobalto, boro, hierro y manganeso respecto a las aguas subterráneas de los piezómetros ubicados aguas abajo, debido al aporte de las infiltraciones de los depósitos de relaves B2 y B3. De acuerdo a lo declarado en el IGA, estas filtraciones son captadas en el dren basal y recirculadas mediante rebombeo.
- Los metales de arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc en el sedimento excedieron los valores establecidos en la guía canadiense CCME (ISQG-PEL) y la guía USEPA (TEL-PEL), los cuales se encontraron asociados a las rocas (intrusivo, vetas, fracturas mineralizadas) y depósitos Cuaternarios presentes en esta zona. Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad, estos metales se encuentran principalmente en las fracciones 6 y 7 (sulfuros primarios y residuales) de acuerdo al ensayo Dold y en la fracción 6 (residual) de acuerdo al análisis de Tessier; es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.
- Las comunidades hidrobiológicas presentaron bajos valores de riqueza de taxones en todos los puntos de muestreo de la quebrada Chogñacota, tanto para la comunidad de microalgas del perifiton como de macroinvertebrados bentónicos.
- La calidad biológica, según el índice ABI, dio como resultado condiciones que variaron entre pésima y mala calidad solamente en los puntos de muestreo de la quebrada Chogñacota, lo cual se debe a la baja riqueza de taxones y el predominio de taxones tolerantes y facultativos, donde no se registraron taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera que son los órdenes que poseen buen potencial como indicadores del buen estado ecológico del hábitat y la calidad del agua.

Zona 3: Río Antauta

- En el río Antauta, el punto LA-WQ-04 ubicado aguas arriba de la confluencia con la quebrada Caquene presentó característica alcalina (facie bicarbonatada cálcica y pH básico) y después de la confluencia con la quebrada Caquene, los puntos SR-WQ-11 y P-6 mantuvieron la misma característica; mientras que el punto P-7, ubicado aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota, disminuyó su valor de pH y presentó una facie sulfatada cálcica. Estos datos son similares a lo registrado en la data



histórica, evidenciando que el aporte de la quebrada Chogñacota influye en la disminución del valor de pH.

- Con respecto a las concentraciones de fluoruros en el río Antauta, los puntos LA-WQ-04, SR-WQ-11, P-6 y la quebrada Caquene (LA-WQ-03), presentaron bajas concentraciones de fluoruro a diferencia del punto P-7 que registró una concentración que excedió el ECA para agua 2008, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales. El incremento de la concentración de fluoruro en el punto P-7 se debe al aporte de la quebrada Chogñacota, que también presentó altas concentraciones de fluoruros a diferencia de las otras quebradas aportantes.
- En el río Antauta, los puntos de sedimento SED-02 y LA-WQ-04, ubicados aguas arriba de la confluencia con la quebrada Caquene, presentaron concentraciones de arsénico, cobre y níquel que superaron los valores de la guía Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL); aguas abajo de esta confluencia, además de los metales antes mencionados se evidencia el incremento en las concentraciones de cadmio, plata y zinc producto del aporte por el transporte de los sedimentos de la quebrada Caquene, y aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota se adiciona el plomo, llegando a superar los valores de las guías en mención. Cabe precisar que estos metales en las quebradas Caquene y Chogñacota se encontraron en las 3 últimas fracciones residuales de Tessier y Dold, demostrando que estas concentraciones se deben a fuentes litológicas y edáficas.
- En el río Antauta, la comunidad de microalgas (perifiton) y macroinvertebrados bentónicos presentaron valores de riqueza de taxones, en general, mayores a las zonas 1 y 2 evaluadas. La comunidad de microalgas presentó una composición comunitaria heterogénea donde predominaron las bacillariophytas; mientras que la comunidad de macroinvertebrados presentó valores de calidad biológica que varió entre moderada y muy buena.
- En el río Antauta, se capturaron peces de los géneros *Oncorhynchus* y *Trichomycterus* en los 3 puntos aguas arriba del aporte de la quebrada Chogñacota; mientras que en P-7, ubicado aguas abajo, no se obtuvo registro de estos. Cabe precisar que en este punto se evidenció un ligero cambio en la coloración, disminuyendo su transparencia, condición similar a lo observado en la quebrada Chogñacota (P-5).

Zona 4: Lagunas

- Las aguas de las lagunas Estancococha, Suyrococha y Chogñacota presentaron valores de pH ácido y concentraciones de metales totales: cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc y cadmio disuelto que incumplieron los ECA para agua 2008 y 2017 en la categoría 4: Lagunas; esta característica de acidez facilita la presencia de organismos tolerantes a estas condiciones en las comunidades de microalgas (perifiton) y del fitoplancton. La presencia de metales se encuentra relacionada al contexto geológico local, comprendido por minerales de sulfuros generadores de acidez y por la presencia de minerales como la calcopirita (CuFeS_2), esfarelita (ZnS), galena (PbS_2) y elementos trazas de cadmio y níquel, que se encuentran presentes en la litología de la zona.
- El arsénico, cadmio, cobre, níquel, plata, plomo y zinc en sedimento que excedieron los valores establecidos en la guía Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL),



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

se encontraron asociados a las rocas y depósitos cuaternarios presentes en esta zona y observados en el análisis de metales totales, análisis mineralógico y test de lixiviación. Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad, estos metales se encuentran principalmente en las fracciones 6 y 7 (sulfuros primarios y residuales) de acuerdo al ensayo Dold y en la fracción 6 (residual) de acuerdo al análisis de Tessier; es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.

4. RECOMENDACIONES

- Remitir a la Dirección de Supervisión Ambiental en Minería para los fines que se estimen convenientes.

Atentamente:



Firmado digitalmente por:
FAJARDO VARGAS Lazaro
Walther FAU 20521286769 soft
Cargo: Ejecutivo de la
Subdirección Técnica Científica
Lugar: Sede Central -
Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del
documento



Firmado digitalmente por:
CHUQUISENCO PICON Llojan
FAU 20521286769 hard
Cargo: Coordinador de
Evaluaciones Ambientales en
Energía
Lugar: Sede Central -
Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del
documento

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:



Firmado digitalmente por:
GARCIA ARAGON Francisco
FAU 20521286769 soft
Cargo: Director de la Dirección
de Evaluación Ambiental
Lugar: Sede Central -
Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del
documento



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 07711040"



07711040



**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE CAUSALIDAD EN EL ÁREA DE
INFLUENCIA DE LA UNIDAD MINERA NUEVA ACUMULACIÓN
QUENAMARI-SAN RAFAEL DE MINSUR S.A. EN EL 2020**

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2020



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Profesionales que aportaron a este documento:



Firmado digitalmente por:
JAIMES DE LA O Omar
Merlin FIR 42728265 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 27/11/2020 20:17:03-0500



Firmado digitalmente por:
BARRETO SAENZ Patricia
Monica FIR 46009809 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 27/11/2020 19:30:28-0500



Firmado digitalmente por:
CARI ABRIL Francis Jesus
FIR 40250345 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 27/11/2020 19:36:34-0500



Firmado digitalmente por:
ARONE PADILLA Roy Jak FIR
46362897 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 27/11/2020 19:47:46-0500



Firmado digitalmente por:
ESPIRITU LIMAY Cesar
Gregorio FIR 42423840 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 27/11/2020 19:55:04-0500



Firmado digitalmente por:
CHUQUISENGO PICON Uojan
FAU 20521286769 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 27/11/2020 21:17:12-0500

**ÍNDICE**

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	1
3.	OBJETIVOS	2
3.1.	Objetivo general	2
3.2.	Objetivos específicos.....	2
4.	ÁREA DE ESTUDIO.....	2
4.1.	Climatología y geología regional	4
5.	METODOLOGÍA.....	4
5.1.	Objetivo específico 1: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota.....	4
5.1.1.	Caracterización geológica	4
5.1.2.	Caracterización geoquímica y mineralógica de roca y suelos (depósitos cuaternarios)	6
5.1.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	6
5.1.2.2.	Ubicación de puntos de muestreo	6
5.1.2.3.	Parámetros y métodos de análisis	7
5.1.2.4.	Procesamiento de datos.....	8
5.2.	Objetivo específico 2: Identificar los contaminantes presentes en los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota y determinar su movilidad, y los mecanismos de transporte hacia las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta, laguna Chogñacota.....	8
5.2.1.	Caracterización de componentes mineros	8
5.2.1.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	8
5.2.1.2.	Ubicación de puntos de muestreo	8
5.2.1.3.	Parámetros y métodos de análisis	9
5.2.1.4.	Equipos utilizados	10
5.2.1.5.	Procesamiento de datos.....	10
5.3.	Objetivo específico 3: Identificar la influencia del efluente minero y efluente doméstico en las quebradas Chogñacota, Caquene y río Antauta.	10
5.3.1.	Caracterización fisicoquímica de los efluentes minero y doméstico.....	10
5.3.1.1.	Protocolo de muestreo	10
5.3.1.2.	Ubicación de puntos de muestreo	10
5.3.1.3.	Parámetros y métodos de análisis	11
5.3.1.4.	Equipos utilizados	11
5.3.1.5.	Aseguramiento de la calidad	11
5.3.1.6.	Criterios de evaluación.....	12
5.4.	Objetivo específico 4: Determinar el efecto de los contaminantes presentes en los componentes mineros sobre la calidad del agua, sedimento y las comunidades hidrobiológicas.....	12
5.4.1.	Agua superficial, agua subterránea y sedimento	12
5.4.1.1.	Guías y protocolos de muestreo	12
5.4.1.2.	Ubicación de puntos de muestreo	12
5.4.1.3.	Parámetros y métodos de análisis	14
5.4.1.4.	Equipos utilizados	16
5.4.1.5.	Aseguramiento de la calidad	16
5.4.1.6.	Criterios de evaluación.....	16



5.4.2.	Comunidades hidrobiológicas	16
5.4.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación	16
5.4.2.2.	Ubicación de puntos de muestreo	17
5.4.2.3.	Parámetros y métodos de análisis	17
5.4.2.4.	Equipos y materiales utilizados	17
5.4.2.5.	Aseguramiento de la calidad	17
5.4.2.6.	Procesamiento de datos.....	17
5.4.3.	Análisis de metales en tejido de peces	18
5.4.3.1.	Guías utilizadas para la evaluación	18
5.4.3.2.	Ubicación de puntos de muestreo	18
5.4.3.3.	Parámetros y métodos de análisis	18
5.4.3.4.	Equipos y materiales utilizados	19
5.4.3.5.	Criterios de evaluación	19
5.5.	Objetivo específico 5: Estimar los niveles de toxicidad del agua superficial y sedimentos de la quebrada Chogñacota, río Antauta, y la toxicidad del efluente minero industrial	19
5.5.1.	Guías utilizadas para la evaluación	19
5.5.2.	Ubicación de puntos de muestreo	19
5.5.3.	Parámetros y métodos de análisis	20
5.5.4.	Procesamiento y análisis de datos	21
6.	RESULTADOS	21
6.1.	Objetivo específico 1: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota.....	21
6.1.1.	Caracterización geológica	21
6.2.	Objetivo específico 2: Identificar los contaminantes presentes en los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota y determinar su movilidad, y los mecanismos de transporte hacia las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta, laguna Chogñacota.....	60
6.3.	Objetivo específico 3: Identificar la influencia del efluente minero y efluente doméstico en las quebradas Chogñacota, Caquene y río Antauta	78
6.4.	Objetivo específico 4: Determinar el efecto de los contaminantes presentes en los componentes mineros sobre la calidad del agua, sedimento y las comunidades hidrobiológicas.....	78
6.4.1.	Zona 1: Microcuenca Larancota.....	78
6.4.1.1.	Resultados de agua superficial	79
6.4.1.2.	Resultado de sedimentos.....	79
6.4.1.3.	Resultado de Comunidades hidrobiológicas	82
6.4.1.3.1.	Perifiton.....	82
6.4.1.4.	Resultado de agua subterránea	88
6.4.2.	Zona 2: Microcuenca Chogñacota, Chuquisani y Paccha	91
6.4.2.1.	Resultados de agua superficial	91
6.4.2.2.	Resultados de sedimentos	93
6.4.2.3.	Resultados de comunidades hidrobiológicas	96
6.4.2.3.1.	Perifiton.....	96
6.4.2.4.	Resultados de agua subterránea	103
6.4.3.	Zona 3: Río Antauta	106
6.4.3.1.	Resultados de agua superficial	106
6.4.3.2.	Resultados de sedimentos	108
6.4.3.3.	Resultados de comunidades hidrobiológicas	111
6.4.3.3.1.	Perifiton.....	111



6.4.3.3.2. Macroinvertebrados bentónicos	114
6.4.3.3.3. Necton (peces).....	117
6.4.4. Zona 4: LAGUNAS	118
6.4.4.1. Resultados de agua superficial	118
6.4.4.2. Resultados de sedimentos	121
6.4.4.3. Resultados de comunidades hidrobiológicas	123
6.4.4.3.1. Plancton	123
6.4.4.3.2. Perifiton.....	126
6.4.4.4. Resultados de agua subterránea	130
6.4.5. HIDROQUÍMICA	130
6.4.5.1. Hidroquímica de agua superficial	130
6.4.5.2. Hidroquímica del agua subterránea	134
6.4.5.3. Hidroquímica del agua de los depósitos de relaves	137
6.5. Objetivo específico 5: Estimar los niveles de toxicidad del agua superficial y sedimentos de la quebrada Chogñacota, río Antauta, y la toxicidad del efluente minero industrial	139
7. DISCUSIÓN	142
7.1. Zona 1: Microcuenca Larancota	143
7.2. Zona 2: Microcuenca Chogñacota-Chuquisani.....	152
7.3. Zona 3: Río Antauta.	169
7.4. Zona 4: Lagunas.....	178
8. CONCLUSIONES.....	185
9. ANEXOS	189
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 5.1. Referencias para la caracterización geológica	4
Tabla 5.2. Referencias para la caracterización geoquímica de roca	6
Tabla 5.3. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de roca	6
Tabla 5.4. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la caracterización de roca y depósitos cuaternarios.....	7
Tabla 5.5. Guías utilizadas para la caracterización de componentes mineros	8
Tabla 5.6. Ubicación y descripción de los puntos de muestreo de componentes mineros...	9
Tabla 5.7. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la caracterización de componentes mineros	9
Tabla 5.8. Parámetros y métodos de ensayo para caracterización de roca	10
Tabla 5.9. Puntos de muestreo de efluentes	10
Tabla 5.10. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la caracterización de efluentes minero y doméstico.....	11
Tabla 5.11. Protocolos de muestreo de agua superficial, agua subterránea y sedimento .	12
Tabla 5.12. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de agua superficial y sedimentos	12
Tabla 5.13. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de agua subterránea	14
Tabla 5.14. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la evaluación de agua y sedimento	15
Tabla 5.15. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para evaluación de comunidades hidrobiológicas.....	17
Tabla 5.16. Guía para el muestreo de tejido en peces	18
Tabla 5.17. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de peces para el análisis de tejido muscular.....	18
Tabla 5.18. Parámetro evaluado y método de ensayo para la evaluación de metales en tejido de peces	18
Tabla 5.19. Guía de referencia para la evaluación toxicológica	19
Tabla 5.20. Ubicación y descripción de los puntos de muestreo para la evaluación ecotoxicológica	20
Tabla 5.21. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la evaluación toxicológica	20
Tabla 6.1. Parámetros evaluados de puntos de muestreo de roca	35
Tabla 6.2. Parámetros evaluados de puntos de muestreo de suelo.....	36
Tabla 6.3. Criterio de clasificación RNP=PN/PA	37
Tabla 6.4. Clasificación de rocas por contenido de azufre y relación ácido/base.....	37
Tabla 6.5. Resultados de la prueba ABA en rocas y depósitos cuaternarios	39
Tabla 6.6. Prueba Shake Flask (aniones) en muestras de roca	43
Tabla 6.7. Prueba Shake Flask (aniones) en muestras de suelos (depósitos cuaternarios)	43
Tabla 6.8. Análisis mineralógico de pizarra (GEO-02)	47
Tabla 6.9. Análisis mineralógico de caliza microesparítica (GEO-03)	48
Tabla 6.10. Análisis mineralógico de pizarra bandeada (GEO-04).....	49
Tabla 6.11. Análisis mineralógico de pórfido granodiorítica (GEO-05)	50
Tabla 6.12. Análisis mineralógico de pizarra (GEO-08)	51
Tabla 6.13. Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-09 (depósitos cuaternarios).....	52
Tabla 6.14. Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-10 (depósitos cuaternarios).....	53
Tabla 6.15. Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-11 (depósitos cuaternarios).....	54



Tabla 6.16. Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-12 (depósitos cuaternarios).....	54
Tabla 6.17. Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-01 (depósitos cuaternarios).....	55
Tabla 6.18. Parámetros evaluados de puntos de muestreo de componentes mineros	60
Tabla 6.19. Resultados de la prueba ABA de los componentes mineros	62
Tabla 6.20. Prueba Shake Flask en muestras de los componentes mineros	65
Tabla 6.21. Microscopia de rayos X de la muestra DDC-35 del depósito de desmontes ..	68
Tabla 6.22. Microscopia de rayos X de la muestra DDC-36 de los depósitos de desmontes	68
Tabla 6.23. Microscopia de rayos X en la muestra DDM-LAR-01 del depósito de desmonte	69
Tabla 6.24. Microscopia de rayos X de la muestra de relave REL-B2.....	70
Tabla 6.25. Microscopia de rayos X de la muestra de relave REL-B3.....	70
Tabla 6.26. Microscopia de rayos X énfasis en arcillas en muestra CQS-1 de la cantera.	71
Tabla 6.27. Microscopia de rayos X de la muestra DDC-35 del desmonte	72
Tabla 6.28. Microscopia de rayos X de la muestra DDC-36 del depósito de desmonte	73
Tabla 6.29. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.....	84
Tabla 6.30. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo.....	86
Tabla 6.31. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.....	87
Tabla 6.32. Calidad ecológica del agua según el índice biótico andino (ABI)	88
Tabla 6.33. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.....	97
Tabla 6.34. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo.....	100
Tabla 6.35. Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo.	101
Tabla 6.36. Calidad ecológica del agua según el índice biótico andino (ABI)	102
Tabla 6.37. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.....	112
Tabla 6.38. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo.....	114
Tabla 6.39. Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo	116
Tabla 6.40. Calidad ecológica del agua según el índice biótico andino (ABI)	117
Tabla 6.41. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.....	125
Tabla 6.42. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo.....	126
Tabla 6.43. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.....	128
Tabla 6.44. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo.....	130
Tabla 6.45. Índices de toxicidad en agua superficial y sedimento, y Calidad Ecológica según el índice ABI.....	140
Tabla 6.46. Índices de toxicidad en agua superficial y sedimento, y Calidad Ecológica según el índice ABI.....	141
Tabla 6.47. Índices de toxicidad en agua superficial y sedimento, y Calidad Ecológica según el índice ABI.....	142
Tabla 7.1. Balance de masa de la quebrada Chogñacota.....	159
Tabla 7.2. Comparación de concentraciones entre el balance de masa y el valor de laboratorio.....	160

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 4.1. Área de estudio que comprende la evaluación ambiental causalidad en la UM Quenamari.....	3
Figura 6.1. Mapa de geología regional de la UM Quenamari.....	23
Figura 6.2. Columna estratigráfica de la UM Quenamari.....	24
Figura 6.3. Formación Sandia, a) afloramientos de pizarras y areniscas bituminosas foliadas, b) pizarra- filita con brillo metálico de color oscuro, c) estratificación de pizarras intercaladas con areniscas de grano fino.....	25
Figura 6.4. Grupo Ambo, a) afloramientos de areniscas bituminosas calcáreas, b) arenisca bituminosa de color oscuro de grano fino, c) areniscas terrígenas de grano fino a grueso de color verde a blanco, intercaladas con delgados niveles de limolitas y lutitas de colores grises.	26
Figura 6.5. Afloramientos de areniscas del Grupo Ambo, cubierto por depósitos Cuaternarios, ubicados en ambas márgenes de la desembocadura de la quebrada Caquene y la margen izquierda del río Antauta	26
Figura 6.6. Afloramientos de las areniscas calcáreas del Grupo Tarma, cubierto por depósitos Cuaternarios (coluvial, aluvial y fluviales), y ubicados en la margen derecha del río Antauta	27
Figura 6.7. Afloramientos de areniscas calcáreas con intercalaciones de calizas del Grupo Copacabana, cubierto por depósitos Cuaternarios y ubicados en la margen izquierda de quebrada Paccha	27
Figura 6.8. Afloramientos del Grupo Mitu, cubierto por depósitos Cuaternarios (coluvial, aluvial y fluviales) ubicados en la margen derecha del río Antauta.....	28
Figura 6.9. a) depósitos glaciofluviales ubicado en los flancos del valle glaciar en la naciente de la quebrada Larancota, b) material dejado por el glaciar ubicado al este del Relave B2, c) depósitos ubicados en la margen derecha de la quebrada Larancota.....	29
Figura 6.10. Depósitos aluviales ubicados en la margen derecha de la quebrada Caquene	29
Figura 6.11. Depósitos fluviales ubicados en la margen derecha del río Antauta.....	30
Figura 6.12. Depósitos coluviales ubicado en la naciente de la quebrada Larancota, producto de la meteorización y erosión de la roca metamórfica e intrusivo.....	30
Figura 6.13. a) Afloramiento de intrusivo monzogranito, b) monzogranito con fenocristales de feldespatos alcalinos euhedrales c) intrusivo fracturado y meteorizado	31
Figura 6.14. Mapa estructural de vetas y fallas locales de la UM Quenamari	33
Figura 6.15. Sección geológica A-A' donde se observa el intrusivo, las fallas y vetas	34
Figura 6.16. Sección geológica B-B' donde se observa las unidades geológicas, las fallas y vetas emplazadas en la UM Quenamari.....	34
Figura 6.17. Sección de la Veta San Rafael y su zonamiento.....	35
Figura 6.18. Distribución de la ubicación de las muestras de roca y depósitos cuaternarios para caracterización geoquímica	36
Figura 6.19. Prueba ABA (primer criterio), a) muestras de roca y b) muestras de depósitos cuaternarios.....	38
Figura 6.20. Prueba ABA (segundo criterio), a): muestras de roca, b): muestras de depósitos cuaternarios	39
Figura 6.21. pH en función del azufre, a) en muestras de roca, b) en muestras de depósitos cuaternarios	40
Figura 6.22. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a) roca y b) depósitos Cuaternarios con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1984 & 1995).....	41



Figura 6.23. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de roca.....	41
Figura 6.24. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de depósitos cuaternarios.....	42
Figura 6.25. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de las rocas.....	43
Figura 6.26. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de los depósitos cuaternarios	44
Figura 6.27. Comparación de las concentraciones de metales por la prueba Shake Flask correspondientes a las muestras de roca	45
Figura 6.28. Comparación de las concentraciones de metales por prueba de Shake Flask correspondientes a las muestras de suelos.....	46
Figura 6.29. a) roca pizarra, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-02 de la Formación Sandia.....	47
Figura 6.30. a) roca caliza, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-03 del Grupo Ambo.....	48
Figura 6.31. a) pizarra bandeada, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-04 del hornfels	50
Figura 6.32. a) pórfido granodiorítico, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-05 del intrusivo.....	51
Figura 6.33. a) roca pizarra, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-08 del contacto.	52
Figura 6.34 Difractograma de la muestra GEO-09 con los respectivos minerales identificados.....	53
Figura 6.35. Difractograma de la muestra GEO-10 con los respectivos minerales identificados.....	53
Figura 6.36. Difractograma de la Muestra GEO-11 con los respectivos minerales identificados.....	54
Figura 6.37 Difractograma de la muestra GEO-12 con los respectivos minerales identificados.....	55
Figura 6.38. Imagen, composición y espectro de rbdophana de la muestra de suelos GEO-01.....	56
Figura 6.39. Análisis de la curva granulométrica de los depósitos cuaternarios.....	56
Figura 6.40. Abundancia de las gravas, arenas, limo y arcillas en los depósitos cuaternarios	56
Figura 6.41. Extracción Dold de los elementos tales como aluminio, azufre, calcio, arsénico, cadmio y cobalto de los depósitos cuaternarios	58
Figura 6.42. Extracción Dold de los elementos tales como cobre, hierro, plomo, cromo, níquel y zinc de los depósitos cuaternarios	59
Figura 6.43. Distribución de la ubicación de las muestras de los componentes mineros ..	60
Figura 6.44. Prueba ABA (primer criterio) de los componentes mineros	61
Figura 6.45. Prueba ABA (segundo criterio), de los componentes mineros.....	62
Figura 6.46. Variación de pH en función del azufre en los componentes mineros.....	63
Figura 6.47. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a los componentes mineros con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1984 & 1995)	63
Figura 6.48. Concentración de elementos correspondientes a los componentes mineros	64
Figura 6.49. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las componentes mineros	65



Figura 6.50. Comparación de las concentraciones de las concentraciones de metales por prueba Shake Flask correspondientes a los componentes mineros.....	67
Figura 6.51 Difractograma de la muestra DDC-35 con los respectivos minerales identificados.....	68
Figura 6.52. Difractograma de la muestra DDC-36 con los respectivos minerales identificados.....	69
Figura 6.53. Difractograma de la muestra DDM-LAR-01 con los respectivos minerales identificados.....	69
Figura 6.54 Difractograma de la muestra REL-B2 con los respectivos minerales identificados.....	70
Figura 6.55 Difractograma de la muestra REL-B3 con los respectivos minerales identificados.....	71
Figura 6.56 Difractograma de la muestra CQS-1 con los respectivos minerales identificados.....	71
Figura 6.57. Aumento 1080x. Granos libres de pirita (py) y casiterita (cst). Intercrecimiento lateral de estannita (esn) y calcopirita (cp).	73
Figura 6.58. Imagen, composición y espectro de calcopirita	73
Figura 6.59. Aumento 1000µm. Granos libres de pirita (py) y magnetita (mt)	74
Figura 6.60. Imagen, composición y espectro de calcopirita	74
Figura 6.61. Análisis de la curva granulométrica de los componentes mineros.....	75
Figura 6.62. Abundancia de las gravas, arenas, limo y arcillas en los componentes mineros.....	75
Figura 6.63. Análisis Dold de los elementos tales como aluminio, arsénico, azufre, cadmio, calcio y cobalto de los componentes mineros.....	76
Figura 6.64. Análisis Dold de los elementos tales como cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc de los componentes mineros.....	77
Figura 6.65. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y agua subterránea de la Zona 1	79
Figura 6.66. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O) de los sedimentos de la Zona 1	80
Figura 6.67. Concentración de metales en sedimentos a) cadmio, b) arsénico, c) cobre, d) plomo, e) plata y f) zinc de la Zona 1.....	81
Figura 6.68. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo	82
Figura 6.69. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo.....	83
Figura 6.70. Clúster de similaridad de Bray Curtis de microalgas.....	84
Figura 6.71. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo	85
Figura 6.72. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo.....	85
Figura 6.73. Riqueza de taxones de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo.....	86
Figura 6.74. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo.....	87
Figura 6.75. Clúster de similaridad de Bray-Curtis de macroinvertebrados bentónicos.....	88
Figura 6.76. Resultados de potencial de hidrógeno en agua subterránea de la zona 1	89
Figura 6.77. Resultados de oxígeno disuelto en agua subterránea de la zona 1.....	90
Figura 6.78. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y agua subterránea de la Zona 2	91
Figura 6.79. Concentración de fluoruros en agua superficial de la Zona 2	92
Figura 6.80. Concentración de sulfatos en agua superficial de la Zona 2.....	92
Figura 6.81. Concentración de metales totales a) calcio y b) hierro en agua superficial de la Zona 2	93



Figura 6.82. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O) de los sedimentos de la Zona 2	94
Figura 6.83. Fracciones de Tessier en a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobre, d) Níquel, e) Plomo y f) Zinc de la quebrada Chogñacota.....	94
Figura 6.84. Concentración de metales totales en sedimento a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc en la Zona 2.....	95
Figura 6.85. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo	96
Figura 6.86. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo.....	97
Figura 6.87. Clúster de similaridad de Bray Curtis de microalgas.....	98
Figura 6.88. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo ..	99
Figura 6.89. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo.....	99
Figura 6.90. Riqueza de taxones de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo.....	100
Figura 6.91. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo	101
Figura 6.92. Clúster de similaridad de Bray-Curtis de macroinvertebrados bentónicos...	102
Figura 6.93. Resultados de potencial de hidrógeno en agua subterránea de la zona 2 ..	103
Figura 6.94. Resultados de oxígeno disuelto en agua subterránea de la zona 2.....	104
Figura 6.95. Concentración de metales totales en los puntos de muestreo de agua subterránea de la zona 2 a) antimonio total, b) aluminio total, c) arsénico total, d) hierro total, e) manganeso total y f) plomo total.....	105
Figura 6.96. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas de la Zona 3.....	106
Figura 6.97. Valores de pH en puntos de agua superficial de la Zona 3 a) comparado con los ECA para agua 2008 y b) ECA para agua 2017	107
Figura 6.98. Concentración de fluoruros en puntos de agua superficial de la Zona 3 a) comparado con los ECA para agua 2008 y b) ECA para agua 2017.....	107
Figura 6.99. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O) de los sedimentos de la Zona 3	108
Figura 6.100. Fracciones de Tessier en a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobre, d) Níquel, e) Plomo y f) Zinc del río Antauta.....	109
Figura 6.101. Concentración de metales totales en sedimento a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc en la Zona 3.....	110
Figura 6.102. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo	111
Figura 6.103. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo.....	112
Figura 6.104. Clúster de similaridad de Bray Curtis de microalgas.....	113
Figura 6.105. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo	113
Figura 6.106. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo.....	114
Figura 6.107. Riqueza de taxones de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo.....	115
Figura 6.108. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo	116
Figura 6.109. Clúster de similaridad de Bray-Curtis de macroinvertebrados bentónicos.	117
Figura 6.110. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas de la Zona 4.....	118
Figura 6.111. Valores de pH en puntos de agua superficial de la Zona 4 a) comparado con los ECA para agua 2008 y b) ECA para agua 2017	119
Figura 6.112. Concentración de metales totales en puntos de agua superficial de la Zona 4 comparado con los ECA para agua 2008 y ECA para agua 2017	120



Figura 6.113. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O) de los sedimentos de la Zona 4	121
Figura 6.114. Concentración de metales totales en sedimento a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc en la Zona 4.....	122
Figura 6.115. Riqueza de taxones del fitoplancton por phylum y punto de muestreo	123
Figura 6.116. Abundancia del fitoplancton por phylum y punto de muestreo	124
Figura 6.117. Riqueza de taxones del zooplancton por phylum y punto de muestreo	125
Figura 6.118. Abundancia del zooplancton por phylum y punto de muestreo	126
Figura 6.119. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo	127
Figura 6.120. Abundancia de microalgas por phylum y punto de muestreo.....	128
Figura 6.121. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo	129
Figura 6.122 Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo.....	129
Figura 6.123. Diagrama de Stiff para muestras de agua superficial y efluente minero	132
Figura 6.124. Diagrama de Piper para muestras de agua superficial y efluente minero	133
Figura 6.125. Diagramas de Stiff para muestras de agua subterránea: a) Zona 1, b) Zona 2 y c) Zona 4.....	135
Figura 6.126. Diagrama de Piper para muestras de agua subterránea	136
Figura 6.127. Diagrama de Mifflin para muestras de agua subterránea	137
Figura 6.128. Diagramas de Stiff para muestras de agua residual industrial.....	138
Figura 6.129. Diagrama de Piper para muestras de agua de los depósitos de relaves Bofedal 2 y Bofedal 3.....	138
Figura 6.130. Esquema de la Zona 1, puntos de evaluación de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y ecotoxicidad (agua y sedimento)	139
Figura 6.131. Esquema de la Zona 2, puntos de evaluación de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y ecotoxicidad (agua y sedimento)	140
Figura 6.132. Esquema de la Zona 3, puntos de evaluación de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y ecotoxicidad (agua y sedimento)	141
Figura 7.1. Distribución de las zonas de estudio en la UM Quenamari.....	142
Figura 7.2. Parámetros de agua superficial, agua subterránea y sedimentos que incumplieron los estándares	145
Figura 7.3. Data histórica de los parámetros de agua superficial en la zona 1.....	146
Figura 7.4. Correlación entre resultados de SST y metales.....	147
Figura 7.5. Recarga y dirección de flujo de agua subterránea en la zona 1	148
Figura 7.6. Concentración de metales en sedimento de la Zona 1 a) arsénico, b) cobre, c) plomo, d) cadmio, e) níquel y f) zinc	149
Figura 7.7. Esquema de riqueza de taxones de microalgas del perifiton, taxones bioindicadores de macroinvertebrados bentónicos y calidad biológica según el índice ABI, por punto de muestreo.....	150
Figura 7.8. Número de taxones bioindicadores de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con el índice ABI.	151
Figura 7.9. Resultados históricos de la riqueza de taxones de la comunidad de microalgas del perifiton.	152
Figura 7.10. Esquema de manejo de aguas en la Zona 2	153
Figura 7.11. Registro mínimo y promedio de precipitación en la UM Quenamari.	154
Figura 7.12. Balance hídrico promedio mensual de la microcuenca Chogñacota.....	154
Figura 7.13. Parámetros de agua superficial, agua subterránea y sedimentos que incumplieron los estándares	156
Figura 7.14. Concentraciones de hierro total en la Zona 2	157



Figura 7.15. Concentraciones de a) sulfatos, b) calcio, c) fluoruros y d) Diagramas de Stiff en la Zona 2.....	158
Figura 7.16. Registro histórico de concentración a) fluoruro, b) sulfatos y c), calcio total en la quebrada Chogñacota	159
Figura 7.17. Registro histórico de metales totales a) arsénico b) hierro en el agua del piezómetro AMP-1	161
Figura 7.18. Relaciones binarias (Ca-SO ₄ , Cond-SO ₄ , TDS-Cond) entre muestras de agua subterránea y muestras de relaves.....	162
Figura 7.19. Vista esquemática en planta y perfil de los piezómetros ubicados aguas abajo y aguas arriba de los depósitos de relaves B2 y B3	163
Figura 7.20. Análisis Tessier en sedimentos de la zona 2 a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobre, d) Níquel, e) Plomo, f) Zinc, g) Aluminio, h) Hierro y i) Calcio	165
Figura 7.21. Concentración de metales en sedimento de la Zona 2 a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc.....	166
Figura 7.22. Esquema de riqueza de taxones de microalgas del perifiton, taxones bioindicadores de macroinvertebrados bentónicos y calidad biológica según el índice ABI, por punto de muestreo.....	167
Figura 7.23. Número de taxones bioindicadores de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con el índice ABI.	168
Figura 7.24. Número de taxones bioindicadores y su relación con los aniones de sulfato, fluoruro y calcio.....	168
Figura 7.25. Parámetros de agua superficial, agua subterránea y sedimentos que incumplieron los estándares en la zona 3.....	169
Figura 7.26. Valores de pH a) en el río Antauta y aportantes b) registro histórico.....	170
Figura 7.27. Distribución de las concentraciones de Fluoruro en el río Antauta y sus tributarios	171
Figura 7.28. Registro histórico de fluoruros en el punto P-7	171
Figura 7.29. Río Antauta a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobre, d) Níquel, e) Plomo, f) Zinc, g) Aluminio, h) Hierro y i) Calcio	173
Figura 7.30. Concentración de metales en sedimento de la Zona 3 en la confluencia del río Antauta y la quebrada Chogñacota a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc	174
Figura 7.31. Concentración de metales en sedimento de la Zona 3 en la confluencia del río Antauta y la quebrada Caquene a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc	175
Figura 7.32. Número de taxones bioindicadores de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con el índice ABI.	176
Figura 7.33. Esquema de riqueza de taxones de microalgas del perifiton, taxones bioindicadores de macroinvertebrados bentónicos y calidad biológica según el índice ABI, por punto de muestreo.....	177
Figura 7.34. Variación en la apariencia en el cauce del río Antauta, aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota.....	178
Figura 7.35. Laguna Estancococha	179
Figura 7.36. Parámetros de agua superficial y sedimentos que incumplieron los estándares en la zona 4	180
Figura 7.37. Esquema de la ubicación de las lagunas y su data histórica de los valores de pH	181
Figura 7.38. Registro histórico de concentración de metales en agua de las lagunas Chogñacota, Estancococha y Suyrococha	182



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Figura 7.39. Esquema de riqueza de taxones de microalgas del perifiton y fitoplancton, por punto de muestreo 184



1. INTRODUCCIÓN

La presente evaluación ambiental de causalidad se realizó en el 2020 en la unidad minera Nueva Acumulación Quenamari–San Rafael (en adelante, UM Quenamari), administrada por Minsur S.A., se ubica en la microcuenca de la quebrada Chogñacota, en la zona de las quebradas Chogñacota, Caquene y Larancota, que se encuentran en la parte alta del río Antauta, que pertenece a la subcuenca del río Crucero, dicho río confluye con el río Nuñoa dando lugar al río Azángaro, para finalmente formar parte del río Ramis y desembocar en el lago Titicaca.

En la actualidad Minsur S.A., realiza la extracción del mineral estaño mediante actividades de explotación minera subterránea. El mineral obtenido es sometido a diferentes procesos como la reducción de tamaño y clasificación, para finalmente ser trasladado a la planta concentradora donde pasa por diferentes procesos como: flotación y concentración gravimétrica, obteniendo concentrados de estaño como producto final.

En ese contexto, la presente evaluación determinó la influencia de los componentes mineros como el depósito de desmontes Larancota, depósito de relaves B2 y B3, efluente minero y efluente doméstico sobre los cuerpos receptores: agua superficial, agua subterránea, sedimentos y comunidades hidrobiológicas de las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota.

Para la evaluación se realizó un monitoreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas en mayo de 2019. Así como el análisis hidroquímico de las aguas de las quebradas Larancota, Chogñacota, Caquene, Chuquisani, río Antauta y la laguna Chogñacota, así como el agua subterránea de los acuíferos ubicados en las quebradas Larancota y Chogñacota.

Es importante mencionar que todas las actividades programadas en la presente evaluación fueron realizadas dentro del marco de la función evaluadora del OEFA, donde dicha evaluación constituirá un soporte técnico por parte de la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) para una efectiva y oportuna supervisión y fiscalización ambiental posterior.

2. ANTECEDENTES

La UM Quenamari cuenta con un proceso de producción de estaño, el cual comienza con la extracción subterránea del material rocoso rico en casiterita, posteriormente, las rocas extraídas pasan por una tolva de gruesos y chancadoras para reducir el tamaño del mineral. Este material es almacenado en la tolva de finos, para luego pasar por una segunda etapa de concentración gravimétrica, donde, a través del proceso de flotación se eliminan el azufre y el arsénico (relave minero), seguidamente, el concentrado de estaño obtenido pasa por el circuito de filtrado, donde se retira la humedad para ser enviado a la zona de despacho y finalmente ser trasladado a la fundición de Pisco para ser convertido en barras.

La UM Quenamari cuenta con instrumentos de gestión ambiental (IGA) aprobados desde 1996 hasta el 2019 que incluyen: Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), Plan de Cierre de Minas, Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y modificatorias de EIA, de donde se tiene que en la quebrada Chogñacota las concentraciones de arsénico, cadmio y cobre obtenidos en 1994 superaron los ECA para agua 2017; y las concentraciones de fluoruro, sulfato y manganeso obtenidos durante 2015 y 2016 y superaron los ECA para



agua 2008; mientras que, en el río Antauta las concentraciones de cobre, hierro y manganeso obtenidos en los años 2015 y 2016 superaron los ECA para agua 2008.

Por otro lado, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del 2012 al 2014 realizó 5 monitoreos en el río Antauta y la quebrada Larancota. De estos monitoreos, solo en febrero 2012, en el río Antauta los parámetros que superaron los ECA para agua categoría 3 (2008) fueron pH y nitritos; y en la quebrada Larancota el parámetro que superó el estándar en mención fue el zinc.

El OEFA a través de la Dirección de Supervisión emitió 5 informes de supervisión realizada a la UM Quenamari. De estas supervisiones los resultados obtenidos en la laguna Chogñacota para los parámetros pH, cobre, níquel y zinc superaron los ECA para agua categoría 4 (2017).

El Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (Sinada) en los últimos 5 años registró dos denuncias referidas a la afectación del aire y agua; así como la afectación de flora y fauna relacionadas a las actividades de la unidad minera Quenamari.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota, efluente minero y efluente doméstico de la UM Quenamari en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota y su efecto en los peces, en el 2020.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota.
- Identificar los contaminantes presentes en los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota y determinar su movilidad, y los mecanismos de transporte hacia las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta, laguna Chogñacota.
- Determinar la influencia del efluente minero y efluente doméstico en las quebradas Chogñacota, Caquene y río Antauta.
- Determinar el efecto de los contaminantes presentes en los componentes mineros sobre la calidad del agua, sedimento y las comunidades hidrobiológicas.
- Estimar los niveles de toxicidad del agua superficial y sedimentos de la quebrada Chogñacota, y la toxicidad del efluente minero industrial.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las quebradas Chogñacota, Caquene y Larancota, que se encuentran en la parte alta del río Antauta, ubicados en el área de influencia directa¹ de la

¹ Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la UM Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael. Resolución Directoral N.º 095-2017-SENACE/DCA



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

unidad minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael de Minsur S.A., en el distrito Antauta, provincia Melgar, departamento Puno, entre los 4500 y 5200 m s. n. m. (Figura 4.1.)

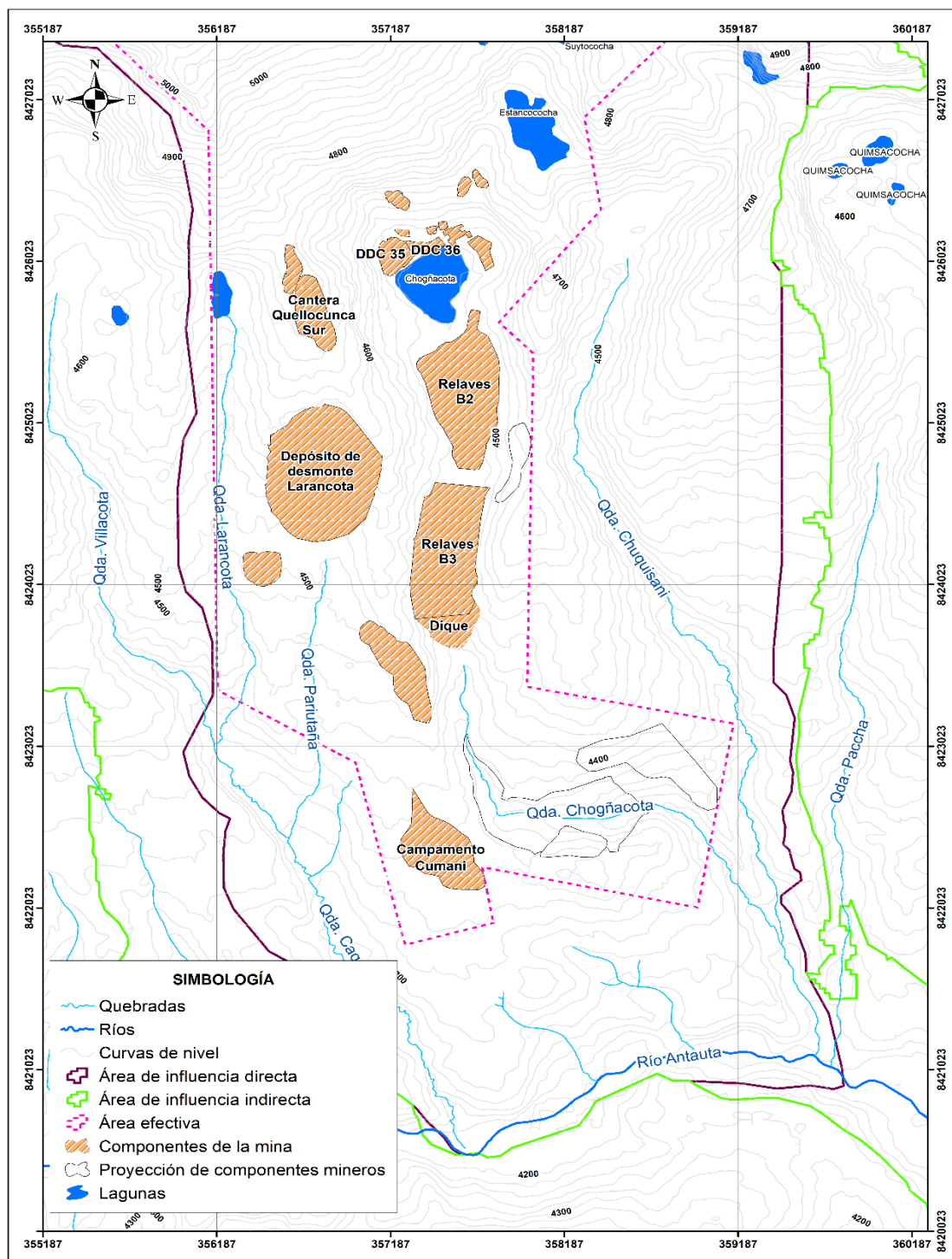


Figura 4.1. Área de estudio que comprende la evaluación ambiental causalidad en la UM Quenamari

Fuente: Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la UM Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael. Resolución Directoral N.º 095-2017-SENACE/DCA



4.1. Climatología y geología regional

El área de estudio presenta un régimen de precipitaciones estacional, en el que las lluvias se presentan principalmente de octubre a abril. Geológicamente, el área de estudio está constituido por gruesas secuencias sedimentarias marinas del Paleozoico inferior, que comprenden la Formación Sandia (pizarras y filitas), el Grupo Ambo (limo arcillas, areniscas y cuarcitas), los intrusivos del Plioceno (monzogranito) que forman parte del dominio magmático del arco interior de la cordillera y los depósitos recientes (fluvioglaciares).

5. METODOLOGÍA

En este ítem se proporciona la información de la metodología aplicada en la evaluación ambiental de casualidad en el área de influencia de la UM Quenamari.

Los puntos de muestreo fueron agrupados por quebradas, de tal manera poder identificar la influencia de los componentes mineros en los cuerpos de agua superficial y subterránea, para lo cual se consideraron dichos puntos aguas arriba y aguas abajo de estos componentes.

Adicionalmente, los resultados fueron comparados con los datos históricos en aquellos puntos donde se contó con dicha información, con la finalidad de evaluar la variación en el tiempo.

La presente evaluación comprendió la caracterización de los componentes mineros como el depósito de desmontes Larancota, depósito de relaves B2 y B3, canchas de desmonte 35 y 36, efluente minero y efluente doméstico; así como la evaluación de agua superficial, agua subterránea, sedimento y comunidades hidrobiológicas en las quebradas Vilacota, Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, Paccha, río Antauta, lagunas Chogñacota, Estancococha y Suytococha.

La estructura de este ítem está dividida por los 5 objetivos específicos establecidos en el ítem 3.2.

5.1. Objetivo específico 1: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota.

5.1.1. Caracterización geológica

La caracterización geológica consistió en la descripción litológica, estructural, alteraciones y mineralización en zonas aledañas a los componentes mineros (depósitos de relaves, desmontes y la cantera) se listan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Referencias para la caracterización geológica

Autoridad emisora / autor	País	Referencia	Año
Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)	Perú	Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100 000	2016
Richard J. Lisle, Peter Brabham, y John Barnes	Reino unido	Basic Geological Mapping	2011
Angela L. Coe, Tom W. Argles, David A. Rothery y Robert A. Spicer	Reino unido	Geological field techniques	2010



Autoridad emisora / autor	País	Referencia	Año
Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, en inglés United States Geological Survey)	Estados Unidos	FGDC Digital Cartographic Standard for Geological Map Symbolization	2006
Richard J. Lisle	Reino unido	Geological Structures and Maps	2004
Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS)	Colombia	Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos	2001

Las referencias de la geología regional corresponden al Boletín N.º 79 correspondientes a la Geología del cuadrángulo de Macusani 29-v (De la Cruz, 1996), además de la carta geológica nacional a escala 1:100 000 y 1:50 000 del INGEMMET. La referencia local corresponde a los estudios realizados y mencionados en los instrumentos de gestión ambiental.

5.1.1.1. Ubicación de puntos

La caracterización geológica se realizó en áreas circundantes a los depósitos de relaves B2 y B3 y los depósitos de desmontes Larancota, 35 y 36. Los puntos de control geológico fueron ubicados estratégicamente considerando las formaciones geológicas donde se emplazan los componentes mineros mencionados y los piezómetros evaluados. El detalle de los puntos de control geológico se encuentra en el Anexo 1.2: Mapa de puntos de monitoreo.

5.1.1.2. Parámetros y método de análisis

Las mediciones y descripciones macroscópicas de afloramientos rocosos se realizaron *in situ*, se tomaron datos de rumbo/azimut, buzamiento y dirección de buzamiento de estratos (EN), fallas geológicas (FA), diaclasas (DI), fracturas (FR), estructuras geológicas (EG: diques y venillas). La descripción macroscópica consistió en determinar la litología, minerales de alteración, minerales primarios, secundarios y accesorios.

Los puntos de control geológico y el mapa de campo fueron georreferenciados y digitalizados en el software ArcGis 10.3 para preparar el mapa geológico local. Además, se generó secciones geológicas a escala 1:10 000, con la finalidad de conocer la disposición estratigráfica de las rocas en profundidad, usando la litología de perforaciones realizadas en la Unidad Minera

5.1.1.3. Equipos utilizados

Los equipos y herramientas utilizados para la caracterización geológica se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo.

5.1.1.4. Análisis de datos

Los criterios de evaluación utilizados para la caracterización se detallan a continuación.

- Mapa geológico local

Los datos obtenidos en el cartografiado de campo fueron interpretados y plasmados en un mapa geológico local, el mismo que contiene las unidades litológicas, litoestratigráficas, estructurales (diaclasas, fracturas, fallas, pliegues, diques, etc.) y alteraciones. Se generaron



secciones geológicas relacionadas a los componentes mineros y ambientales, así como también, la información detallada de cada litología.

- Relación con los puntos de muestreo de agua subterránea

La caracterización geológica nos permitió entender la asociación de la mineralogía de las rocas con los parámetros físicos (pH, CE y OD) y químicos de las aguas subterráneas; además, se logró entender las características hidroquímicas y el contexto hidrogeológico en función a las estructuras y litopermeabilidad.

5.1.2. Caracterización geoquímica y mineralógica de roca y suelos (depósitos cuaternarios)

La caracterización geoquímica y mineralógica de roca consistió en la toma de muestras de roca, para cada unidad litológica con relación a las zonas de emplazamiento de los componentes mineros y zonas adyacentes del ámbito de la UM Quenamari.

5.1.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

Se realizó la caracterización geológica tomando en consideración las referencias de muestreo establecidas por el servicio geológico del Perú y Chile; además, se tomó en consideración las recomendaciones establecidas en referencias internacionales de Canadá y Chile, indicados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Referencias para la caracterización geoquímica de roca

Título	Autor	País	Año
Manual de inventario de recursos minerales	Dirección De Recursos Minerales Y Energéticos de INGEMMET	Perú	2013
Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras	Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)	Chile	2015
<i>Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials</i>	Natural Resource Canada CANMET- Mining and Mineral Sciences Laboratories Smithers V0J 2N0	Canadá	2009
Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto	Angel Lambert B.	Chile	2006
Introducción al muestreo minero	Marco Antonio Alfaro Sironvalle	Chile	2002

Ingemmet: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

5.1.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se tomaron 12 puntos de muestreo para la caracterización geoquímica y mineralógica de roca establecidos en distintas unidades geológicas del ámbito de la UM Quenamari, con la finalidad de conocer el potencial de lixiviación de elementos en condiciones naturales, para lo cual se extrajeron muestras en afloramientos con presencia de oxidación y roca fresca (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de roca

N.º	Código OEFA	Coordenadas UTM WGS84 – zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
1	GEO-01	357153	8424513	4581	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 200 m al este del depósito de desmonte Larancota
2	GEO-02	357790	8425763	4561	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 200 m al este de la laguna Chogñacota
3	GEO-03	358026	8422590	4324	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 1.5 km al sureste de la presa de relaves B3



N.º	Código OEFA	Coordenadas UTM WGS84 – zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
4	GEO-04	357802	8427038	4722	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 50 m al noroeste de la laguna Estancococha
5	GEO-05	356554	8427016	4946	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 1.3 km al noroeste de la laguna Estancococha
6	GEO-06	356577	8423006	4403	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 900 m al suroeste de la Cantera Cumani, en la quebrada Caquene
7	GEO-07	356293	8423337	4402	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 1000 m al oeste de la Cantera Cumani, en la quebrada Caquene
8	GEO-08	356335	8426217	4778	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 200 m al noroeste de la Cantera Quellocunca
9	GEO-09	357183	8425548	4539	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 300 m al suroeste de la laguna Chogñacota
10	GEO-10	358470	8422528	4318	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 900 m al este de la Campamento Cumani
11	GEO-11	357037	8422100	4339	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 700 m al oeste de la Campamento Cumani
12	GEO-12	357904	8425138	4547	Punto de control geológico ubicado aproximadamente a 300 m al este de la laguna Chogñacota

5.1.2.3. Parámetros y métodos de análisis

En la Tabla 5.4 se presentan los parámetros evaluados y métodos de ensayo para la caracterización geoquímica y mineralógica de roca depósitos cuaternarios.

Tabla 5.4. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la caracterización de roca y depósitos cuaternarios

Matriz	Parámetros	Cantidad	Método de ensayo	Observaciones
Caracterización geológica	Análisis mineralógico	5	microscopía óptica - petromineraografía	-
	Análisis mineralógico	4	Difracción de rayos X (énfasis en arcillas)	-
	Metales Totales	8	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL	Incluye mercurio
	Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	3	PNTE-LE-96. Rev.OO Análisis de metales solubles por extracción de 7 etapas continuas	-
	ABA (Prueba de balance ácido-base)	12	PE-4408, PE-4416, PE-4407, PE-4402, PE-4409	-
	Shake Flask (metales)	12	Extracto SFE Leaching & drainage (1997) /EPA METHOD 6020 B Rev02, 2014	-
	Shake Flask (aniones)	12	SMEWW 4500-SO4 2- E. 23rd Ed. 2017	-
	Análisis granulométrico	6	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	-
	Análisis mineralógico	1	Microscopia electronica (MEB)	-

Fuente: Reporte de resultados N.º RRE-025-2020-STEC (Anexo 3) y Reporte de campo N.º RC-027-2020-STEC (Anexo 2)



5.1.2.4. Procesamiento de datos

El análisis de la caracterización geoquímica de roca y depósitos Cuaternarios se realizó mediante la descripción y análisis de la composición mineralógica (mineralogía óptica, difracción de rayos X, difracción de rayos X énfasis en arcillas y microscopía electrónica) y el contenido de metales totales (ICP-OES), de cada zona evaluada. La caracterización de cada litología fue complementada con la prueba estática de balance ácido-base (ABA). Además, se realizó la evaluación de metales solubles a través del método de extracción secuencial de metales por la metodología de Dold, el cual consideró en su técnica original los siguientes elementos: cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso; esta prueba permitió caracterizar la potencial movilidad y biodisponibilidad de ciertos elementos y su posible relación con los puntos de monitoreo de agua subterránea.

Se empleó las pruebas de *Skake Flask* (metales) para representar la posible movilidad de analitos inorgánicos (metales) presentes en las formaciones geológicas asociadas a los depósitos de relaves; además, se complementó el análisis con la prueba de lixiviación *shape flask extraction* para aniones, el cuál consistió en un análisis con agua ultra pura, que determinó los aniones fácilmente solubles a pH neutro. Finalmente, se realizó un análisis de la granulometría del suelo de los depósitos cuaternarios.

5.2. Objetivo específico 2: Identificar los contaminantes presentes en los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota y determinar su movilidad, y los mecanismos de transporte hacia las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta, laguna Chogñacota.

5.2.1. Caracterización de componentes mineros

Se realizó la caracterización de los materiales del depósito de desmonte Larancota, canchas de desmonte 35, 36 y depósitos de relaves B2, B3, considerados como fuentes potenciales de contaminación con la finalidad de relacionar la interacción con las aguas superficiales y subterráneas.

5.2.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

La toma de muestra de componentes mineros se realizó de acuerdo a los estándares para el muestreo establecidos por el servicio geológico del Perú y la Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras emitido por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) de Chile.

Tabla 5.5. Guías utilizadas para la caracterización de componentes mineros

Guía o protocolo	País	Institución o fuente	Año
Protocolo de monitoreo de calidad de agua sub sector - minería	Perú	Resolución Directoral N.º 004-94-EM/DGAA. Ministerio de Energía y Minas	1994
Guía Metodológica para Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras.	Chile	SERNAGEOMIN (Ministerio de Minería) Gobierno de Chile	2015

5.2.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

En los depósitos de relaves B2 y B3 se tomó 1 muestra compuesta de la fase sólida y 1 muestra de la fase líquida, en el depósito de desmonte Larancota se tomó 2 muestras compuestas de material de desmonte, en las canchas de desmonte 35 y 36 se tomó 1 muestra de material de sólido (Tabla 5.6).

**Tabla 5.6.** Ubicación y descripción de los puntos de muestreo de componentes mineros

N.º	Código	Coordenadas UTM WGS84 – zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
1	REL-B2	357548	8425162	4496	Depósito de relaves Bofedal 2 (B2)
2	REL-B3	357426	8423810	4478	Depósito de relaves Bofedal 3 (B3)
3	DDM-LAR-01	356721	8424631	4563	Depósito de desmonte Larancota
4	DDM-LAR-02	356696	8424474	4565	Depósito de desmonte Larancota
5	DDC-35	357245	8426096	4501	Depósito de desmonte cancha 35
6	DDC-36	357365	8426075	4499	Depósito de desmonte cancha 36
7	CQS-1	356772	8425566	4697	Cantera Quellocunca Sur

5.2.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados y métodos de ensayo para caracterizar los componentes mineros fueron seleccionados en función de la actividad minera (Tabla 5.7).

Tabla 5.7. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la caracterización de componentes mineros

Matriz	Parámetros	Cantidad	Método de ensayo	Observaciones
Componentes mineros	Análisis mineralógico	1	Difracción de rayos X (énfasis en arcillas)	-
	Metales Totales	7	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL	Incluye mercurio
	Análisis mineralógico	5	Difracción de rayos X	-
	Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	7	PNTE-LE-96. Rev.OO Análisis de metales solubles por extracción de 7 etapas continuas	-
	ABA (Prueba de balance ácido-base)	7	PE-4408, PE-4416, PE-4407, PE-4402, PE-4409	-
	Shake Flask (metales)	7	Extracto SFE Leaching & drainage (1997) /EPA METHOD 6020 B Rev02, 2014	-
	Shake Flask (aniones) SFE	7	SMEWW 4500-Cl- B. 23rd Ed. 2017	-
	Análisis granulométrico	7	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	-
	Análisis mineralógico	2	Microscopia electronica (MEB)	-
Agua residual industrial (fase líquida de los depósitos de relaves B2 y B3)	Carbonato	2	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B. 23rd Ed. 2017	-
	Bicarbonato	2	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B. 23rd Ed. 2017	-
	Cloruro	2	PE-2090 Rev.11 2019	-
	Sulfato	2	PE-2090 Rev.11 2019	-
	Fluoruro	2	PE-2090 Rev.11 2019	-
	Cromo hexavalente	2	SMEWW 3500 Cr B. 23rd Ed. 2017	-
	SST	2	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	-
	STD	2	SMEWW 2540 C. 23rd Ed. 2017	-
	Metales totales	2	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Incluye mercurio
	Metales disueltos	2	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Incluye mercurio

Fuente: Reporte de resultados N.º RRE-025-2020-STEC (Anexo 3) y Reporte de campo N.º RC-027-2020-STEC (Anexo 2)



5.2.1.4. Equipos utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos como equipo de posicionamiento global GPS, equipo multiparámetro; los detalles del modelo, marca, hojas de verificación, certificados de calibración y serie se encuentran en el Anexo 2: Reporte de campo.

5.2.1.5. Procesamiento de datos

Para caracterizar la composición química, mineralógica, potencial generación de acidez, biodisponibilidad, lixiviación y movilidad de metales y aniones presentes en los depósitos de desmonte de mina, depósitos de relaves y cantera, se evaluaron los resultados de metales totales, prueba estática de balance ácido-base (ABA), extracción *Shake Flask extraction* para aniones, pruebas de *Shake Flask* para metales, análisis mineralógico de microscopía electrónica, difracción de rayos x, difracción de rayos X énfasis en arcillas, análisis granulométrico y extracción secuencial de metales por la metodología de Dold.

5.3. Objetivo específico 3: Identificar la influencia del efluente minero y efluente doméstico en las quebradas Chogñacota, Caquene y río Antauta.

5.3.1. Caracterización fisicoquímica de los efluentes minero y doméstico

Con la finalidad de correlacionar los resultados obtenidos de los componentes ambientales con la actividad minera, también se consideró incluir la caracterización fisicoquímica de los efluentes minero y doméstico de la UM Quenamari.

5.3.1.1. Protocolo de muestreo

Los protocolos de muestreo que se emplearon para la caracterización de los efluentes minero y doméstico como fuentes potenciales de contaminación, se detallan en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Parámetros y métodos de ensayo para caracterización de roca

Matriz	Protocolo	País
Efluente minero	Protocolo de monitoreo de calidad de agua - subsector minería (Resolución Directoral N.º 004-94-EM/DGAA)	Perú
Efluente doméstico	Protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales doméstica o municipales (Resolución Ministerial N.º 273-2013-VIVIENDA)	Perú

5.3.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo de efluentes (industrial y doméstico) corresponde a los puntos establecidos en el IGA del administrado (Tabla 5.9)

Tabla 5.9. Puntos de muestreo de efluentes

N.º	Código	Coordenadas UTM WGS84 – zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción u observación
		Este (m)	Norte (m)		
1	P-4	357601	8423549	4404	Agua clarificada del depósito de relaves B3, ubicado en la quebrada Chogñacota aguas abajo del depósito de relaves
2	R-2	357200	8421958	4325	Aguas residuales domésticas del campamento Cumani de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari - San Rafael.



5.3.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros considerados para evaluar en los efluentes minero y doméstico se consideraron en función de la actividad minera, así como los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM), y para el efluente doméstico se tomó en cuenta los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM), ver Tabla 5.10. En todos los puntos de muestreo se realizaron mediciones *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.

Tabla 5.10. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la caracterización de efluentes minero y doméstico

Matriz	Parámetros	Cantidad	Método de ensayo	Observaciones
Efluente minero	Metales totales por ICP-MS	1	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Incluye mercurio
	Metales disueltos por ICP-MS	1	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Incluye mercurio
	Cromo hexavalente	1	SMEWW 3500 Cr B. 23rd Ed. 2017	-
	Sulfatos	1	PE-2090 Rev. 11 2019	-
	Cloruros	1	PE-2090 Rev. 11 2019	-
	Fluoruros	1	PE-2090 Rev. 11 2019	-
	Bicarbonatos	1	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	-
	Carbonatos	1	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	-
	Acidez	1	SMEWW 2310 B. 23rd Ed. 2017	-
	Sólidos totales suspendidos	1	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	-
Efluente doméstico	Metales totales por ICP-MS	1	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Incluye mercurio
	Metales disueltos por ICP-MS	1	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Incluye mercurio
	Aceites y grasas	1	ASTM D7066-04	-
	Demanda Química de Oxígeno	1	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	-
	Sólidos Totales Suspendidos	1	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	-

Fuente: Reporte de resultados N.º RRE-025-2020-STEC (Anexo 3) y Reporte de campo N.º RC-027-2020-STEC (Anexo 2)

5.3.1.4. Equipos utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos como multiparámetro, y equipo de posicionamiento global GPS; los detalles del modelo, marca, hojas de verificación, certificados de calibración y serie se encuentran en el Anexo 2: Reporte de campo.

5.3.1.5. Aseguramiento de la calidad

Para garantizar la representatividad de los resultados, se realizó como control de calidad la toma de un duplicado en efluente y un blanco viajero para el análisis de metales totales.



5.3.1.6. Criterios de evaluación

Los resultados obtenidos para las muestras de los efluentes mineros fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas, señalados en el Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM, y los resultados del efluente doméstico se contrastaron con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, indicados en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM.

5.4. Objetivo específico 4: Determinar el efecto de los contaminantes presentes en los componentes mineros sobre la calidad del agua, sedimento y las comunidades hidrobiológicas.

En esta sección se proporciona información relacionada a la metodología aplicada para la ubicación de puntos de muestreo, toma de muestra, aseguramiento de la calidad y posterior análisis de resultados obtenidos

5.4.1. Agua superficial, agua subterránea y sedimento

5.4.1.1. Guías y protocolos de muestreo

Las guías y protocolos de muestreo aplicados en la evaluación de agua superficial, agua subterránea y sedimento se muestran en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Protocolos de muestreo de agua superficial, agua subterránea y sedimento

Matriz	Protocolo	País
Agua superficial	Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA)	Perú
Agua subterránea	Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados muestreo de aguas subterráneas	Perú
	National Field Manual for the Collection of Water Quality Data (NFM) Book 9	Estados Unidos
Sedimento	Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos de la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos - 2001	Estados Unidos
	Muestreo de sedimentos Agencia para la Protección Ambiental (EPA) - 2016	

5.4.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación y descripción de los puntos de muestreo de agua superficial y sedimentos (Tabla 5.12) y de agua subterránea (Tabla 5.13) fueron establecidos tomando como referencia aquellos puntos declarados en los IGA del administrado, los cuales fueron complementados con puntos establecidos en gabinete y en el reconocimiento de campo², asimismo todos los puntos fueron validados en el monitoreo ejecutado en el mes de agosto de 2020.

Tabla 5.12. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de agua superficial y sedimentos

N.º	Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	AS	SED	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
1	SR-8	358061	8427499	4788	X	X	Descarga de la laguna Suytococha

² Reporte de reconocimiento N.º RR-008-2020-STEC «Reconocimiento en el área de influencia de la unidad minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael en el distrito de Antauta, provincia Melgar, departamento Puno», realizado del 31 de enero al 06 de febrero de 2020.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

N.º	Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	AS	SED	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
2	LA-WQ-07	357956	8426781	4660	X	X	Laguna Estancococha, lado oeste. Contiguo a «cancha de desmonte»
3	SR-5	357529	8425629	4486	X	X	Descarga de la laguna Chogñacota, zona sur
4	R-3	356901	8421737	4282	X	X	Quebrada Caquene, aproximadamente 100 m antes de la confluencia con el vertimiento R-2
5	R-4	357107	8421518	4255	X	X	Quebrada Caquene, aproximadamente 150 m después de la confluencia con el vertimiento R-2
6	LA-WQ-03	357545	8420684	4199	X	X	Quebrada Caquene, aproximadamente 70 m aguas arriba de la desembocadura en el río Antauta.
7	SR-WQ-03	356122	8423206	4384	X	X	Quebrada Vilacota, aproximadamente 200 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Larancota.
8	AS-06	356227	8425049	4568	--	X	Quebrada Larancota, aproximadamente 50 m aguas arriba de la confluencia con la descarga del canal de coronación del desmonte Larancota
9	LA-WQ-01	356244	8423201	4393	X	X	Quebrada Larancota, aproximadamente 230 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Vilacota
10	AS-07	356333	8423795	4443	--	X	Quebrada Larancota, aproximadamente 1,2 km aguas abajo de la confluencia con el depósito de desmonte Larancota
11	SED-02	356290	8425596	4634	--	X	Quebrada Larancota, aproximadamente a 90 m aguas abajo de la descarga del bofedal Larancota
12	AS-05	359733	8421093	4189	X	X	Quebrada Paccha, aproximadamente 50 m aguas arriba de la confluencia con el río Antauta (margen izquierdo)
13	SR-14	359400	8422004	4229	X	X	Quebrada Chuquisani, aproximadamente 150 m antes de la confluencia con la quebrada Chogñacota
14	SED-09	358455	8425779	4531	--	X	Naciente de la Quebrada Chuquisani
15	SED-10	359220	8422696	4279	--	X	Parte media de la quebrada Chuquisani
16	PCA-09	357611	8423503	4408	X	--	Quebrada Chogñacota aguas abajo de la confluencia de las aguas de no contacto de los canales de coronación del depósito de relaves B3 (margen izquierda y derecha)
17	AS-04	358802	8422626	4285	X	--	Canal de derivación de agua de no contacto, aportante a la quebrada Chogñacota (margen izquierdo)
18	SR-37	358966	8422506	4260	X	X	Quebrada Chogñacota, aproximadamente a 2,5 km aguas abajo del punto de descarga P-4
19	P-5	359579	8421446	4203	X	X	Quebrada Chogñacota, aproximadamente 350 m antes de la confluencia con el río Antauta
20	AS-09	357859	8422604	4346	X	X	Quebrada Chogñacota, aproximadamente 100 m aguas arriba de la confluencia con el canal (punto AS-04)
21	P-6	359355	8421138	4180	X	X	Río Antauta, aproximadamente 300 m antes de la confluencia con la quebrada Chogñacota.
22	LA-WQ-04	357376	8420645	4211	X	X	Río Antauta, aproximadamente 130 m antes de la confluencia con la quebrada Caquene
23	SR-WQ-11	358251	8420854	4191	X	X	Río Antauta, aproximadamente 1,5 km aguas arriba de la confluencia con la quebrada Chogñacota y 700 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada Caquene
24	P-7	360019	8420911	4177	X	X	Río Antauta, aproximadamente 120 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota
25	SED-06	357083	8420504	4203	--	X	Río Antauta, aproximadamente a 330 m aguas arriba del punto LA-WQ-04

**Tabla 5.13. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de agua subterránea**

N.º	Código	Coordenadas UTM WGS84 – zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
	Puntos de muestreo de manantiales				
1	M-22	356311	8423025	4365	Manantial ubicado aproximadamente a 1,3 km al suroeste del depósito de desmonte Larancota, en la margen izquierda de la quebrada Caquene
2	M-23	356425	8422940	4355	Manantial ubicado aproximadamente a 1,4 km al suroeste del depósito de desmonte Larancota, en la margen izquierda de la quebrada Caquene
3	M-13	356547	8422815	4343	Manantial ubicado aproximadamente a 1,4 km al sur del depósito de desmonte Larancota, en la margen izquierda de la quebrada Caquene
4	M-26	356798	8422651	4348	Manantial ubicado aproximadamente a 1,6 km al sur del depósito de desmonte Larancota, en la margen izquierda de la quebrada Pariutafña antes de la confluencia con la quebrada Caquene
5	M-31	358921	8421909	4285	Manantial ubicado aproximadamente a 900 m al sureste de donde se construirá la presa de relaves B4 en la margen derecha de la quebrada Chogñacota
6	M-17	359059	8422228	4271	Manantial ubicado aproximadamente a 1 km al sureste de donde se construirá el depósito de relaves B4, en la margen derecha de la quebrada Chogñacota
	Puntos de muestreo de piezómetros				
1	PM-2	359603	8421394	4199	Piezómetro ubicado aproximadamente a 2 km al sureste del campamento Cumani, al final de la quebrada Chogñacota antes de la confluencia con el río Antauta
2	AMP-06	358917	8422551	4265	Piezómetro ubicado aproximadamente a 250 m aguas abajo de la huella del depósito de relaves B4
3	BHSR-KP16-13	358248	8422458	4335	Piezómetro ubicado aproximadamente a 500 m al este del campamento Cumani, donde se construirá el depósito de relaves B4
4	BHSR-KP17-05	357897	8422423	4358	Piezómetro ubicado aproximadamente a 150 m al este del campamento Cumani, donde se construirá el depósito de relaves B4
5	AMP-04	357610	8423338	4385	Piezómetro ubicado aproximadamente a 400 m aguas abajo del depósito de relaves B3
6	VW-20	357491	8423608	4416	Piezómetro ubicado aproximadamente a 40 m aguas abajo del depósito de relaves B3
7	PZ-01	357791	8427001	4696	Piezómetro ubicado aproximadamente a 50 m al noroeste de la laguna Estancococha
8	AMP-03	357505	8425551	4490	Piezómetro ubicado aproximadamente a 30 m al sur de la laguna Chogñacota, aguas arriba del depósito de relaves B2
9	DH16-05	357475	8425530	4490	Piezómetro ubicado aproximadamente a 140 m al sur de la laguna Chogñacota, aguas arriba del depósito de relaves B2
10	BH-LA13-01	356881	8425100	4605	Piezómetro ubicado aproximadamente a 350 m al norte del depósito de desmonte Larancota
11	BH-LA17-05	356599	8424219	4535	Piezómetro ubicado aproximadamente a 100 m al suroeste del depósito de desmonte Larancota
12	BH-LA17-06	356937	8424117	4518	Piezómetro ubicado aproximadamente a 200 m al sur del depósito de desmonte Larancota

5.4.1.3. Parámetros y métodos de análisis

A continuación, se muestra los parámetros evaluados para determinar de la calidad de agua superficial, agua subterránea y sedimento (Tabla 5.14), adicionalmente en todos los puntos de muestreo de agua se midieron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de



hidrógeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y solo en algunos puntos se midieron datos para calcular los caudales.

Tabla 5.14. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la evaluación de agua y sedimento

N.º	Parámetros	Cantidad	Método de ensayo	Observaciones
Agua superficial				
1	Bicarbonatos	19	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	
2	Carbonatos	19	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	
3	Sulfatos	19	PE-2090 Rev. 11 2019	
4	Cloruros	19	PE-2090 Rev. 11 2019	
5	Metales totales	22	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Incluye un blanco viajero y 2 duplicados
6	Metales disueltos	19	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	
7	Aceites y grasas	3	ASTM D7066-04	
8	Sólidos totales suspendidos	19	SMEWW 2540 D. 23 rd Ed. 2017	
9	Acidez	5	SMEWW 2310 B. 23 rd Ed. 2017	
10	Alcalinidad total	5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed. 2017	
11	Fluoruros	19	PE-2090 Rev. 11 2019	
12	Demanda Química de Oxígeno	3	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	
13	Sólidos totales disueltos	19	SMEWW 2540 C. 23 rd Ed. 2017	
14	Cromo hexavalente	1	SMEWW 3500 Cr B. 23 rd Ed. 2017	
Agua subterránea				
1	Metales totales	19	EPA Method 200.8, Revised 5.4, (1994)	Incluye 1 duplicado
2	Metales disueltos	18	EPA Method 200.8, Revised 5.4, (1994)	
3	Bicarbonatos	18	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B. 23 rd Ed. 2017	
4	Cloruros	18	PE-2090 Rev.11 2019	
5	Sulfatos	18	PE-2090 Rev.11 2019	
6	Sulfuros	18	SMWW 4500-S2 D. 23 rd Ed. 2017	
7	Carbonatos	18	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B. 23 rd Ed. 2017	
8	Sólidos totales disueltos	18	SMEWW 2540 C. 23 rd Ed. 2017	
9	Sólidos totales suspendidos	18	SMEWW 2540 C. 23 rd Ed. 2017	
10	Cromo hexavalente	18	SMEWW 3500 Cr B. 23 rd Ed. 2017	
11	Acidez	18	SMEWW 2310 B. 23 rd Ed. 2017	
12	Alcalinidad total	18	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B. 23 rd Ed. 2017	
13	Fluoruros	18	PE-2090 Rev.11 2019	
Sedimento				
1	Metales	23	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL	
2	Materia orgánica	18	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000; ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017	
3	Análisis granulométrico	23	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	
4	Extracción Secuencial de Metales Pesados por la Metodología de Tessier	5	EPA 6020 B Rev. 2. July 2014	

Fuente: Reporte de resultados N.º RRE-025-2020-STEC (Anexo 3) y Reporte de campo N.º RC-027-2020-STEC (Anexo 2)



5.4.1.4. Equipos utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos como multiparámetro, correntómetro, bailers, sonda de nivel piezométrico y equipo de posicionamiento GPS; los detalles del modelo, marca, hojas de verificación, certificados de calibración y serie se encuentran en el Anexo E y F del reporte de campo.

5.4.1.5. Aseguramiento de la calidad

Para garantizar la representatividad de los resultados de agua superficial y subterránea, se realizó como control de calidad la toma de 3 duplicados y un blanco viajero.

5.4.1.6. Criterios de evaluación

Los resultados obtenidos del análisis del agua superficial fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (en adelante, ECA Agua) – Categoría 3 (Cat3) y Categoría 4 (Cat4) del Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM, según las consideraciones del plan de manejo ambiental del IGA³ del administrado; y de manera referencial con los ECA Agua (categoría 3 y 4) del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Asimismo, el punto ubicado en el canal de agua de no contacto fue comparado referencialmente con dichas normas.

En cuanto al agua subterránea, no se cuenta con estándares nacionales de calidad ambiental, por tal motivo, los resultados de los análisis fueron comparados referencialmente con los ECA Agua (subcategoría A1); aprobados mediante Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM tal como indica el IGA³ del administrado y con los ECA Agua (subcategoría A1) aprobados mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Así también, los resultados servirán para la caracterización hidroquímica, la cual permitirá conocer los tipos de agua presentes y sus posibles orígenes.

Para el caso de la matriz sedimento, debido a que no se cuenta con normativa nacional, se tomó como referencia los estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG (*Canadian Environmental Quality Guidelines – Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Fresh water*, 2012) y con los valores de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para comparar los resultados obtenidos de sedimentos de agua dulce, tal como se indica en el IGA³ del administrado.

Adicionalmente, los resultados de las matrices indicadas fueron comparados con los datos históricos en aquellos puntos donde se contó con dicha información, con la finalidad de evaluar la variación en el tiempo.

5.4.2. Comunidades hidrobiológicas

5.4.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

La evaluación de las comunidades hidrobiológicas tuvo como base la guía «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú». En la mencionada guía, se establecen los criterios técnicos y lineamientos generales aplicados, como la logística mínima necesaria, establecimiento de los puntos de muestreo, preparación de

³ Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la UM Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael. Resolución Directoral N.º 095-2017-SENACE/DCA



materiales, equipos e indumentaria de protección, procedimiento para la toma de muestras, preservación, almacenamiento, conservación y transporte de muestras, entre otros.

5.4.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas fueron los mismos puntos establecidos para agua superficial, con excepción del punto ubicado en el canal de aguas de no contacto indicado en la Tabla 5.11.

5.4.2.3. Parámetros y métodos de análisis

En la Tabla 5.15 se describen los parámetros evaluados en comunidades hidrobiológicas y los métodos de ensayo utilizados.

Tabla 5.15. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para evaluación de comunidades hidrobiológicas

N.º	Parámetro	Cantidad	Método de análisis
1	Macroinvertebrados bentónicos	14	SMEWW 10500 C (parte 2)
2	Perifiton	17	SMEWW 10 300C y 10 900
3	Fitoplancton	3	SMEWW 10 200F y 10 900
4	Zooplancton	3	SMEWW 10 200G y 10 900
5	Peces	3	SMEWW 10600 D.1.a

Fuente: Reporte de resultados N.º RRE-025-2020-STEC (Anexo 3) y Reporte de campo N.º RC-027-2020-STEC (Anexo 2)

5.4.2.4. Equipos y materiales utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos y materiales como: equipo de posicionamiento global GPS, cámara fotográfica, balanza digital, red de plancton, red surber, red cal cal y electrofisher, los cuales se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo.

5.4.2.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad consistió en la colecta e identificación y análisis de muestra, de acuerdo a lo descrito en la guía «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú», secciones: 3.3 fitoplancton y zooplancton, 4.3 perifiton, 5.3 macroinvertebrados bentónicos y 6.3 necton (peces).

5.4.2.6. Procesamiento de datos

Con los resultados de identificación taxonómica de las comunidades hidrobiológicas (macroinvertebrados bentónicos, perifiton, fitoplancton, zooplancton y peces), se determinó la riqueza del total de especies (S) por cada grupo hidrobiológico y por cada punto de muestreo, es decir, el número de especies en cada lugar y el acumulado. Asimismo, se determinó la densidad o abundancia relativa de los individuos de cada especie por punto de muestreo.

Para el análisis de diversidad alfa, se usaron los Números de Diversidad de Hill (Hill, 1973) y el Índice de Equidad de Pielou (Magurran, 1988); mientras que para el análisis estadístico se realizaron diversas pruebas para evaluar el grado de similitud y significancia entre la composición comunitaria de diferentes puntos de muestreo, los taxones que son responsables de esto y la correlación de estos con los parámetros ambientales (Clarke, 1993).



También se analizó la composición comunitaria de los macroinvertebrados bentónicos, con la finalidad de evaluar la calidad ecológica de los cuerpos de agua lóticos, mediante el empleo del índice ABI (siglas del inglés, *Andean Biotic Index*).

5.4.3. Análisis de metales en tejido de peces

5.4.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5.16 se presenta la guía considerada para el muestreo de tejido en peces.

Tabla 5.16. Guía para el muestreo de tejido en peces

Protocolo	País
Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Volume 1. Fish Sampling and Analysis. Tercera edición. EPA	Estados Unidos

5.4.3.2. Ubicación de puntos de muestreo

La captura de peces fue realizada en aquellos puntos de muestreo con antecedentes declarados en los informes de monitoreo (2018 y 2019⁴ del administrado, los cuales fueron complementados con puntos establecidos en gabinete y validados en el reconocimiento de campo⁵. En la Tabla 5.17 se describe los puntos de muestreo donde se colectaron las muestras de tejido, por cumplir con las condiciones de peso requeridas para el análisis en laboratorio.

Tabla 5.17. Ubicación y descripción de puntos de muestreo de peces para el análisis de tejido muscular

N.º	Código IGA	Coordenadas UTM WGS84 - zona 19 L		Altitud m s.n.m.	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
1	P-6	359355	8421138	4177	Río Antauta, aproximadamente 300 m antes de la confluencia con la quebrada Chogñacota
2	P-7	360019	8420911	4177	Río Antauta, aproximadamente 120 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota
3	LA-WQ-04	357376	8420645	4202	Río Antauta, aproximadamente 130 m antes de la confluencia con la quebrada Caquene
5	P-5	359579	8421446	4203	Quebrada Chogñacota, aproximadamente 350 m antes de la confluencia con el río Antauta

5.4.3.3. Parámetros y métodos de análisis

El parámetro analizado fue metales en tejido de peces, el cual fue definido tomando como referencia lo reportado por el administrado en sus informes de monitoreo (2018 y 2019)⁴.

Tabla 5.18. Parámetro evaluado y método de ensayo para la evaluación de metales en tejido de peces

N.º	Parámetro	Cantidad	Método de análisis	Observaciones
1	Metales en tejido de peces	2	EPA Method 200.3 Rev. 1 April (1991) / EPA Method 6010 D Rev. 5 July (2018) (Validado Modificado, 2019).	El método no incluye muestreo

Fuente: Reporte de resultados N.º RRE-025-2020-STEC (Anexo 3) y Reporte de campo N.º RC-027-2020-STEC (Anexo 2)

⁴ Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael, aprobado por Resolución Directoral N.º. 095-2017-SENACE/DCA.

⁵ Reporte de reconocimiento N.º RR-008-2020-STEC «Reconocimiento en el área de influencia de la unidad minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael en el distrito de Antauta, provincia Melgar, departamento Puno», realizado del 31 de enero al 06 de febrero de 2020.



5.4.3.4. Equipos y materiales utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos y materiales como: cámara fotográfica, equipo de posicionamiento GPS, electrofisher y balanza electrónica, los cuales se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo.

5.4.3.5. Criterios de evaluación

Los resultados obtenidos del análisis de tejido animal fueron comparados con los «Indicadores sanitarios y de Inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para el mercado nacional y de exportación (2016)» del Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (Sanipes) para cadmio y plomo y los «Contenidos máximos de metales en productos alimenticios en la Unión Europea del Reglamento (CE) N.º 629/2008» para cadmio.

5.5. Objetivo específico 5: Estimar los niveles de toxicidad del agua superficial y sedimentos de la quebrada Chogñacota, río Antauta, y la toxicidad del efluente minero industrial

El agua superficial y sedimentos con altas concentraciones de metales pesados pueden tener efectos tóxicos sobre las comunidades hidrobiológicas (perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces). Los estudios de toxicidad controlados en laboratorio pueden proporcionar evidencia que relaciona la exposición a metales con efectos adversos en las comunidades hidrobiológicas.

5.5.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las pruebas ecotoxicológicas se realizaron considerando las recomendaciones de las guías elaboradas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) donde desarrollan pautas para el mantenimiento, aclimatación y pruebas de control de calidad de organismos prueba (Tabla 5.19).

Tabla 5.19. Guía de referencia para la evaluación toxicológica

Guía de referencia	País
Chironomid Sediment Toxicity Test EPA (Environmental Protection Agency)	Estados Unidos
Spiked Whole Sediment 10-Day Toxicity Test, Freshwater Invertebrates EPA (Environmental Protection Agency)	Estados Unidos

5.5.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se tomó un total de 10 puntos de muestreo para la evaluación ecotoxicológica en agua superficial, 8 puntos de muestreo en sedimentos, 1 punto de muestreo en efluente industrial y 1 punto de muestreo en efluente doméstico (Tabla 5.20). Los puntos de muestreo fueron determinados en relación a los puntos de agua superficial y sedimentos, y en base a la ubicación del efluente minero en la quebrada Chogñacota.

**Tabla 5.20.** Ubicación y descripción de los puntos de muestreo para la evaluación ecotoxicológica

N.º	Código	Coordenadas UTM WGS84 – zona 19L		Altitud (m s. n. m.)	Agua superficial	Efluente	Sedimento	Descripción u observación
		Este (m)	Norte (m)					
1	R-4	357107	8421518	4255	X	-	X	Quebrada Caquene, aproximadamente 150 m después de la confluencia con el vertimiento R-2
2	R-3	356901	8421737	4282	X	-	X	Quebrada Caquene, aproximadamente 100 m antes de la confluencia con el vertimiento R-2
3	P-7	360019	8420911	4177	X	-	X	Río Antauta, aproximadamente 120 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota
4	P-6	359355	8421138	4180	X	-	X	Río Antauta, aproximadamente 300 m antes de la confluencia con la quebrada Chogñacota.
5	P-5	359579	8421446	4203	X	-	X	Quebrada Chogñacota, aproximadamente 350 m antes de la confluencia con el río Antauta
6	SR-14	359400	8422004	4230	X	-	X	Quebrada Chuquisani, aproximadamente 150 m antes de la confluencia con la quebrada Chogñacota
7	SR-37	358966	8422506	4260	X	-	X	Quebrada Chogñacota, aproximadamente a 2,5 km aguas abajo del punto de descarga P-4
8	AS-04	358802	8422626	4285	X	-		Canal de derivación de agua de no contacto, aportante a la quebrada Chogñacota (margen izquierdo)
9	AS-09	357859	8422604	4346	X	-	X	Quebrada Chogñacota, aproximadamente 100 m aguas arriba de la confluencia con el canal (punto AS-04)
10	PCA-09	357611	8423503	4408	X	-	-	Quebrada Chogñacota aguas abajo de la confluencia de las aguas de no contacto de los canales de coronación del depósito de relaves B3 (margen izquierda y derecha)
11	P-4	357601	8423549	4404	-	X	-	Agua clarificada del depósito de relaves B3, ubicado en la quebrada Chogñacota aguas abajo del depósito de relaves
12	R-2	357200	8421958	4325	-	X	-	Aguas residuales domésticas del campamento Cumani de la Unidad Minera Nueva Acumulación Quenamari-San Rafael.

(-) Matriz no evaluada

5.5.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros en los cuales se evaluaron los niveles de toxicidad se detallan en la Tabla 5.21, además de los métodos de ensayo utilizados.

Tabla 5.21. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para la evaluación toxicológica

N.º	Parámetros	Cantidad	Métodos de ensayo	Observaciones
1	Prueba de toxicidad aguda con dáfnidos	10	Método USEPA - EPA-821-R-02-012: Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms.	Muestra de agua superficial
2	Prueba de toxicidad aguda con dáfnidos	2		Muestra de efluente
3	Prueba de toxicidad aguda con dáfnidos	8		Muestra de sedimento



N.º	Parámetros	Cantidad	Métodos de ensayo	Observaciones
			Método USEPA - OCSPP 850.1010: Aquatic Invertebrate Acute Toxicity Test, Freshwater Daphnids. Steven M. Bay, Darrin J. Greenstein, J. Ananda Ranasinghe, Dario W. Diehl, A. Elizabeth Fetscher (2014). Sediment Quality Assessment Technical Support Manual. Southern California Coastal Water Research Project. Technical Report 777.	

Fuente: Reporte de resultados N.º RRE-025-2020-STEC (Anexo 3) y Reporte de campo N.º RC-027-2020-STEC (Anexo 2)

5.5.4. Procesamiento y análisis de datos

Los resultados de mortandad (%) del organismo expuesto a las matrices problema (agua superficial y sedimentos), en las pruebas ecotoxicológicas, sirvieron para determinar los niveles de toxicidad. Estos niveles fueron obtenidos mediante una secuencia estadística que emplea las diferencias significativas mínimas porcentuales de la matriz al 100 % respecto a las respuestas del control (MDS % control). Mientras que, la determinación de la concentración efectiva media porcentual CE50%, estableció el porcentaje de dilución (Factor de dilución) que al compararse con los valores referenciales de Brasil (FATMA 2002) se estableció si superan o no los límites máximos permisibles en efluentes de distinto origen.

6. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de acuerdo a cada objetivo específico establecido presentado en la sección 3.2.

Se presentan los resultados y su comparación con la normativa establecida en los instrumentos de gestión ambiental del administrado y con la normativa vigente; además, con normativa internacional de forma referencial, según se precisó en la sección de metodología para cada componente evaluado. Así también, se presentan los resultados de caracterización geológica, roca, componentes mineros y efluentes.

Finalmente se presenta los resultados de los ensayos de toxicidad realizados en muestras de agua superficial y sedimentos.

6.1. Objetivo específico 1: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota

6.1.1. Caracterización geológica

El área de estudio geológicamente presenta litologías cuyas edades comprenden desde el precámbrico hasta el Cuaternario reciente, las cuales están conformadas por rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y depósitos Cuaternarios.

6.1.1.1. Caracterización geológica regional

La distribución a nivel regional de la geología de la zona de estudio está conformada principalmente por secuencias sedimentarias marinas del Paleozoico Inferior, como parte del basamento rocoso. Estas secuencias comprenden a rocas lutitas (pizarras de bajo



metamorfismo) de la Formación San José, de edad Ordoviciano Medio; lutitas, areniscas y cuarcitas de la Formación Sandia, de edad Ordoviciano Superior; y lutitas intercaladas con cuarcitas del Grupo Ananea, del Devónico-Silúrico, que han sufrido los efectos de la tectónica comprensiva herciniana temprana. Sobreyaciendo se encuentran rocas del Paleozoico Superior, las que han sufrido los efectos de la tectónica herciniana final, compuesta por areniscas y lutitas del Grupo Ambo, de edad Missisipiana; lutitas y calizas del Grupo Tarma, de edad Pensilvaniana, y calizas del Grupo Copacabana, de edad Pérmico Inferior. El tectonismo anterior fue seguido por un levantamiento continental que dio origen a los sedimentos continentales y volcanismo del Grupo Mitu, de edad Pérmico Medio a Superior, sobre los cuales se depositaron secuencias calcáreas, arenosas y lutíticas del Cretáceo (De la Cruz, 1996)⁶.

Las rocas paleozoicas descritas conforman la Cordillera de Carabaya y fueron intruidas por rocas peraluminosas de los plutones Limacpampa, Limbani, Aricoma y Coasa, agrupados en el batolito de Coasa, de edad Triásica. Hacia el noroeste se encuentra un Plutón de sienita nefelínica peraluminosas y volcánicos per alcalinos, ambos del Jurásico; así mismo, el complejo San Gabán (Kontak, 1984)⁷.

En la depresión de Crucero y en las estribaciones de la Cordillera o pre cordillera de Carabaya existen rocas ígneas extrusivas e hipabisales del terciario. Las rocas extrusivas comprenden lavas y piroclásticos, basaltos, shoshonitas, riodacitas y riolitas del tipo S; además, intrusivos hipabisales peraluminosos emplazados entre los 22Ma y 26Ma, del Oligoceno Superior- Mioceno Inferior. Otro tipo de rocas comprende piroclásticos e hipabisales riolíticos fuertemente peraluminosos con biotita, sillimanita, muscovita, andalucita, turmalina, que fueron emplazados entre 6.5Ma y 17Ma del Mioceno Inferior a Superior (Sandeman, 1995)⁸.

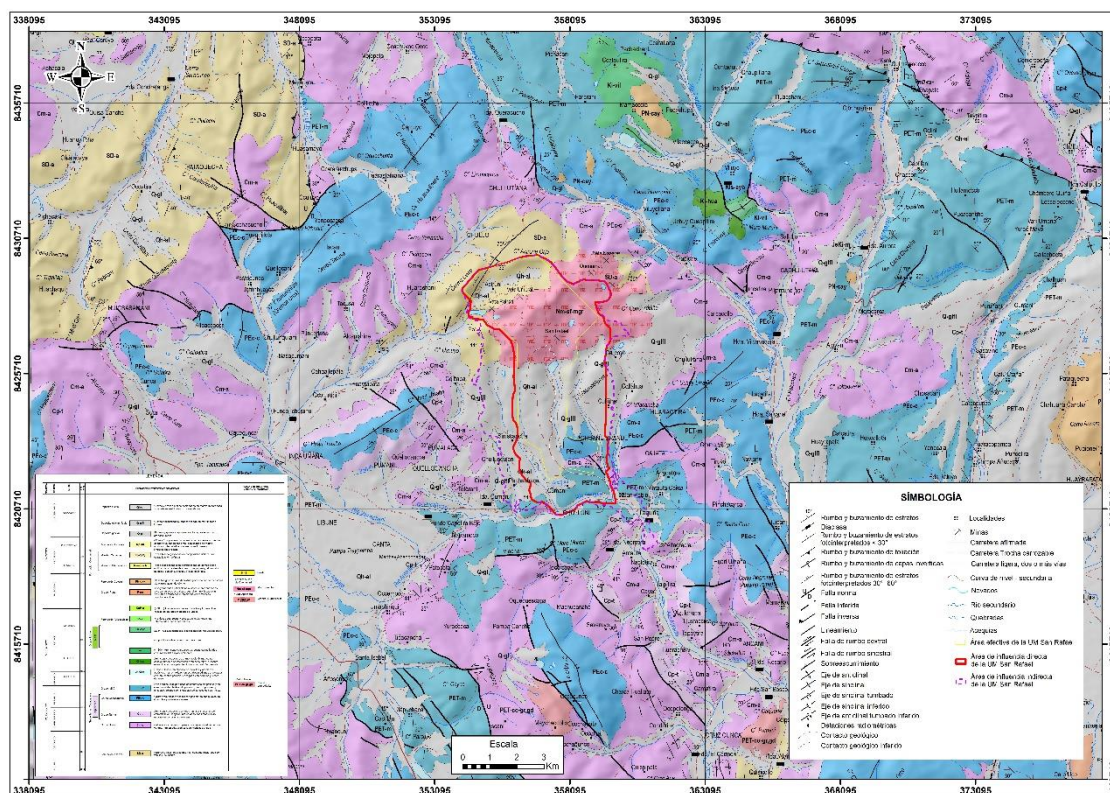
Los intrusivos triásicos y terciarios forman parte del dominio magmático del arco interior de la Cordillera oriental, la que ha tenido una evolución diferente al dominio magmático del arco principal de la Cordillera occidental (Clark, 1990)⁹. En la Figura 6.1 y Anexo 1.4 se observa el mapa regional de la zona de estudio y la disposición litoestratigráfica y estructural de las unidades geológicas.

⁶ INGEMMET. (1996), Geología del Cuadrángulo de Macusani

⁷ Kontak, D.J. (1984), *The Magmatic and Metallogenetic evolution of a craton orene interfaces: the Cordillera of Carabaya*, Perú), Ph.D. Thesis Queen's University, Canada, 714 P.

⁸ Sandeman, H.A.; Clark, A.H.; Farrar, E. (1995). *An integrated tectonomagmatic model for the evolution of the southern Peruvian Andes (13-20°S) since 55 Ma*. International Geology Review 37: 1039-1073.

⁹ Clark A., Farrar E., Kontak D., Langridge R. (1990) *Geologic and Geochronologic Constrains on the Metallogenic Evolution of the Andes of Southeastern Perú*. Economic Geology Vol. 85, pp. 1520-1583.

**Figura 6.1.** Mapa de geología regional de la UM Quenamari.

Fuente: Cuadrángulo de Macusani (29-v) INGEMMET (1996) mapa modificado 2017.

6.1.1.2. Caracterización de geología local

La geología del sector relacionado a la UM Quenamari- está constituido principalmente por rocas metamórficas de origen sedimentario y por rocas sedimentarias propiamente dichas que van en edades desde el Ordoviciano, Permiano del Paleozoico hasta el Holoceno con los depósitos Cuaternarios; estas rocas presentan un fallamiento preferencial de rumbo NW-SE, como parte de la tectónica Andina; conformado por fallas normales longitudinales las que fueron posteriormente desplazadas por fallas transversales de rumbo NE-SW y E-W. Siendo probablemente, estas fallas longitudinales, las que permitieron el ingreso de los intrusivos Cenozoicos de composición alcalina y producto de ello, el emplazamiento de las principales vetas siguiendo el mismo tren andino.

a) Caracterización Geohistórica

Durante el Ordovícico Inferior y hasta fines de Devónico se produjo una transgresión marina, donde se depositaron los sedimentos que hoy conforman las Formaciones Sandia y Ananea. Posteriormente finalizando el Devónico y a inicios del Carbonífero, producto de movimientos tectónicos compresivos se formaron plegamientos en los sedimentos existentes; produciéndose luego una erosión y posterior depositación del Grupo Ambo.

A finales del Carbonífero se produjo otra transgresión marina que depositó los sedimentos del Grupo Tarma, continuando hasta el Pérmico Inferior, donde se depositaron sedimentos calcáreos del Grupo Copacabana. Posteriormente durante el Pérmico Medio se produjo una tectónica compresiva y luego distensiva, originando una regresión y depositación de secuencias clásticas acompañado de un vulcanismo peralcalino, los que conforman el Grupo Mitu.

Posterior, continúan movimientos tectónicos distensivos que afectan a las secuencias paleozoicas generando reactivación de fallas preexistentes.

Hasta finales del Cretáceo y el Paleoceno tardío donde se produce una tectónica compresiva, produciendo fallamientos con dirección NW-SE y plegamientos; conocida como Tectónica Andina.

A inicios del Mioceno, se produjeron movimientos epirógenicos con levantamiento de bloques y reactivación de grandes fallas, produciéndose también magmatismo calcoalcalino. Es posiblemente en esta etapa donde se produce la inyección hidrotermal y formación de las vetas mineralizadas de San Rafael.

Posterior a ello y sobreyaciendo a todos los eventos, se producen efectos de glaciación y desglaciación conformando las secuencias cuaternarias que cubren el área, INGEMMET. (1996).

b) Estratigráfica

La estratigráfica del área de estudio comprende rocas metamórficas como basamento y sedimentarias, cortadas por intrusivos; las que finalmente son cubiertas por partes por depósitos cuaternarios producto de la erosión, transporte y sedimentación como son los depósitos fluvioglaciares, aluviales, coluviales y fluviales. Sus edades van desde el Paleozoico Inferior hasta el Cuaternario reciente, la representación de estas secuencias se observa en la columna estratigráfica (Figura 6.2).

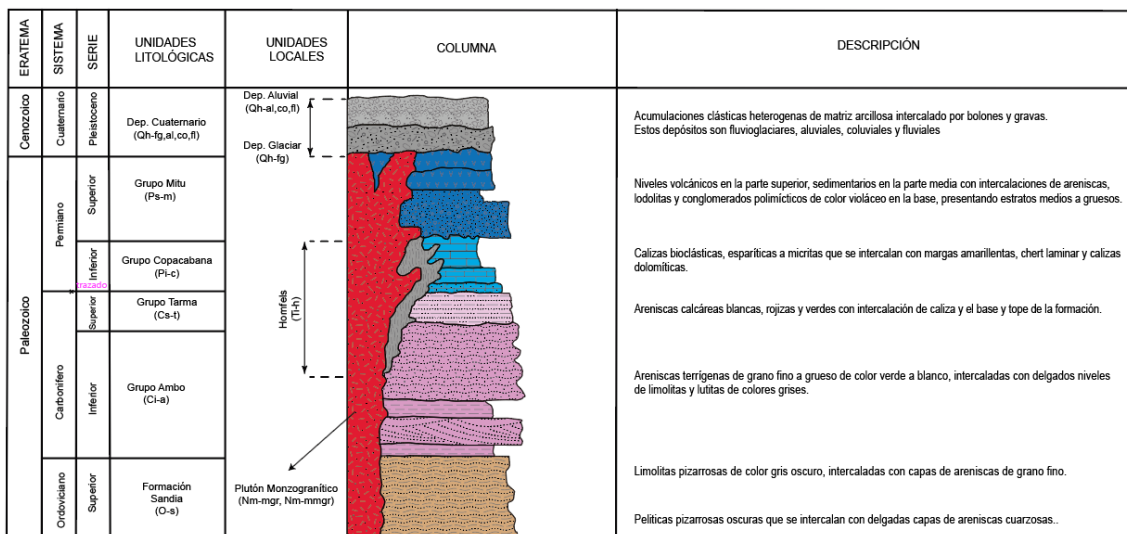


Figura 6.2. Columna estratigráfica de la UM Quenamari.

Fuente: Elaboración propia, tomando como referencia el Cuadrángulo de Macusani (29-v) INGEMMET (1996) mapa modificado 2017, y mapa de AMEC (2013) y Golder Associates (2012).

Formación Sandia (O-s)

De edad Ordoviciano del Paleozoico. Aflora principalmente en el paso a Umbral, y en los alrededores del campamento San Rafael, al este de la laguna Chogñacota.

Esta formación está constituida por pizarras y filitas del Ordoviciano Superior este tiempo geológico fue datado por muestras fosilíferas encontrado en rocas pizarrosas filíticas identificado como Michelinoceros Nautilios por Palma (1981), lo que permitió definir la edad de estas rocas en la zona mineralizada como pertenecientes a la formación Sandia. Las

filitas son las rocas predominantes, son de color gris oscuro con Muscovita en los planos de foliación.

Estas rocas pizarrosas en contacto con el intrusivo, han sido metamorfoseadas a hornfels, que son masivos y de color gris oscuro-marrón.



Figura 6.3. Formación Sandia, **A:** afloramientos de pizarras y areniscas bituminosas foliadas, **B:** pizarra- filita con brillo metálico de color oscuro, **C:** estratificación de pizarras intercaladas con areniscas de grano fino

Grupo Ambo (Ci-a)

De edad Carbonífero Inferior del Paleozoico. Esta unidad aflora en el curso inferior de las quebradas Chogñacota y Chuquisani donde se encuentra en contacto fallado con el Grupo Copacabana. Pequeños afloramientos se registran también en el curso inferior de la quebrada Caquene, cerca de la confluencia con el río Antauta.

Litológicamente, presenta en la base, una intercalación monótona de limoarcillas, en estratos de hasta 1 m de espesor, con areniscas gris blanquecinas a gris y beige, de grano fino, cuarzosas, con laminación pronunciada, en capas de 10 a 30 cm.

La secuencia superior presenta areniscas cuarzosas de grano medio a fino, gris blanquecino a beige, a brunáceo por el contenido ferruginoso; con niveles de limoarcillitas laminares.

En la Figura 6.4 se observa la estratificación de areniscas en horizontes tabulares, estas rocas se encuentran ubicadas a la margen izquierda de la quebrada Chocñacota. Las rocas de este afloramiento presentan carbonatos en su matriz y estaría relacionado al cambio de secuencias estratigráficas del Grupo Ambo hacia Grupo Tarma.



Figura 6.4. Grupo Ambo, **A:** afloramientos de areniscas bituminosas calcáreas, **B:** arenisca bituminosa de color oscuro de grano fino, **C:** areniscas terrígenas de grano fino a grueso de color verde a blanco, intercaladas con delgados niveles de limolitas y lutitas de colores grises.

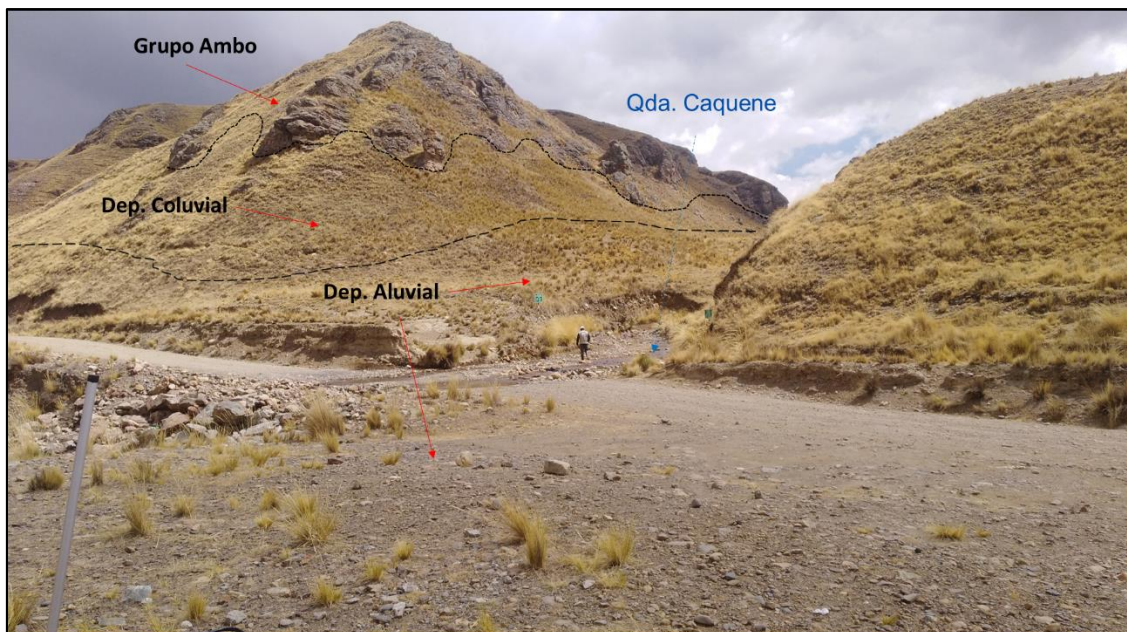


Figura 6.5. Afloramientos de areniscas del Grupo Ambo, cubierto por depósitos Cuaternarios, ubicados en ambas márgenes de la desembocadura de la quebrada Caquene y la margen izquierda del río Antauta

Grupo Tarma (Cs-t)

De edad Carbonífero Superior del Paleozoico. Está constituida por areniscas feldespáticas blanquecinas a verdosas, con intercalaciones de calizas. En la parte superior, la secuencia se compone de una intercalación de calizas en parte micriticas gris rojizas, en capas medianas, y areniscas calcáreas. Hacia la zona de Antauta, las areniscas tienen cemento calcáreo de color rojizo, a verde grisáceo, en parte laminadas, calizas de grano fino, violáceo, areniscas en capas delgadas, crema, areniscas calcáreas verdosas, AMEC (2013).

En la Figura 6.6 se observa los afloramientos de areniscas terrígenas de grano fino a grueso de color verde a blanco, intercaladas con delgados niveles de limolitas y lutitas de colores

grises del Grupo Tarma cubierto por depósitos Cuaternarios, ubicados en la margen derecha del río Antauta.

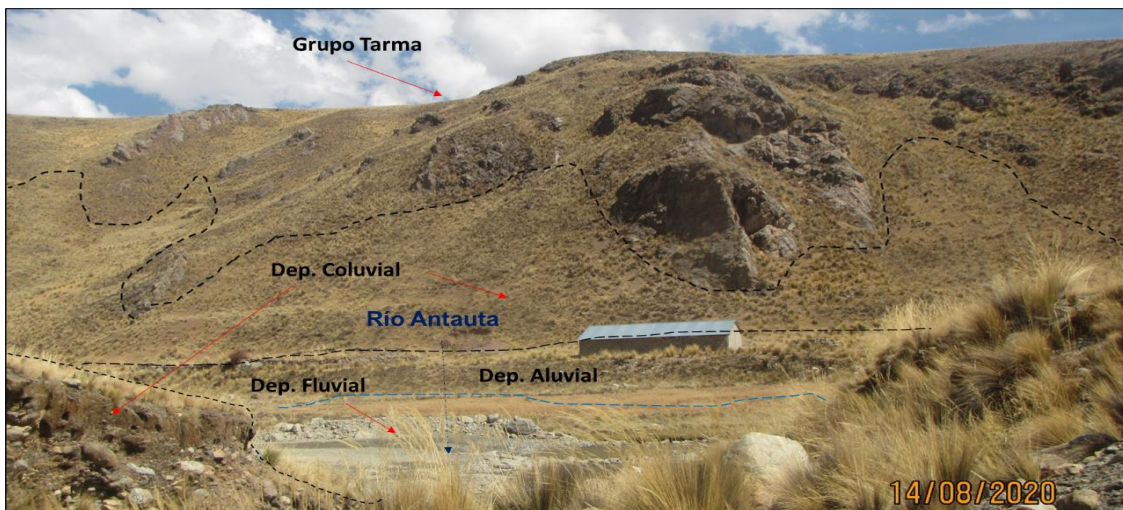


Figura 6.6. Afloramientos de las areniscas calcáreas del Grupo Tarma, cubierto por depósitos Cuaternarios (coluvial, aluvial y fluviales), y ubicados en la margen derecha del río Antauta

Grupo Copacabana (Pi-c)

De edad Permiano Inferior del Paleozoico. Litológicamente consiste de calizas micríticas en parte nodulares, con intercalaciones de calizas arenosas, dolomitas, y areniscas calcáreas, en capas gruesas, de color claro a violáceas, bien estratificadas. Esta unidad aflora en el curso medio a inferior de las quebradas Chogñacota, Chuquisani y Paccha (Figura 6.7).



Figura 6.7. Afloramientos de areniscas calcáreas con intercalaciones de calizas del Grupo Copacabana, cubierto por depósitos Cuaternarios y ubicados en la margen izquierda de quebrada Paccha

Grupo Mitu (Ps-mi)

De edad Permiano Superior del Paleozoico. Litológicamente consiste de una secuencia clástica conformado por brechas sedimentarias, con clastos de calizas micríticas, areniscas arcósicas y areniscas cuarzosas. Se intercalan con niveles de lavas andesíticas porfiríticas, color violáceo a gris. También presenta brechas con litoclastos volcánicos y lavas basálticas de textura afanítica. Su estratificación está conformada por niveles volcánicos en la parte superior, sedimentarios en la parte media con intercalaciones de areniscas, lodolitas y conglomerados polimícticos de color violáceo en la base, presentando estratos medios a gruesos.

En la Figura 6.8 se observa afloramientos de esta unidad ubicado a la margen derecha del río Antauta presentando estratos horizontales.

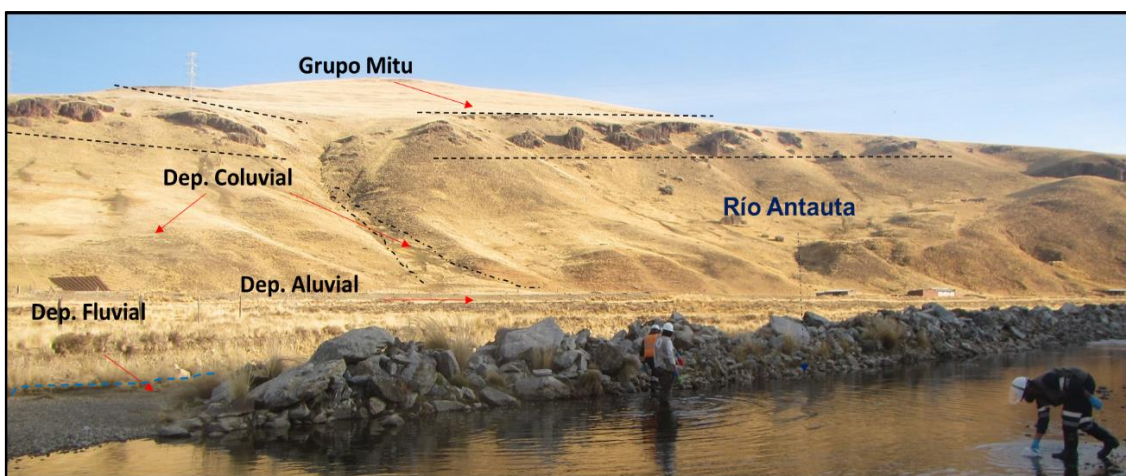


Figura 6.8. Afloramientos del Grupo Mitu, cubierto por depósitos Cuaternarios (coluvial, aluvial y fluviales) ubicados en la margen derecha del río Antauta

Depósitos Recientes

Esta unidad comprende los depósitos, morrénicos, glaciofluviales, aluviales, fluviales y antrópicos del Cuaternario.

Depósitos glaciofluviales (morrénicos) (Qh-gf)

Conformados por gravas, subredondeadas, matriz arenosa, con lentes areno-limosas de grano fino a medio, que se presentan en los flancos del curso medio a superior de las quebradas Chogñocota, Vilacota-Caquene y Chuquisani.

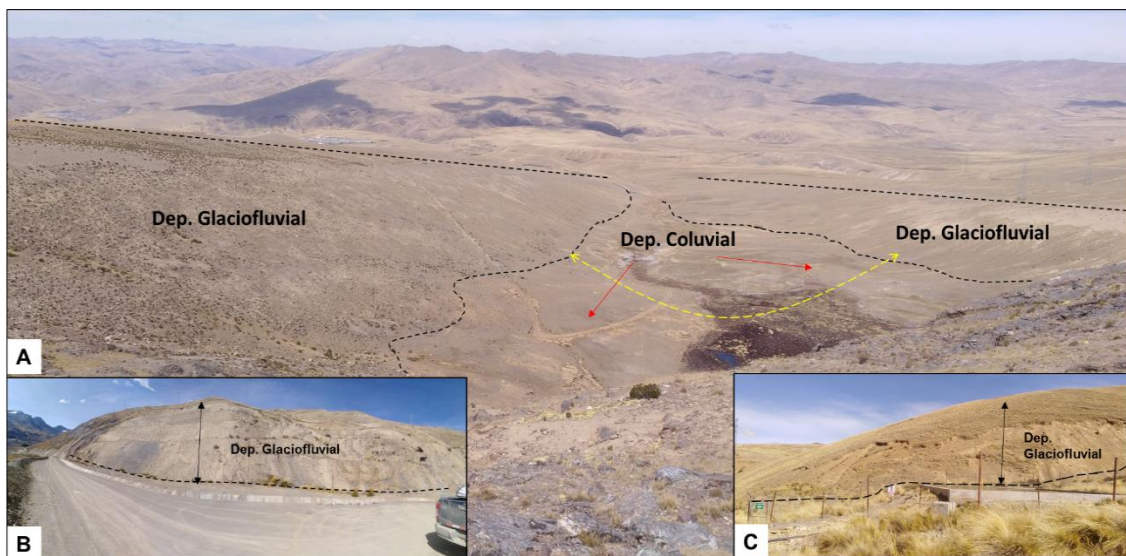


Figura 6.9. A: depósitos glaciofluviales ubicado en los flancos del valle glaciar en la naciente de la quebrada Larancota, B: material dejado por el glaciar ubicado al este del Relave B2, C: depósitos ubicados en la margen derecha de la quebrada Larancota

Depósitos aluviales (Qh-fl)

Conformado por bolonería, gravas polimícticas con matriz arenosa y limos transportando flujo de detríticos y sedimentado en las partes bajas de las quebradas y las márgenes del río Antauta. Se presentan a lo largo de los flancos y fondo de las quebradas Vilacota-Caquene, Chogñacota y Chuquisani y río Antauta.

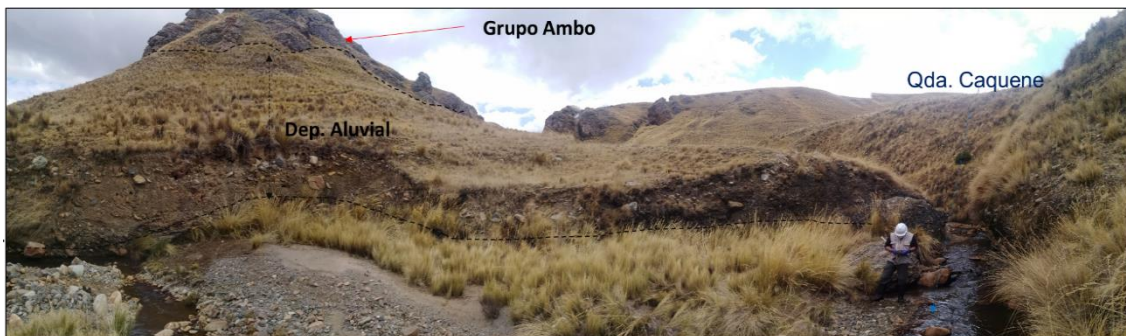


Figura 6.10. Depósitos aluviales ubicados en la margen derecha de la quebrada Caquene

Depósitos fluviales (Qh-fl)

Se caracterizan porque su dinámica de acumulación se debe principalmente a la actividad fluvial. Se distribuyen ampliamente en el cauce y flancos del río Antauta. En general se distinguen por relieves subhorizontales, conformadas por gravas gruesas y finas de composición variada, en matriz de arenas gruesas y lentes limoarcillosos.

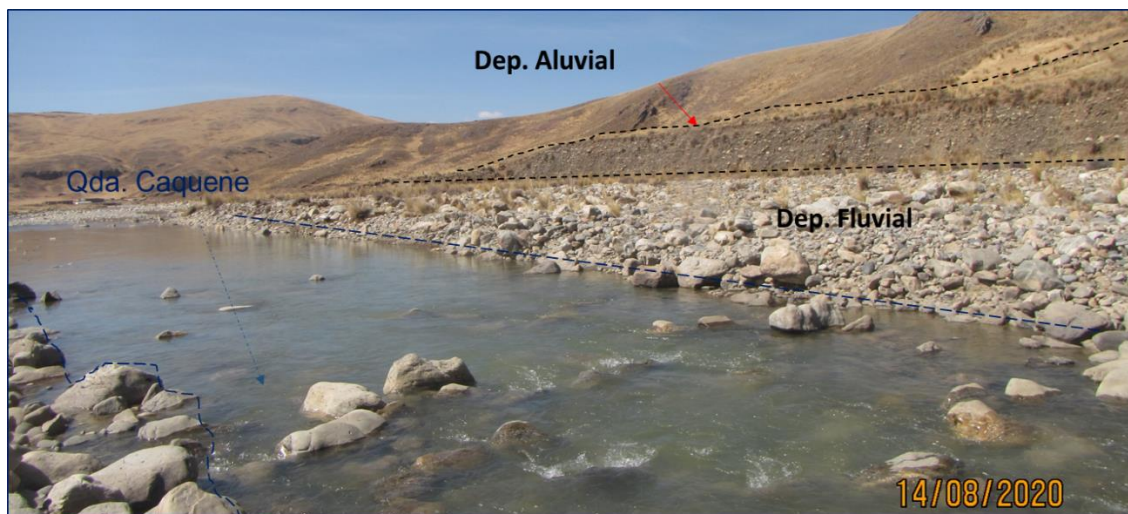


Figura 6.11. Depósitos fluviales ubicados en la margen derecha del río Antauta

Depósitos de coluviales (Qh-co)

Conformados por gravas angulares, matriz arenosa y limosa, que se presentan al borde de las rocas y depósitos, producto de la meteorización de estos materiales.

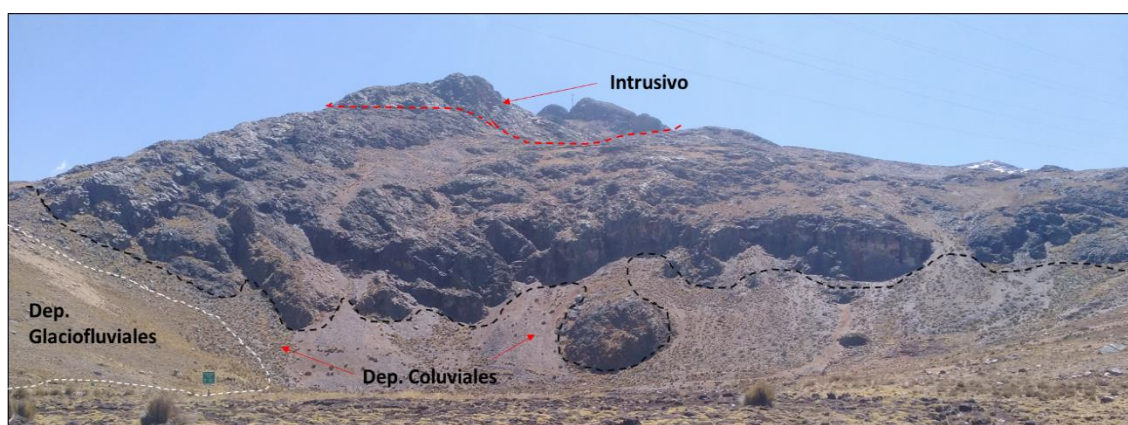


Figura 6.12. Depósitos coluviales ubicado en la naciente de la quebrada Larancota, producto de la meteorización y erosión de la roca metamórfica e intrusivo

Asimismo, existen depósitos antrópicos, conformado por los materiales de relaves y de relleno, que constituyen los depósitos de relaves Bofedal I, II y III; que se emplazan en la quebrada Chogñacota, aguas abajo de la laguna del mismo nombre.

Monzogranito peraluminoso

Roca intrusiva félsica con fenocristales de feldespatos alcalinos euhedrales de hasta 12 cm de longitud y con maclas de Carlsbad, biotita, cordierita y micro fenocristales de sillimanita. Estas rocas forman parte de los stocks de San Rafael y de Quenamari.

c) Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas están dadas por dos stocks que se encuentran descubiertos por la erosión, estos se encuentran ubicados uno en el nevado San Bartolomé de la mina San Rafael y el otro en el nevado San Francisco de la mina Quenamari que tienden a unirse en

profundidad, en un solo cuerpo de 5 km de largo por 2 km de ancho. Constituye el núcleo del Nevado de San Francisco de Quenamari, de los cuales salen varios diques.

Litológicamente consiste de granodioritas con facie monzogranito porfírico y micromonzogranito a los contornos, que cortan directamente a las pizarras de la formación Ananéa y a las areniscas del Grupo Ambo. Este plutón es asociado a la mineralización económica en el área de estudio.

El intrusivo es un monzogranito peraluminoso con fenocristales de feldespatos alcalinos euhedrales de hasta 12 cm de longitud y con maclas de Carlsbad, biotita, cordierita y micro fenocristales de sillimanita. La edad del intrusivo de San Rafael es de 25 ± 0.3 Ma por el método K-Ar, mientras que el de Quenamari es de 27.1 ± 0.10 Ma, ambos del Oligoceno Superior a Mioceno Inferior (Arenas, 1999; Palma, 1981¹⁰; Kontak 1984¹¹; Clark, 1983¹²) como se observa en la Figura 6.13.



Figura 6.13. A: Afloramiento de intrusivo monzogranito, B: monzogranito con fenocristales de feldespatos alcalinos euhedrales C: intrusivo fracturado y meteorizado

d) Geología estructural

Estructuralmente, el área de estudio está comprendido por rocas paleozóicas, que corresponde a la zona de mayor deformación, con un sistema de fallamiento principal de rumbo NW-SE, conformado por fallas normales longitudinales de profundidad que afectan a la Formación Ananea-Sandia, que son desplazadas por fallas transversales de rumbo NE-SW y E-W.

¹⁰ Palma, V. (1981). *The San Rafael Tin-Copper Lode System*, Puno, SE Perú. Ottawa: Queen's University Canada.

¹¹ Kontak (1984) *The Magmatic and Metallogenic evolution of a cratón-orogene interface: the cordillera Carabaya, central Andes*, SE Peru.

¹² Clark, H. (1983). Ocurrencia y edad de la mineralización de estaño en la Cordillera Sur del Perú. Boletín de la Society of Economic Geologists.



La reactivación de las fallas longitudinales en profundidad ha sido, al parecer, el control estructural para el ascenso de los cuerpos intrusivos Cenozoicos, entre ellos el plutón de San Francisco de Quenamari.

Los pliegues corresponden a anticlinales y sinclinales tumbados hacia el W o SW y NE, sus flancos son bastante apretados y los rumbos de sus ejes NW-SE y NE-SO, indicando una superposición de fases tectónicas.

De acuerdo al mapa geológico del cuadrángulo de Macusani (Ingemmet, 1996), los alineamientos estructurales más cercanos están a 3 km aproximadamente, siguiendo una dirección NO-SE y WSW-ENE. Las primeras están asociadas probablemente al sistema de fallas inversas y normales del sistema andino, de rumbo NW-SE de mayor extensión, como se describe en Arenas (ProExplo 1999)¹³. Otras estructuras representativas son pliegues inclinados y anticlinales con eje de rumbo NE-SW que tiene como núcleo al Grupo Copacabana.

Las vetas están emplazadas en fallas pre mineral del sistema andino NW-SE. Estas fallas del tipo normal con un fuerte componente horizontal al norte y son desplazadas por fallas post mineral de rumbo NE-SW.

Se distinguen 3 sistemas de vetas. El más conocido tiene rumbo NW-SE y buzamiento al NE, como las vetas San Rafael y Quenamari y el menos conocido con rumbo NW-SE y buzamiento al SW, como las vetas Diagonales y Herrería. Un tercer sistema con rumbo E-W y buzamiento al norte, como Veta Rosario de Antauta y Veta Carmen, como se observa en la Figura 6.14.

¹³ Arenas Figueroa, M. (1999) - Exploración y geología de la mina San Rafael, Puno. Trabajo presentado al Primer Congreso de Prospectores y Exploradores, Lima 1999. Minería, n. 260, pp. 10-31, mayo 1999.

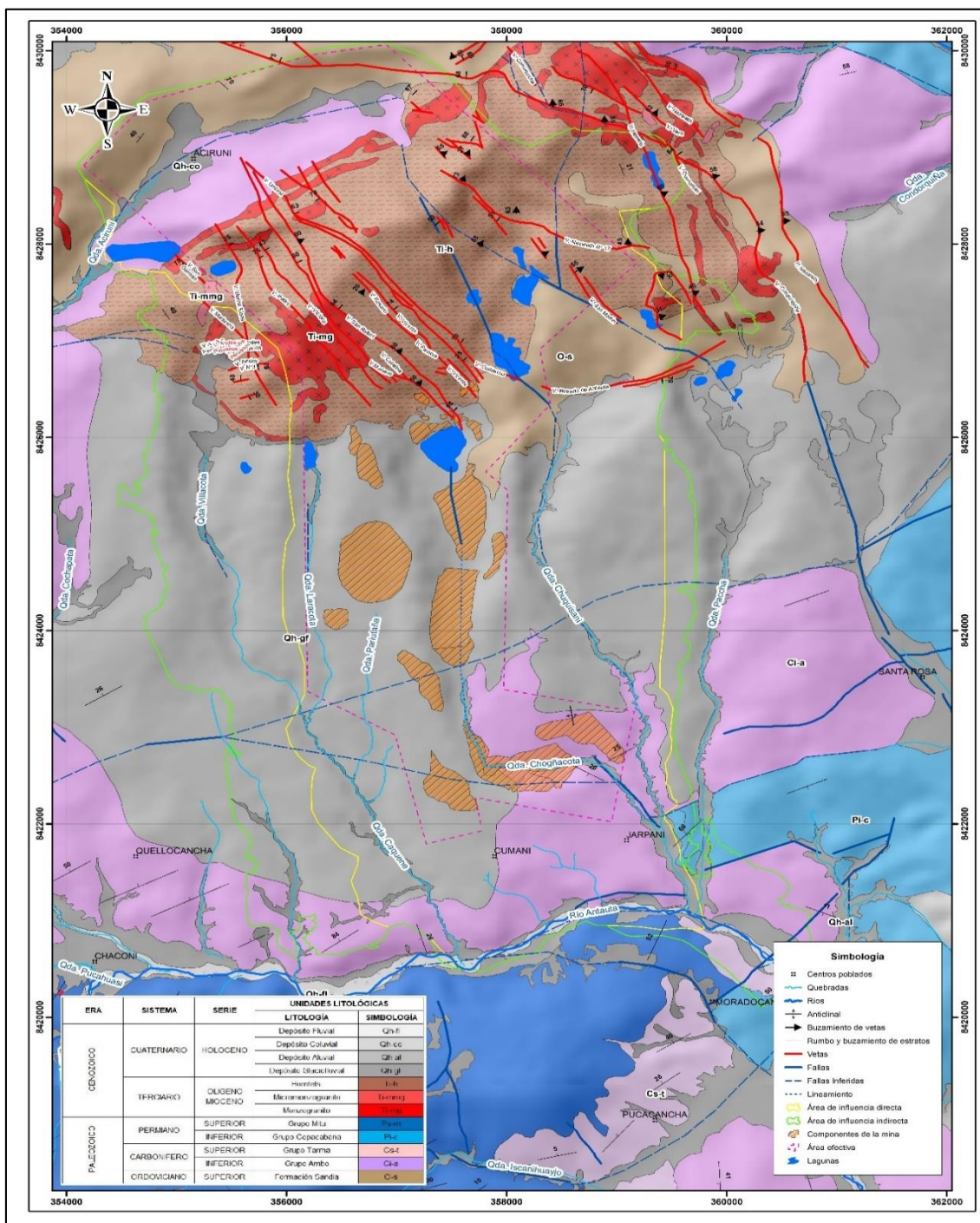


Figura 6.14. Mapa estructural de vetas y fallas locales de la UM Quenamari

Fuente: Referencia el Cuadrángulo de Macusani (29-v) INGEMMET (1996) mapa modificado 2017, mapa de AMEC (2013) y Golder Associates (2012).

En la Figura 6.15, se muestra la sección geológica A-A' que corta desde Grupo Ambo hasta el intrusivo donde se observa la litoestratigrafía y relaciones estructurales en profundidad de las vetas y fallas (Anexo 1.4).

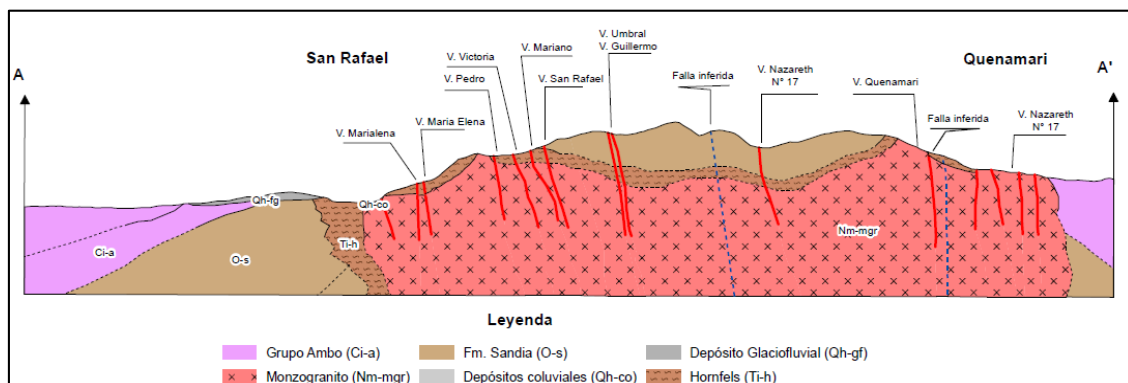


Figura 6.15. Sección geológica A-A' donde se observa el intrusivo, las fallas y vetas

Fuente: Referencia el Cuadrángulo de Macusani (29-v) INGEMMET (1996) mapa modificado 2017, mapa de AMEC (2013) y Golder Associates (2012).

La sección geológica B-B' corta de río Antauta hasta el intrusivo donde se observa la relación estratigráfica de las unidades geológicas en relación de los componentes mineros (Anexo 1.4).

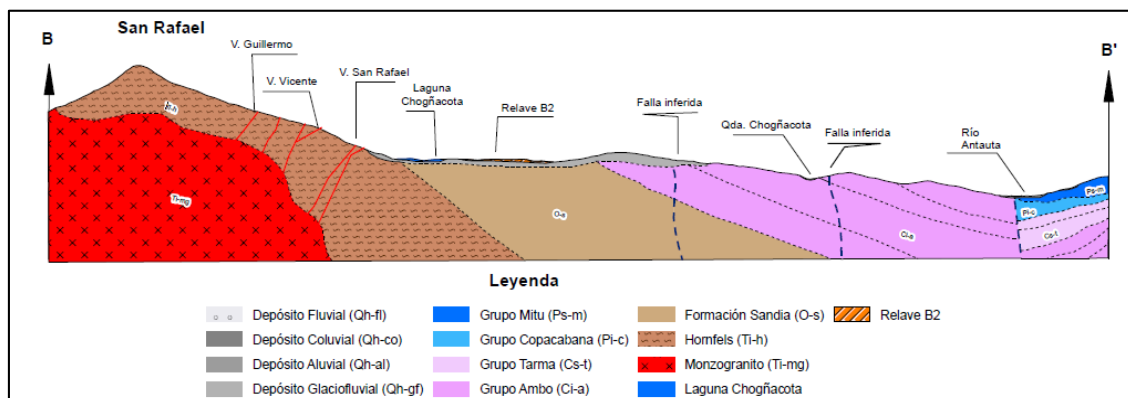


Figura 6.16. Sección geológica B-B' donde se observa las unidades geológicas, las fallas y vetas emplazadas en la UM Quenamari

Fuente: Referencia el Cuadrángulo de Macusani (29-v) INGEMMET (1996) mapa modificado 2017, mapa de AMEC (2013) y Golder Associates (2012).

e) Tipo de yacimiento

La mina San Rafael, pertenece al distrito minero de San Rafael, cuya mineralización es de tipo hidrotermal en vetas de relleno y de reemplazamiento de fracturas y cuerpos de mineral en el stock monzogranítico y en los metasedimentarios. La zona mineralizada de este distrito minero abarca una extensión.

Los principales minerales hipogénicos de mena, por el contenido de estaño, son: casiterita y estannita, los que contienen estaño. Otros minerales, asociados a eventos polimetálicos, son: valmorfit, esfalerita, galena, enargita, estibina, scheelita, wolframita. Los minerales de ganga son: cuarzo, clorita, sílice, pirita, arsenopirita, turmalina, calcita, fluorita, marcasita, pirrotita, rodocrosita, siderita y adularia.

Minerales secundarios por oxidación o por enriquecimientos supergénicos, con contenido de Cobre, son: bornita, calcosina, covelita, cuprita, malaquita, cobre nativo, acantita en una ganga con goethita, limonita, pirolusita, psilomelano. Estos fueron abundantes en la parte superior de las vetas San Rafael y Quenamari.

Estudios realizados distinguieron 4 etapas de mineralización. La secuencia de mineralización de la veta San Rafael es compleja, porque existen varias etapas en las que el cuarzo, clorita, casiterita y calcopirita fueron repetidamente precipitados; siendo la etapa más importante de la mineralización de San Rafael, la segunda etapa, donde se formó la casiterita (Minsur, 2016).

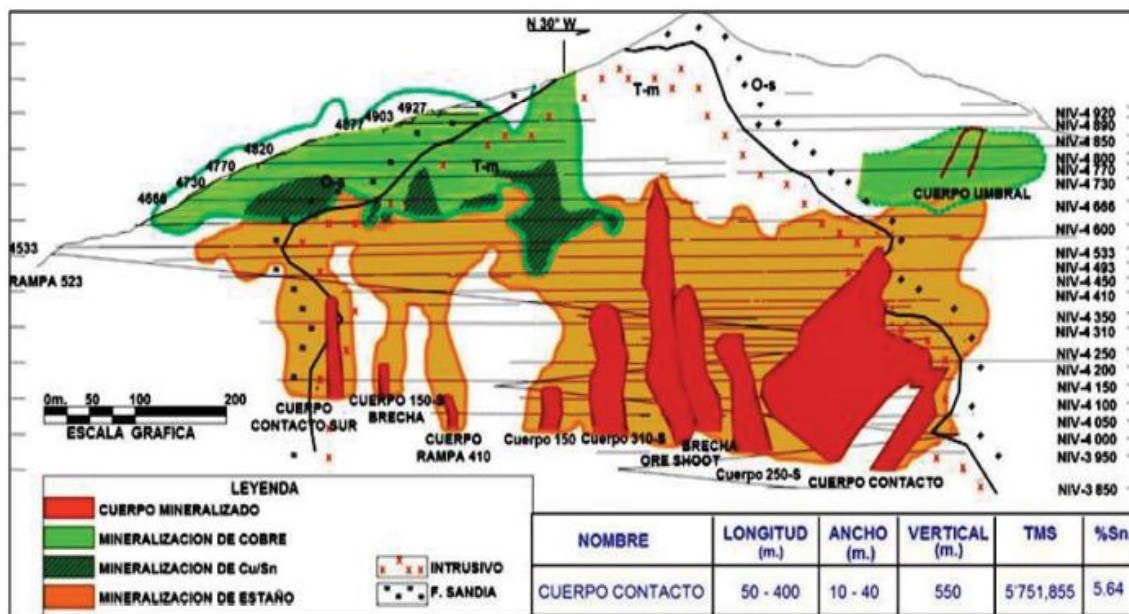


Figura 6.17. Sección de la Veta San Rafael y su zonamiento

Fuente: MINSUR, 2016

6.1.1.3. Caracterización geoquímica de la roca y depósitos cuaternarios

Se presenta los resultados del análisis geoquímico de las muestras de roca y suelo correspondientes a la Unidad Minera, en la tabla siguiente se observa los parámetros evaluados correspondientes a roca y suelo (Tabla 6.1 y 6.2).

Tabla 6.1. Parámetros evaluados de puntos de muestreo de roca

Puntos	Código de muestra	Unidad geológica/ componente minero	Parámetros evaluados					Puntos totales
			Análisis mineralógico (microscopía óptica - petromineralografía)	ABA (Prueba de balance ácido-base)	Shake Flask (metales)	Shake Flask (aniones)	Metales totales	
1	GEO-02	Fm. Sandia	1	1	1	1	1	5
2	GEO-03	Grupo Ambo	1	1	1	1	1	5
3	GEO-04	*Contacto	1	1	1	1	1	5
4	GEO-05	Intrusivo	1	1	1	1	1	5
5	GEO-08	*Contacto	1	1	1	1	1	5

* Zona de contacto entre el intrusivo y Formación Sandia (hornfels)

Tabla 6.2. Parámetros evaluados de puntos de muestreo de suelo

Puntos	Código de muestra	Unidad geológica	Parámetros evaluados								Puntos totales
			Análisis mineralógico por DRX (énfasis en arcillas)	Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	ABA (Prueba de balance ácido-base)	Shake Flask (metales)	Shake Flask (aniones)	Análisis granulométrico	Metales totales	Análisis mineralógico por microscopía electrónica (MEB)	
1	GEO-01	Dep. glaciofluviales	-	-	1	1	1	1	1	1	6
2	GEO-06	Dep. glaciofluviales	-	-	1	1	1	1	-	-	4
3	GEO-07	Dep. glaciofluviales	-	-	1	1	1	1	-	-	4
4	GEO-09	Dep. glaciofluviales	1	1	1	1	1	1	-	-	6
5	GEO-10	Dep. coluviales	1	1	1	1	1	1	1	-	7
6	GEO-11	Dep. glaciofluviales	1	1	1	1	1	1	1	-	7
7	GEO-12	Dep. glaciofluviales	1	-	1	1	1	1	-	-	5

(-): No muestreado para el análisis


Figura 6.18. Distribución de la ubicación de las muestras de roca y depósitos cuaternarios para caracterización geoquímica

Para la caracterización geoquímica en las rocas y el suelo, se realizaron ensayos químicos que incluyó determinación de metales, procedimientos de lixiviación para determinar el potencial de lixiviación de metales, que podrían tener impacto sobre aguas subterráneas y superficiales. Además, se consideró la prueba estática de balance ácido-base (en adelante ABA) para definir la generación de acidez y la prueba de lixiviación shake flask extraction para aniones solubles a pH neutro.



Adicionalmente, se realizó análisis mineralógico (microscopia óptica, rayo x y microscopia electrónica) y Dold.

a. Prueba estática de balance ácido-base (ABA)

La valoración de acidez con el potencial neto de neutralización (PNN), que es la capacidad de un mineral o material para generar o consumir acidez, se obtiene por diferencia entre el potencial de neutralización (PN) y el potencial de acidez (PA) o acidez total ($PNN = PN - PA$), el cual es considerado como criterio 1.

En la guía para manejo de drenaje ácido de minas, del Minem, como regla general se asume las siguientes situaciones:

Si $PNN > +20 \text{ Kg CaCO}_3/\text{T}$ no producirá drenaje ácido

Si $-20 < PNN < +20$; rango de incertidumbre (recomendable ver mineralogía y otros)

Si $PNN < -20 \text{ Kg CaCO}_3/\text{T}$; posible generación de drenaje ácido.

Otros de los criterios de valoración es la razón de potencial neto (RNP) o cociente PN/PA permite determinar el potencial de generación ácida en fase sólida incorporando criterios de estabilidad química mostrados en la Tabla 6.3, y considerado como criterio 2.

Tabla 6.3. Criterio de clasificación $RNP = PN/PA$

Caracterización	Criterio de clasificación	Comentarios
Potencial generador de acidez (posible)	$PN/PA < 1$	Posible generación de acidez, salvo que los minerales sulfurosos sean no reactivos
Incertidumbre (incierto)	$1 < PN/PA < 3$	Posible generador de acidez, si el PN es insuficiente reactivo o es consumido a una velocidad mayor que la velocidad de reacción
No generador de acidez (imposible)	$PN/PA \geq 3$	No hay generación de acidez

Fuente: Price, 1997, 2009¹⁴

El potencial de acidez (PA) definido como la capacidad de un material de generar acidez depende exclusivamente de su contenido de sulfuros. De otro lado, el potencial de neutralizar acidez depende exclusivamente de su contenido de materiales consumidores de acidez tales como carbonatos, hidróxidos, etc. (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Clasificación de rocas por contenido de azufre y relación ácido/base

Tipo de roca	Clasificación	Contenido total de azufre (% S)	Ratio (PN:PA)
I	Potencial formador de acidez (posible)	$>0,25 \%$	1:1 o menos
II	Indeterminado (incierto)	$>0,25 \%$	1:1 a 3:1
III	No forma acidez (improbable)	$<0,25 \%$	3:1 o más

Fuente: Aduvire, 2006¹⁵

De acuerdo a los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para definir la generación de acidez de los afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios, según el

¹⁴ Price, W.A. 1997. *Draft Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia*.

¹⁵ Aduvire, O. 2006. *Drenaje Ácido de Mina: Generación y Tratamiento*.

primer criterio las muestras se encontraron en la zona de incertidumbre, no son generadoras de acidez (Figura 6.19).

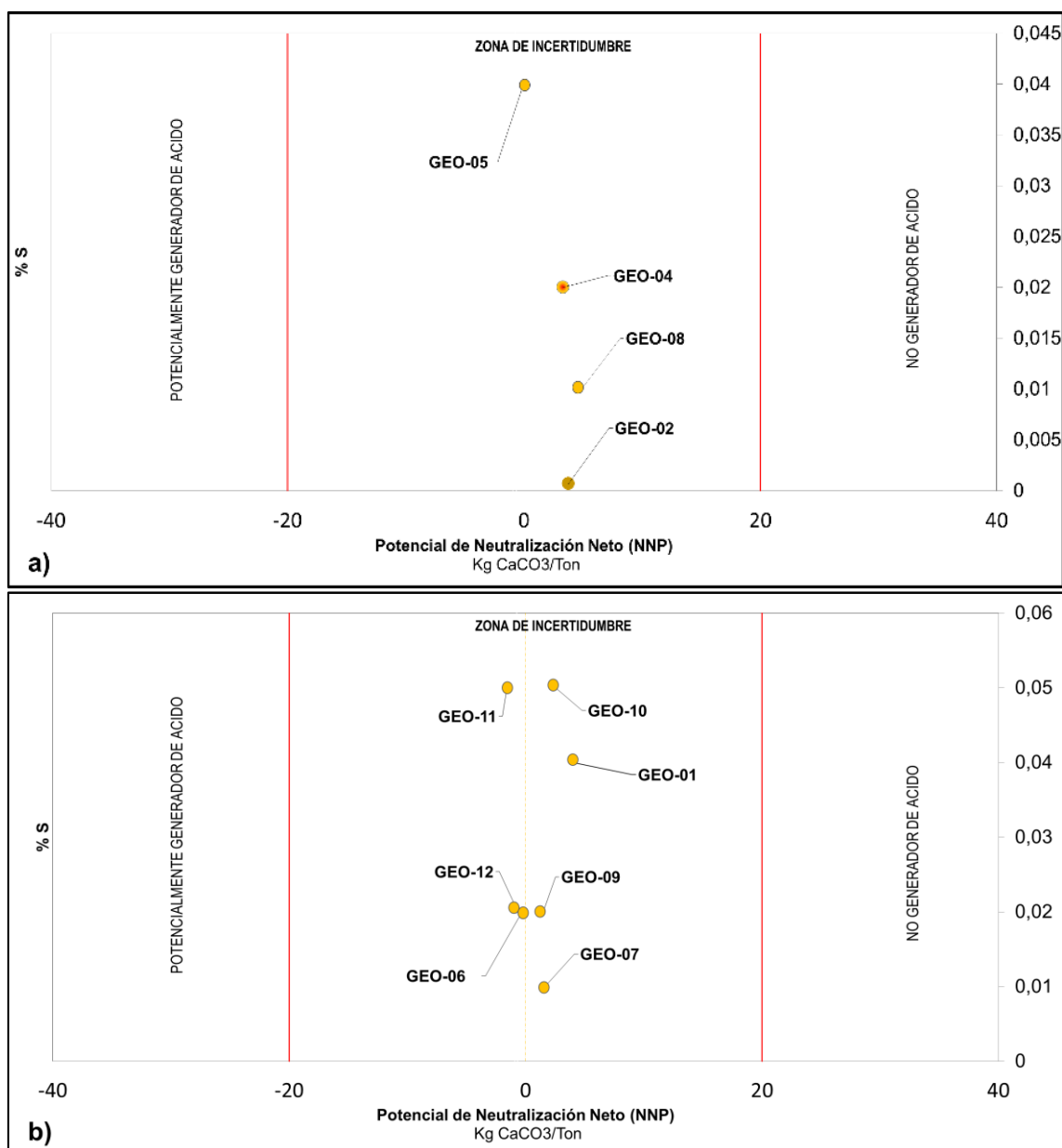


Figura 6.19. Prueba ABA (primer criterio), a) muestras de roca y b) muestras de depósitos cuaternarios

Según el segundo criterio se encuentran en la zona de incertidumbre las muestras de las rocas de GEO-02, GEO-04 y los depósitos cuaternarios GEO-06, GEO-09, GEO-10, GEO-01; el GEO-05 (roca) y GEO-11, GEO-12 (depósitos cuaternarios) son potenciales generadores de ácido, GEO-08 (roca) y GEO-07 (depósitos en cuaternarios) no son generadoras de acidez (Figura 6.20).

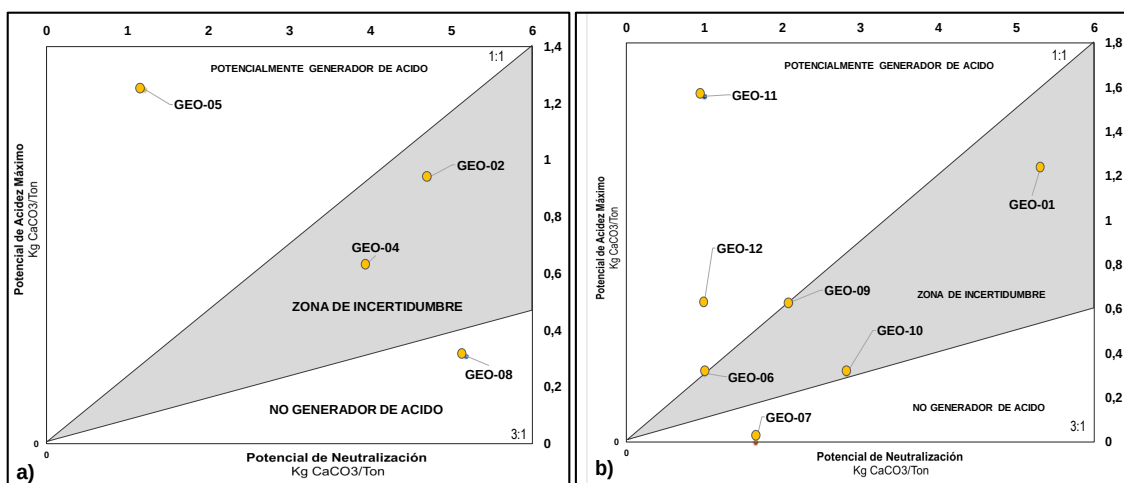


Figura 6.20. Prueba ABA (segundo criterio), a): muestras de roca, b): muestras de depósitos cuaternarios

El estudio de la generación de acidez de las rocas y suelo dispuestas en la Unidad Minera se llevó a cabo mediante la prueba ABA (Acid Base Accounting), los resultados son reportados en la Tabla 6.5. Los valores de pH de los depósitos cuaternarios mostraron características ácidas que varían entre 4,99 y 5,58 unidades; mientras que las muestras de las rocas registraron valores de pH normales entre 6,1 a 8,65 unidades.

Criterio (NPR-NNP) de análisis de las muestras de roca (GEO-02, GEO-03, GEO-04 y GEO-08) y las muestras de depósitos cuaternarios (GEO-01, GEO-06, GEO-07, GEO-09 y GEO-10) no son generadoras de acidez, solamente GEO-05, GEO-11 y GEO-12 tienen potencial de generación de acidez (Tabla 6.5)

Tabla 6.5. Resultados de la prueba ABA en rocas y depósitos cuaternarios

Muestra	S total (%)	pH pasta	PN (kg CaCO ₃ /T)	MPA (kg CaCO ₃ /T)	NPR	NNP (kg CaCO ₃ /T)	Criterio NPR-NNP
GEO-02	0,03	6,25	4,72	0,94	5,0200	3,780	No productor de ácido (NAF)
GEO-03	0,07	8,37	791,13	2,19	361,00	789,00	No productor de ácido (NAF)
GEO-04	0,02	6,133	3,94	0,63	6,2500	3,310	No productor de ácido (NAF)
GEO-05	0,04	8,65	1,21	1,25	0,9680	-0,040	Potencial producción de ácido (PAF)
GEO-08	0,01	7,83	5,18	0,31	16,7000	4,870	No productor de ácido (NAF)
GEO-01	0,04	5,46	5,32	1,25	4,260	4,070	No productor de ácido (NAF)
GEO-06	0,02	4,99	<1,00	0,31	3,230	0,690	No productor de ácido (NAF)
GEO-07	0,01	4,912	1,66	<0,30	5,530	1,360	No productor de ácido (NAF)
GEO-09	0,02	5,46	2,10	0,63	3,330	1,470	No productor de ácido (NAF)
GEO-10	0,01	5,32	2,83	0,31	9,130	2,520	No productor de ácido (NAF)
GEO-11	0,05	5,43	<1,00	1,56	0,6410	-0,560	Potencial producción de ácido (PAF)
GEO-12	0,02	5,58	1,00	0,63	1,590	0,370	Moderado productor de ácido

La Figura 6.21 se observa el pH en función de la cantidad en porcentaje de azufre, las muestras de roca presentan pH mayor de 6,25 y los depósitos cuaternarios presentan pH ácido desde 4,912 (GEO-07) hasta 5,58 (GEO-12).

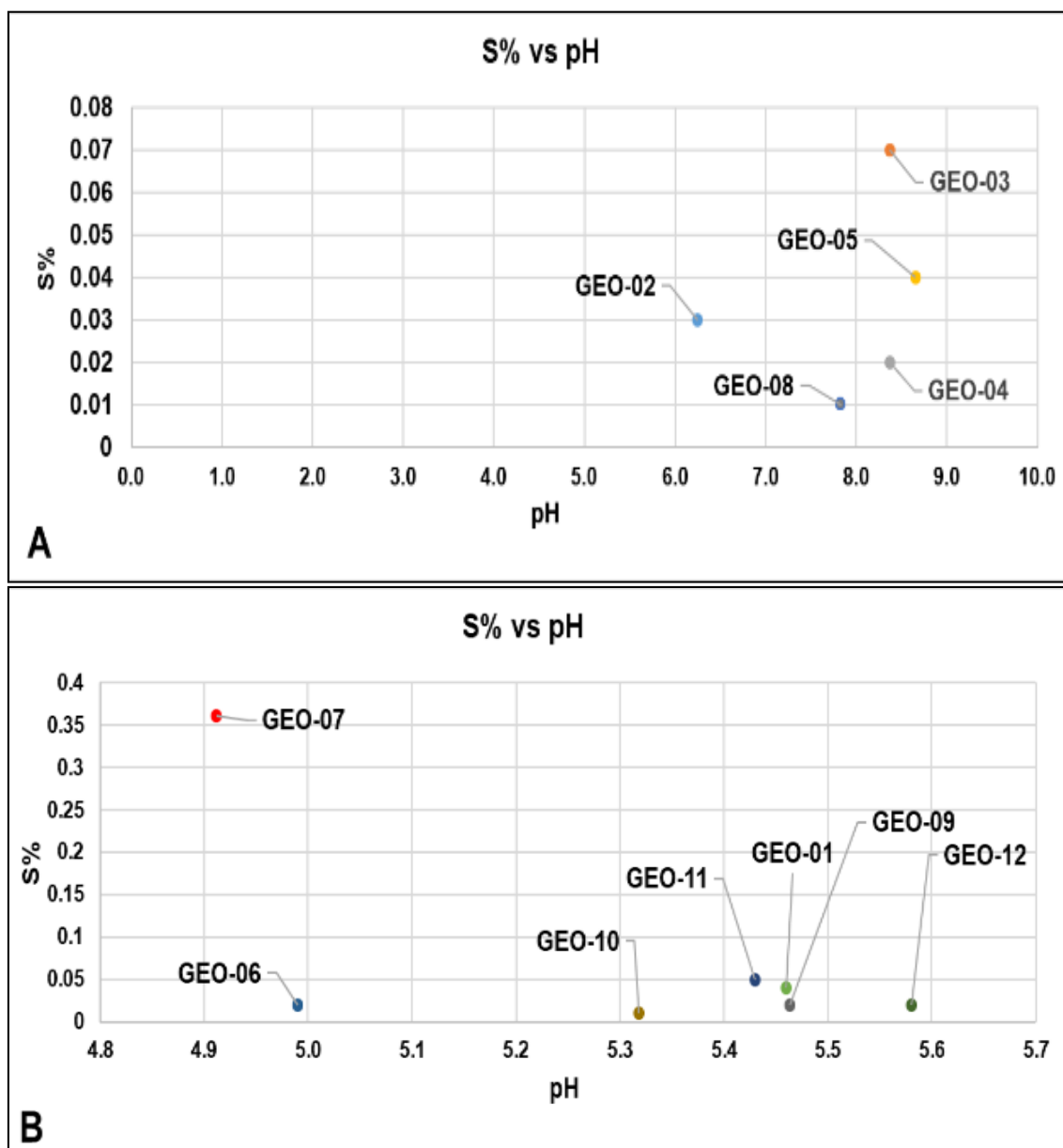


Figura 6.21. pH en función del azufre, a) en muestras de roca, b) en muestras de depósitos cuaternarios

b. Metales totales

De acuerdo a la comparación de concentraciones de metales con respecto a los valores de la corteza continental propuesto por Wedepohl (1984¹⁶ y 1995¹⁷), se precisa que la Grupo Ambo, intrusivo, Formación Sandia y hornfels presentó anomalías de Ca, Mo, Sb, As Cd, Cu, Pb y Zn (Figura 6.22 a)); mientras que, los depósitos cuaternarios (glaciofluvial y coluvial) registraron valores anómalos de Sb, As, Cd, Cu, Li, Pb y Zn (Figura 6.22 b)).

Los elementos mayores y trazas de los depósitos cuaternarios fueron asociados con los resultados de la caracterización geoquímica en el material parental de la zona de estudio,

¹⁶ Wedepohl, K.H. (1984). *The composition of the continental crust (abstract)*. Mineral. Mag. 58, suppl. 959-960.

¹⁷ Wedepohl, K.H., (1995). *The composition of the continental-crust*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 1217e1232

además fueron comparados referencialmente con los valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1984 y 1995).

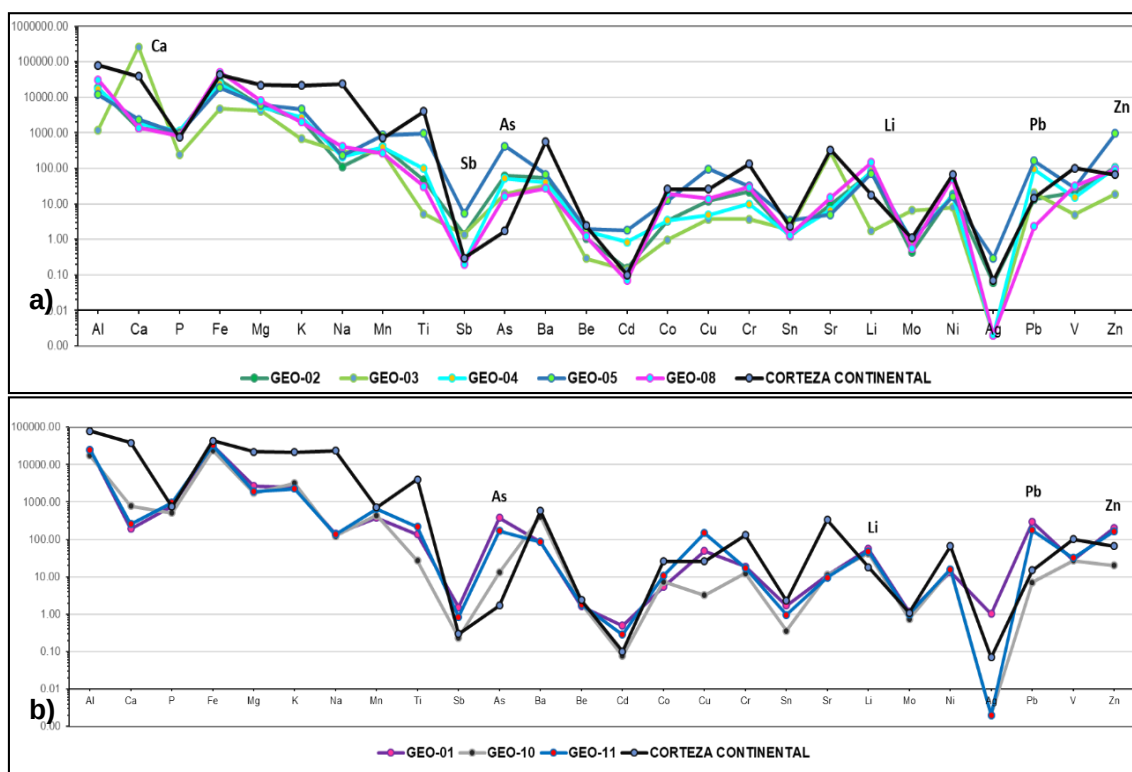


Figura 6.22. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a) roca y b) depósitos Cuaternarios con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1984 & 1995)

En la Figura 6.23 se presenta las concentraciones de metales obtenidas en 5 tipos de roca GEO-02, GEO-03, GEO-04, GEO-05 y GEO-08. La muestra GEO-03 presentó mayores concentraciones de calcio y GEO-05 presentó arsénico, antimonio, cadmio, manganeso, plomo y titanio y zinc.

En la Figura 6.24 se presenta las concentraciones de metales obtenidas en 3 tipos de depósitos GEO-01, GEO-10 y GEO-11. La muestra GEO-01 y GEO-011 presentó mayores concentraciones de arsénico, antimonio, cobre, manganeso, plomo y titanio y zinc.

Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran en bajas concentraciones y otros por debajo del límite de detección del método del laboratorio.

Por conveniencia los elementos son separados en mayores, menores y trazas. Los límites entre los grupos son arbitrarios, pero los más aceptados son:

- Elementos mayores >1,0% peso
- Elementos menores 0,1 – 1,0% peso
- Elementos trazas <0,1% peso

Adicionalmente se agregó una tabla para representar los elementos que generan contaminación a las aguas subterráneas, superficiales y organismos vivos.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

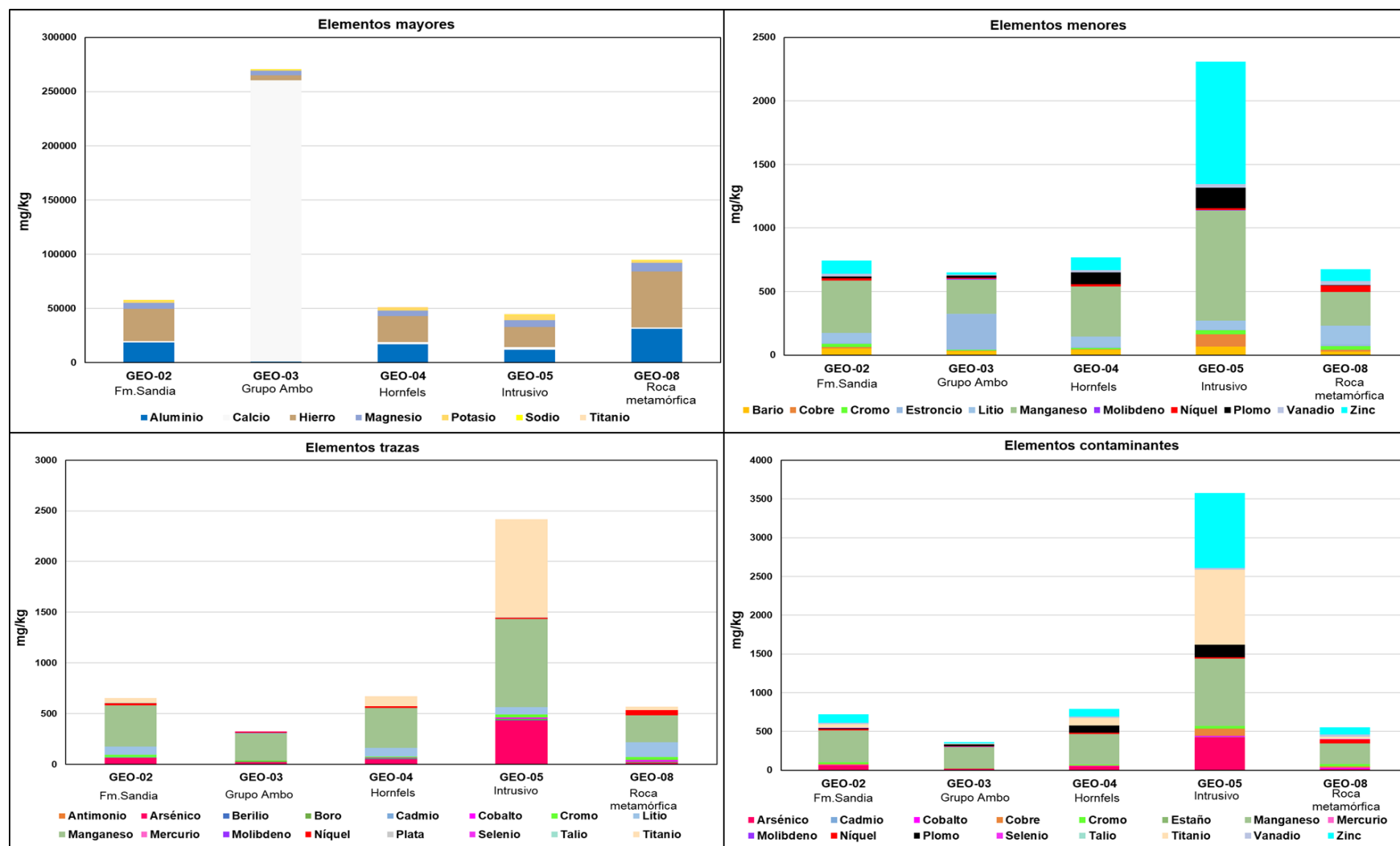


Figura 6.23. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de roca

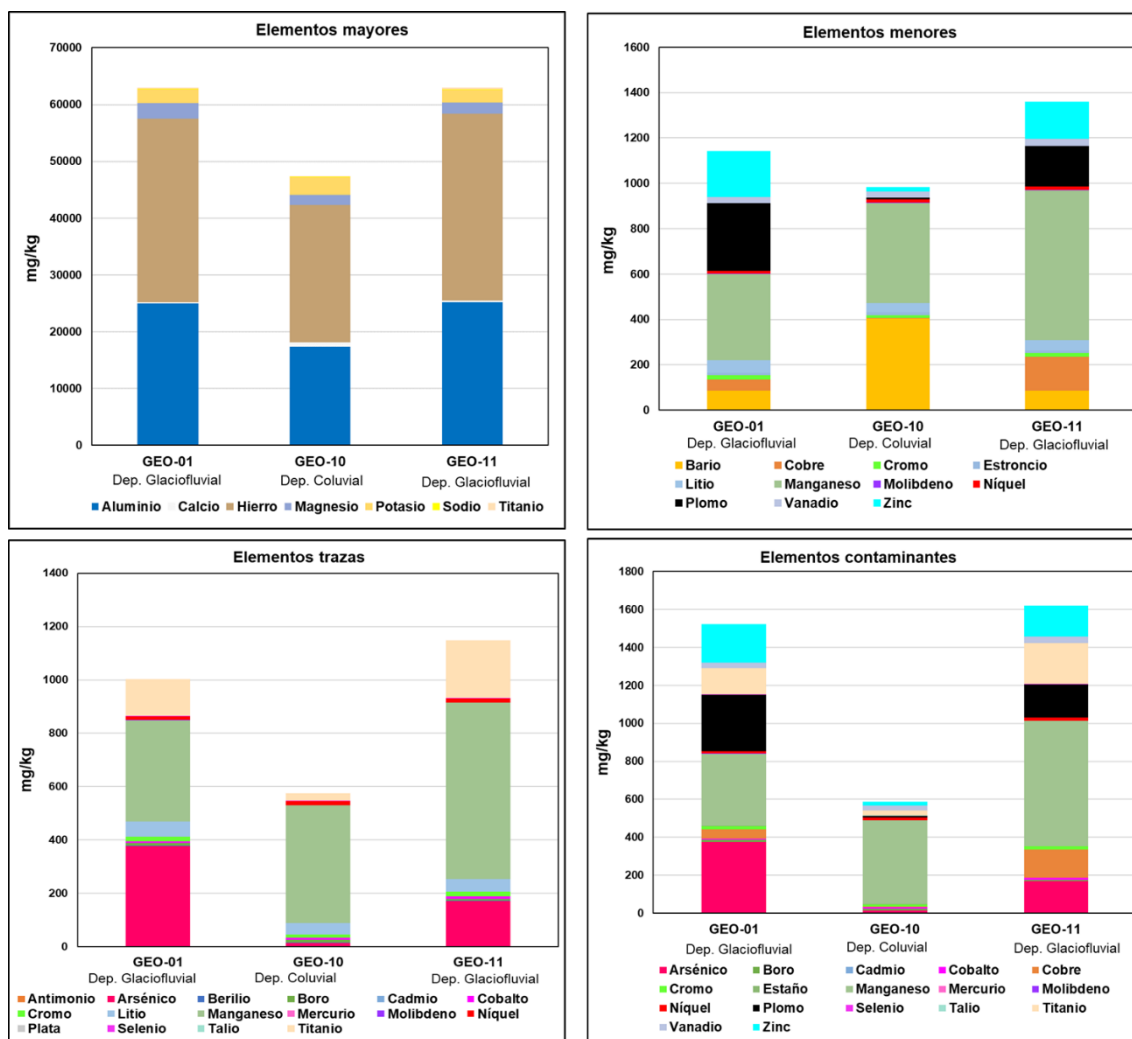


Figura 6.24. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de depósitos cuaternarios

Test de lixiviación de aniones y metales

La prueba lixiviación en laboratorio está diseñada para simular la movilidad de metales y aniones presentes en la roca, que podrían ser liberados por interacción con la precipitación u otras formas de saturación.

Lixiviación de aniones – (Shake Flask)

En la Tabla 6.6 se presenta las concentraciones de aniones obtenidas en 5 tipos de roca GEO-02, GEO-03, GEO-04, GEO-05 y GEO-08. Los aniones de sulfatos son los predominan en las todas las rocas, GEO-03 también presenta cloruros y GEO-02 es la que tiene mayores concentraciones de nitratos.

En la Tabla 6.7 se presenta las concentraciones de aniones obtenidas en 7 depósitos cuaternarios GEO-01, GEO-06, GEO-07, GEO-09, GEO-10, GEO-11 y GEO-12. Los aniones de sulfatos son los que predominan en todos los depósitos, GEO-11 presentó alto valor de este anión en referencia con los demás.

Las concentraciones de aniones de los depósitos cuaternarios, mediante la prueba de lixiviación Shake Flask extraction, se presenta en la Figura 6.25, en donde se observa la comparación de aniones en mg/L.

Tabla 6.6. Prueba Shake Flask (aniones) en muestras de roca

Código		GEO-02	GEO-03	GEO-04	GEO-05	GEO-08
Parámetro	Unidad	Roca				
Cloruros	mg/L	0,58	17	1,1	4,8	1.3
Fluoruros	mg/L	0,06	0,24	035	1,4	0,53
Fosfatos	mg/L PO ₄ -P	< 0,0012	0,4881	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012
Nitratos	mg/L	7	< 2	< 2	< 2	< 2
Nitritos	mg/L	0,0502	0,0327	2,003	0,0432	0,0327
Sulfatos	mg/L	15,6	179	12,9	9,72	28,3

Tabla 6.7. Prueba Shake Flask (aniones) en muestras de suelos (depósitos cuaternarios)

Código		GEO-01	GEO-06	GEO-07	GEO-09	GEO-10	GEO-11	GEO-12
Parámetro	Unidad	Depósitos cuaternarios						
Cloruros	mg/L	1,4	0,53	0,34	1,4	2,4	0,63	1,4
Fluoruros	mg/L	0,1	0,07	0,06	0,07	0,06	0,2	0,07
Fosfatos	mg/L PO ₄ -P	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012
Nitratos	mg/L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Nitritos	mg/L	0,0946	0,0677	0,0537	0,1168	0,1214	0,3562	0,0514
Sulfatos	mg/L	8,84	5,49	6,65	6,37	7,23	25,2	6,02

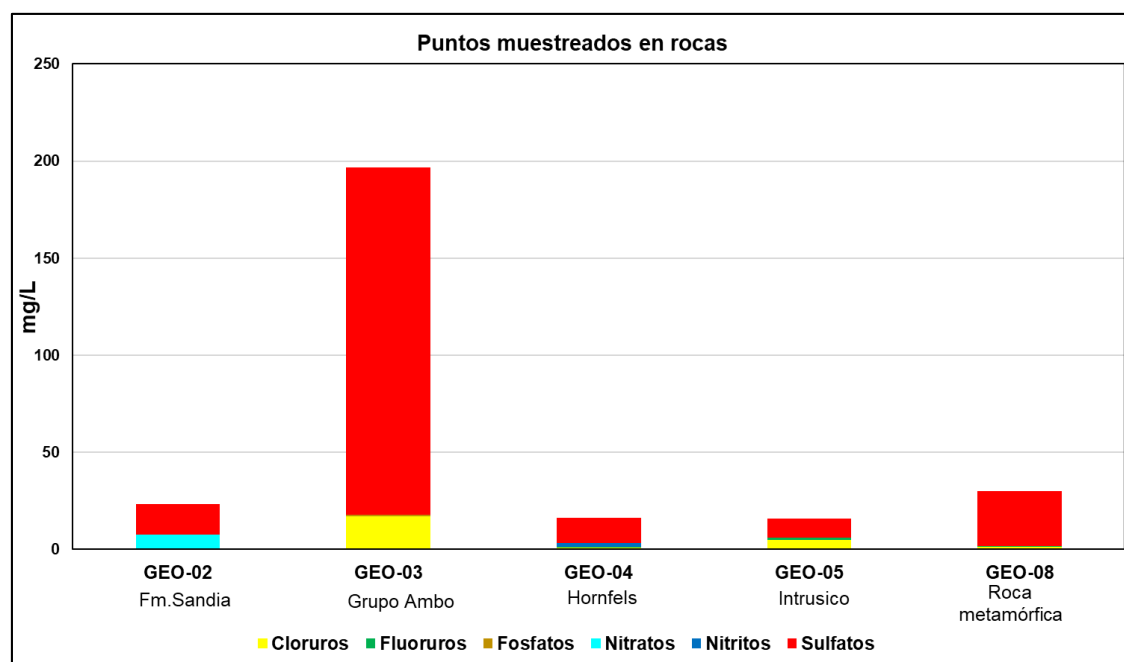


Figura 6.25. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de las rocas

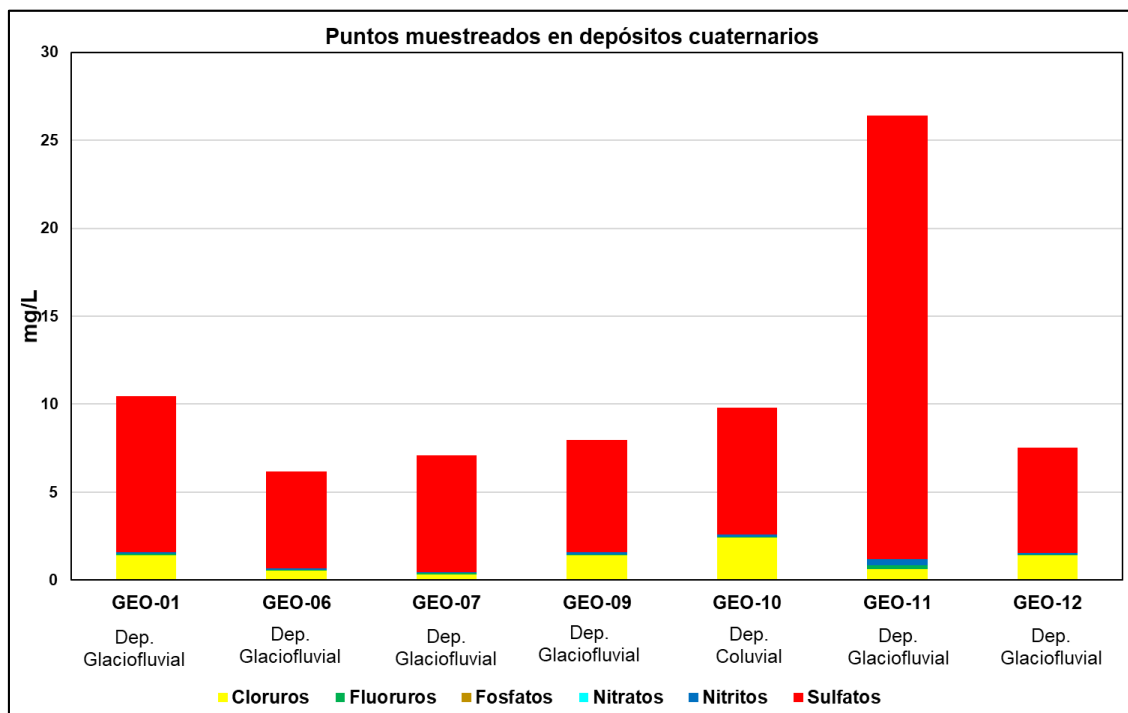


Figura 6.26. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las muestras de los depósitos cuaternarios

Lixiviación de metales - Shake Flask (metales)

En la Figura 6.27 se muestra que a las condiciones de la prueba Shake Flask, en donde la muestra de roca GEO-05 lixivia principalmente a los elementos contaminantes como el arsénico, manganeso, níquel, plomo y zinc en su mayoría.

En la Figura 6.28 se muestra que a las condiciones de la prueba prueba Shake Flask en los depósitos cuaternarios, en donde GEO-01 se lixivian principalmente el arsénico, manganeso y zinc en su mayoría.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

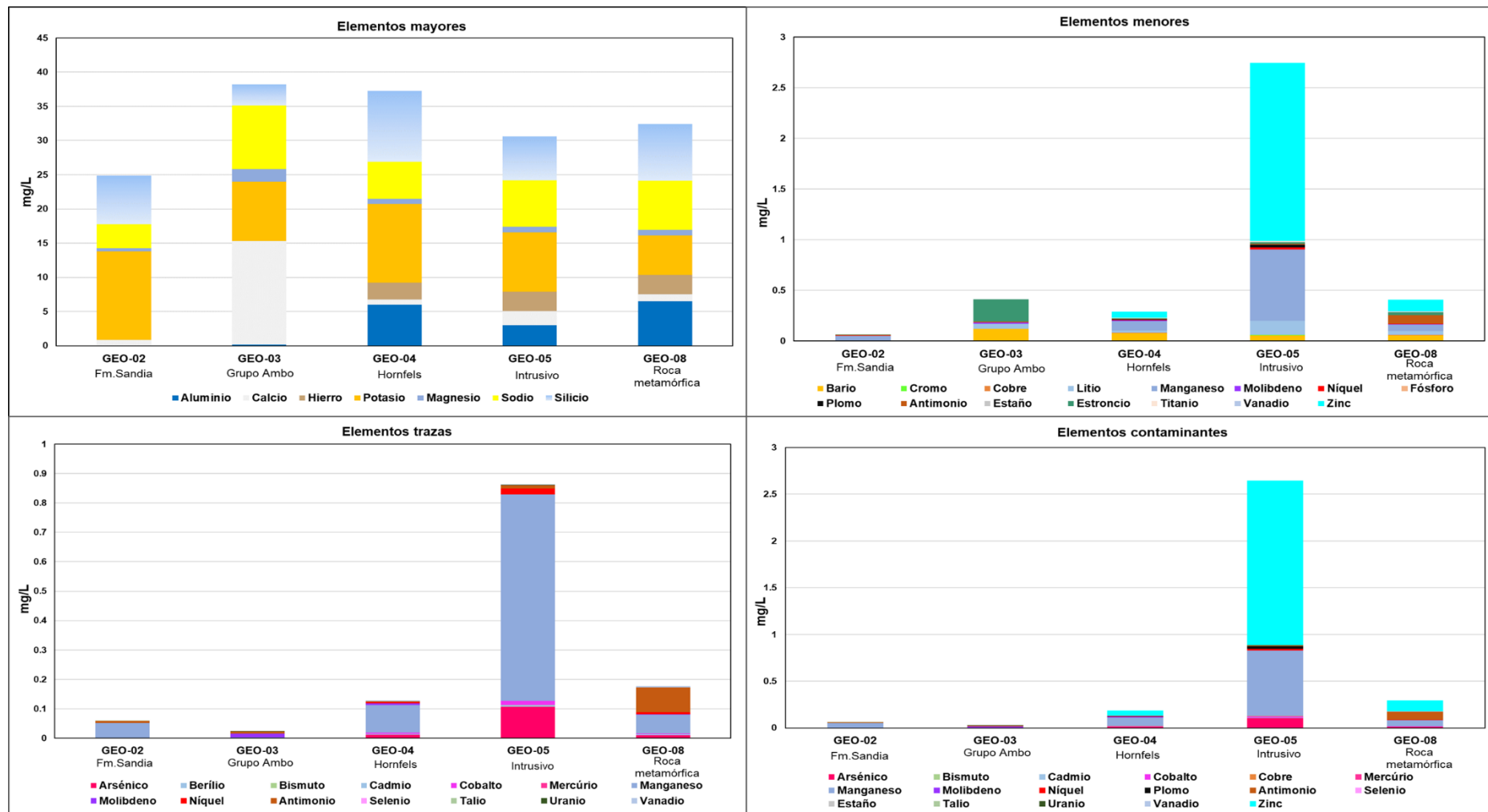


Figura 6.27. Comparación de las concentraciones de metales por la prueba Shake Flask correspondientes a las muestras de roca



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

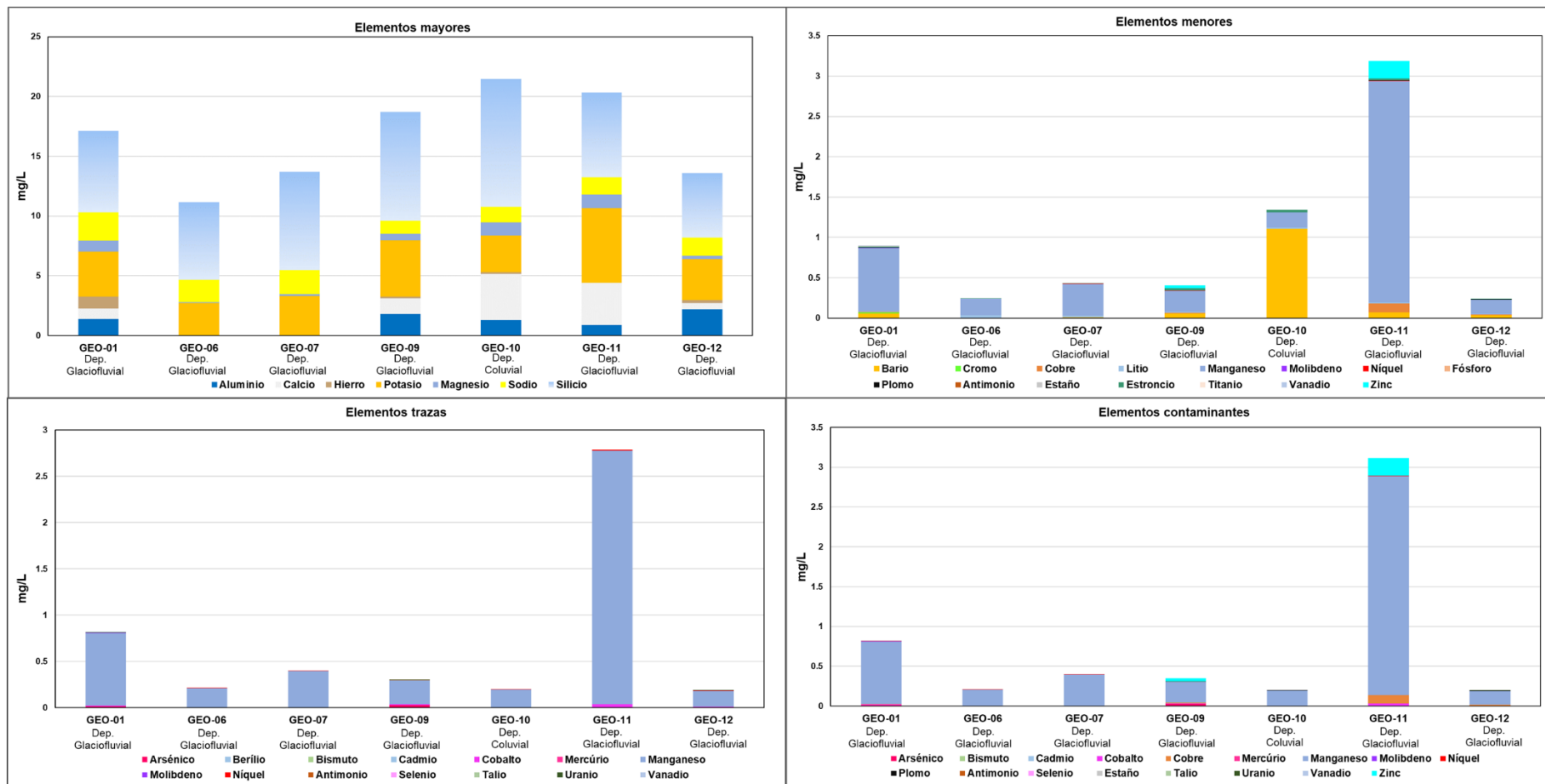


Figura 6.28. Comparación de las concentraciones de metales por prueba de Shake Flask correspondientes a las muestras de suelos

c. Análisis mineralógico (microscopía óptica - petromineragrafía)

La muestra GEO-02, tomada en la Formación Sandia, corresponde a una pizarra con bandas deformadas, es una roca metamórfica con una textura débilmente foliada, con apariencia de bandas deformadas. Se aprecian sectores de textura lepidoblástica, compuestos principalmente por agregados microescamosos de sericita siguiendo una orientación preferente, que presentan en sus intersticios a agregados de arcillas, cloritas I y pequeños blastos de cuarzo y muscovita. En otros sectores se observa una textura granoblástica, principalmente formados por blastos de cuarzo, con agregados de sericita, arcillas, cloritas I y pequeños blastos de muscovita en sus intersticios. Además, rutilo en ambos sectores y pirita entre los blastos de cuarzo. Algunos blastos de muscovita han sido alterados por cloritas II. Con agregados terrosos de óxidos de hierro e irregulares de goethita como impregnaciones y en finas fracturas (Tabla 6.8 y Figura 6.29).

Tabla 6.8. Análisis mineralógico de pizarra (GEO-02)

Minerales primarios			
Mineral	Composición química	%	µm
No se observa			
Minerales secundarios			
Sericita	KAl ₂ (AlSi ₃) ₁₀ (OH) ₂	54	≤ 20
Cuarzo	SiO ₂	34	≤ 100
Arcillas	ARCs (Composición variada)	6	≤ 5
Cloritas I	CLOs (Composición variada)	2	≤ 30
Muscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	1	≤ 400
Cloritas II	CLOs (Composición variada)	Traza	≤ 100
Rutilo	TiO ₂	Traza	≤ 50
Óxidos de Hierro	Oxsfe (Composición variada)	3	≤ 10
Pirita	FeS ₂	Traza	≤ 20
Goethita	FeO.OH	Traza	≤ 80
Alteraciones			
Tipo	Intensidad	Ensamble de minerales	
Oxidación	Débil	Óxidos de hierro y goethita	
Cloritización	Incipiente	Cloritas II	
Probable secuencia paragenética			
Rutilo, Pirita y Goethita			

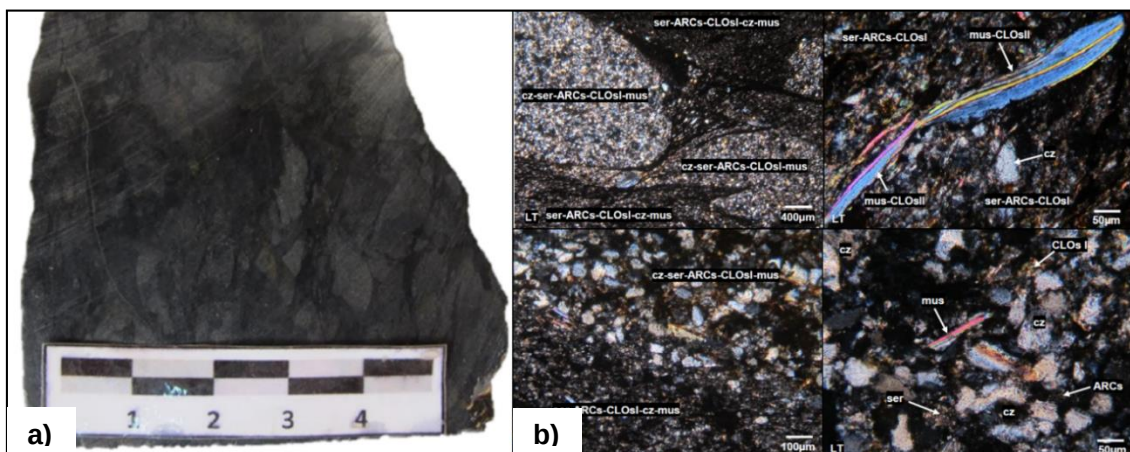


Figura 6.29. a) roca pizarra, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-02 de la Formación Sandia.

La muestra GEO-03, tomada en el Grupo Ambo, corresponde a una caliza microesparítica, es una roca sedimentaria con textura microesparítica matriz - soportada. Con granos de cuarzo diseminados en la matriz micrítica de carbonatos II. Además, moldes de bioclastos reemplazados por agregados esparíticos de carbonatos I, en ocasiones junto con sílice y pirita I. Con agregados microesparíticos de carbonatos III que han rellenado finas venillas y recrystalizado débilmente algunas zonas de la matriz. También, estilolitas que han cortado a la matriz, a los moldes de bioclastos y a las venillas de carbonatos III. Escaso rutilo y pirita II (reemplazada por goethita) diseminados en la matriz. Se aprecian ligeras impregnaciones de óxidos de hierro (Tabla 6.9 y Figura 6.30).

Tabla 6.9. Análisis mineralógico de caliza microesparítica (GEO-03)

Mineral	Composición química	%	µm
Cuarzo	SiO ₂	1	≤ 200
Minerales autigenos			
Carbonates I	CBs (Composición variada)	35	≤ 1400
Pirita	FeS ₂	Traza	≤ 30
Sílice	SiO ₂	1	≤ 150
Matriz			
Carbonates II	CBs (Composición variada)	55	≤ 5
Minerales secundarios			
Carbonates III	CBs (Composición variada)	3	≤ 50
Estilolitas	Composición variada	3	≤ 10
Rutilo	TiO ₂	Traza	≤ 40
Pirita II	FeS ₂	Traza	≤ 100
Goethita	FeO.OH	Traza	≤ 20
Óxidos de Hierro	Oxs_fe (Composición variada)	2	≤ 5
Alteraciones			
Tipo	Intensidad	Ensamble de minerales	
Oxidación	Débil	Óxidos de hierro y goethita	
Silicificación	Muy débil	Sílice	
Probable secuencia paragenética			
Pirita I, Rutilo, Pirita II y Goethita			

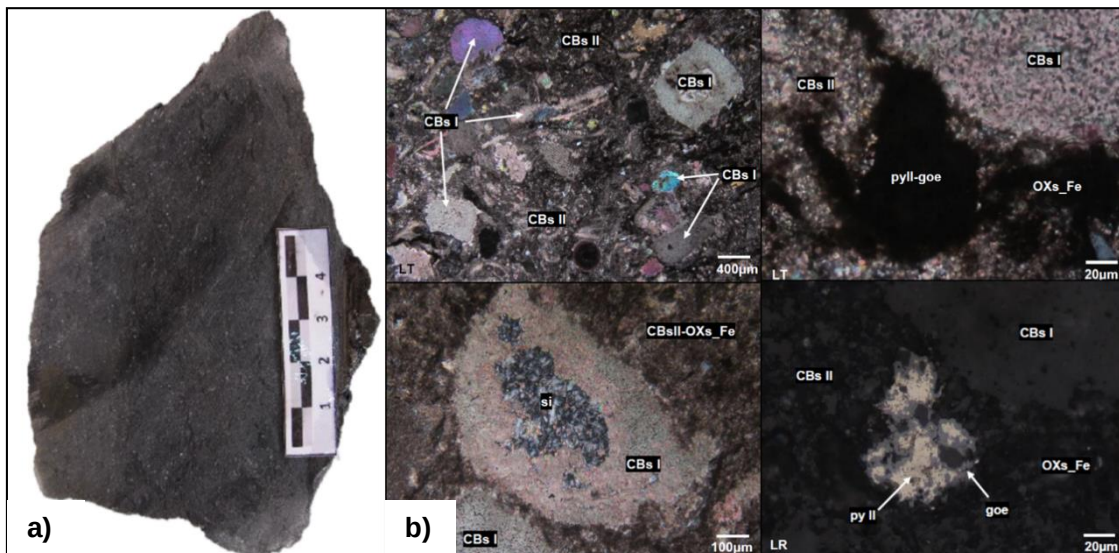


Figura 6.30. a) roca caliza, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-03 del Grupo Ambo



La muestra GEO-04, tomada en el contacto intrusivo y Formación Sandia, es una roca metamórfica llamada hornfels con textura foliada y bandeada. Compuesta por 3 tipos de bandas. En mayor proporción se aprecian las bandas A; formadas casi en su totalidad por sericita y en menor proporción arcillas; con escasos blastos de muscovita, cloritas I, cuarzo y rutilo. Seguido de Bandas B, con textura granoblástica; compuestas principalmente por blastos de cuarzo con escasa muscovita, sericita, cloritas I, rutilo, esfalerita, calcopirita, galena, pirita, arsenopirita y marcasita. En menor proporción las Bandas C; formadas por sericita y cloritas I, con escasos blastos de cuarzo, muscovita y rutilo. Además; finas venillas rellenas por cloritas II y sílice. Con agregados terrosos de óxidos de hierro que han impregnado a las bandas (notándose principalmente en las Bandas C) y a las finas venillas. (Tabla 6.10 y Figura 6.31).

Tabla 6.10. Análisis mineralógico de pizarra bandeada (GEO-04)

Minerales primarios			
Mineral	Composición química	%	µm
No se observa			
Minerales secundarios			
Sericita	KAl ₂ (AlSi ₃) ₁₀ (OH) ₂	58	≤ 50
Cuarzo	SiO2	25	≤ 200
Arcillas	ARCs (Composición variada)	10	≤ 5
Cloritas I	CLOs (Composición variada)	4	≤ 100
Muscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	2	≤ 200
Cloritas II	CLOs (Composición variada)	Traza	≤ 50
Rutilo	TiO ₂	Traza	≤ 70
Sílice	SiO ₂	Traza	≤ 30
Óxidos de Hierro	Oxs_fe (Composición variada)	1	≤ 10
Pirita	FeS ₂	Traza	≤ 70
Pirrotita	Fe1-xSx	Traza	≤ 10
Arsenopirita	FeAsS	Traza	≤ 120
Esfalerita	(Zn, Fe)S	Traza	≤ 200
Calcopirita	CuFeS ₂	Traza	≤ 170
Galena	PbS	Traza	≤ 120
Marcasita	FeS ₂ (aprox.)	Traza	≤ 50
Alteraciones			
Tipo	Intensidad	Ensamble de minerales	
Oxidación	Muy débil	Óxidos de hierro	
Cloritización	Incipiente	Cloritas II	
Silicificación	Incipiente	Sílice	
Probable secuencia paragenética			
Rutilo, Pirita, Pirrotita, Arsenopirita, Esfalerita, Calcopirita, Galena y Marcasita			

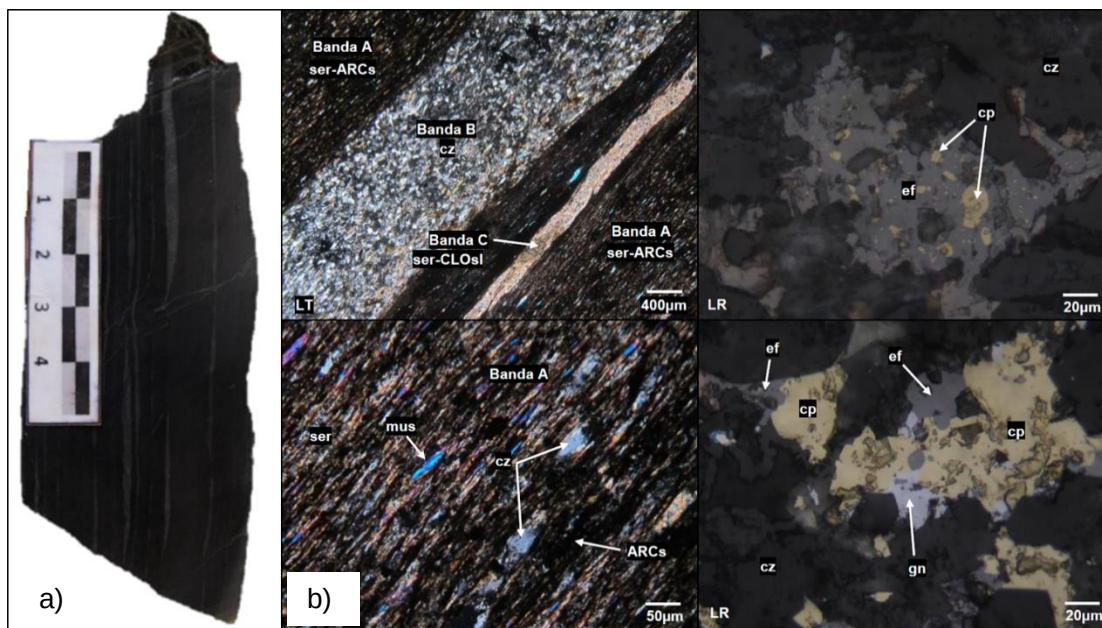


Figura 6.31. a) pizarra bandeada, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-04 del hornfels

La muestra GEO-05, tomada en el intrusivo, es una roca granodiorítica con textura porfirítica. Presenta fenocristales de plagioclasas I (alteradas por sericita), biotita I (alteradas por cloritas), feldespatos potásicos I (alterados por arcillas) y cuarzo I; también moldes de ferromagnesianos (posibles anfíboles alterados fuertemente por muscovita, sericita, cloritas, carbonatos, cuarzo III, biotita II, rutilo y arsenopirita). En una matriz de textura granular que presenta cristales de plagioclasas II, cuarzo II y escasos feldespatos potásicos II; con cristales de biotita II, cuarzo III, albita, carbonatos, muscovita y sericita que han ingresado por sus intersticios. La pirita, pirrotita y arsenopirita se hallan diseminadas en la matriz y han sido reemplazadas por goethita. El producto intermedio y la calcopirita son escasos y han reemplazado selectivamente a pirrotita. Pequeños cristales de zircón y apatito ocurren como inclusiones en plagioclasas I y biotita I (Tabla 6.11 y Figura 6.32).

Tabla 6.11. Análisis mineralógico de pórfido granodiorítica (GEO-05)

Minerales primarios			
Mineral	Composición química	%	µm
Plagioclasas I	PGIs (Composición variada)	13	≤ 5600
Moldes	Ferromagnesianos alterados	--	≤ 3200
Biotita I	K(Mg.Fe) ₃ Al,Fe(Si ₃ O)	6	≤ 2000
Feldespatos potásicos I	FPKs(Composición variada)	10	≤ 14000
Cuarzo I	SiO ₂	12	≤ 3600
Apatito	3Ca ₃ (PO ₄) ₂ CaF ₂	Traza	≤ 170
Zircón	ZrSiO ₄	Traza	≤ 150
Matriz			
Plagioclasas II	PGIs (Composición variada)	30	≤ 450
Feldespatos potásicos II	FPKs(Composición variada)	Traza	≤ 200
Cuarzo II	SiO ₂	18	≤ 500
Minerales secundarios			
Biotita II	K(Mg.Fe) ₃ Al,Fe(Si ₃ O)	1	≤ 300
Cuarzo II	SiO ₂	1	≤ 150
Albita	NaAlSi ₃ O ₈	Traza	≤ 180
Cloritas	CLOs (Composición variada)	1	≤ 180
Carbonates	CBs (Composición variada)	Traza	≤ 200

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Muscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	Traza	≤ 200
Sericita	$KAl_2(AlSi_3)_{10}(OH)_2$	6	≤ 10
Arcillas	ARCs (Composición variada)	1	≤ 2
Rutilo	TiO_2	Traza	≤ 180
Pirita	FeS_2	Traza	≤ 300
Pirrotita	$Fe_{1-x}S_x$	0.5	≤ 300
Arsenopirita	$FeAsS$	0.5	≤ 300
Producto intermedio	Reemplazo	Traza	≤ 180
Calcopirita	$CuFeS_2$	Traza	≤ 25
Goethita	$FeO.OH$	Traza	≤ 160
Óxidos de Hierro	Oxs_fe (Composición variada)	Traza	≤ 5
Alteraciones			
Tipo	Intensidad	Ensamble de minerales	
Filica	Débil	Sericita, muscovita y arcillas	
Potásica	Débil	Biotita II y cuarzo II	
Propilítica	Débil	Albita, cloritas y carbonatos	
Oxidación	Incipiente	Goethita y óxidos de hierro	
Probable secuencia paragenética			
Rutilo, Pirita, Pirrotita, Arsenopirita, producto intermedio, Calcopirita y Goethita			

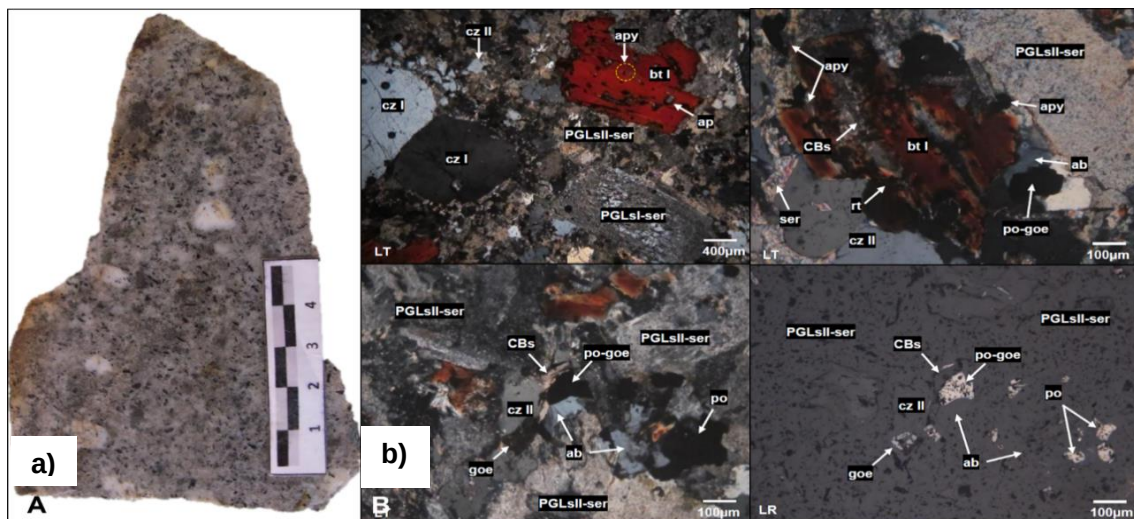


Figura 6.32. a) pórfido granodiorítico, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-05 del intrusivo

La muestra GEO-08, tomada en contacto de intrusivo y Formación Sandia, es una roca metamórfica con textura lepidoblástica. Está compuesta principalmente por agregados microescamosos de sericita, formados como producto del metamorfismo de las arcillas (de una roca protolito sedimentaria, posible lutita); quedando relictos de arcillas a manera de parches. Además, presentan cloritas I, muscovita y cuarzo entre sus intersticios. También, pequeños cristales de rutilo, pirita y calcopirita ocurren diseminados en los intersticios de los agregados de sericita y arcillas. Finalmente, la roca ha sido cortada por finas venillas rellenas por agregados de cloritas II junto con pequeños cristales de pirrotita (Tabla 6.12 y Figura 6.33).

Tabla 6.12. Análisis mineralógico de pizarra (GEO-08)

Minerales primarios			
Mineral	Composición química	%	μm
No se observa			
Minerales secundarios			
Sericita	$KAl_2(AlSi_3)_{10}(OH)_2$	70	≤ 30

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Muscovita	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	1	≤ 350
Cuarzo	SiO_2	Traza	≤ 110
Cloritas I	CLOs (Composición variada)	2	≤ 25
Arcillas	ARCs (Composición variada)	27	≤ 5
Rutilo	TiO_2	Traza	≤ 40
Cloritas II	CLOs (Composición variada)	Traza	≤ 50
Pirita	FeS_2	Traza	≤ 24
Pirrotita	Fe_1-xSx	Traza	≤ 8
Calcopirita	$CuFeS_2$	Traza	≤ 60
Alteraciones			
Tipo	Intensidad	Ensamble de minerales	
Cloritización	Muy débil	Cloritas II	
Probable secuencia paragenética			
Rutilo, Pirita, Pirrotita v Calcopirita			

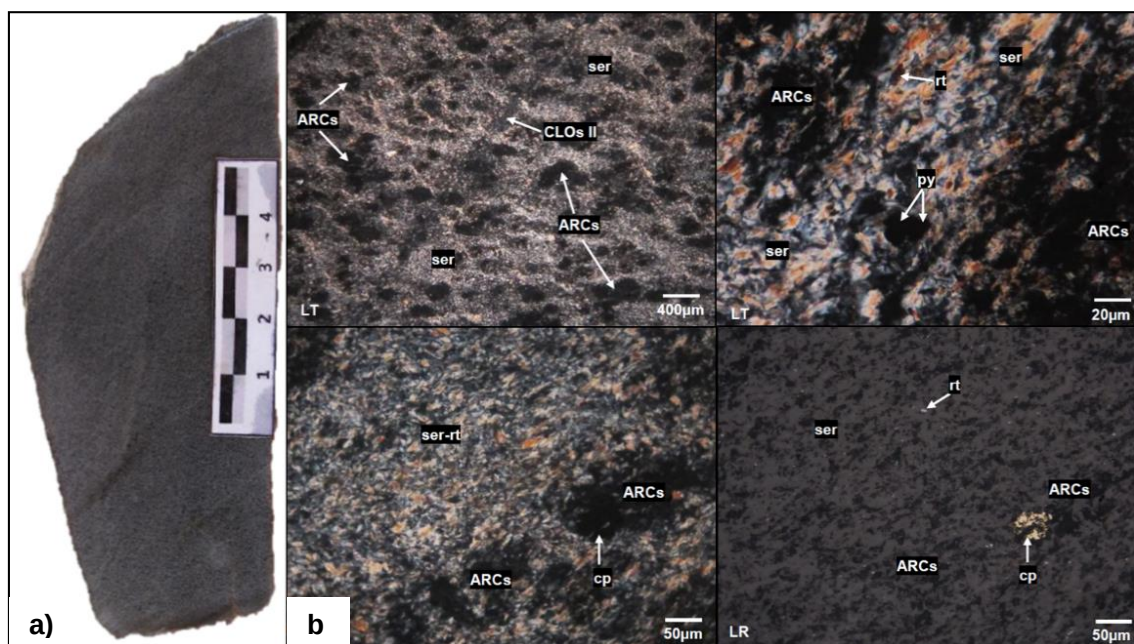


Figura 6.33. a) roca pizarra, b) minerales y texturas presentes en la roca de la muestra GEO-08 del contacto.

d. Análisis mineralógico de difracción de rayos x énfasis en arcilla

Los minerales obtenidos en el análisis de microscopia de difracción de rayos X de los puntos de muestreos GEO-09, GEO-10, GEO-11 y GEO-12 esta descritos en las Tablas 6.13 hasta 6.16.

Tabla 6.13. Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-09 (depósitos cuaternarios)

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra GEO-09	Cuarzo	SiO_2	42
	Mica (Muscovita)	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	40
	Turmalina (Dravita)	$NaMg_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$	8
	Clorita (Clinocloro)	$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	5
	Plagioclasas (Oligoclasa)	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$	3
	Rutilo	TiO_2	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

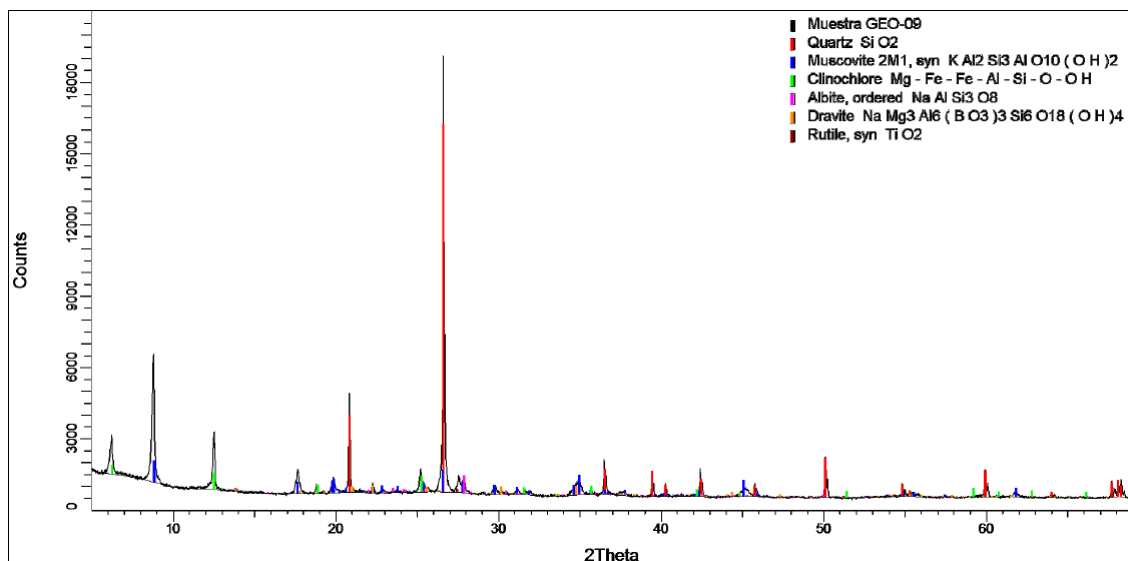


Figura 6.34 Difractograma de la muestra GEO-09 con los respectivos minerales identificados

Tabla 6.14. Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-10 (depósitos cuaternarios)

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra GEO-10	Cuarzo	SiO ₂	50
	Illita-Esmectita	---	42
	Clorita (Clinocllore)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	5
	Rutilo	TiO ₂	< L. D.
	Anatasa	TiO ₂	< L. D.
	Caolinita	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

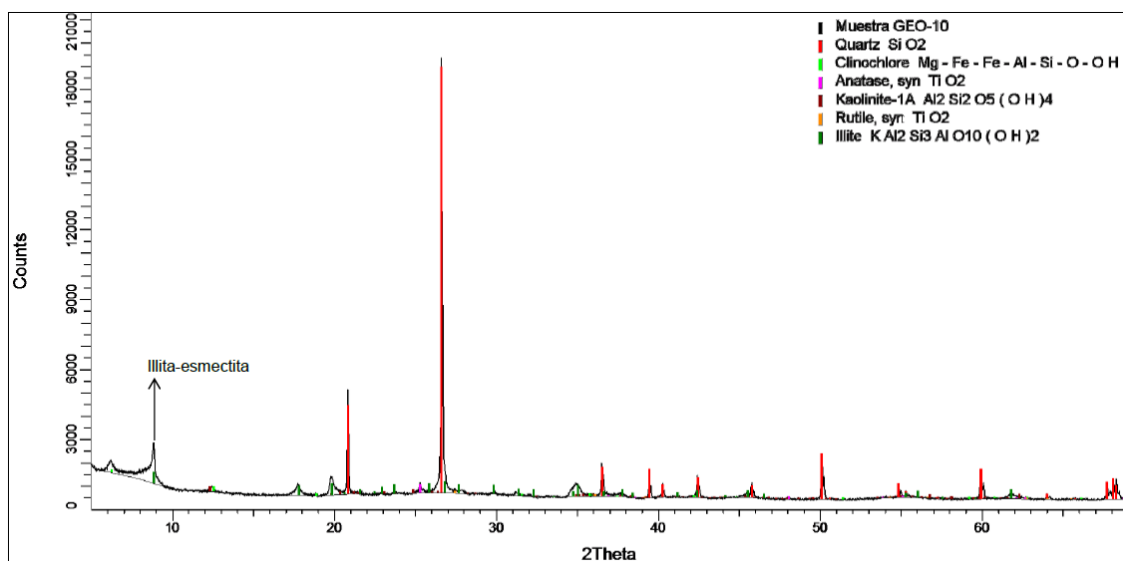


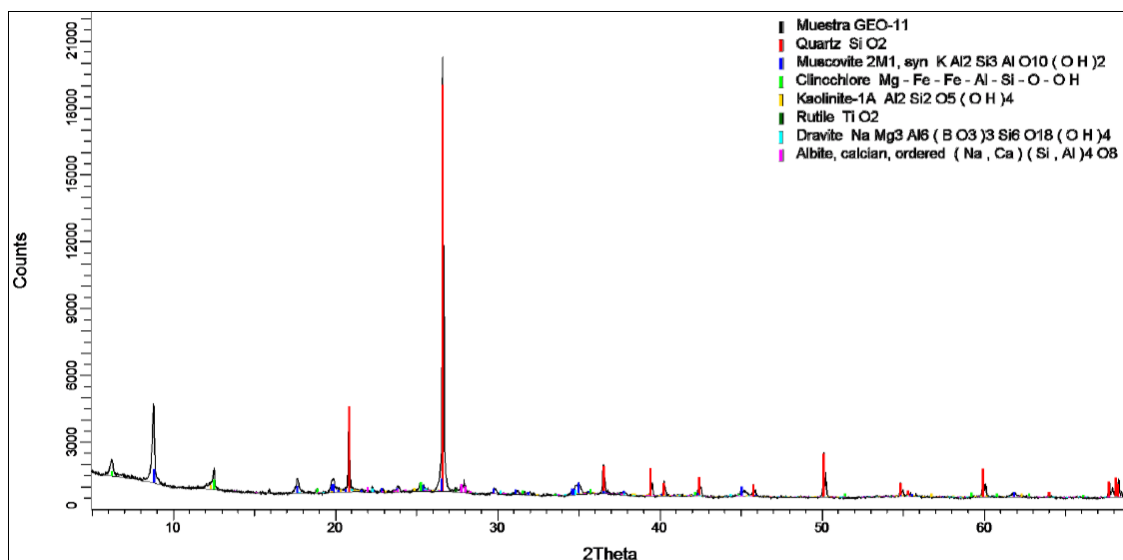
Figura 6.35. Difractograma de la muestra GEO-10 con los respectivos minerales identificados

**Tabla 6.15.** Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-11 (depósitos cuaternarios)

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra GEO-11	Cuarzo	SiO_2	50
	Mica (Muscovita)	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	33
	Clorita (Clinocloro)	$(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	6
	Plagioclasa (Oligoclasa)	$(\text{Ca},\text{Na})(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$	4
	Turmalina (Dravita)	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	3
	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	2
	Rutilo	TiO_2	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

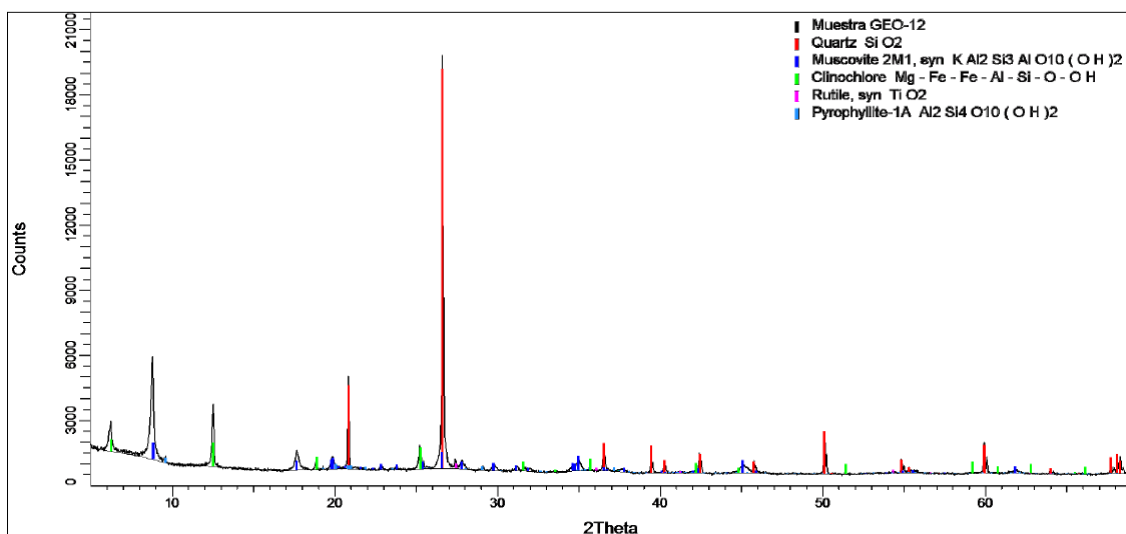
< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

**Figura 6.36.** Difractograma de la Muestra GEO-11 con los respectivos minerales identificados**Tabla 6.16.** Microscopia de rayos X de la muestra de suelos GEO-12 (depósitos cuaternarios)

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra GEO-12	Cuarzo	SiO_2	47
	Mica (Muscovita)	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	42
	Clorita (Clinocloro)	$(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	8
	Pirofilita	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	2
	Rutilo	TiO_2	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.


Figura 6.37 Difractograma de la muestra GEO-12 con los respectivos minerales identificados

e. Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido MEB

Para el análisis de los resultados de mineralogía se sistematizó los datos reportados por el laboratorio, y la evaluación consiste en caracterizar la composición mineralógica del suelo y su relación con la litología del área de estudio. Asimismo, permitirá conocer las formas químicas de los minerales de las fracciones más estables reportadas en la extracción secuencial de metales.

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido reportó en el GEO-01 las especies minerales metálicas existentes en el depósito glaciofluvial.

Tabla 6.17. Microscopía de rayos X de la muestra de suelos GEO-01 (depósitos cuaternarios)

Muestra GEO-01						
Nombre de mineral	Aleación	Rabdophana	Zircón	Magnetita	Casiterita	
Fórmula general	Fe-Ni-Cr	(Ce,La)PO ₄ (H ₂ O)	ZrSiO ₄	Fe ₂ O ₃ , FeO	SnO ₂	
Composición química (%) en peso	Fe	81,37	--	--	65,69	--
	Ti	--	--	--	2,83	--
	Mg	--	--	--	0,62	--
	Zr	--	--	51,73	--	--
	Si	--	--	13,71	--	--
	Sn	--	--	--	--	79,6
	Ni	4,35	--	--	--	--
	Cr	14,28	--	--	--	--
	Ag	--	1,75	--	--	--
	Ca	--	0,27	--	--	--
	Ce	--	33,51	--	--	--
	La	--	17,23	--	--	--
	P	--	16,03	--	--	--
	O	37,64	31,22	34,58	30,86	20,41
Total		138	100	100	100	100

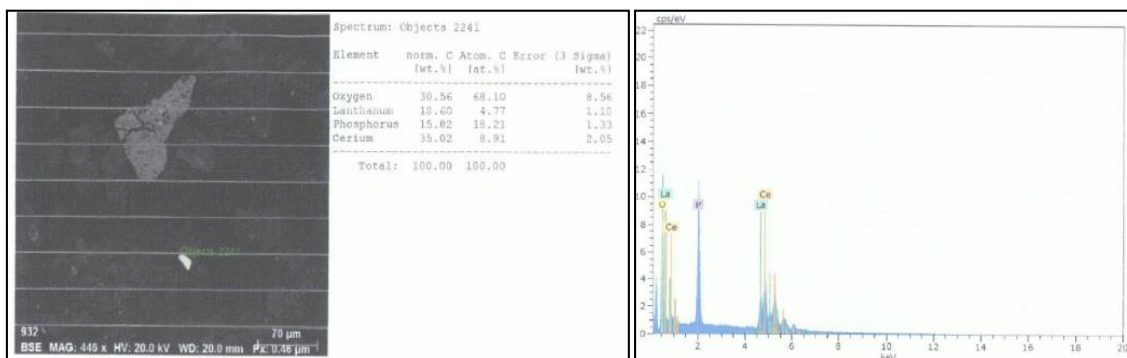


Figura 6.38. Imagen, composición y espectro de rhabdophana de la muestra de suelos GEO-01

f. Análisis granulométrico

En la Figura 6.39 y 6.40 se muestra la granulometría acumulada de las 7 muestras, donde se puede observar que las muestras poseen mayores porcentajes en la fracción de arenas, limos y arcillas. Cabe destacar que las granulometrías de estas muestras presentan la misma tendencia en comparación con los otros.

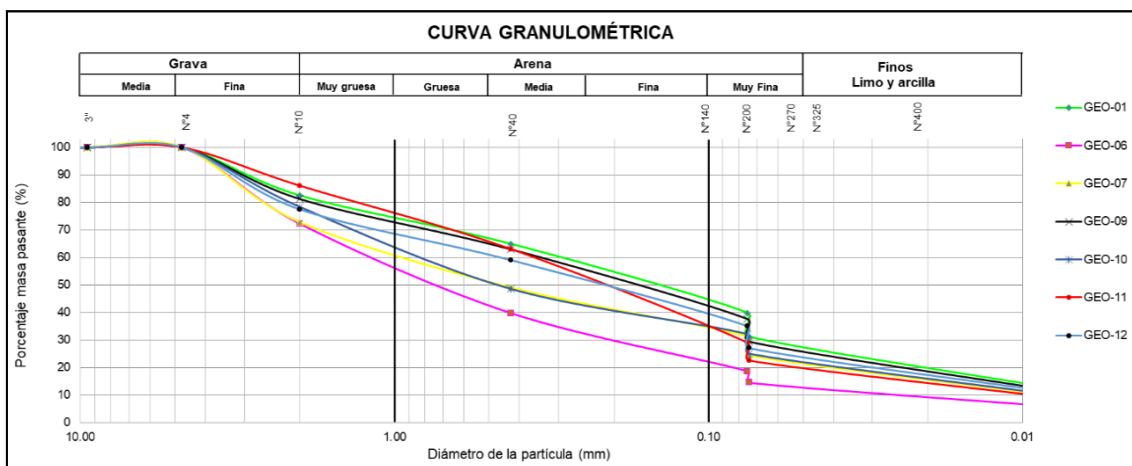


Figura 6.39. Análisis de la curva granulométrica de los depósitos cuaternarios

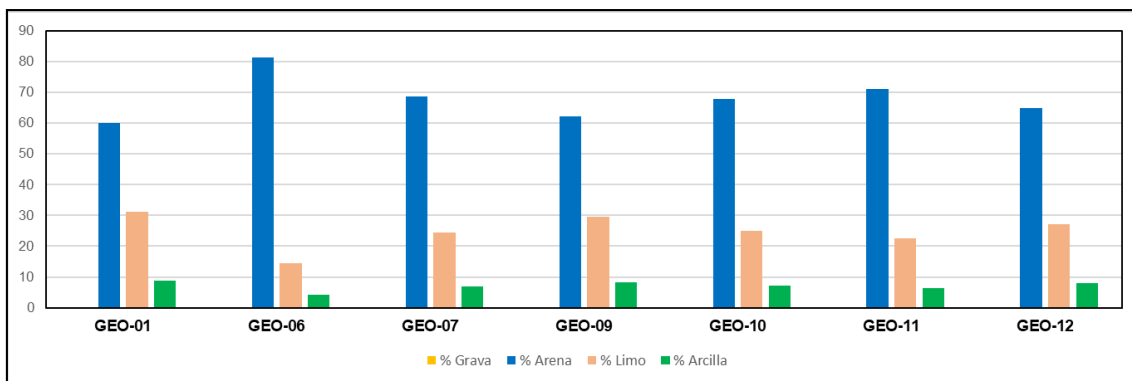


Figura 6.40. Abundancia de las gravas, arenas, limo y arcillas en los depósitos cuaternarios



g. Metales solubles extracción 7 etapas

Se realizó la extracción secuencial de metales solubles mediante la metodología de Dold (2003)¹⁸, el análisis permite caracterizar la potencial movilidad y biodisponibilidad de 12 elementos presentes en el material de depósitos cuaternarios. A continuación, se presentan figuras de los resultados obtenidos para los elementos, los cuales permitirán realizar asociaciones mineralógicas en las muestras analizadas y poder establecer comportamientos afines para los materiales muestreados. Las etapas de extracción son: 1 etapa (Fracción soluble en agua), 2 etapa (Fracción intercambiable), 3 etapa (Fracción oxihidróxidos de Fe^{+3}), 4 etapa (Fracción óxidos de Fe^{+3}), 5 etapa (Fracción orgánicos y sulfuros de cobre secundarios), 6 etapa (Fracción sulfuros primarios) y 7 etapa (Fracción residual).

¹⁸ Dold, B. 2003. *Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfide mine waste*. *Journal of Geochemical Exploration*, 80, 55-68.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

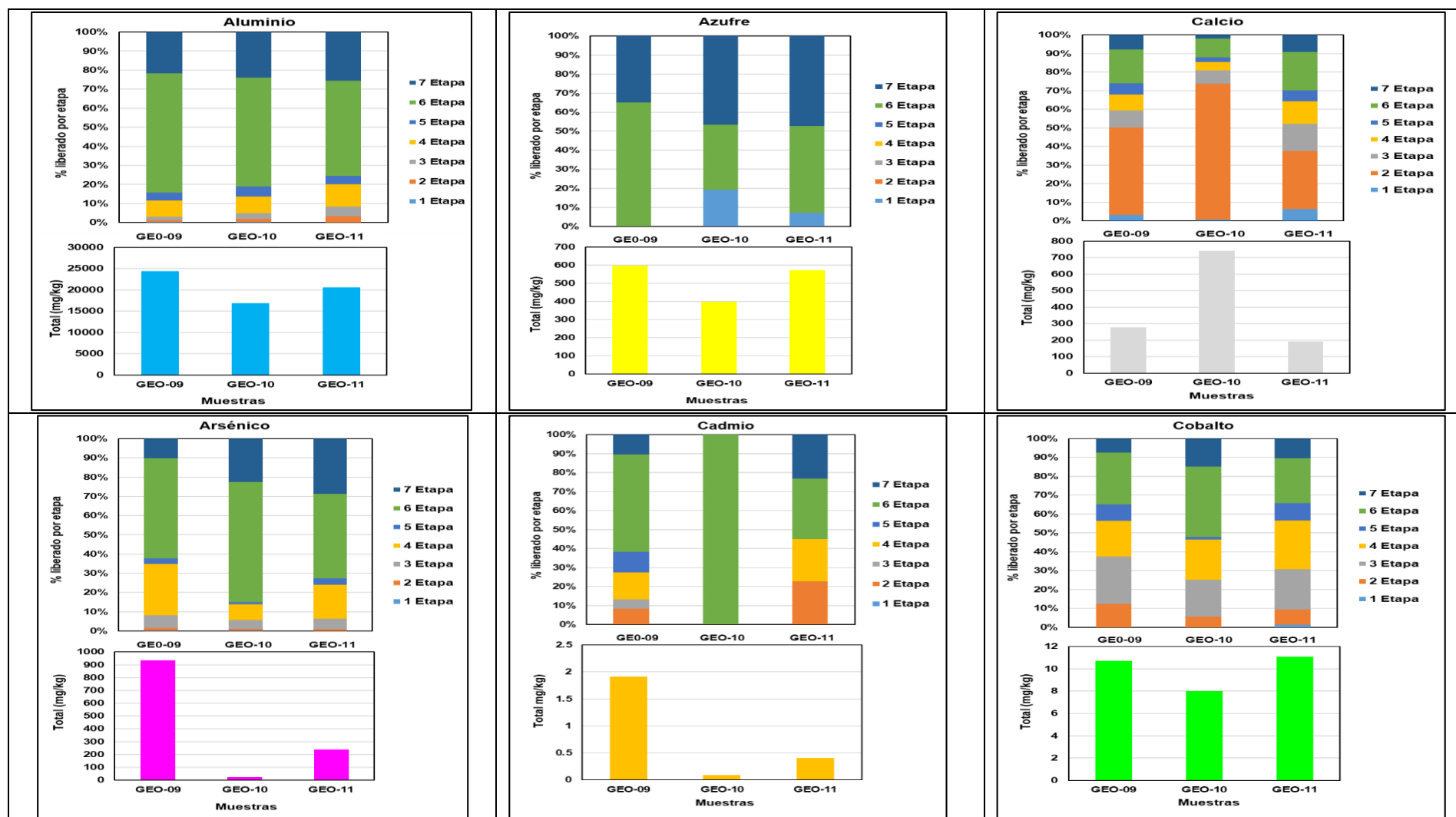


Figura 6.41. Extracción Dold de los elementos tales como aluminio, azufre, calcio, arsénico, cadmio y cobalto de los depósitos cuaternarios



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

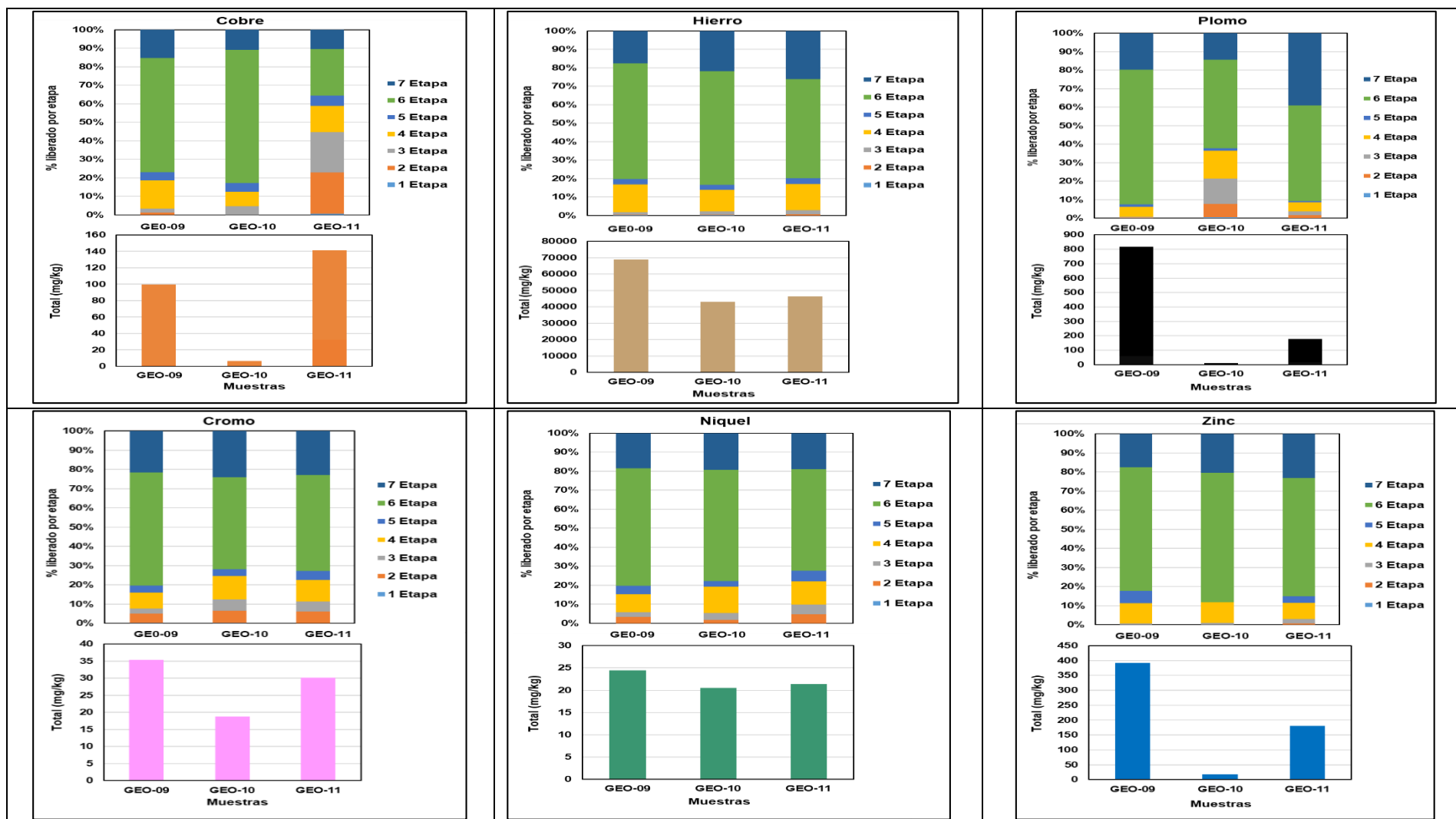


Figura 6.42. Extracción Dold de los elementos tales como cobre, hierro, plomo, cromo, níquel y zinc de los depósitos cuaternarios

6.2. Objetivo específico 2: Identificar los contaminantes presentes en los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota y determinar su movilidad, y los mecanismos de transporte hacia las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta, laguna Chogñacota

Se presenta los resultados del análisis geoquímico de las muestras de los relaves, desmontes y de la cantera correspondientes a la UM Quenamari, en la tabla siguiente se observa los parámetros evaluados correspondientes a roca y suelo.

Tabla 6.18. Parámetros evaluados de puntos de muestreo de componentes mineros

Código de muestra		REL-B2	REL-B3	DDM-LAR-01	DDM-LAR-02	DDC-35	DDC-36	CQS-1
Componente minero		Relave		Desmonte				Cantera
Parámetros evaluados	Análisis mineralógico por DRX (énfasis en arcillas)	-	-	-	-	-	-	1
	Análisis mineralógico por DRX	1	1	1	-	1	1	-
	Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	1	1	1	1	1	1	1
	ABA (Prueba de balance ácido-base)	1	1	1	1	1	1	1
	Shake Flask (metales)	1	1	1	1	1	1	1
	Shake Flask (aniones)	1	1	1	1	1	1	1
	Análisis granulométrico	1	-	1	1	1	1	1
	Metales Totales	1	1	1	1	1	1	1
	Análisis mineralógico por microscopía electrónica (MEB)	-	-	-	-	1	1	-
	Puntos totales	7	6	7	6	8	8	7



Figura 6.43. Distribución de la ubicación de las muestras de los componentes mineros

Para la caracterización geoquímica de los componentes mineros, se realizaron ensayos químicos que incluyó la determinación de metales, procedimientos de lixiviación para determinar el potencial de lixiviación de metales, que podrían tener impacto sobre aguas subterráneas y superficiales. Además, se consideró la prueba estática de balance ácido-base para definir la generación de acidez y la prueba de lixiviación shake flask extraction para aniones solubles a pH neutro.

Adicionalmente, se realizó análisis mineralógico (rayos X y microscopia electrónica de barrido), granulometría y Dold.

a. Prueba estática de balance ácido-base (ABA)

De acuerdo a los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para definir la generación de acidez de los componentes mineros, las muestras según el primer criterio se encuentran en la zona de incertidumbre, con una excepción del REL-B2 (Figura 6.44).

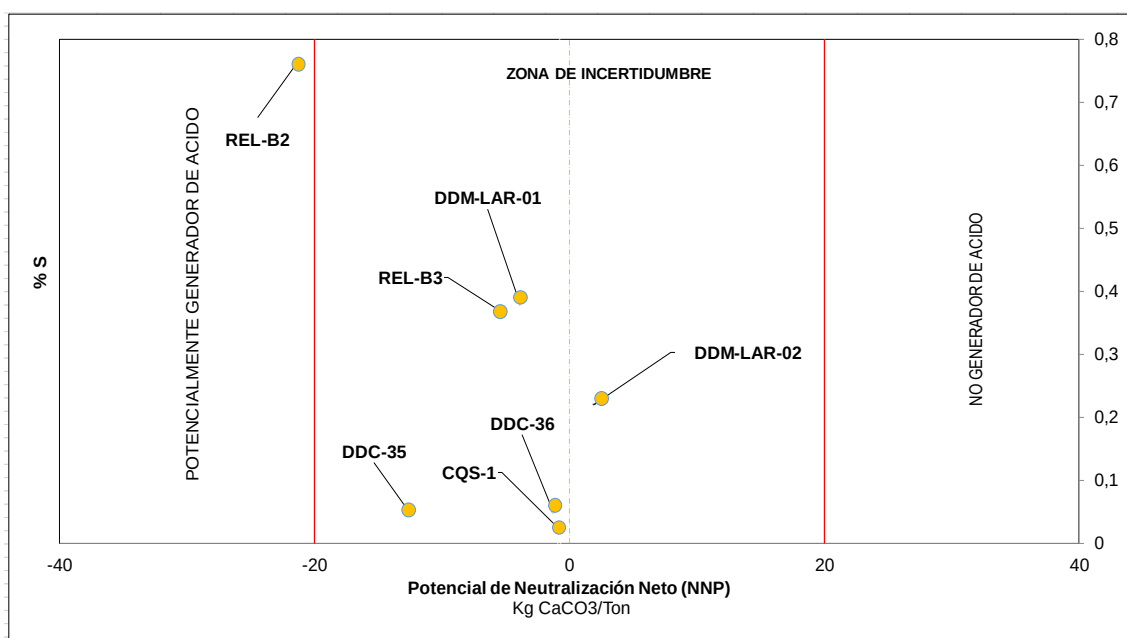


Figura 6.44. Prueba ABA (primer criterio) de los componentes mineros

Según el segundo criterio se encuentran en la zona de incertidumbre las muestras de los componentes mineros de DDC-36, DDM-LAR- 01 y REL-B3; las muestras REL-B2 y DDC-36 son potenciales generadores de ácido; DDM-LAR-02 y CQS-1 no son generadoras de acidez (Figura 6.45).

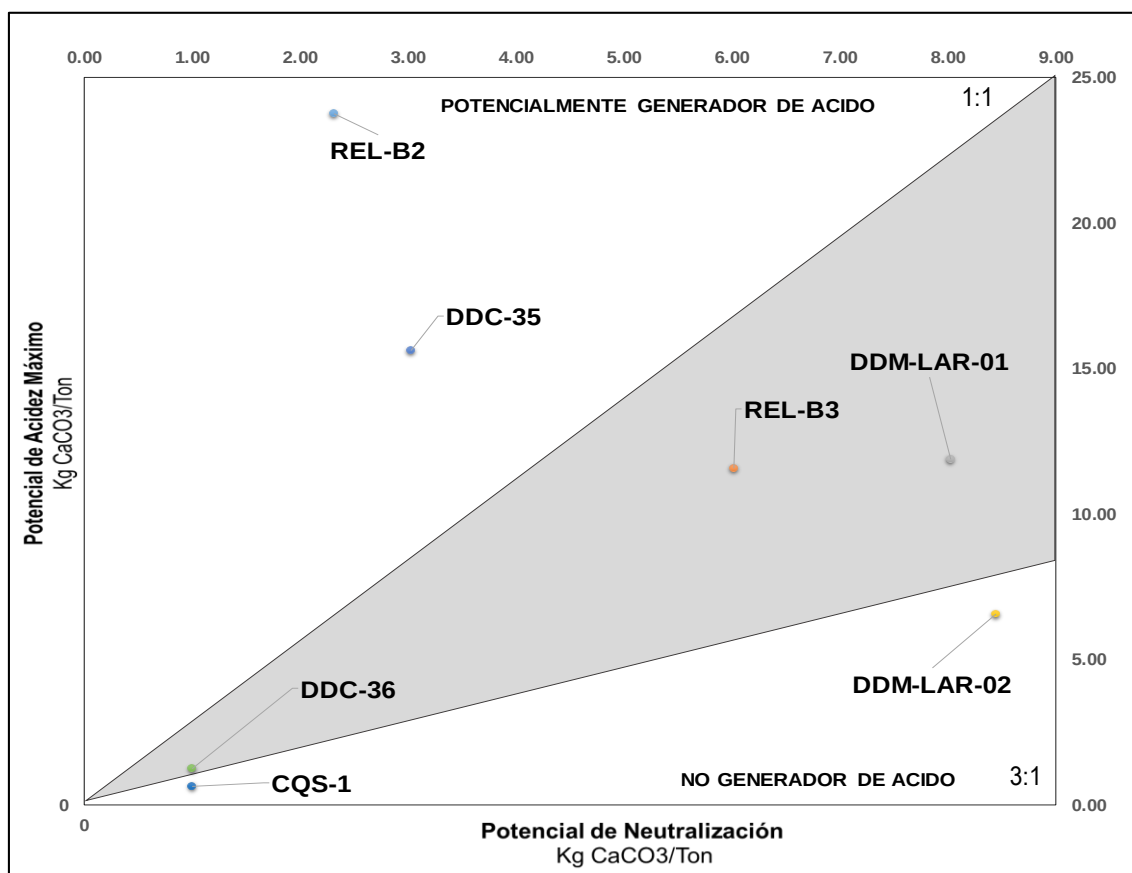


Figura 6.45. Prueba ABA (segundo criterio), de los componentes mineros

El estudio de la generación de acidez de los componentes mineros dispuestas en la UM Quenamari se llevó a cabo mediante la prueba ABA, los resultados son reportados en la Tabla 6.19. Los valores de pH mostraron características ácidas en los relaves que varían entre 4,91 y 5,51 unidades; los desmontes de Larancota tiene pH neutro, sin embargo, las muestras de cancha de desmontes N.º 35, 36 y la cantera están 5,38 y 5,88 unidades.

Criterio (NPR-NNP) de análisis de las muestras de los componentes mineros tienen potencial de generación de acidez (Tabla 6.19)

Tabla 6.19. Resultados de la prueba ABA de los componentes mineros

Muestra	S total (%)	pH pasta	PN (Kg CaCO ₃ /t)	MPA (Kg CaCO ₃ /t)	NPR	NNP (Kg CaCO ₃ /T)	Criterio NPR-NNP
REL-B2	0,76	5,51	2,31	23,75	0,0970	-21,4400	Potencial producción de ácido (PAF)
REL-B3	0,37	4,91	6,02	11,56	0,5210	-5,5400	Potencial producción de ácido (PAF)
DDM-LAR-01	0,38	7,94	8,03	11,88	0,6760	-3,8500	Potencial producción de ácido (PAF)
DDM-LAR-02	0,22	7,86	8,45	6,56	1,2900	1,8900	Moderado productor de ácido
DDC-35	0,56	5,38	3,03	15,63	0,1940	-12,6000	Potencial producción de ácido (PAF)
DDC-36	0,05	5,88	<1,00	1,25	0,8000	-0,2500	Potencial producción de ácido (PAF)
CQS-1	0,02	5,54	<1,00	0,63	1,5900	0,3700	Moderado productor de ácido

La Figura 6.46 se observa el pH en función de la cantidad en porcentaje de azufre, las muestras de los componentes mineros presentan pH mayor de 4,91 hasta 7,94 unidades.

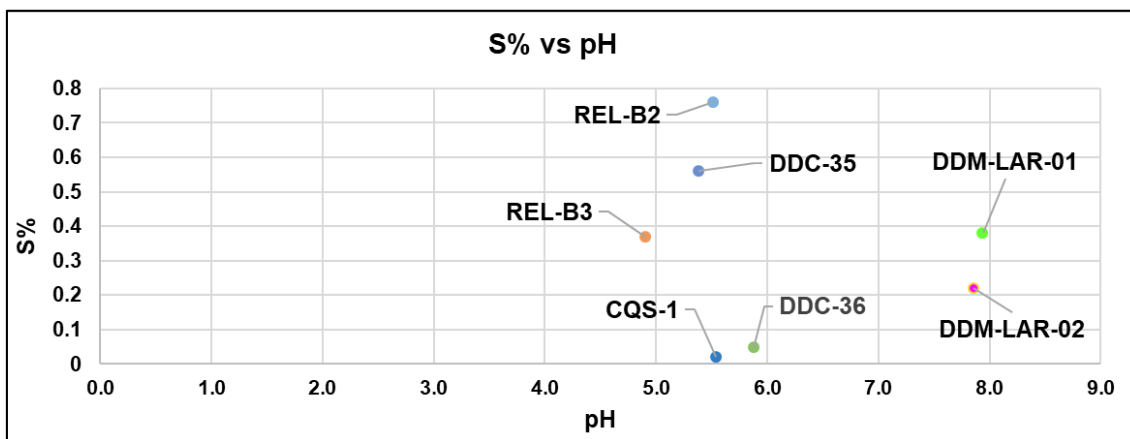


Figura 6.46. Variación de pH en función del azufre en los componentes mineros

b. Metales totales

De acuerdo con la comparación de concentraciones de metales con respecto a los valores de la corteza continental propuesta por Wedepohl (1984 y 1995), se precisa que los componentes mineros presentaron elementos tales como: Sb, As, Cd, Cu, Sn, Ag, Pb y Zn (Figura 6.47).

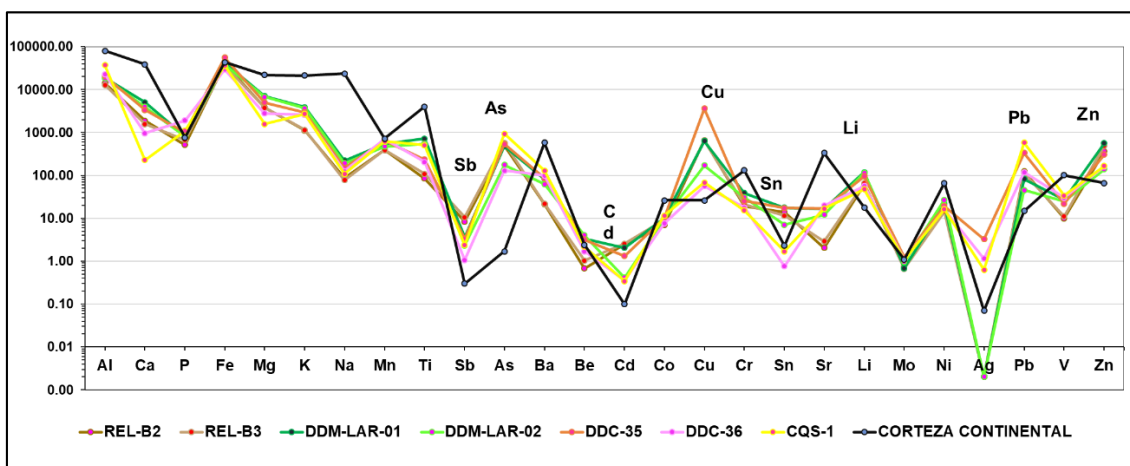


Figura 6.47. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a los componentes mineros con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1984 & 1995)

En la Figura 6.48 se presenta las concentraciones de metales obtenidas en los componentes mineros, los cuales presentaron arsénico, antimonio, cadmio, cobre, manganeso, plomo y titanio y zinc.

Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran en bajas concentraciones y otros por debajo del límite de detección del método del laboratorio.

Por conveniencia los elementos son separados en mayores, menores y trazas. Los límites entre los grupos son arbitrarios, pero los más aceptados son:

- Elementos mayores >1,0% peso
- Elementos menores 0,1 – 1,0% peso
- Elementos trazas <0,1% peso



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

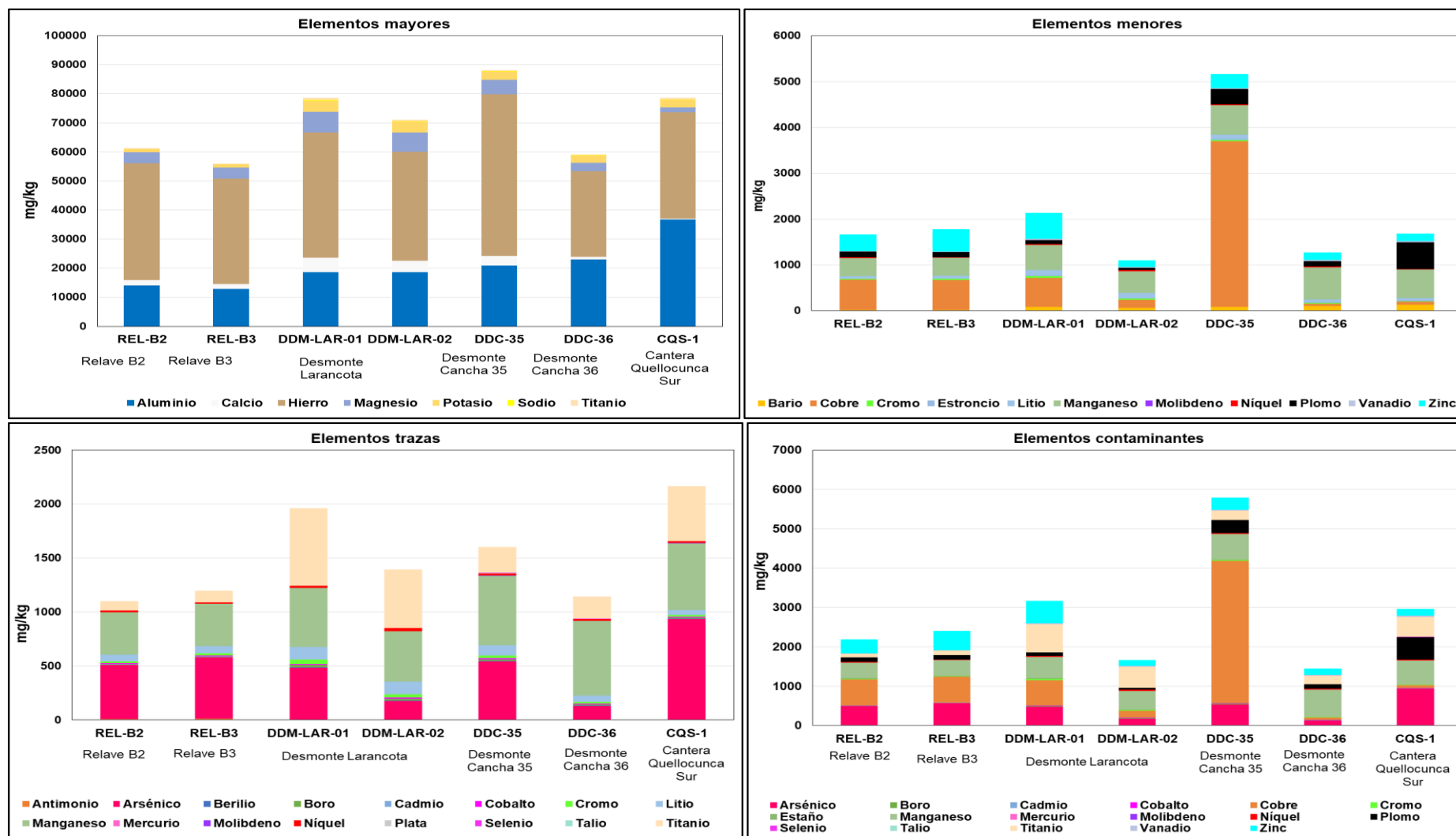


Figura 6.48. Concentración de elementos correspondientes a los componentes mineros

c. Test de lixiviación de aniones y metales

La prueba Shake Flask en laboratorio está diseñada para simular la movilidad (lixiviación) de metales y aniones presentes en componentes mineros, que podrían ser liberados por interacción con la precipitación u otras formas de saturación.

Lixiviación de aniones (Shake Flask Aniones)

En la Tabla 6.20 se presenta las concentraciones de aniones obtenidas en componentes mineros. Los aniones de sulfatos son los que predominan en las todos los relaves y desmontes (REL-B2, REL-B3, DDM-LAR-01, DDM-LAR-02 y DDC-35), con excepciones de DDC-36 y CQS-1 presentando valores bajos en relación a los otros.

Las concentraciones de aniones de los componentes mineros, mediante la prueba de lixiviación Shake Flask extraction se presenta en la Figura 6.49, en donde se observa la comparación de aniones en mg/L. Asimismo, en la Tabla 6.20 se muestra los aniones predominantes de cada unidad litológica.

Tabla 6.20. Prueba Shake Flask en muestras de los componentes mineros

Código		REL-B2	REL-B3	DDM-LAR-01	DDM-LAR-02	DDC-35	DDC-36	CQS-1
Parámetro	Unidad	Componentes mineros						
Cloruros	mg/L	1,7	1,4	3,8	2,5	1,4	1,8	0,39
Fluoruros	mg/L	> 10	5	1,8	3,1	> 10	0,34	0,07
Fosfatos	mg/L PO ₄ -P	0,668	0,4989	1,137	0,6168	0,911	0,2858	< 0,0012
Nitratos	mg/L	< 2	< 2	31	10	6	11	< 2
Nitritos	mg/L	< 0,0012	0,1191	1,255	2,009	0,682	0,2803	0,035
Sulfatos	mg/L	335	101	556	177	1181	11,7	< 5,00

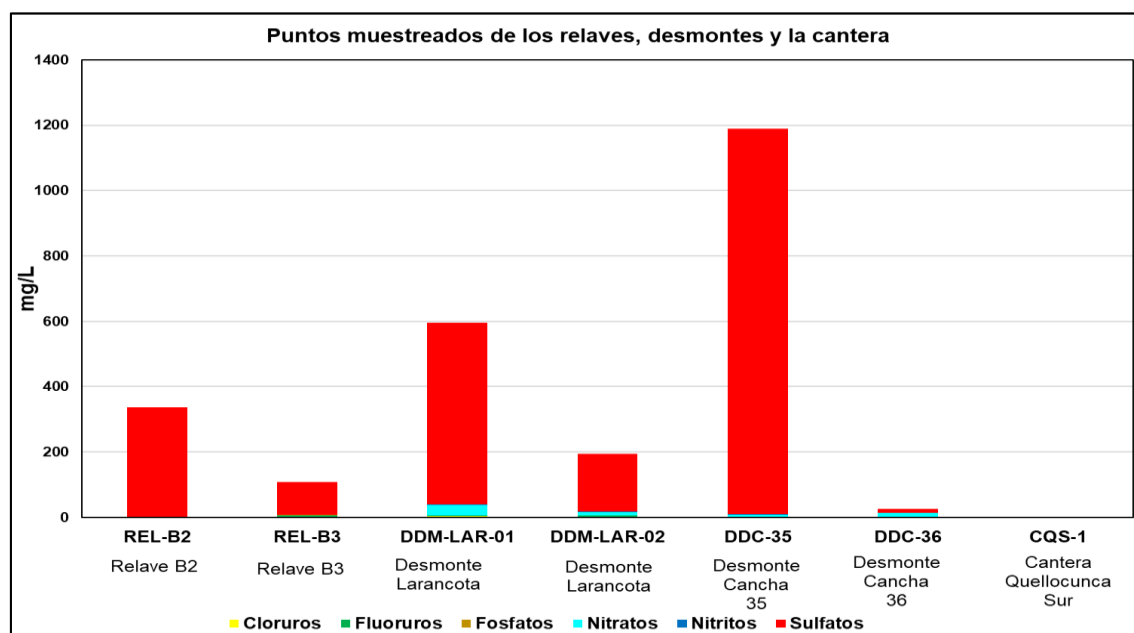


Figura 6.49. Comparación de las concentraciones de elementos correspondientes a las componentes mineros



Lixiviación de metales - (Shake Flask metales)

En la Figura 6.50 se muestra que a las condiciones de la prueba Shake Flask, en donde se muestra que los componentes mineros se lixivian principalmente en los elementos contaminantes tales como arsénico, cobre, manganeso, níquel y zinc en su mayoría. Asimismo, estos elementos se lixivian mayormente en el relave REL-B2 y desmontes DDC-35.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

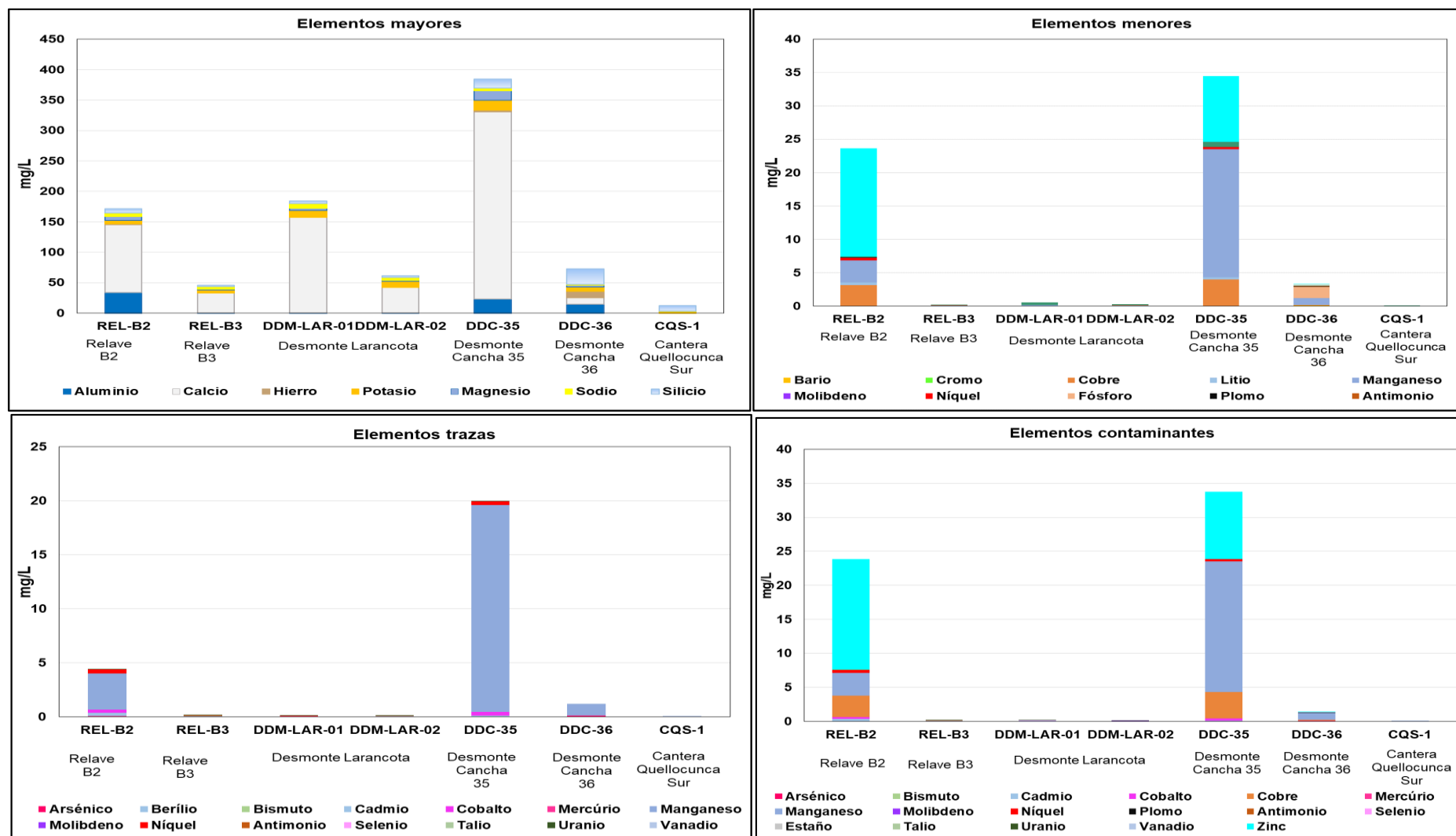


Figura 6.50. Comparación de las concentraciones de las concentraciones de metales por prueba Shake Flask correspondientes a los componentes mineros

d. Análisis mineralógico de difracción de rayos x de componentes mineros

Los minerales obtenidos en el análisis de microscopia de difracción de rayos X de los puntos de muestreos DDC-35, DDC-36, DDM-LAR-01, DDM-LAR-02, REL-B2 y REL-B3 esta descritos en las tablas 6.21 hasta 6.26 y las figuras 6.51 y 6.56.

Tabla 6.21. Microscopia de rayos X de la muestra DDC-35 del depósito de desmontes

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra DDC-35	Cuarzo	SiO ₂	51
	Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	16
	Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	11
	Feldespato- K(Ortoclasa)	KAlSi ₃ O ₈	7
	Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	6
	Turmalina (Dravita)	NaMg ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄	5
	Yeso	CaSO ₄ ·2(H ₂ O)	2

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

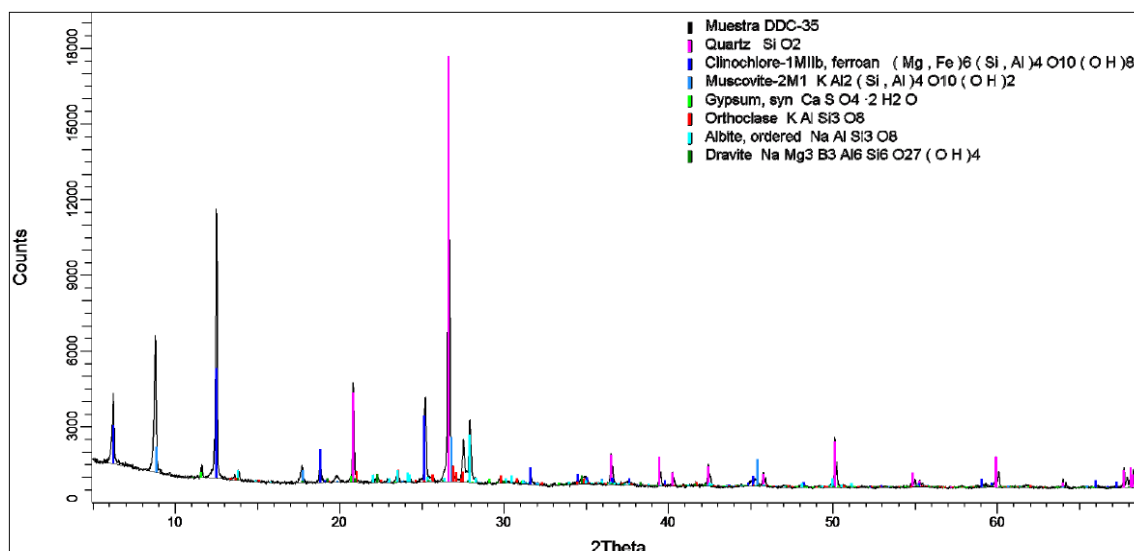


Figura 6.51 Difractograma de la muestra DDC-35 con los respectivos minerales identificados

Tabla 6.22. Microscopia de rayos X de la muestra DDC-36 de los depósitos de desmontes

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra DDC-36	Cuarzo	SiO ₂	62
	Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	26
	Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	5
	Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	3
	Feldespato- K(Ortoclasa)	KAlSi ₃ O ₈	2

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

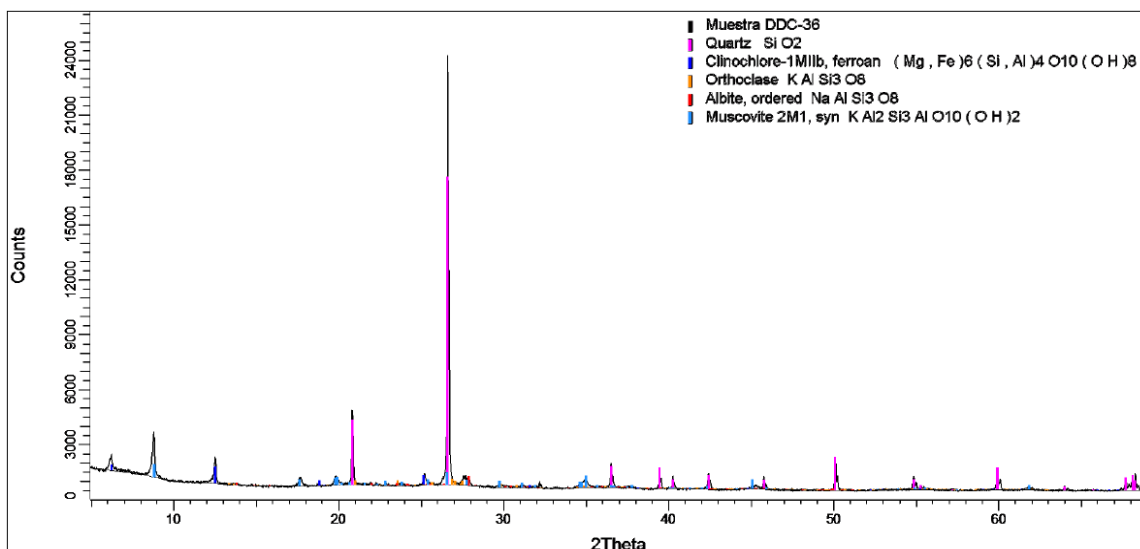


Figura 6.52. Difractograma de la muestra DDC-36 con los respectivos minerales identificados

Tabla 6.23. Microscopia de rayos X en la muestra DDM-LAR-01 del depósito de desmonte

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra DDM-LAR-01	Cuarzo	SiO ₂	45
	Plagioclase (Oligoclase)	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	19
	Feldespato- K(Ortoclase)	KAlSi ₃ O ₈	17
	Mica (Muscovita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	12
	Clorita (Clinocllore)	(Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈	5
	Yeso	CaSO ₄ ·2(H ₂ O)	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.
< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

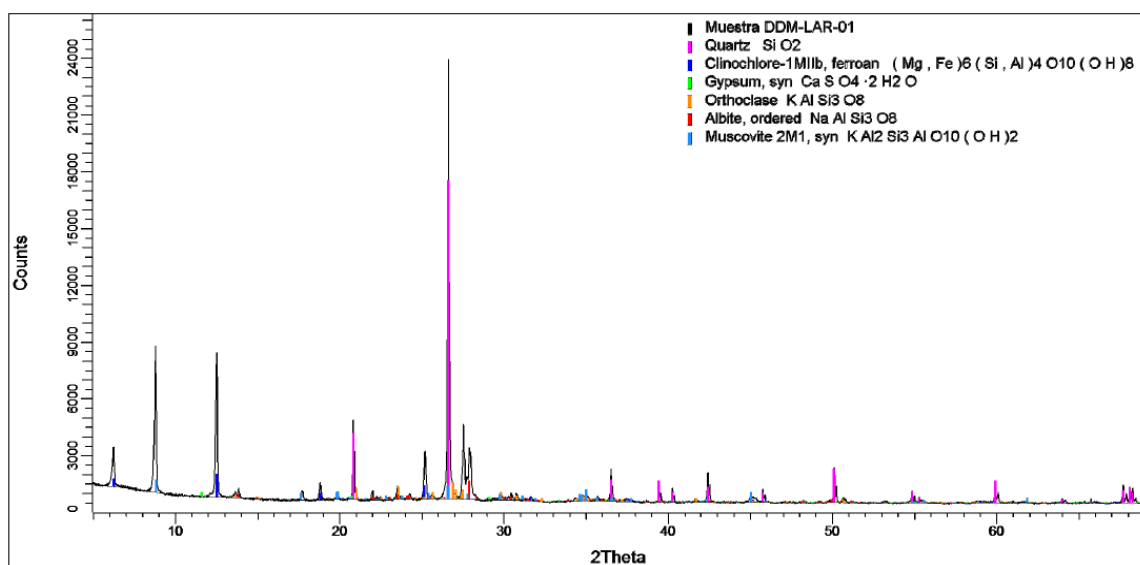


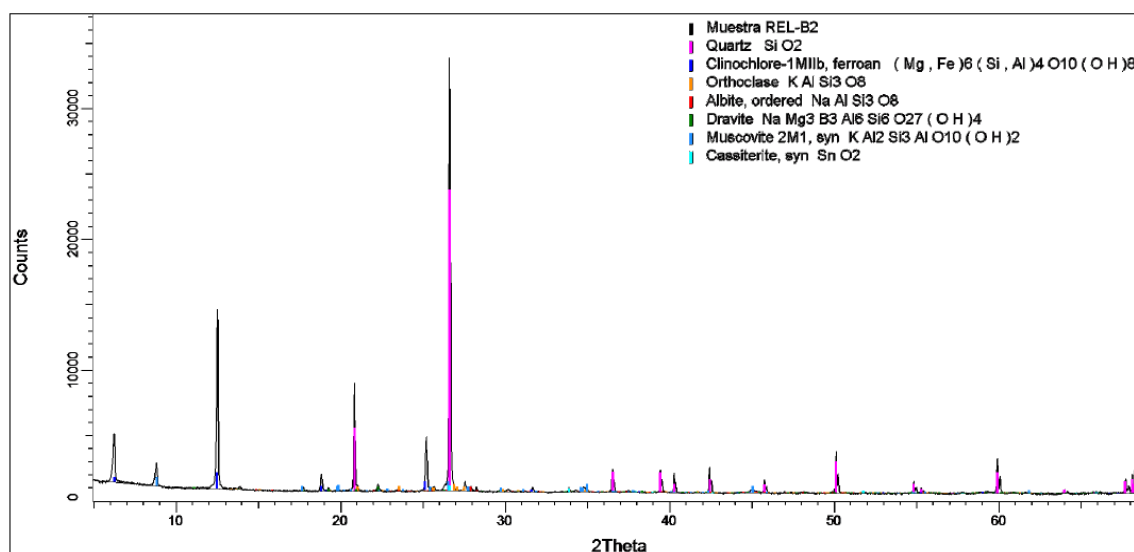
Figura 6.53. Difractograma de la muestra DDM-LAR-01 con los respectivos minerales identificados

**Tabla 6.24.** Microscopia de rayos X de la muestra de relave REL-B2

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra REL-B2	Cuarzo	SiO_2	73
	Turmalina (Dravita)	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	8
	Clorita (Clinocloro)	$(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	7
	Feldespato- K(Ortoclase)	KAlSi_3O_8	5
	Mica (Muscovita)	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	3
	Plagioclase (Oligoclase)	$(\text{Ca},\text{Na})(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$	2
	Casiterita	SnO_2	< L. D.

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

**Figura 6.54** Difractograma de la muestra REL-B2 con los respectivos minerales identificados**Tabla 6.25.** Microscopia de rayos X de la muestra de relave REL-B3

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra REL-B3	Cuarzo	SiO_2	62
	Plagioclase (Oligoclase)	$(\text{Ca},\text{Na})(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$	11
	Turmalina (Dravita)	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	9
	Feldespato- K(Ortoclase)	KAlSi_3O_8	6
	Clorita (Clinocloro)	$(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	5
	Mica (Muscovita)	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$	5
	Pirita	FeS_2	< L. D.

Informe de Ensayo No: ILP-001MI-086 LOTE 1

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

< L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

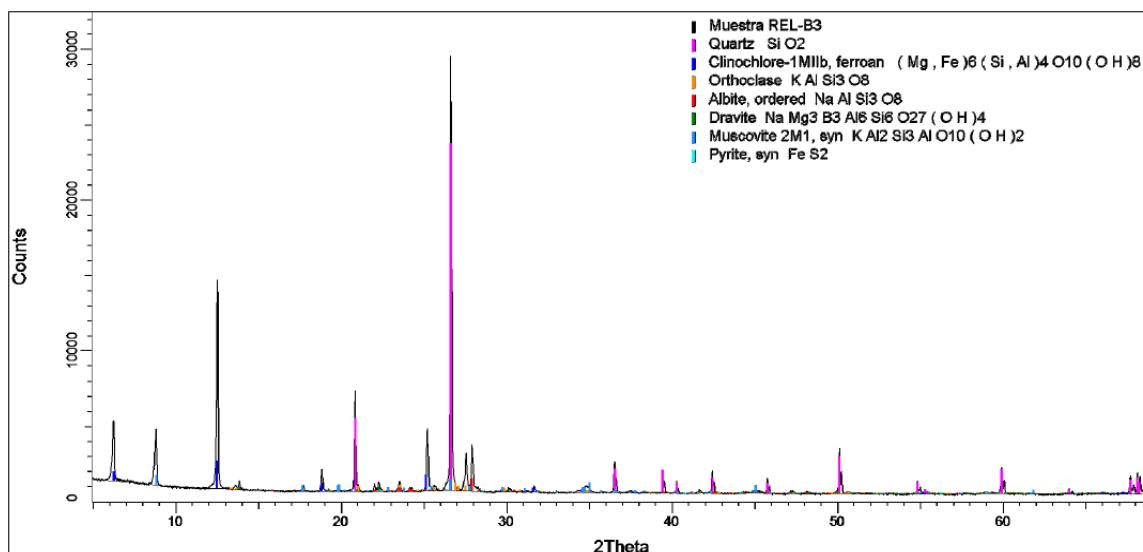


Figura 6.55 Difractograma de la muestra REL-B3 con los respectivos minerales identificados

Tabla 6.26. Microscopia de rayos X énfasis en arcillas en muestra CQS-1 de la cantera

Código de muestreo	Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Muestra CQS-1	Cuarzo	SiO_2	38
	Mica (Muscovita)	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$	36
	Turmalina (Dravita)	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$	10
	Clorita (Clinocloro)	$(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	9
	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	5
	Anatasa	TiO_2	< L. D.
	Rutilo	TiO_2	< L. D.

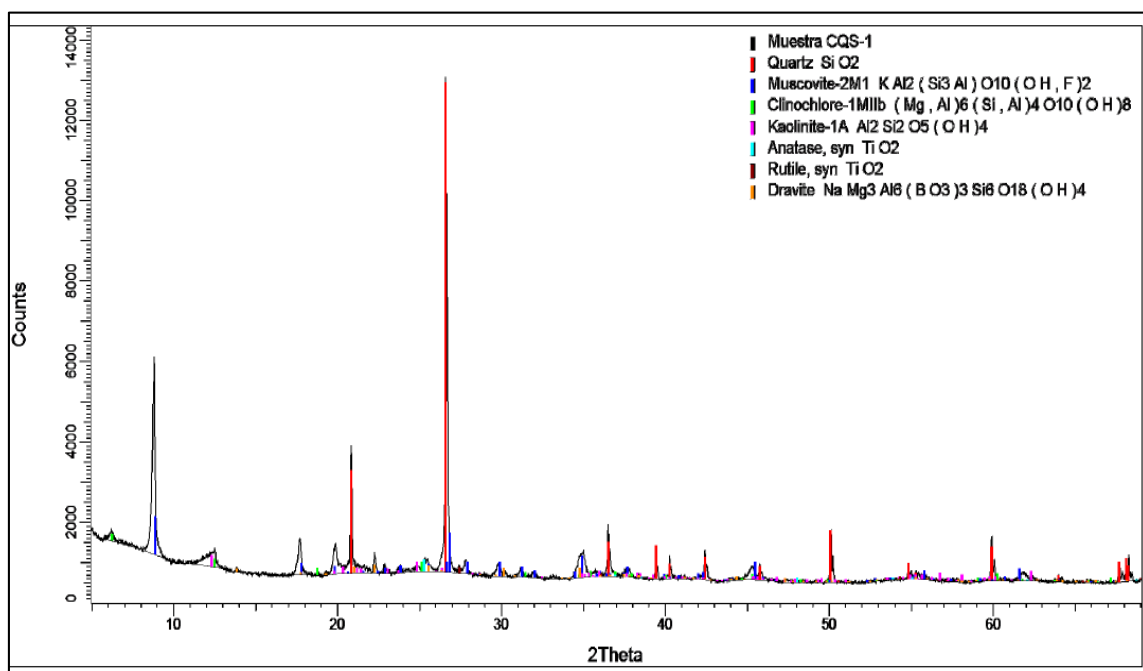


Figura 6.56 Difractograma de la muestra CQS-1 con los respectivos minerales identificados

**e. Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido MEB de componentes mineros**

Para el análisis de los resultados de mineralogía se sistematizó los datos reportados por el laboratorio, y la evaluación consiste en caracterizar la composición mineralógica de los componentes mineros y su relación con la litología del área de estudio. Asimismo, permitirá conocer las formas químicas de los minerales de las fracciones más estables reportadas en la extracción secuencial de metales.

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido reportó en el DDC-35 y DDC-36 las especies minerales metálicas existentes en los componentes mineros.

Tabla 6.27. Microscopía de rayos X de la muestra DDC-35 del desmante

Código de muestra	DDC-35	Composición química (%) en peso											TOTAL
Nombre de mineral	Fórmula general	Fe	Ti	Cu	Bi	Se	As	Sn	Pb	Zn	S	O	
Casiterita	SnO ₂	69,00	3,37	--	--	--	--	--	--	--	--	27,63	100
Rutilo	TiO ₂	--	61,33	--	--	--	--	--	--	--	--	38,67	100
Esfalerita	ZnS	10,89	--	--	--	--	--	--	--	54,50	34,60	--	100
Calcopirita	CuFeS ₂	30,22	--	34,46	--	--	--	--	--	--	35,36	--	100
Pirrotita	Fe(1-x)S	60,37	--	--	--	--	--	--	--	--	39,6	26,85	127
Pirita	FeS ₂	47 20	--	--	--	--	--	--	--	--	52 .81	--	100
Laitakarita	Bi ₄ (Se,S ₃)	--	--	--	8,047	13 63	--	--	--	--	5 9	--	100
Goethita	FeO.OH	63,58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	36,42	100
Arsenopirita	FeAsS	34,31	--	--	--	--	46,38	--	--	--	19,3	--	100
Estannita	Cu ₂ FeSnS ₄	14,32	--	29,29	--	--	--	25,5	--	--	30,9	--	100
Magnetita	Fe ₂ O ₃ . FeO	73,72	--	--	--	--	--	--	--	--	--	26,28	100
Galena	PbS	--	--	--	--	--	--	--	87,6	--	12,4	--	100
Covelina	CuS	--	--	66,21	--	--	--	--	--	--	33,3	--	100

En la muestra DDC-35, es posible apreciar que los minerales no metálicos son los que integran principalmente la muestra. En menor proporción se visualiza pirita (py), pirrotita (po) y calcopirita (cp). La calcopirita (cp) es el mineral opaco más frecuente junto con la pirita (py).

Adicionalmente, las demás imágenes según el tipo de mineral se encuentran en el Informe de Ensayo N°: PTE-001MI-085 Lote 5.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

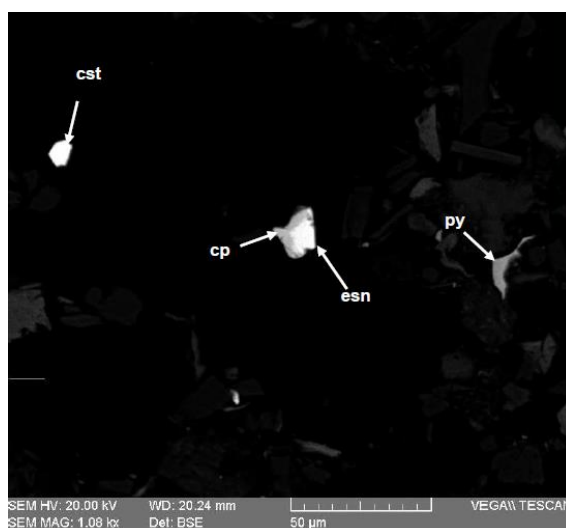


Figura 6.57. Aumento 1080x. Granos libres de pirita (py) y casiterita (cst). Intercrecimiento lateral de estannita (esn) y calcopirita (cp).

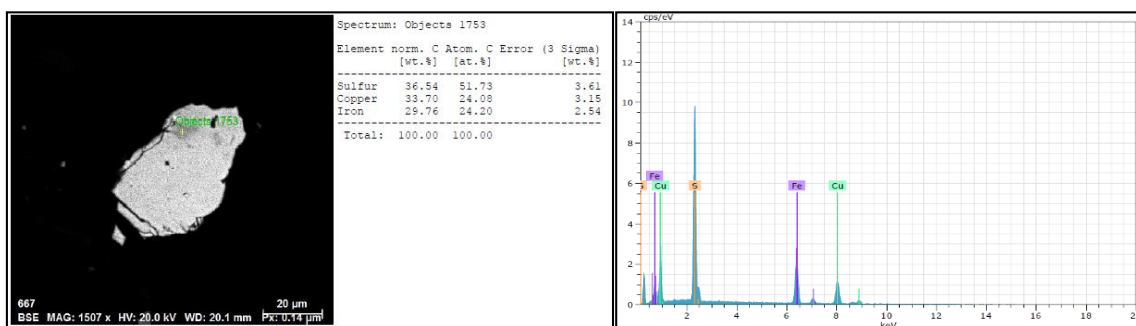


Figura 6.58. Imagen, composición y espectro de calcopirita

Tabla 6.28. Microscopia de rayos X de la muestra DDC-36 del depósito de desmonte

Código de muestra	Nombre de mineral	Zircón	Magnetita	Casiterita	Rutilo	Galena	Rabdophana
DDC-36	Fórmula general	ZrSiO ₄	Fe ₂ O ₃ . FeO	SnO ₂	TiO ₂	PbS	(Ce,La)PO ₄ (H ₂ O)
Composición química (%) en peso	Fe	--	64,44	1,51	--	--	--
	Ti	--	2,99	--	59,36	--	--
	Mg	--	1,6	--	--	--	--
	Zr	49,13	--	--	--	--	--
	Si	13,23	--	--	--	--	--
	Sn	--	--	77,74	--	--	--
	Pb	--	--	--	--	87,32	--
	Ag	--	--	--	--	--	1,08
	Ce	--	--	--	--	--	34,15
	La	--	--	--	--	--	16,16
	P	--	--	--	--	--	15,53
	S	--	--	--	--	12,69	--
	O	37,64	30,97	20,76	40,64	--	33,08

Código de muestra	Nombre de mineral	Zircón	Magnetita	Casiterita	Rutilo	Galena	Rabdophana
DDC-36	Fórmula general	ZrSiO ₄	Fe ₂ O ₃ . FeO	SnO ₂	TiO ₂	PbS	(Ce,La)PO ₄ (H ₂ O)
TOTAL		100	100	100	100	100	100

En la muestra DDC-36, es posible apreciar que los minerales no metálicos son los que integran principalmente la muestra. En menor proporción se visualiza pirita (py) y magnetita (mt). La muestra presenta dentro de la mineralogía opaca óxidos de hierro como magnetita (mt) principalmente y pirita (py). Adicionalmente, las demás imágenes según el tipo de mineral se muestran en el Informe de Ensayo No: PTE-001MI-085 Lote 5.

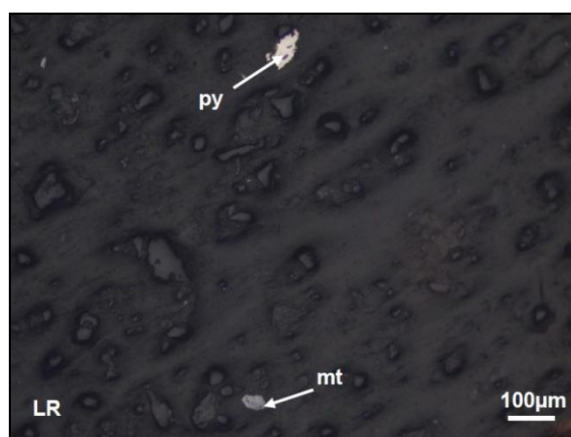


Figura 6.59. Aumento 1000µm. Granos libres de pirita (py) y magnetita (mt)

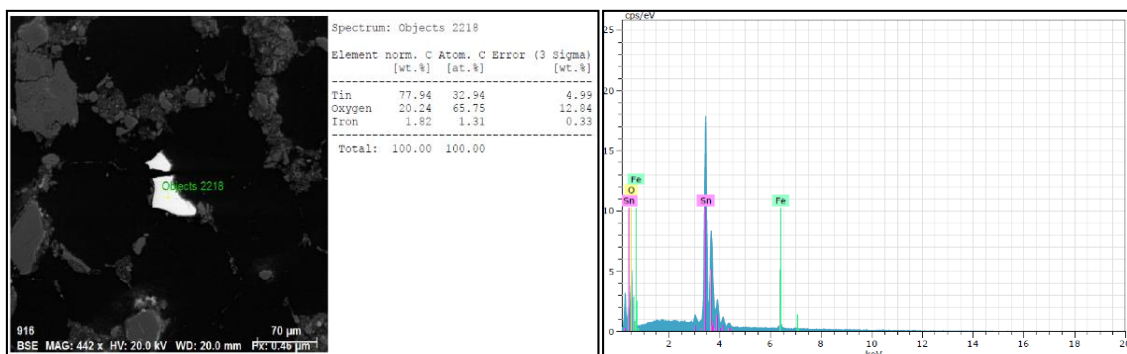


Figura 6.60. Imagen, composición y espectro de calcopirita

f. Análisis granulométrico

En la Figura 6.61 y 6.62 se muestra la granulometría acumulada de las 6 muestras, donde se puede observar que las muestras poseen mayores porcentajes en la fracción de arenas, limos y arcillas. Cabe destacar que las granulometrías de estas muestras presentan la misma tendencia en comparación con los otros. El REL-B2 tiene una granulometría fina por haber sufrido molienda y procesos metalúrgicos.

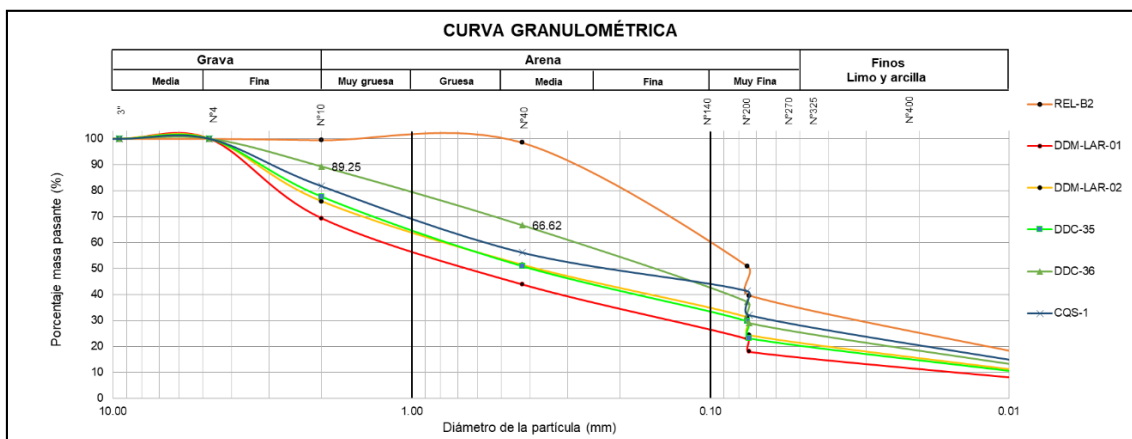


Figura 6.61. Análisis de la curva granulométrica de los componentes mineros

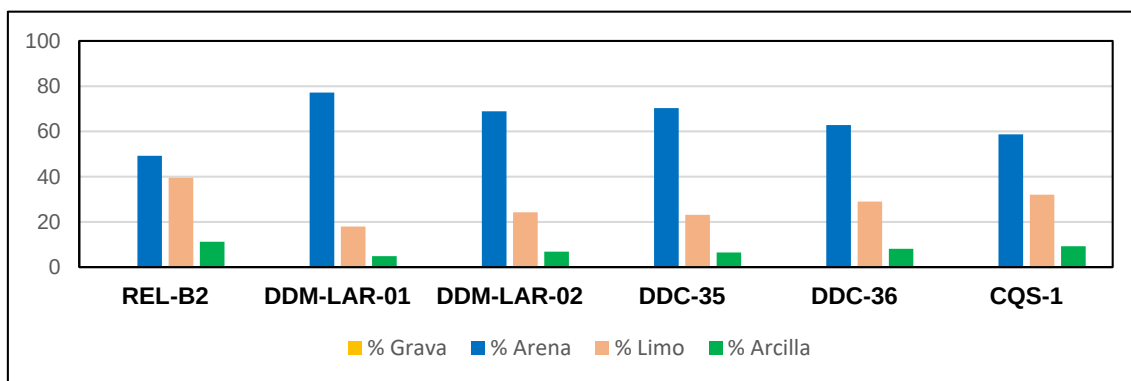


Figura 6.62. Abundancia de las gravas, arenas, limo y arcillas en los componentes mineros

g. Metales solubles extracción 7 etapas

Se realizó la extracción secuencial de metales solubles mediante la metodología de especialización de Dold (2003)¹⁹, el análisis permite caracterizar la potencial movilidad y biodisponibilidad de 12 elementos presentes en el material de componentes mineros. A continuación, se presentan gráficas de los resultados obtenidos para los elementos más relevantes, los cuales permitirán realizar asociaciones mineralógicas en las muestras analizadas y poder establecer comportamientos afines para los materiales muestreados.

¹⁹

Dold, B. 2003. *Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfide mine waste*. *Journal of Geochemical Exploration*, 80, 55-68.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

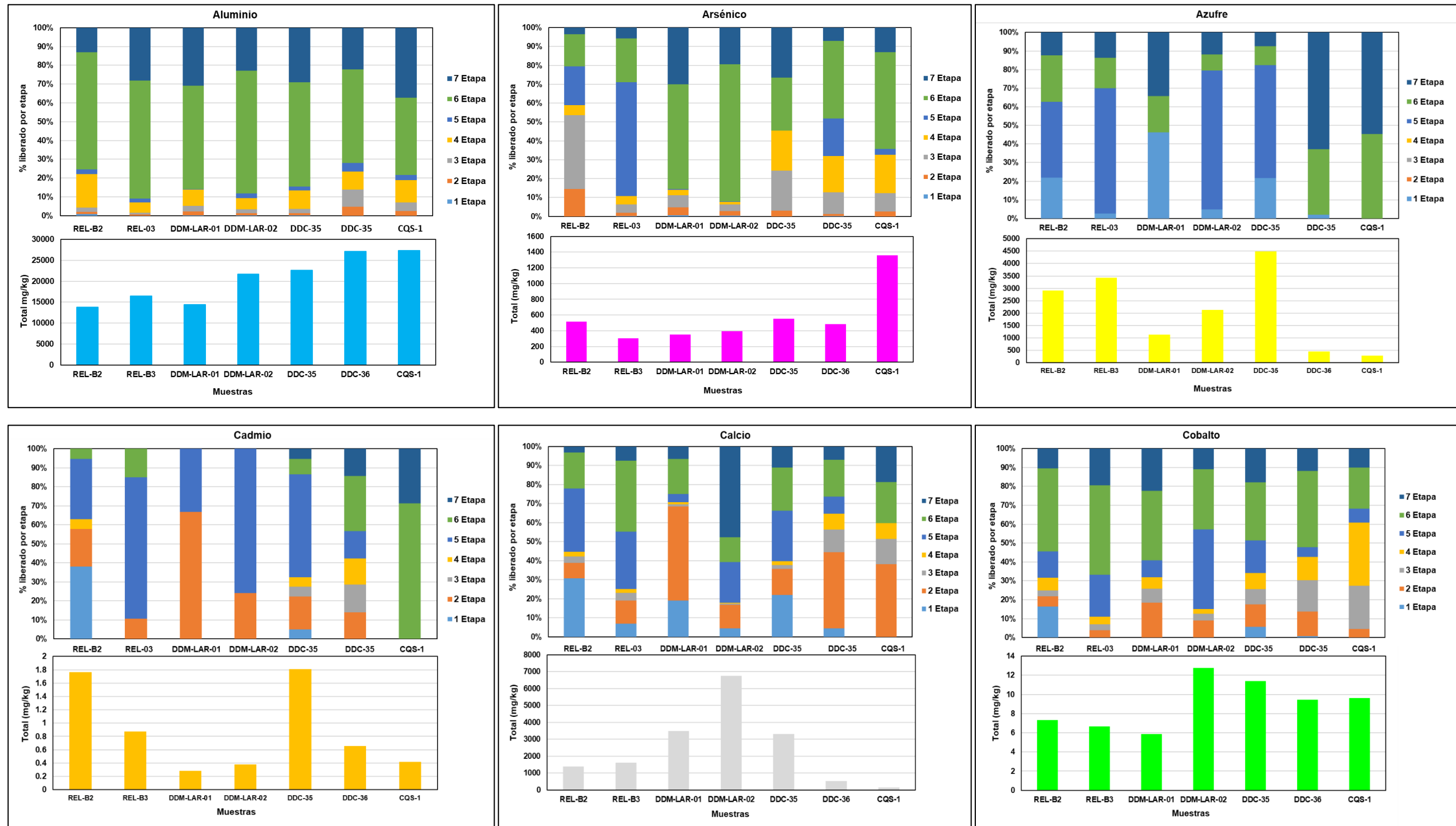


Figura 6.63. Análisis Dold de los elementos tales como aluminio, arsénico, azufre, cadmio, calcio y cobalto de los componentes mineros



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

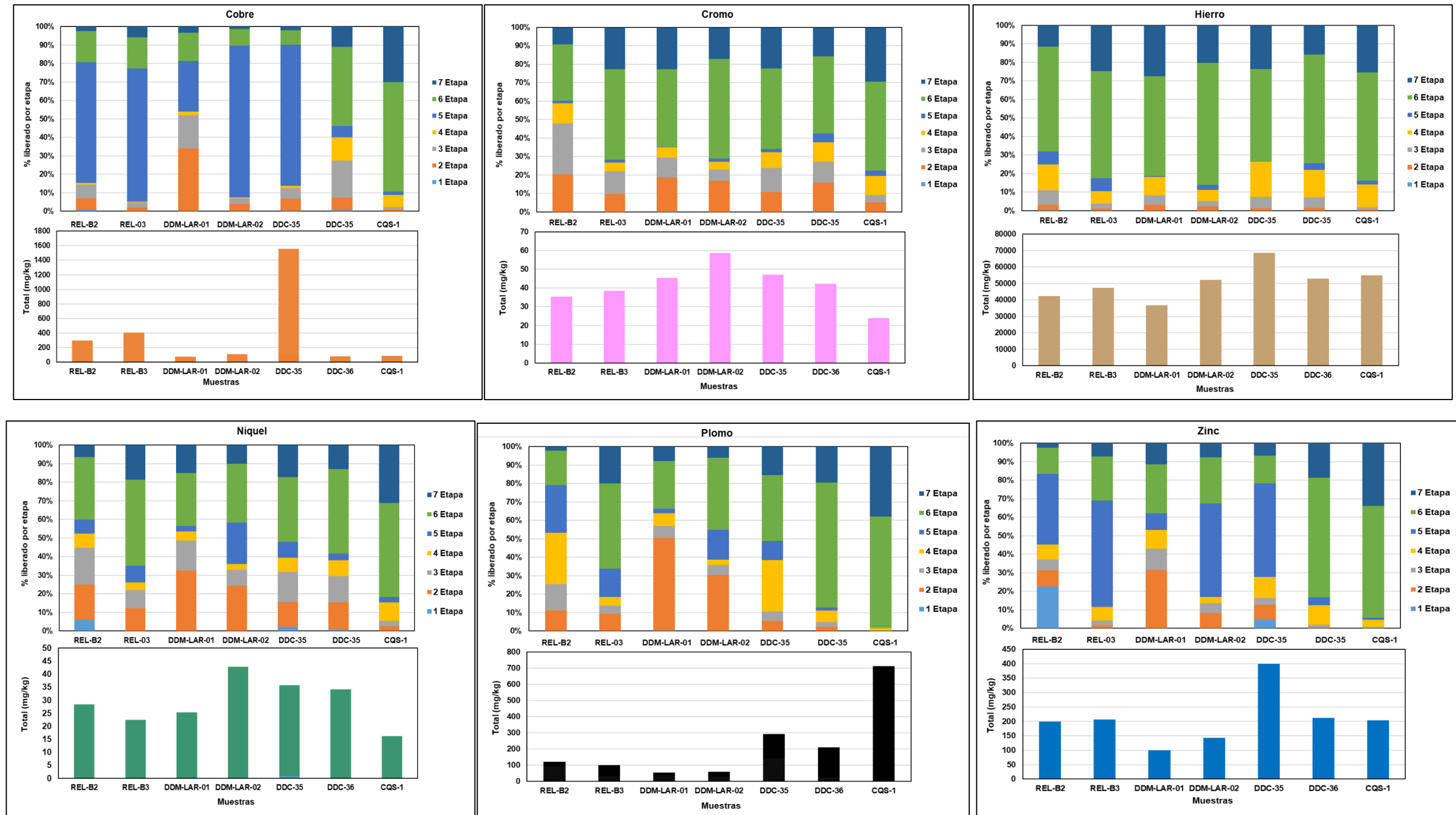


Figura 6.64. Análisis Dold de los elementos tales como cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc de los componentes mineros



6.3. Objetivo específico 3: Identificar la influencia del efluente minero y efluente doméstico en las quebradas Chogñacota, Caquene y río Antauta

Los resultados del efluente doméstico (R-2) no superaron en ningún parámetro evaluado los LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS N.º 003-2010-MINAM), ver Anexo Reporte de resultados.

Los resultados del efluente minero (P-4) no superaron en ningún parámetro evaluado los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (DS N.º 010-2010-MINAM), ver Anexo Reporte de resultados.

6.4. Objetivo específico 4: Determinar el efecto de los contaminantes presentes en los componentes mineros sobre la calidad del agua, sedimento y las comunidades hidrobiológicas.

A continuación, se presentan los resultados y su comparación con la normativa establecida en los instrumentos de gestión ambiental del administrado y con la normativa vigente; además, con normativa internacional de forma referencial.

Con la finalidad de tener una mejor interpretación, los resultados fueron divididos en 4 zonas:

La primera comprende la microcuenca Larancota (quebrada Larancota, Vilacota y Caquene) y contiene los resultados agua superficial, agua subterránea, efluente doméstico, comunidades hidrobiológicas y sedimento.

La segunda comprende las lagunas Suyrococha, Estancococha y Chogñacota y contiene los resultados de agua superficial, comunidades hidrobiológicas y sedimento.

La tercera comprende las microcuencas Chogñacota (quebrada Chogñacota), Chuquisani (quebrada Chuquisani) y Paccha (quebrada Paccha) y presenta los resultados de agua superficial, agua subterránea, efluente industrial, comunidades hidrobiológicas y sedimento.

La cuarta comprende el río Antauta y contiene los resultados de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas.

Finalmente, se presenta la hidroquímica correspondiente a las cuatro zonas evaluadas, para agua superficial, agua subterránea y agua residual industrial.

6.4.1. Zona 1: Microcuenca Larancota

La microcuenca Larancota se conforma por la confluencia de las quebradas Vilacota y Larancota que a su vez dan origen a la quebrada Caquene, tributario del río Antauta, con dirección de flujo de norte a sur, con un área aproximada de 10,2 Km² (Figura 6.65)

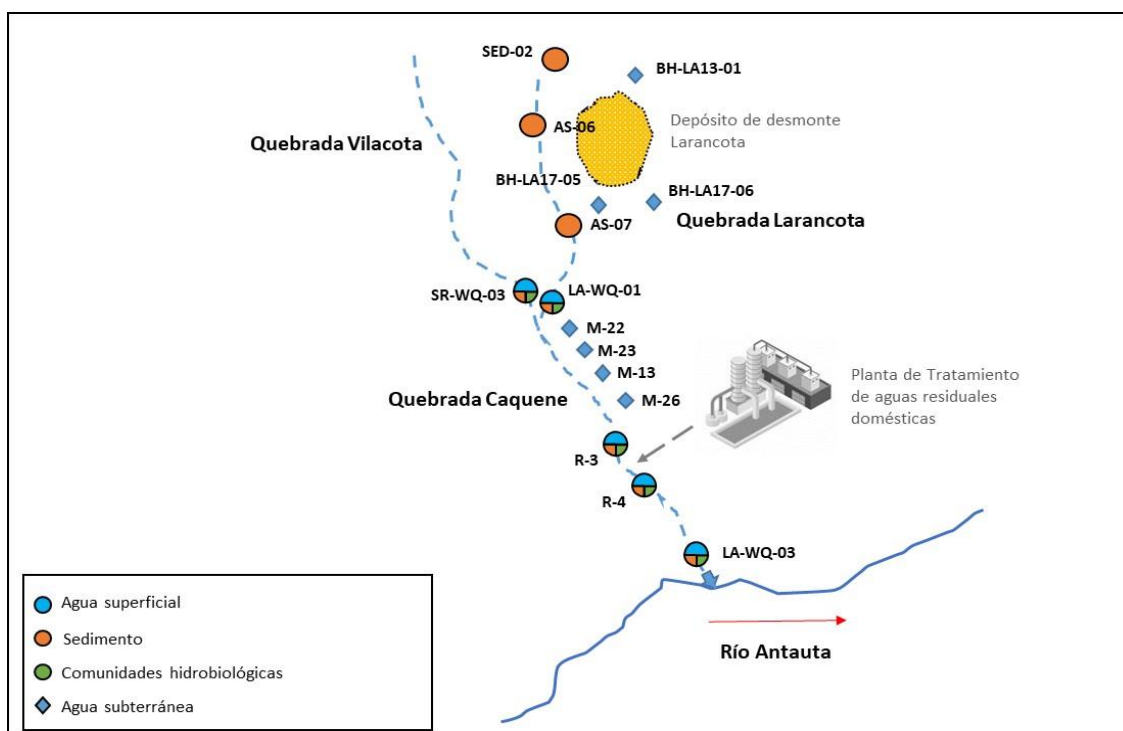


Figura 6.65. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y agua subterránea de la Zona 1

6.4.1.1. Resultados de agua superficial

Los resultados de agua superficial en el área de influencia de la UM Quenamari han sido comparados con los valores de los ECA para agua 2008²⁰, en la categoría 3: Riego de vegetales y Bebida de animales (para ríos y quebradas) y categoría 4 (lagunas), en adelante ECA para agua Cat3: RV y BA, y ECA Cat4: Lag. Respectivamente.

Además, los resultados obtenidos para agua superficial también fueron comparados referencialmente con los ECA para agua 2017, en la categoría 3: D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales y categoría 4: E1: Lagunas, en adelante ECA para agua Cat3: D1 y D2, y ECA Cat4: E1.

En la zona 1 (microcuenca Larancota), se evaluaron 5 puntos distribuidos en las quebradas Larancota, Vilacota y Caquene; de los cuales los resultados obtenidos tanto de los parámetros de campo (pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto) como de laboratorio (físicoquímicos y metales totales) no excedieron los ECA para agua 2008 ni el ECA para agua 2017 (Anexos 3: Reporte de resultados).

6.4.1.2. Resultado de sedimentos

Los resultados de sedimentos han sido comparados de manera referencial con los valores de la Guía para la Protección de Vida Acuática CCME (ISQG - PEL) y con los valores de la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense USEPA (TEL-PEL).

De la comparación de los resultados con la guía CCME, las concentraciones de arsénico y plomo superaron en todos los puntos los valores de esta guía, de igual modo las

²⁰

Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la UM Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael. Resolución Directoral N.º 095-2017-SENACE/DCA.

concentraciones de cobre superaron los valores de la guía en todos los puntos a excepción del punto SR-WQ-03. Respecto a los resultados de cadmio el punto SED-02 ubicado en la quebrada Larancota y R-3, R-4 y LA-WQ-03 ubicados en la quebrada Caquene superaron los valores de la guía, del mismo modo las concentraciones de zinc superaron los valores de la guía en todos los puntos de la quebrada Caquene (R-3, R-4 y LA-WQ-03). Figura 6.65.

De la comparación de los resultados con la guía USEPA, las concentraciones de arsénico, cobre y plomo superaron en todos los puntos los valores de esta guía, de igual modo las concentraciones de plata superaron los valores de la guía en todos los puntos a excepción del punto SR-WQ-03. Respecto a los resultados de cadmio el punto SED-02 ubicado en la quebrada Larancota y R-3, R-4 y LA-WQ-03 ubicados en la quebrada Caquene superaron los valores de la guía, del mismo modo las concentraciones de zinc superaron los valores de la guía en todos los puntos de la quebrada Caquene (R-3, R-4 y LA-WQ-03). Figura 6.67.

De acuerdo a los resultados de granulometría, en los sedimentos de la Zona 1 predominaron las arenas con mayor porcentaje en los rangos medios y finos; excepto en la quebrada Caquene en donde el mayor porcentaje está en la arena gruesa (36.58 %). En tanto, los mayores porcentajes de limo y arcilla se registraron en las quebradas Vilacota (SR-WQ-03), Larancota (SD-SR-04) y Caquene (R-4).

De otro lado, la materia orgánica (M.O) registró mayor porcentaje en la quebrada Vilacota (SED-02) cercana a la laguna del mismo nombre, mientras los menores porcentajes están en la quebrada Caquene en el punto R-3 (0,6 %).

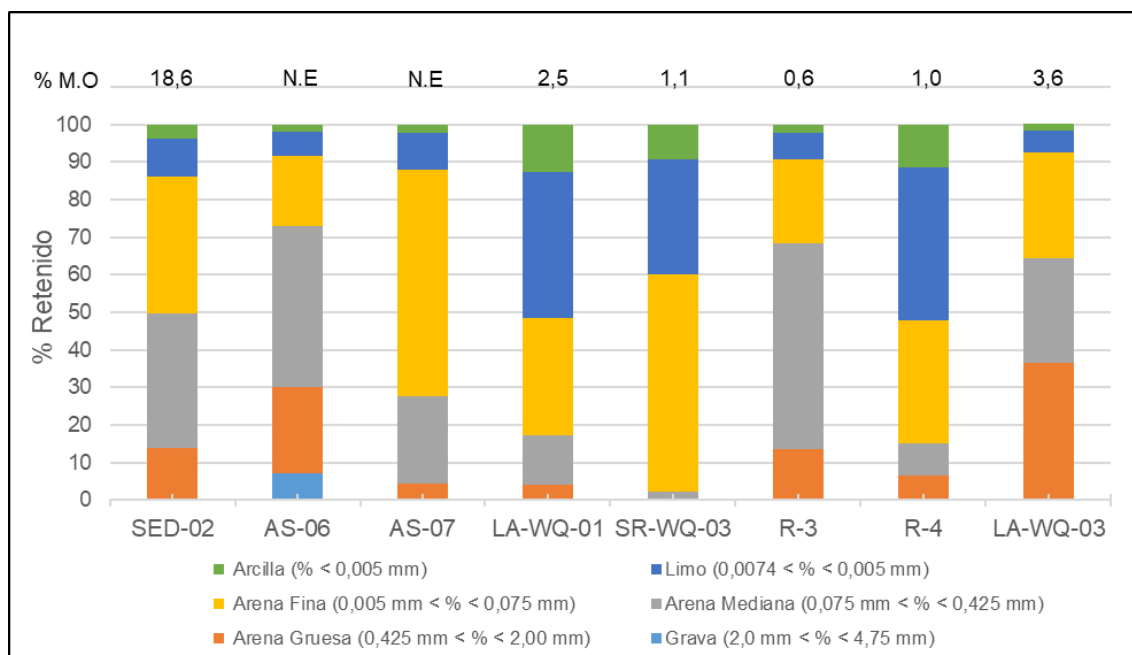


Figura 6.66. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O) de los sedimentos de la Zona 1



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

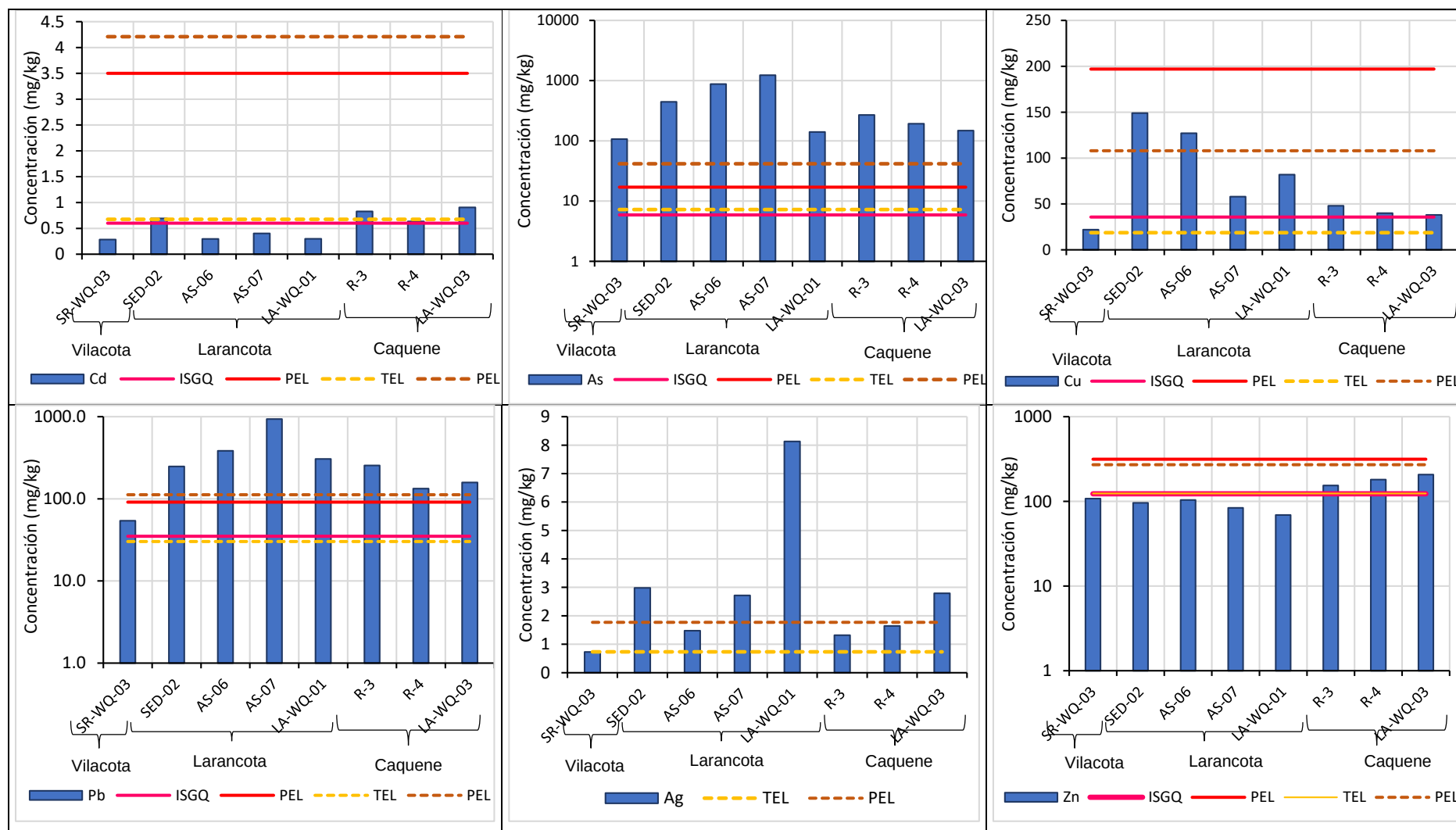


Figura 6.67. Concentración de metales en sedimentos a) cadmio, b) arsénico, c) cobre, d) plomo, e) plata y f) zinc de la Zona 1

6.4.1.3. Resultado de Comunidades hidrobiológicas

En esta sección se presentan los resultados del análisis taxonómico de las comunidades del perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados bentónicos, así como también el procesamiento de la información para la estimación de los índices de diversidad y estado de calidad según el índice ABI. La información antes mencionada, respecto al análisis taxonómico, se detalla en el anexo 3: Reporte de resultados.

6.4.1.3.1. Perifiton

El perifiton fue analizado en sus dos componentes: microalgas y microorganismos.

Microalgas

- Composición y riqueza

A continuación, se describe la composición y riqueza del perifiton evaluado en 5 puntos de muestreo de la zona 1, en la quebrada Vilacota (1), quebrada Larancota (1) y quebrada Caquene (3), donde se registraron 25 taxones, los cuales están agrupadas en 4 phyla, 6 clases, 13 órdenes y 19 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el phylum Bacillariophyta fue dominante con 10 taxones (40% del total), seguido de Cyanobacteria con 8 (32% del total), Chlorophyta con 6 (24% del total) y Charophyta con un único taxón (4% del total). Cabe precisar que el phylum Bacillariophyta solamente estuvo ausente en el punto de muestreo LA-WQ-01 (quebrada Larancota), mientras que en casi todos los demás puntos de muestreo registró el mayor número de taxones (Figura 6.67). El valor de riqueza más alto corresponde a LA-WQ-03 (quebrada Caquene) con 14 taxones; mientras que el valor más bajo se registró en LA-WQ-01 (quebrada Larancota), con 4 taxones.

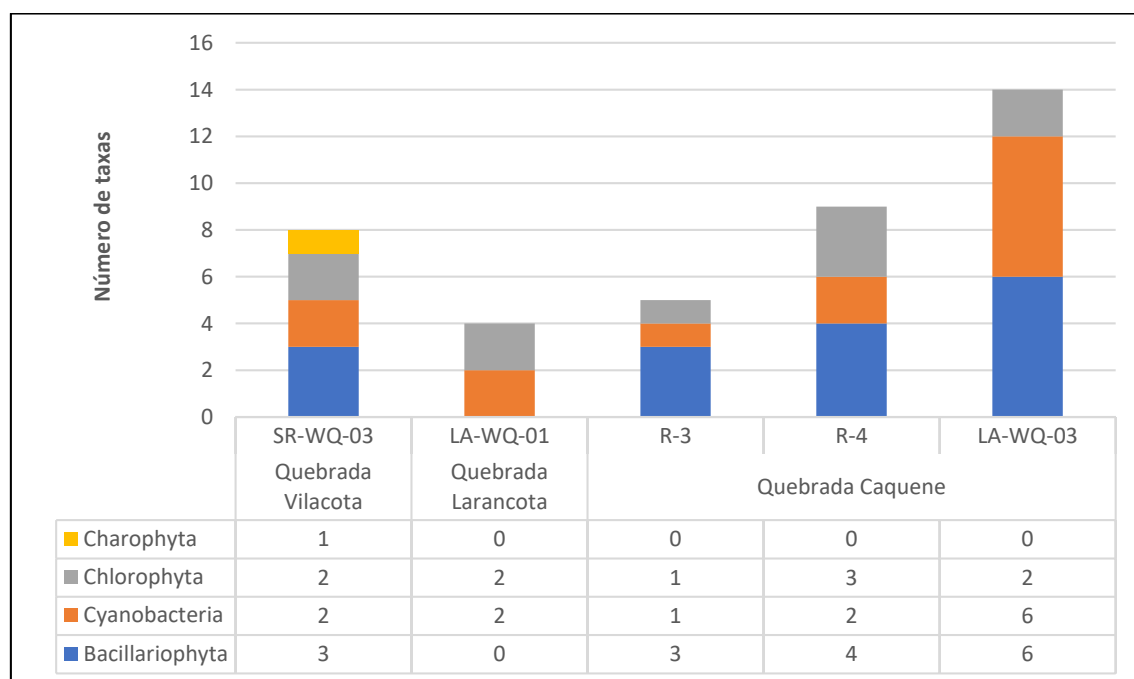


Figura 6.68. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

Respecto a la comunidad de microalgas, se registraron 29980 organismos²¹, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante con 19500 organismos (65,04% del total), seguido de Cyanobacteria con 9300 organismos (31,02% del total), Chlorophyta con 880 organismos (2,94% del total) y Charophyta con 300 organismos (1% del total).

Los valores de abundancia más altos correspondieron a los puntos de muestreo R-3 y LA-WQ-03 en quebrada Caquene, con 9520 y 13440 organismos/cm², respectivamente; mientras que en los demás puntos de muestreo se registraron valores por debajo de 3390 organismos/cm² (R-4). Cabe destacar que, en general, en la quebrada Caquene predominó el phylum Bacillariophyta; mientras que, en quebrada Vilacota y quebrada Larancota predominó el phylum Cyanobacteria (Figura 6.68).

Los taxones más abundantes fueron *Nitzschia gracilis*, *Fragilaria capuccina*, *Fragilaria cf. gracilis* y *Pseudanabaena catenata*, presentes solamente en los puntos de muestreo de la quebrada Caquene.

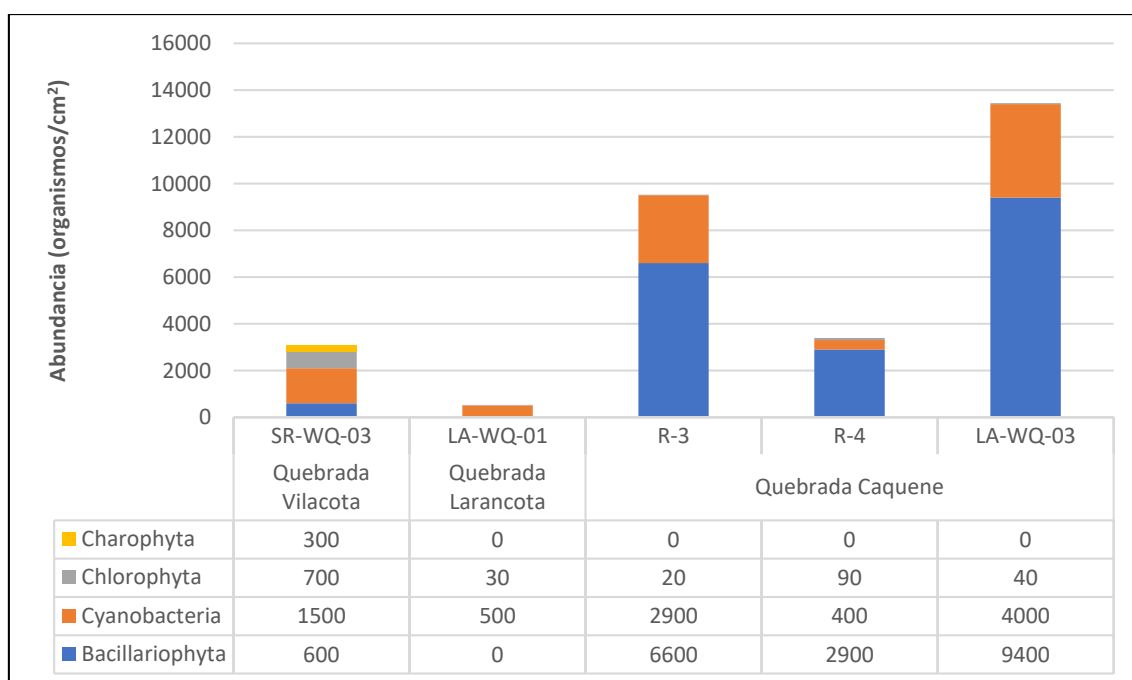


Figura 6.69. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En base a la riqueza y abundancia de taxones, en la Tabla 6.29 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en los puntos de muestreo LA-WQ-03 (quebrada Caquene) y SR-WQ-03 (quebrada Vilacota), respectivamente; en este último punto también se registró el máximo valor de equidad de Pielou (0,9126). Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en LA-WQ-01 (quebrada Larancota);

²¹ La abundancia de organismos del perifiton vegetal y animal por punto de muestreo, han sido determinados bajo la unidad de medida de organismos/L

mientras que el mínimo valor de equidad de Pielou (0,6262) se registró en R-4 (quebrada Caquene).

Tabla 6.29. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
SR-WQ-03	6,671	5,757	0,9126
LA-WQ-01	2,431	2,152	0,6409
R-3	3,258	2,802	0,7338
R-4	3,959	3,014	0,6262
LA-WQ-03	6,75	5,006	0,7236

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

Valores máximos de índices de diversidad alfa

Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

En el clúster de similaridad de Bray Curtis se observa la conformación de dos agrupaciones con una baja similaridad (<50%), en las cuales se diferencia una agrupación conformado por los puntos de muestreo de la quebrada Caquene y otra agrupación entre los puntos LA-WQ-01(quebrada Larancota) y SR-WQ-03 (quebrada Vilacota) (Figura 6.70).

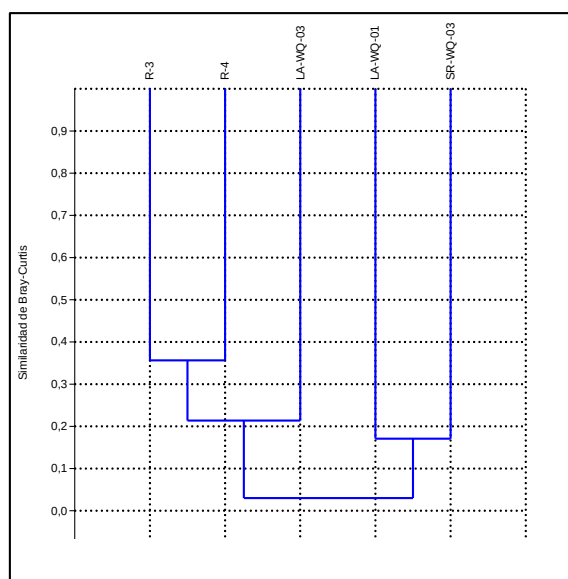


Figura 6.70. Clúster de similaridad de Bray Curtis de microalgas.

Microorganismos

- Composición y riqueza

Respecto a la comunidad de microorganismos del perifiton, se registraron 4 taxones, los cuales están agrupadas en 4 phyla, 4 clases, 4 órdenes y 4 familias. Solamente se registraron organismos en los puntos de muestreo R-3 y LA-WQ-03, en la quebrada Caquene (Figura 6.71). Cabe precisar que cada phylum estuvo representado por una única especie o morfoespecie.

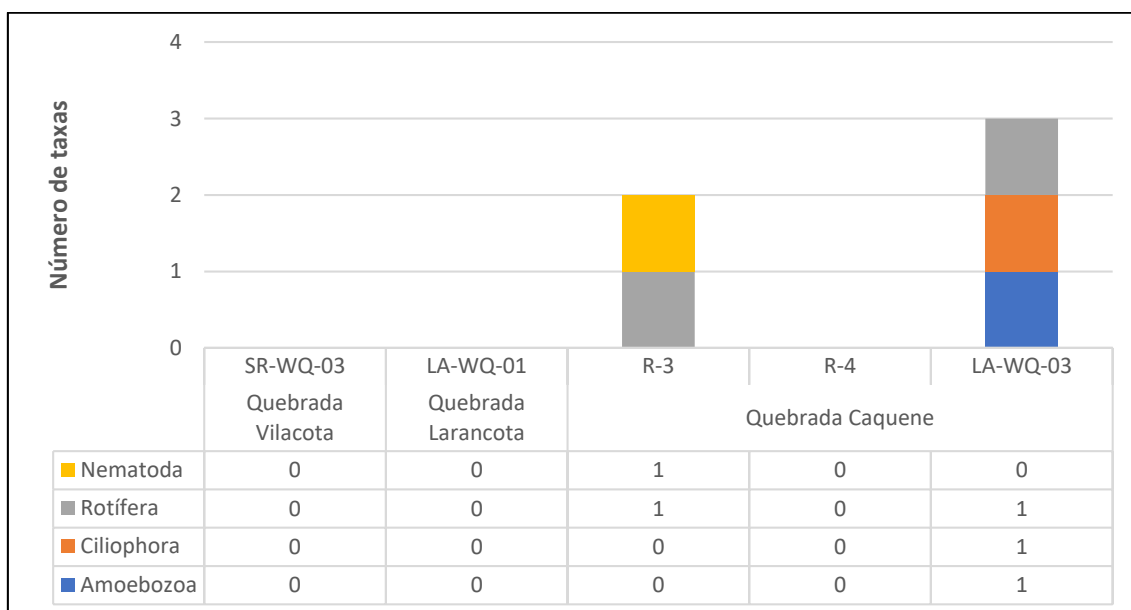


Figura 6.71. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo LA-WQ-03 en quebrada Caquene, con 18 organismos/cm²; mientras que en R-3 se registraron solamente 6 organismos/cm². Así también, en LA-WQ-03 predominó el phylum Ciliophora (*Paramecium* sp.); mientras que, en R-3 predominó el phylum Rotifera (Figura 6.72).

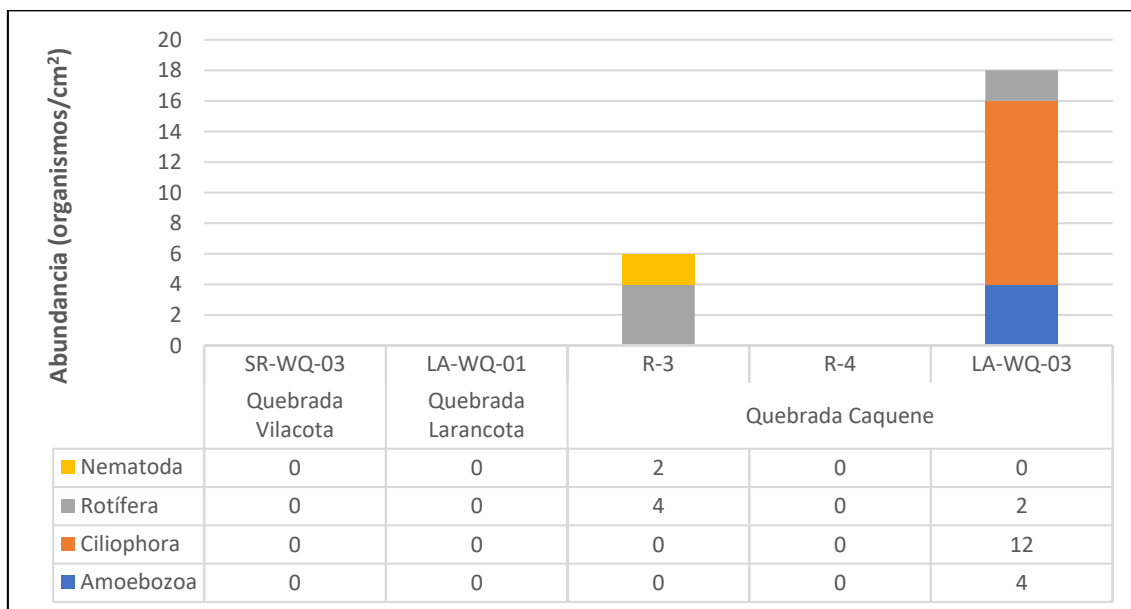


Figura 6.72. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.30 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.



Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en el punto de muestreo LA-WQ-03 (quebrada Caquene); mientras que el valor de equidad de Pielou (0,7725) registró el menor valor. Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en R-3 (quebrada Caquene); mientras que el valor de equidad de Pielou (0,9183) registró el mayor valor.

Tabla 6.30. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
SR-WQ-03	1	-	-
LA-WQ-01	1	-	-
R-3	1,89	1,8	0,9183
R-4	1	-	-
LA-WQ-03	2,337	1,976	0,7725

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

Valores máximos de índices de diversidad alfa

Valores mínimos de índices de diversidad alfa

Macroinvertebrados bentónicos

- Composición y riqueza

A continuación, se describe la composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos en 5 puntos de muestreo, en la quebrada Vilacota (1), quebrada Larancota (1) y quebrada Caquene (3), donde se registraron 15 taxones agrupados en 2 phyla, 2 clases, 3 órdenes y 6 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el orden Diptera fue dominante con 13 taxones (86,67% del total), seguido de Coleoptera y Annelida ND con un taxón cada uno (6,67% del total). Cabe precisar que los órdenes Diptera y Annelida ND estuvieron presentes en todos los puntos evaluados; mientras que Coleoptera solo se registró en SR-WQ-03 (quebrada Vilacota) (Figura 6.73).

Los taxones Oligochaeta ND y Orthocladinae ND fueron los más frecuentes, presentes en todos los puntos de muestreo evaluados.

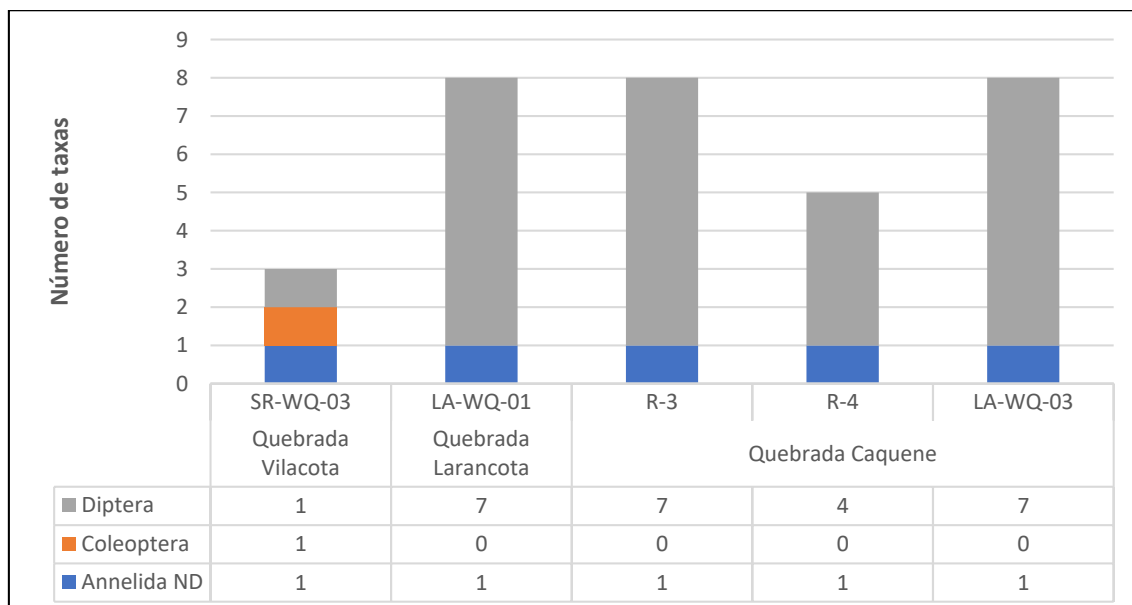


Figura 6.73. Riqueza de taxones de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo

- Abundancia

Se registraron 25161 organismos²², siendo el orden Annelida ND el más dominante con 23863 organismos (94,84% del total), seguido de Diptera con 1297 organismos (5,15% del total) y Coleoptera con un único organismo (0,004% del total).

Los valores de abundancia más altos correspondieron a los puntos de muestreo R-4 y LA-WQ-03 en quebrada Caquene, con 6298 organismos/0,27cm² y 18571 organismos/0,27cm², respectivamente; mientras que en los demás puntos de muestreo se registraron valores por debajo de 174 organismos/cm². Cabe destacar que en los puntos de muestreo antes mencionados predominó el orden Annelida ND (Oligochaeta ND); mientras que, en los demás puntos de muestreo predominó el orden Diptera (Figura 6.74).

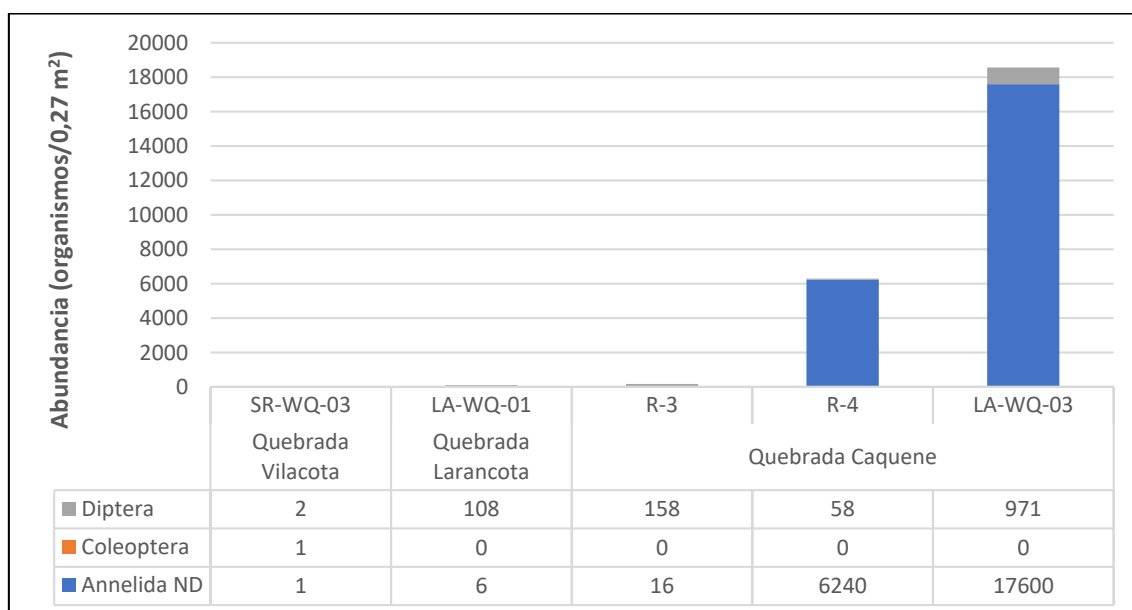


Figura 6.74. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.31 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en los puntos de muestreo LA-WQ-01 (quebrada Larancota) y SR-WQ-03 (quebrada Vilacota), respectivamente; en este último punto también se registró el máximo valor de equidad de Pielou (0,9464). Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en R-4 (quebrada Caquene); así como también el mínimo valor de equidad de Pielou (0,0351).

Tabla 6.31. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
SR-WQ-03	2,828	2,667	0,9464
LA-WQ-01	3,612	2,329	0,6176
R-3	3,269	2,38	0,5696
R-4	1,058	1,019	0,0351

²² La abundancia de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo ha sido determinada bajo la unidad de medida de organismos/0,27 cm².

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-03	1,272	1,111	0,1158

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

En el clúster de similaridad de Bray Curtis se observa la conformación de dos agrupaciones. La primera agrupación, con una similaridad del 50,63%, entre los puntos R-4 y LA-WQ-03, debido a un fuerte predominio del taxón *Oligochaeta* ND en ambos puntos de muestreo; la segunda agrupación es entre los puntos LA-WQ-01, R-3 y SR-WQ-03 (Figura 6.75).

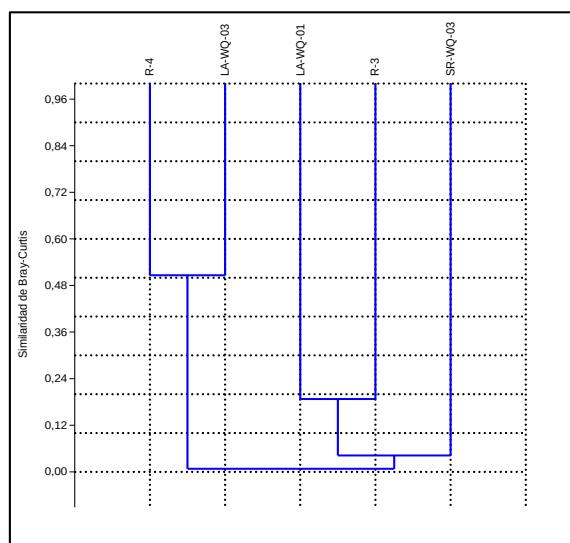


Figura 6.75. Clúster de similaridad de Bray-Curtis de macroinvertebrados bentónicos.

- Calidad Ecológica - Índice Biótico Andino (ABI)

Según la valoración del índice ABI en la Tabla 6.32, el punto de muestreo SR-WQ-03 presentó una calidad ecológica pésima, esto debido a la baja riqueza de taxones y abundancia; mientras que los demás puntos de muestreo presentaron una calificación de mala calidad, debido al predominio de los organismos de la familia Chironomidae y el taxón *Oligochaeta* ND.

Tabla 6.32. Calidad ecológica del agua según el índice biótico andino (ABI)

Puntos de muestreo	Calidad ABI	
	Puntaje	Calidad
SR-WQ-03	8	Pésima
LA-WQ-01	23	Mala
R-3	19	Mala
R-4	11	Mala
LA-WQ-03	18	Mala

6.4.1.4. Resultado de agua subterránea

Son 7 los puntos de muestreo de agua subterránea ubicados en la zona 1 de estudio, entre los cuales tenemos 3 manantiales y 4 piezómetros (Figura 6.65).

Los resultados fueron comparados referencialmente con los ECA para agua Cat.1 aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Detallados en la ítem 5.4).

Respecto a los parámetros pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, solamente este último parámetro no superó en ningún punto el estándar mencionado. La Figura 6.76 muestra que los resultados de pH obtenidos en todos los puntos de muestreo de agua subterránea en la zona 1 se encontraron fuera del rango establecido por el estándar mencionado, a excepción del punto M-26 que se encontró dentro del estándar contemplado.

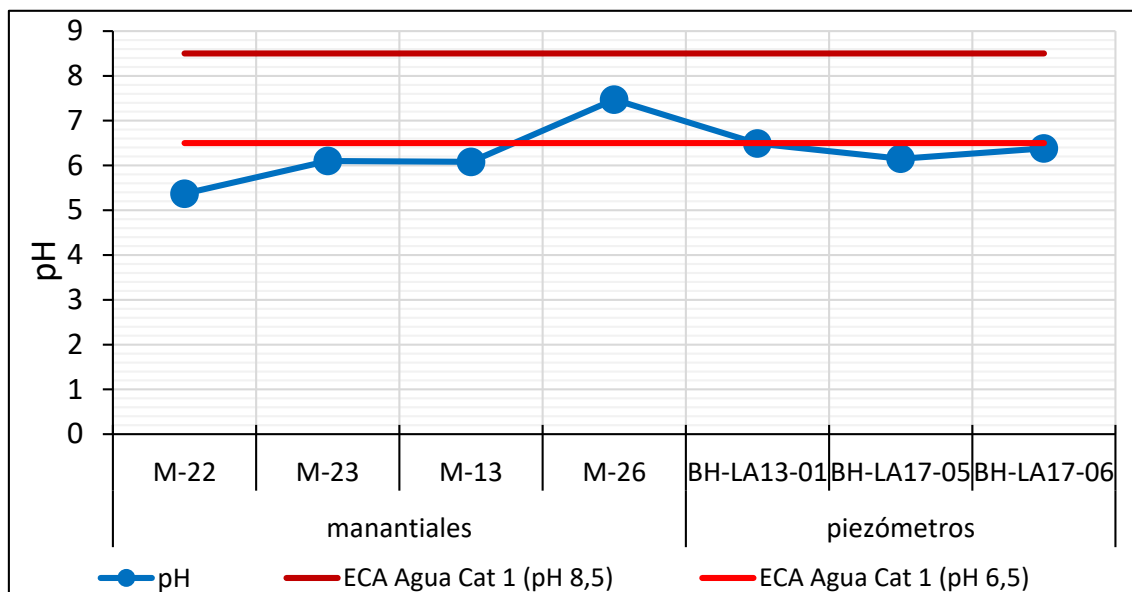


Figura 6.76. Resultados de potencial de hidrógeno en agua subterránea de la zona 1

Por otro lado, la Figura 6.77 muestra que los resultados de oxígeno disuelto obtenidos en todos los puntos de muestreo de agua subterránea en la zona 1 presentaron valores de acuerdo a lo recomendado por el estándar correspondiente a excepción del punto M-22 que presentó un valor inferior a lo establecido.

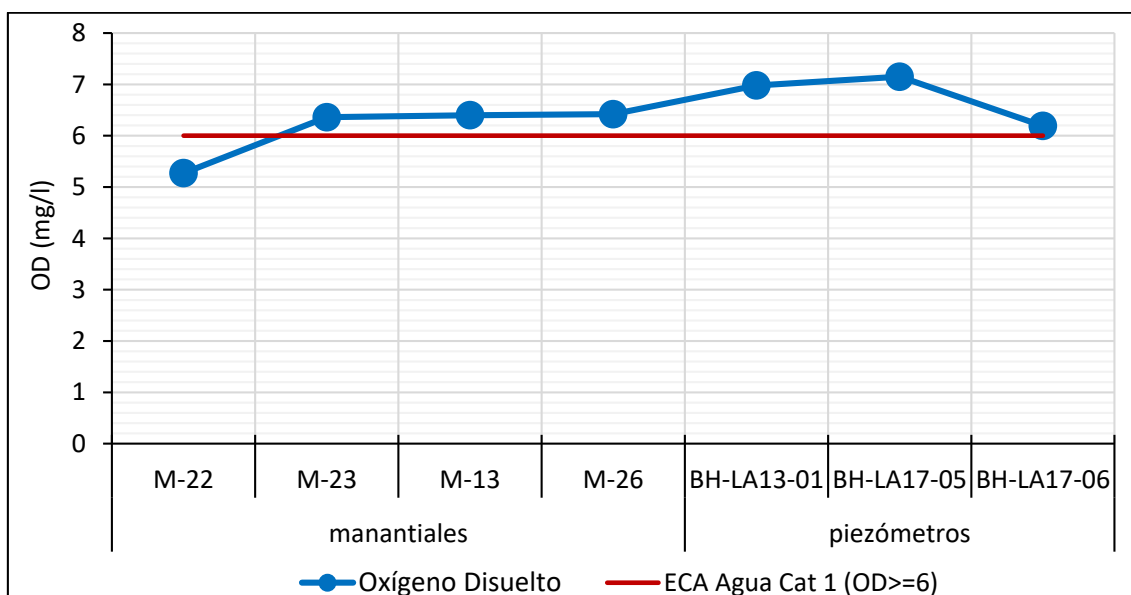


Figura 6.77. Resultados de oxígeno disuelto en agua subterránea de la zona 1

Respecto a los resultados de sólidos totales disueltos, sulfuros, cloruros, fluoruros, sulfatos y cromo hexavalente ningún punto de muestreo de la zona 1 superó el valor establecido en los estándares de comparación. Los resultados de estos parámetros y los parámetros que no cuentan con estándar de comparación como: acidez, sólidos totales en suspensión, alcalinidad total, bicarbonato y carbonato se presentan en el Anexo 3: Reporte de resultados.

En el caso de los metales en los manantiales, solo el arsénico en el punto M-13 superó el ECA para agua Cat. 1. Respecto a los piezómetros los metales arsénico (punto BH-LA17-05), hierro (puntos BH-LA17-05 y BH-LA17-06) y plomo (punto BH-LA17-06) superaron el estándar de comparación.

El global de los resultados de metales se presenta en el Anexo 3 del presente informe.

6.4.2. Zona 2: Microcuenca Chogñacota, Chuquisani y Paccha

La microcuenca Chogñacota, Chuquisani y Paccha se conforma por la confluencia de las quebradas Chogñacota y Chuquisani que finalmente tributan al río Antauta, además por la quebrada Paccha que también tributa al río Antauta con dirección de flujo de norte a sur (Figura 6.78).

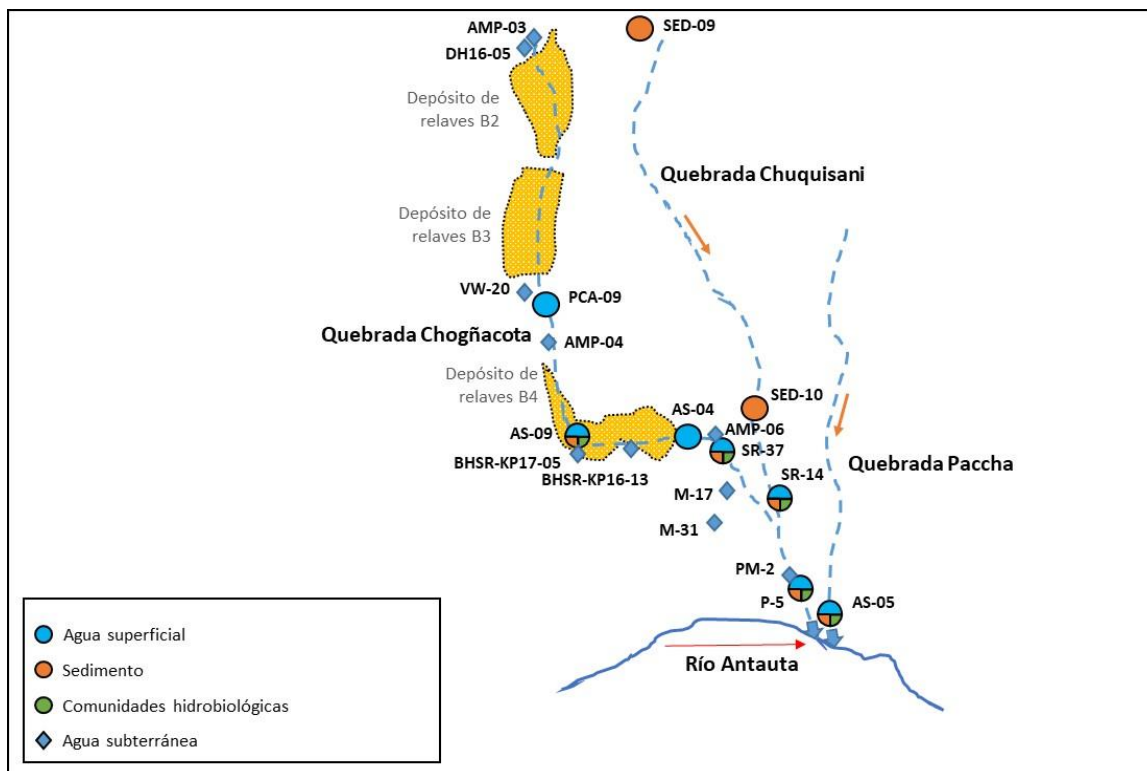


Figura 6.78. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y agua subterránea de la Zona 2

6.4.2.1. Resultados de agua superficial

En la Zona 2, se evaluaron 7 puntos distribuidos en las quebradas Chogñacota, Chuquisani y Paccha. Los resultados de los parámetros de campo cumplieron con los ECA para agua 2008 y ECA para agua 2017, con valores de pH cercanos a la neutralidad, estando en un rango de 7,09 a 7,85 unidades de pH; la conductividad eléctrica (CE) varió de 69,3 a 1337 $\mu\text{S}/\text{cm}$, presentándose los más altos valores en los puntos ubicados en la quebrada Chogñacota (donde se vierte el efluente minero). Además, en el punto AS-04 se registró una concentración de oxígeno disuelto (4,56 mg/l) menor a lo establecido en los ECA para agua Cat 3: BA y ECA para agua Cat 3: D2; esto debido a que la muestra fue tomada en un ambiente cerrado (derivación del canal de aguas de no contacto), los resultados se presentan en el Anexo 3: Reporte de resultados.

Las concentraciones de fluoruros en los puntos de la quebrada Chogñacota y Paccha, excedieron los ECA para agua Cat.3: RV y BA y ECA para agua Cat.3:D1, a excepción de los puntos ubicados en el canal de aguas de no contacto y la quebrada Chuquisani que presentaron bajas concentraciones (Figura 6.79). Así también, las concentraciones de sulfatos en las quebradas Chogñacota y Paccha excedieron los ECA para agua Cat.3: RV y BA (Figura 6.80).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

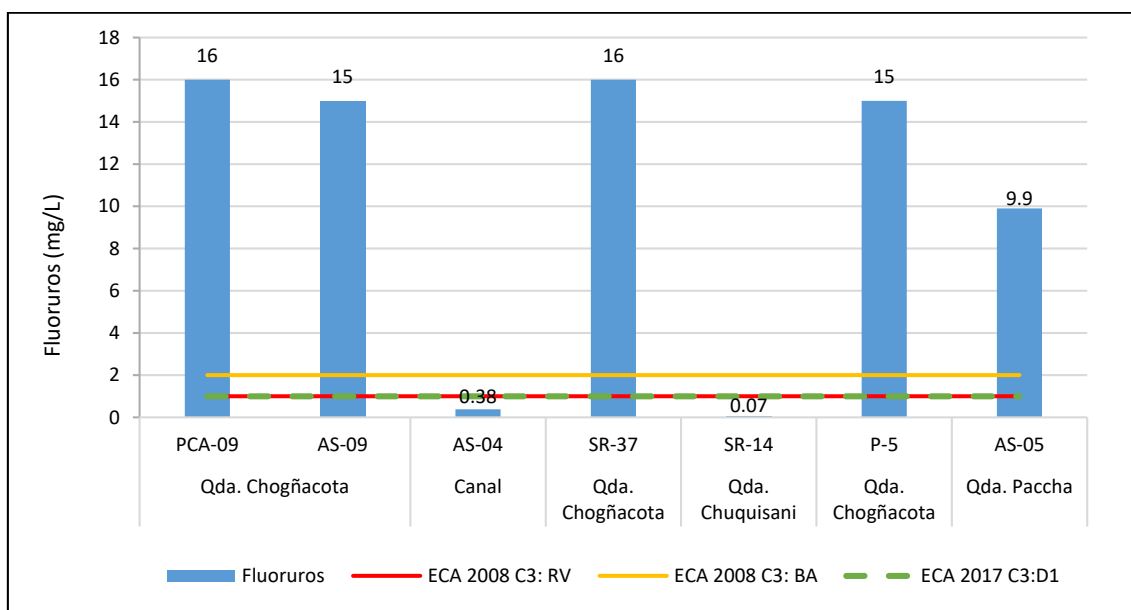


Figura 6.79. Concentración de fluoruros en agua superficial de la Zona 2

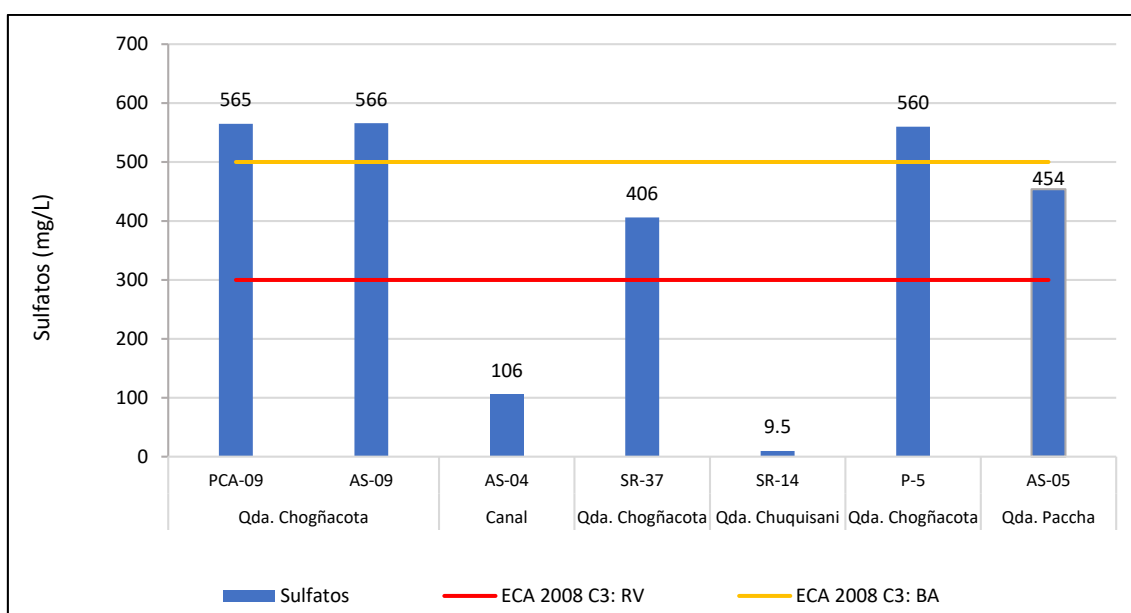


Figura 6.80. Concentración de sulfatos en agua superficial de la Zona 2

Respecto a los resultados de metales totales, todos los puntos ubicados en la quebrada Chogñacota registraron concentraciones de calcio que excedieron el ECA para agua Cat.3: RV, y solo los puntos (PCA-09 y AS-09) ubicados aguas abajo de la descarga del efluente minero presentaron concentraciones de hierro total que excedieron los ECA para agua Cat.3: RV y BA (Figura 6.81). En cambio, al ser comparados con los ECA para agua 2017, ningún metal excedió este estándar.

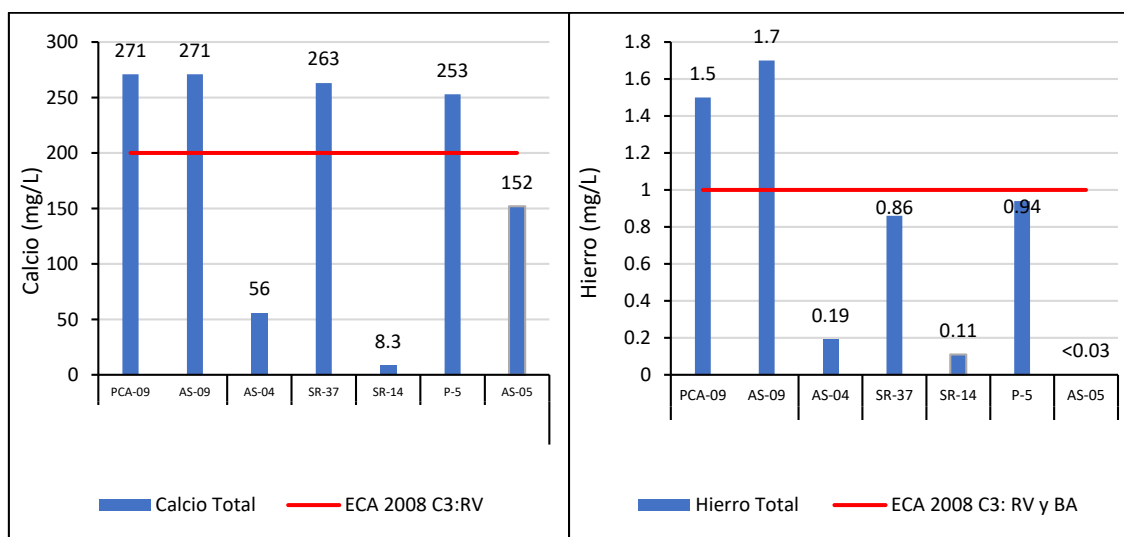


Figura 6.81. Concentración de metales totales a) calcio y b) hierro en agua superficial de la Zona 2

6.4.2.2. Resultados de sedimentos

De la comparación de los resultados con la guía CCME, las concentraciones de arsénico, plomo y zinc superaron en todos los puntos los valores de esta guía, de igual modo las concentraciones de cobre superaron los valores de la guía en todos los puntos con excepción del punto AS-05. Respecto a los resultados de cadmio estos superaron los valores de la guía en todos los puntos a excepción del punto SED-09. Figura 6.84.

De la comparación de los resultados con la guía USEPA, las concentraciones de arsénico, cobre, plomo y zinc superaron en todos los puntos los valores de esta guía, de igual modo las concentraciones de cadmio superaron los valores de la guía en todos los puntos con excepción del punto SED-09. Respecto a al níquel, las concentraciones en todos los puntos superaron los valores de la guía, con excepción de los puntos SR-37 y SED-09 (Figura 6.84.)

En relación a los resultados de granulometría, los sedimentos de la Zona 2 tienen predominancia variable, en donde la quebrada Chuquisani (SED-10) registró mayores porcentajes de arena en los rangos medios y finos, las quebradas Chogñacota (P-5) y Paccha (AS-05) predominaron los tres rangos (finos, medios y gruesos). Mientras que, las quebradas Chogñacota en los puntos de muestreo AS-09 y SR-37 predominaron las gravas con 33,04 % y 26,30 % respectivamente, y en las quebradas SED-09 y SR-14 registraron mayores porcentajes de arena en los rangos gruesos y medios (Figura 6.82).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

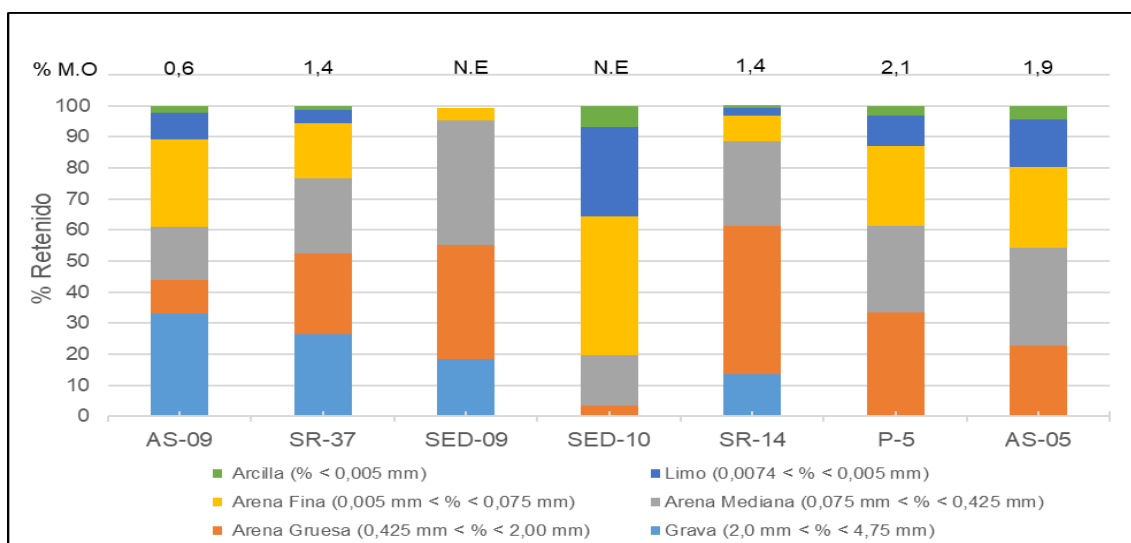


Figura 6.82. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O) de los sedimentos de la Zona 2

Los resultados de Tessier en la quebrada Chogñacota (Zona 2) indican que la concentración de la fracción residual (F6) fue la predominante para el arsénico, níquel y plomo. Mientras que para el cobre fue la fracción ligada a la materia orgánica (F5) y en caso del zinc la predominancia fue variable, ligada a la fracción F4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) y residual (F6) en AS-09, residual (F6) en SR-37 y materia orgánica (F4) en P-5. En tanto el cadmio está ligado a la fracción F4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro), junto con la fracción residual (F6) solamente en AS-09.

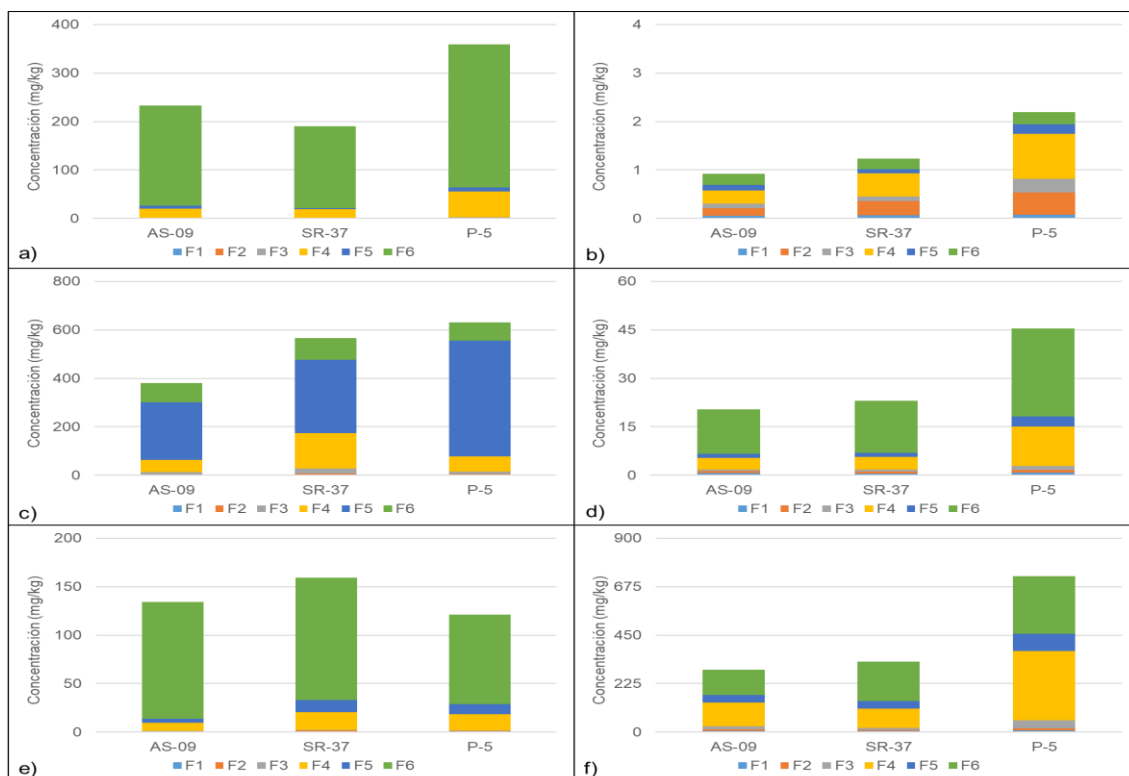


Figura 6.83. Fracciones de Tessier en a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobre, d) Níquel, e) Plomo y f) Zinc de la quebrada Chogñacota



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

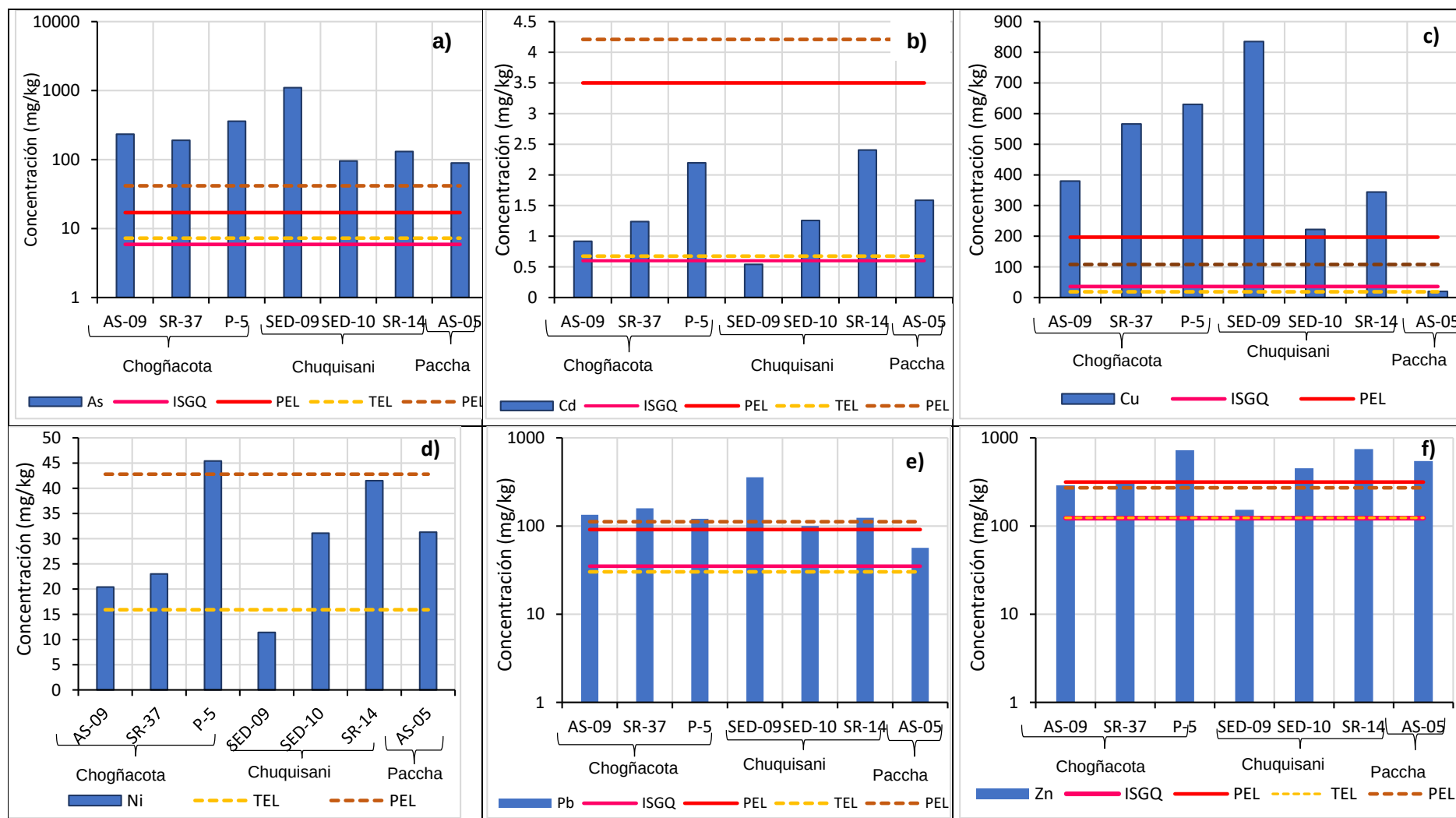


Figura 6.84. Concentración de metales totales en sedimento a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc en la Zona 2

6.4.2.3. Resultados de comunidades hidrobiológicas

En esta sección se presentan los resultados del análisis taxonómico de las comunidades del perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados bentónicos, así como también el procesamiento de la información para la estimación de los índices de diversidad y estado de calidad según el índice ABI. La información antes mencionada, respecto al análisis taxonómico, se detalla en el Anexo 3: Reporte de resultados.

6.4.2.3.1. Perifiton

El perifiton fue analizado en sus dos componentes: microalgas y microorganismos.

Microalgas

- Composición y riqueza

Se evaluó la comunidad de microalgas del perifiton en 5 puntos de muestreo de la zona 2, en la quebrada Chogñacota (3), quebrada Chuquisani (1) y quebrada Paccha (1), donde se registraron 42 taxones, los cuales están agrupadas en 4 phyla, 5 clases, 16 órdenes y 27 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el phylum Bacillariophyta fue dominante con 18 taxones (42,86% del total), seguido de Cyanobacteria con 11 (26,19% del total), Chlorophyta con 7 (16,67% del total) y Charophyta con 6 taxones (14,29% del total). Cabe precisar que el phylum Chlorophyta solamente estuvo ausente en el punto de muestreo SR-14 (quebrada Chuquisani), mientras que el phylum Charophyta solamente estuvo presente en los puntos de muestreo SR-14 y AS-5 (Figura 6.85). El valor de riqueza más alto corresponde a AS-5 (quebrada Paccha) con 27 taxones; mientras que el valor más bajo se registró en SR-14 (quebrada Chuquisani), con 4 taxones.

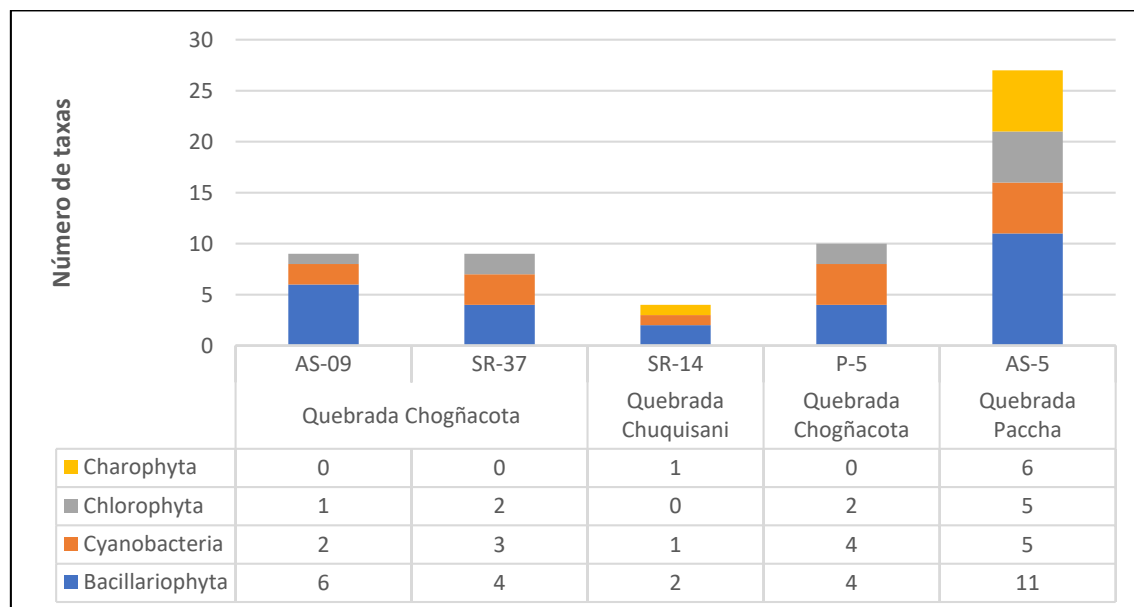


Figura 6.85. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

Respecto a la comunidad de microalgas, se registraron 194776 organismos²³, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante con 175892 organismos (90,30% del total), seguido de Cyanobacteria con 15417 organismos (7,92% del total), Charophyta con 1920 organismos (0,99% del total) y Chlorophyta con 1547 organismos (0,79% del total).

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo SR-37 (quebrada Chogñacota), con 83276 organismos/cm²; mientras que el valor de abundancia más bajo se registró en SR-14, con 2500 organismos/cm². Cabe destacar que, en general, el phylum Bacillariophyta fue predominante en todos los puntos de muestreo (Figura 6.86).

Los taxones más abundantes fueron *Achnanthes minutissima* (73416 organismos, 37,69% del total) y *Achnanthes* sp. 1 ANC (87422 organismos, 44,88% del total).

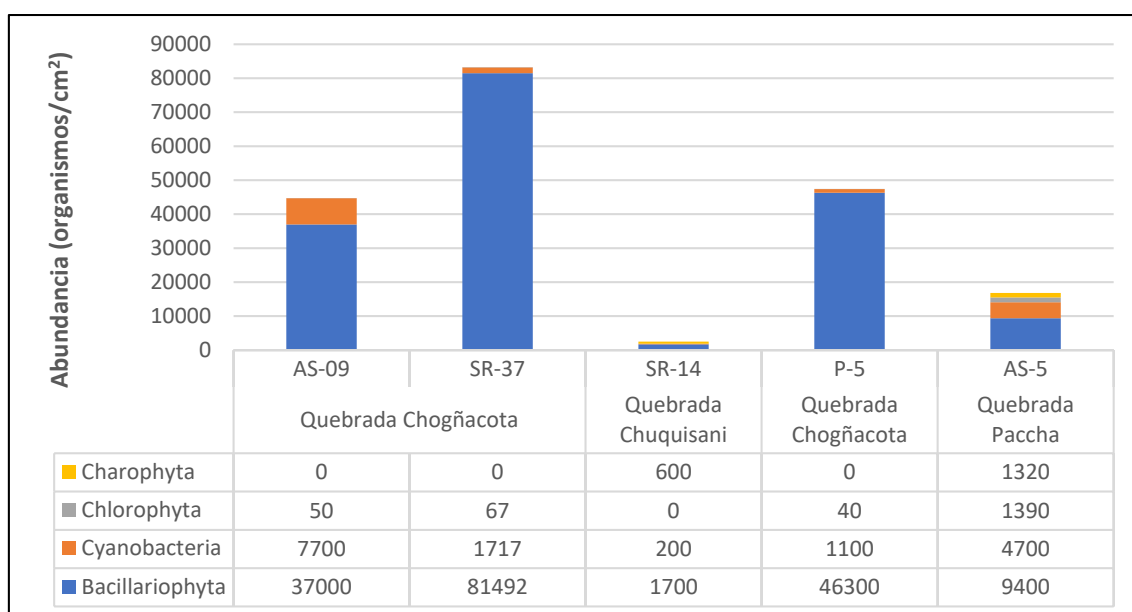


Figura 6.86. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En base a la riqueza y abundancia de taxones, en la Tabla 6.33 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en el punto de muestreo AS-5 (quebrada Paccha); mientras que el máximo valor de equidad de Pielou (0,8496) se registró en el punto SR-14 (quebrada Chuquisani). Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en P-5 (quebrada Chogñacota), así como también el mínimo valor de equidad de Pielou (0,3261).

Tabla 6.33. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
AS-09	2,958	2,209	0,4935
SR-37	2,504	2,073	0,4178

²³

La abundancia de organismos del perifiton vegetal y animal por punto de muestreo ha sido determinada bajo la unidad de medida de organismos/cm².

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
SR-14	3,247	2.778	0,8496
P-5	2,119	1,759	0,3261
AS-5	13,01	7,812	0,7784

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

Valores máximos de índices de diversidad alfa

Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

En el clúster de similaridad de Bray Curtis se observa la conformación de dos agrupaciones. La primera agrupación, con una similaridad mayor al 50%, entre los puntos de muestreo P-5, AS-09 y SR-37, ubicado en la quebrada Chogñacota. La segunda agrupación, con una baja similaridad (<10%) está conformada por los puntos SR-14 (quebrada Chuquisani) y AS-5 (quebrada Paccha) (Figura 6.87).

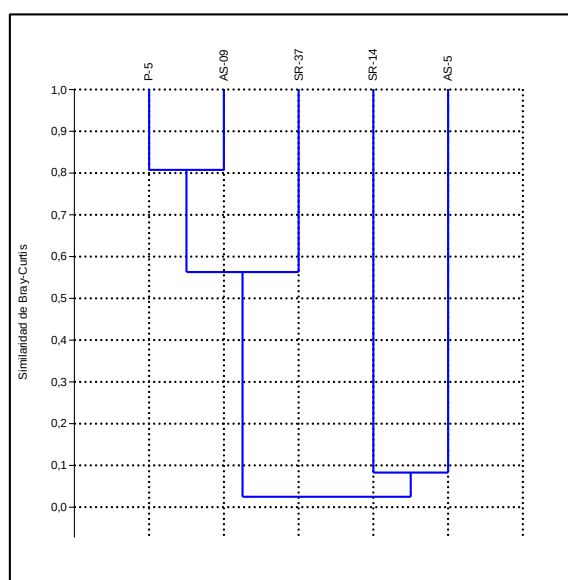


Figura 6.87. Clúster de similaridad de Bray Curtis de microalgas.

Microorganismos

- Composición y riqueza

Respecto a la comunidad de microorganismos del perifiton, se registraron 5 taxones, los cuales están agrupadas en 3 phyla, 3 clases, 3 órdenes y 4 familias. No se registraron organismos en el punto de muestreo SR-14 (quebrada Chuquisani) (Figura 6.88).

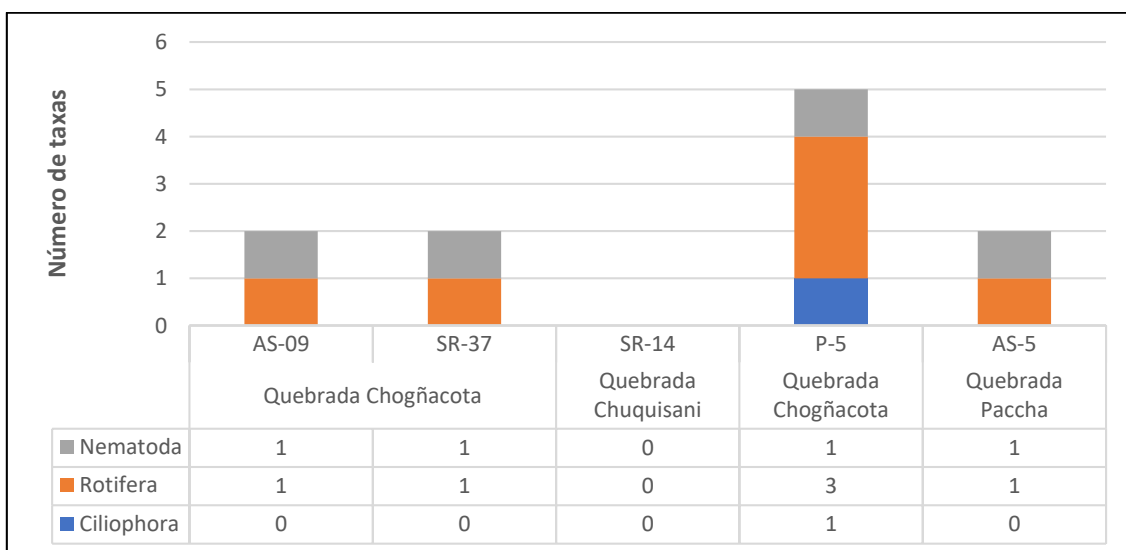


Figura 6.88. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo P-5 (quebrada Chogñacota), con 34 organismos/cm²; mientras que los demás puntos de muestreo presentaron una abundancia menor a 10 organismos/cm². El orden Rotifera fue dominante en todos los puntos de muestreo donde se registraron organismos, donde *Trichocerca* sp. fue el taxa más abundante (Figura 6.89).

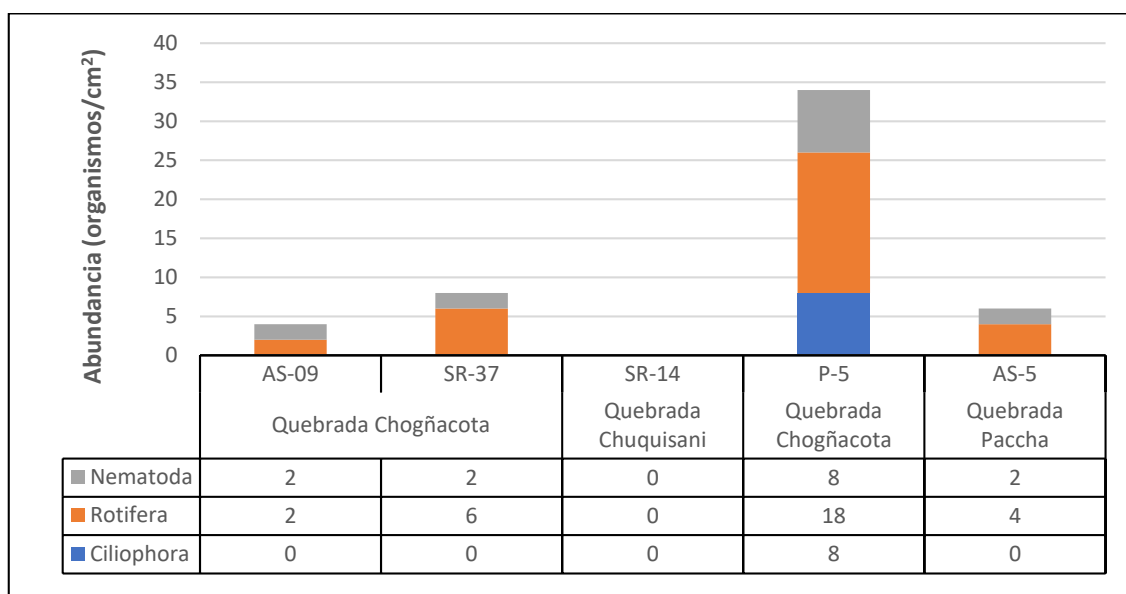


Figura 6.89. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.34 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en el punto de muestreo P-5 (quebrada Chogñacota); mientras que el mayor valor de equidad de Pielou (1) se registró en



AS-09 (quebrada Chogñacota). Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en SR-37 (quebrada Chogñacota), así como también el menor valor de equidad de Pielou (0,8113).

Tabla 6.34. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
AS-09	2	2	1
SR-37	1,755	1,6	0,8113
SR-14	1	-	-
P-5	3,973	3,482	0,8572
AS-5	1,89	1,8	0,9183

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

Macroinvertebrados bentónicos

- Composición y riqueza

A continuación, se describe la composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos en 5 puntos de muestreo, en la quebrada Chogñacota (3), quebrada Chuquisani (1) y quebrada Paccha (1), donde se registraron 27 taxones agrupados en 2 phyla, 3 clases, 8 órdenes y 15 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el orden Diptera fue dominante con 18 taxones (66,67% del total), seguido de Trombidiformes y Trichoptera con dos taxones cada uno (7,41% del total); mientras que Annelida ND, Sarcoptiformes, Ephemeroptera, Trichoptera y Coleoptera presentaron un único taxón cada uno (3,70% del total). Cabe precisar que el orden Diptera estuvo presente en todos los puntos evaluados, donde también fue dominante; así como también destaca la ausencia de taxones de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, indicadores de buena calidad del agua (Figura 6.90).

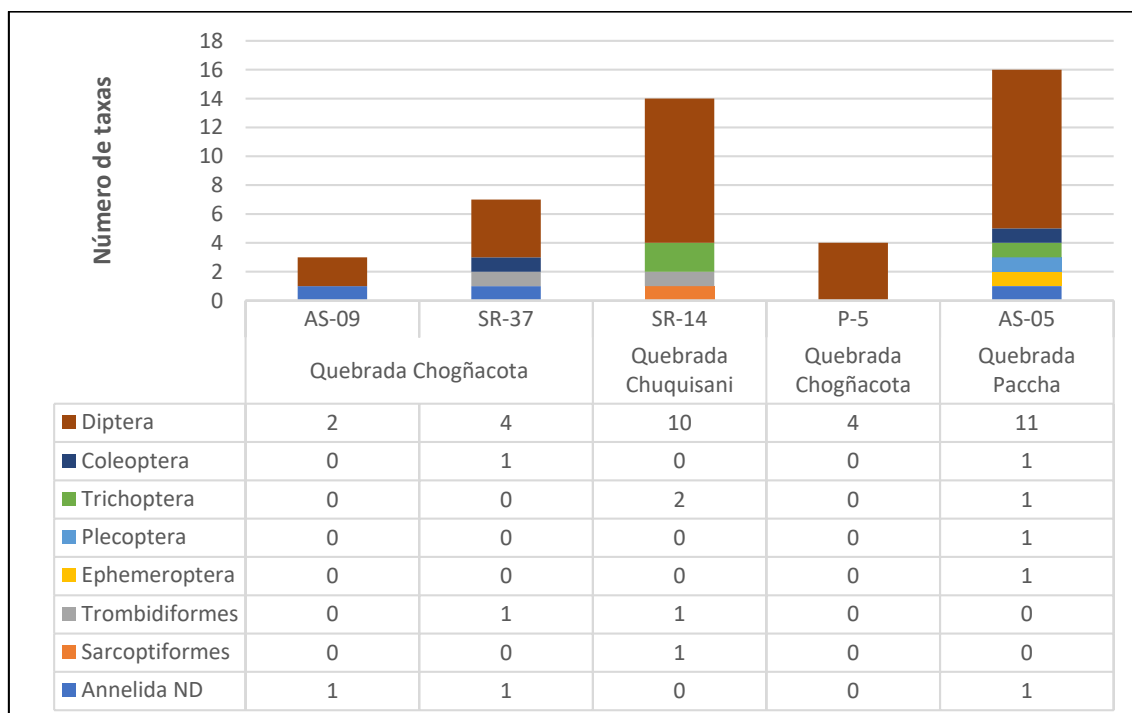


Figura 6.90. Riqueza de taxones de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo.

- Abundancia

Se registraron 1702 organismos²⁴, siendo el orden Diptera el más dominante con 1401 organismos (94,84% del total), seguido de Coleoptera con 152 organismos (5,15% del total), Annelida ND con 71 organismos (4,17% del total), Trombidiformes con 64 organismos (3,76% del total); mientras que Trichoptera, Sarcoptiformes, Plecoptera y Ephemeroptera con 7, 4, 2 y 1 organismo, respectivamente.

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo SR-14 (quebrada Chuquisani), con 1218 organismos/0,27cm²; mientras que en los demás puntos de muestreo se registraron valores por debajo de 320 organismos/0,27cm². (Figura 6.91).

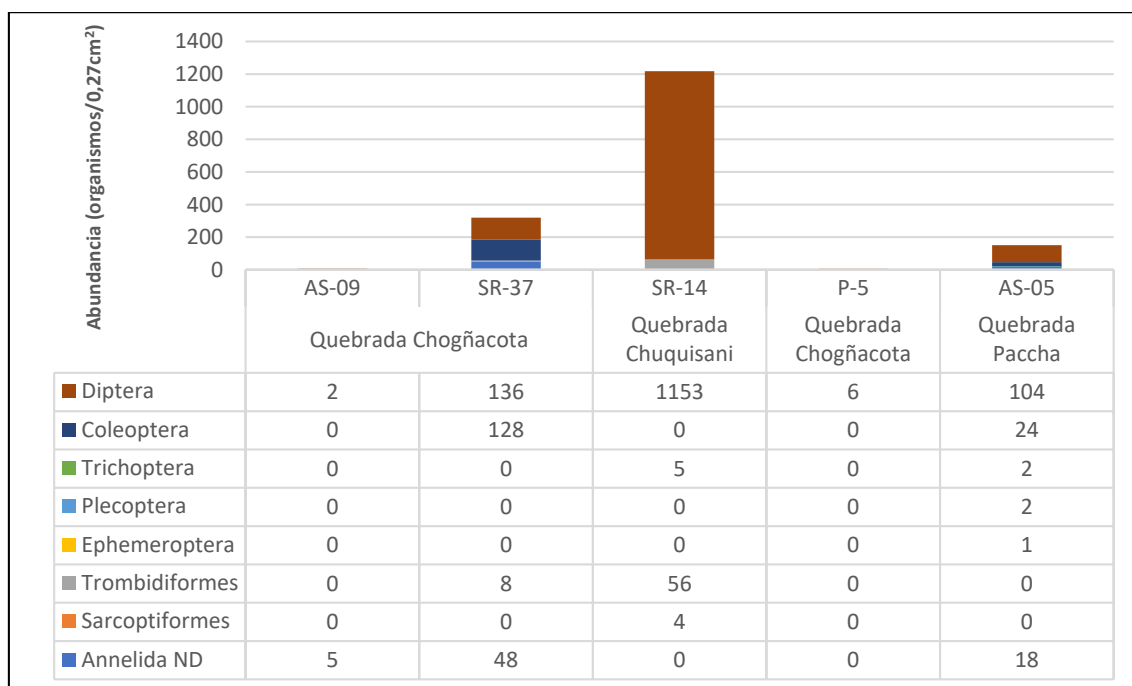


Figura 6.91. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.35 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en los puntos de muestreo AS-5 (quebrada Paccha) y SR-37 (quebrada Chogñacota), respectivamente; mientras que el máximo valor de equidad de Pielou (0,8962) se registró en el punto P-5. Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en SR-14 (quebrada Chuquisani); así como también el mínimo valor de equidad de Pielou (0,2768).

Tabla 6.35. Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
AS-09	2,217	1,815	0,7248
SR-37	4,733	3,922	0,7989
SR-14	2,076	1,394	0,2768
P-5	3,464	3	0,8962

²⁴

La abundancia de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo, han sido determinados bajo la unidad de medida de organismos/0,27 cm².

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
AS-05	5,284	3,087	0,6004

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

En el clúster de similaridad de Bray Curtis se observa la conformación de dos agrupaciones. La primera agrupación, con una similaridad de aproximadamente 45%, entre los puntos SR-37 (quebrada Chogñacota) y AS-05 (quebrada Paccha), que a su vez se relacionan con SR-14 (quebrada Chuquisani) con una menor similaridad; la segunda agrupación es entre los puntos P-5 y AS-09, ambos en la quebrada Chogñacota (Figura 6.92).

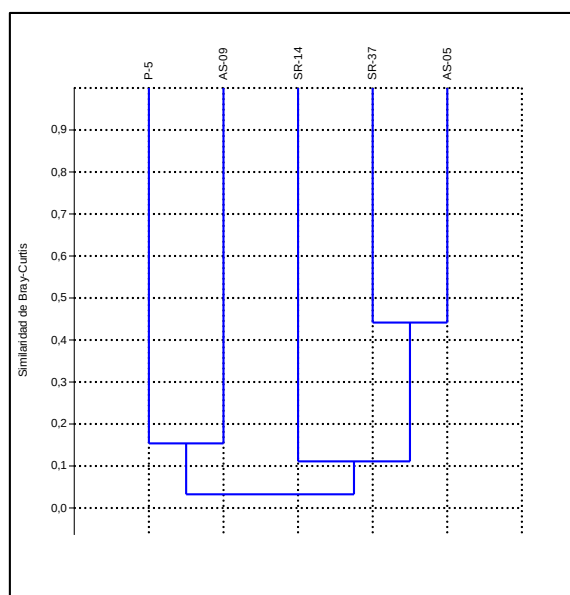


Figura 6.92. Clúster de similaridad de Bray-Curtis de macroinvertebrados bentónicos.

- Calidad Ecológica - Índice Biótico Andino (ABI)

Según la valoración del índice ABI en la Tabla 6.35, el punto de muestreo AS-09 presentó una calidad ecológica pésima; mientras que SR-37 y P-5 presentaron una calidad mala. Todos los puntos antes mencionados se encuentran en la quebrada Chogñacota.

Los puntos de muestreo SR-14 y AS-5 presentaron una calidad ecológica buena, con una composición comunitaria heterogénea que presentó taxones indicadores de buena calidad como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.

Tabla 6.36. Calidad ecológica del agua según el índice biótico andino (ABI)

Puntos de muestreo	Calidad ABI	
	Puntaje	Calidad
AS-09	5	Pésima
SR-37	23	Mala
P-5	11	Mala
SR-14	51	Buena
AS-5	55	Buena

6.4.2.4. Resultados de agua subterránea

Son 10 los puntos de muestreo de agua subterránea ubicados en la zona 2 de estudio, entre los cuales tenemos 2 manantiales y 8 piezómetros (Figura 6.78).

Los resultados fueron comparados con los ECA para agua Cat.1 aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Detallados en la ítem 5.4).

Respecto a los parámetros pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, solamente este último parámetro no superó en ningún punto los estándares mencionados. La Figura 6.93 muestra que los resultados de pH obtenidos en todos los puntos de muestreo de agua subterránea en la zona 2 se encontraron dentro del rango establecido por el estándar mencionado, a excepción de los puntos DH16-05, BHSR-KP17-05 y BHSR-KP16-13 que se encontraron fuera del rango establecido por los estándares de comparación.

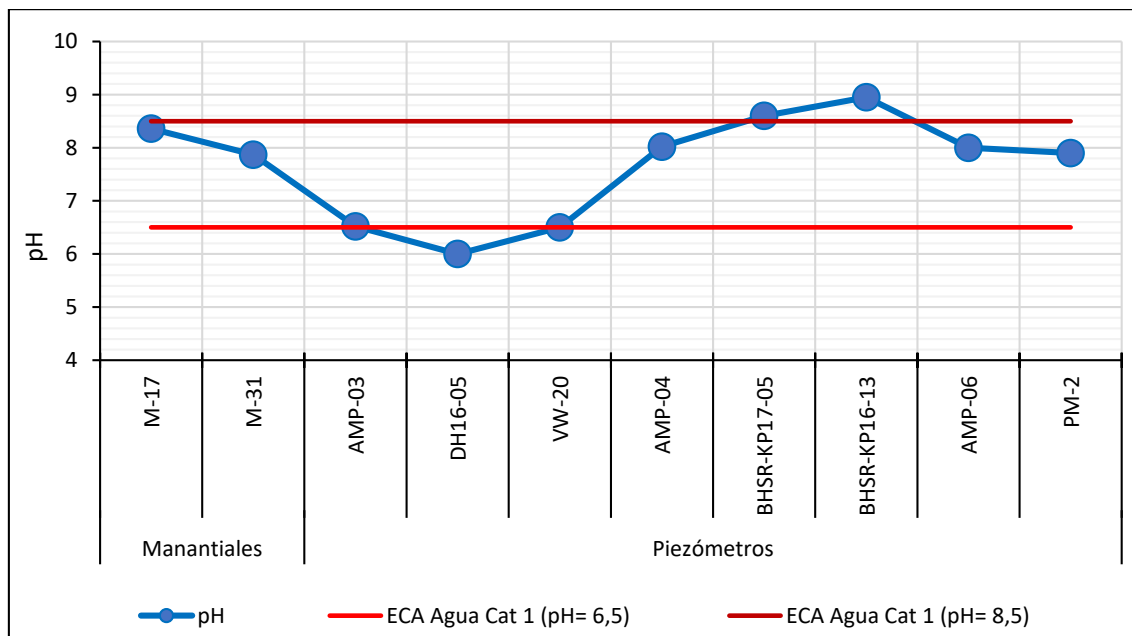


Figura 6.93. Resultados de potencial de hidrógeno en agua subterránea de la zona 2

Los estándares de calidad ambiental aplicada para agua subterránea establecen que las concentraciones de oxígeno disuelto deberán ser mayor o igual a 6 mg/l; sin embargo, los resultados obtenidos en todos los puntos de muestreo de agua subterránea en la zona 2 presentaron valores menores a lo recomendado por el estándar (Figura 6.94).

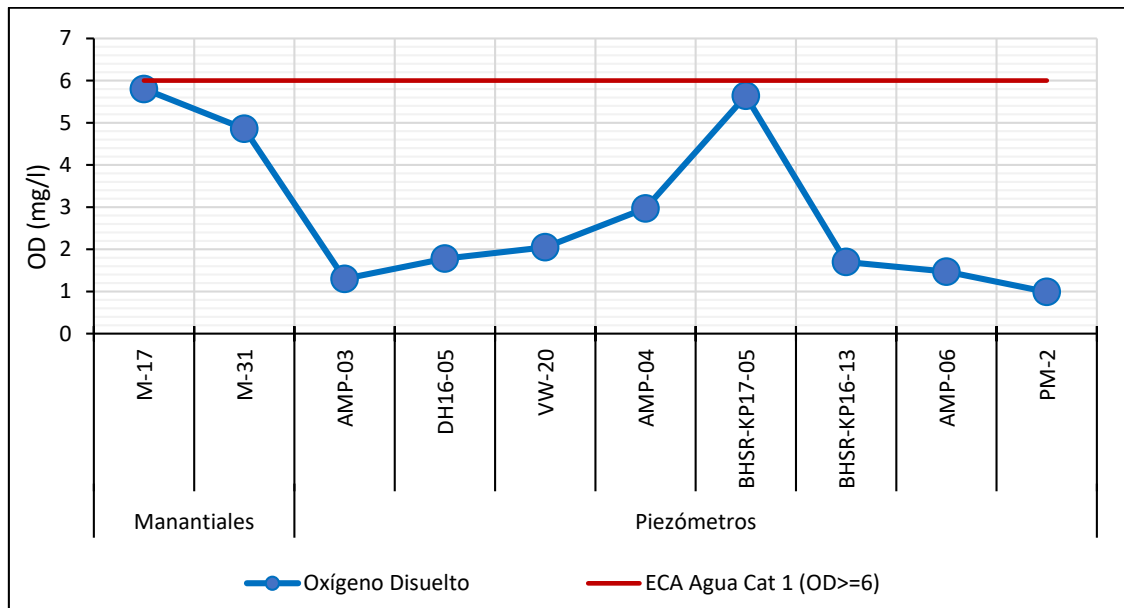


Figura 6.94. Resultados de oxígeno disuelto en agua subterránea de la zona 2

Respecto a los resultados de sólidos totales disueltos, sulfuros, cloruros, fluoruros, sulfatos y cromo hexavalente solo el sulfuro (punto de muestreo BHSR-KP16-13) superó el ECA para Agua 2008; y mientras que, solo el fluoruro (punto VW-20) y sulfato (punto VW-20) superaron el valor establecido en los 2 estándares de comparación. Los resultados de estos parámetros y los parámetros que no cuentan con estándar de comparación como: acidez, sólidos totales en suspensión, alcalinidad total, bicarbonato y carbonato se presentan en el Anexo 3: Reporte de resultados.

En el caso de los metales en los manantiales, solo el arsénico en el punto M-13 superó los ECA para agua Cat. 1. Respecto a los piezómetros los metales antimonio, aluminio, arsénico, hierro, manganeso y plomo superaron el estándar de comparación tal como se puede ver en la Figura 6.95

El global de los resultados de metales se presenta en el Anexo 3 del presente informe.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

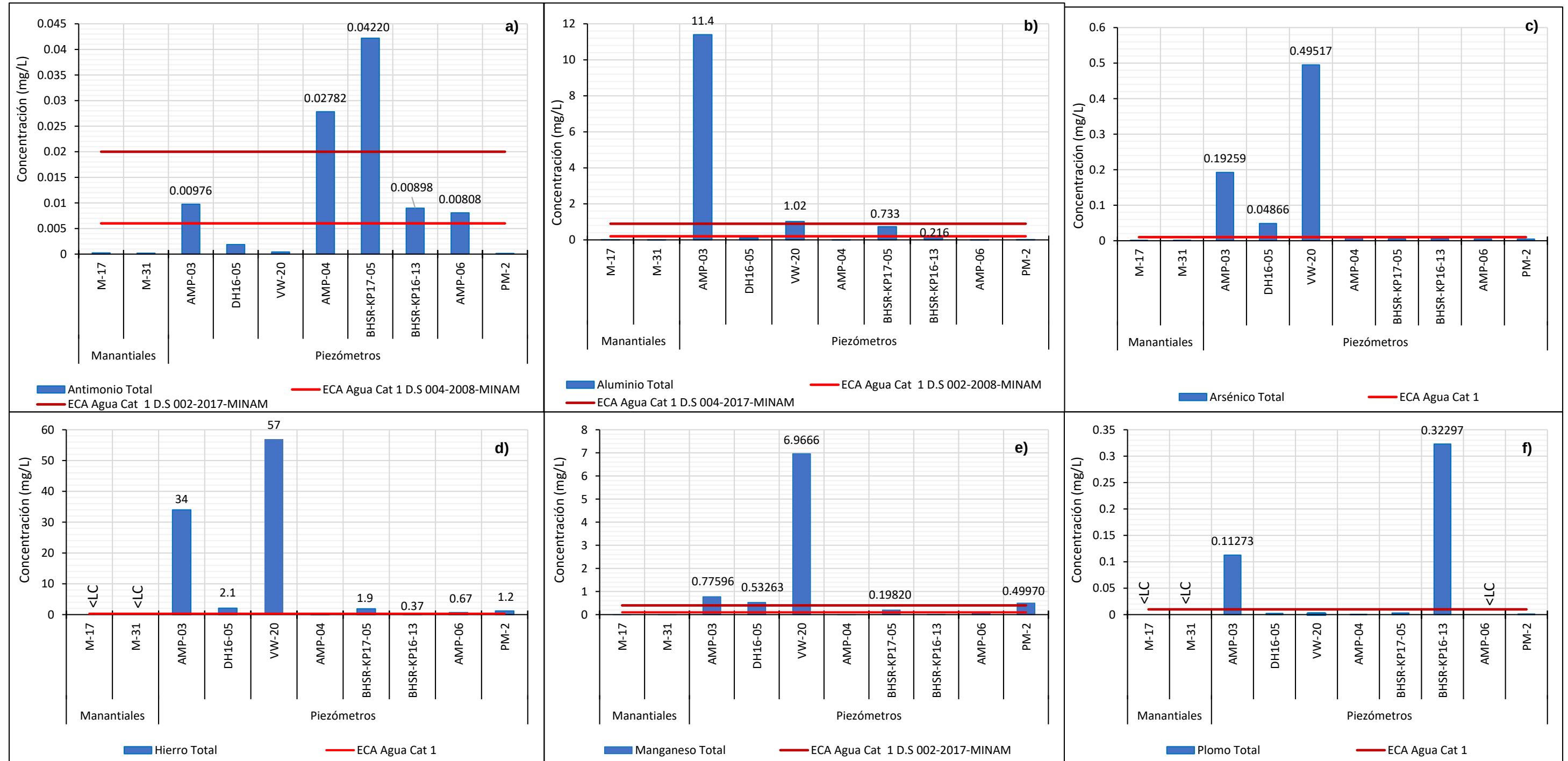


Figura 6.95. Concentración de metales totales en los puntos de muestreo de agua subterránea de la zona 2 a) antimonio total, b) aluminio total, c) arsénico total, d) hierro total, e) manganeso total y f) plomo total

6.4.3. Zona 3: Río Antauta

El tramo del río Antauta evaluado discurre con una orientación de oeste a este desde su confluencia con la quebrada Caquene hasta su confluencia con las quebradas Chogñacota y Paccha (Figura 6.96).

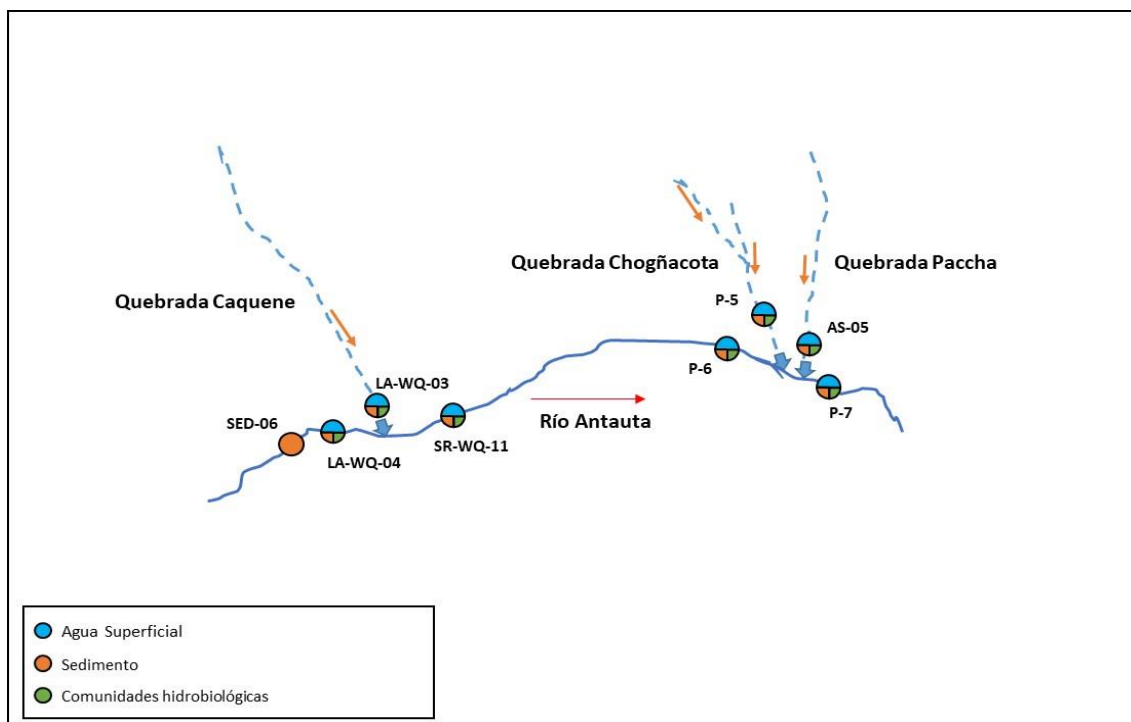


Figura 6.96. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas de la Zona 3

6.4.3.1. Resultados de agua superficial

De los resultados de parámetros de campo en el río Antauta, solo el pH incumplió con los ECA para agua 2008 y ECA para agua 20017 en los puntos SR-WQ-11 y P-6, presentando valores básicos, no obstante, el punto LA-WQ-04 (aguas arriba de la operación minera) también presentó un valor con características de basicidad, mientras que el punto P-7 (aguas abajo de la operación minera) registró un valor cercano a la neutralidad; los demás resultados de parámetros de campo cumplieron con el ECA (ver Anexo 3: Reporte de resultados).

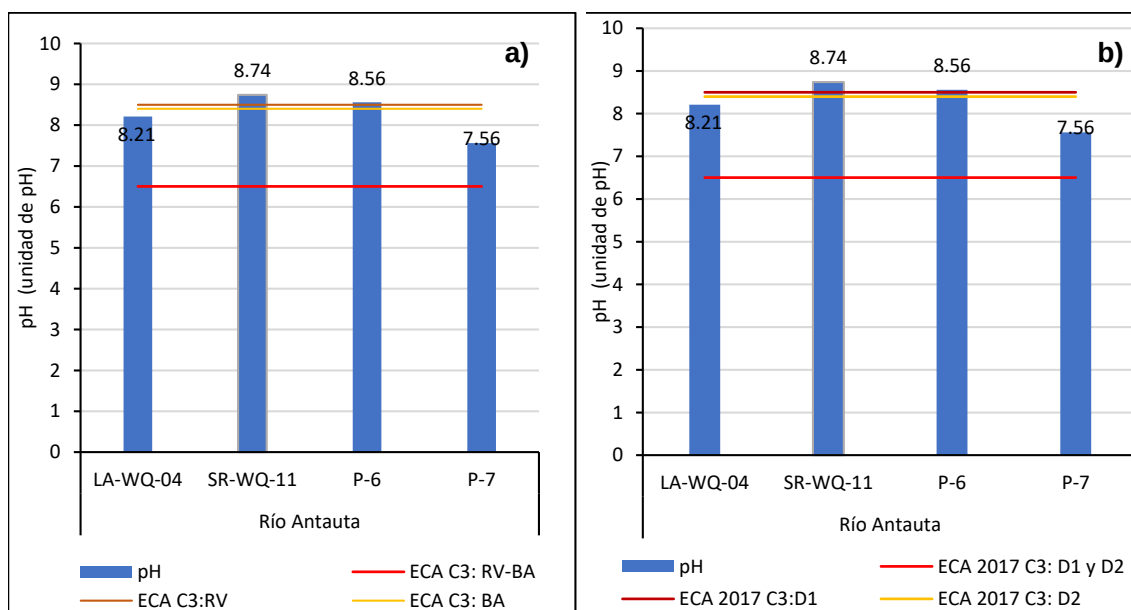


Figura 6.97. Valores de pH en puntos de agua superficial de la Zona 3 a) comparado con los ECA para agua 2008 y b) ECA para agua 2017

En esta zona se registró también la presencia de fluoruros en el punto P-7 (aguas abajo de la operación minera) que excedió el ECA para agua 2008 y ECA para agua 2017 (Figura 6.98), a excepción de los demás puntos que no superaron los ECA.

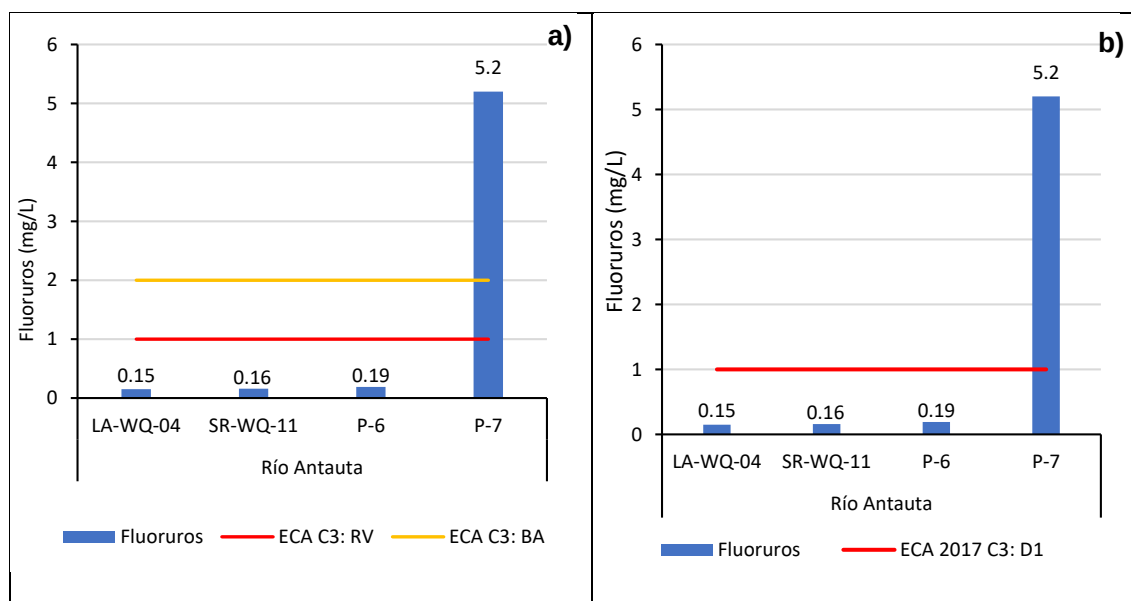


Figura 6.98. Concentración de fluoruros en puntos de agua superficial de la Zona 3 a) comparado con los ECA para agua 2008 y b) ECA para agua 2017

Respecto a los resultados de metales totales en el río Antauta, estas no excedieron en ningún punto los ECA para agua 2008 ni el ECA para agua 2017.

6.4.3.2. Resultados de sedimentos

De la comparación de los resultados con la guía CCME, las concentraciones de arsénico, superaron en todos los puntos los valores de esta guía. Respecto a los resultados de cadmio y zinc, estos superaron los valores de la guía en los puntos SR-WQ-11 y P-7; mientras que el cobre y plomo solo superaron los valores de la guía en el punto P-7. Figura 6.101.

De la comparación de los resultados con la guía USEPA, las concentraciones de arsénico y cobre superaron en todos los puntos los valores de esta guía, de igual modo las concentraciones de níquel (SED-06 y P-7), cadmio (SR-WQ-11 y P-7), plata (SR-WQ-11), plomo (P-7) y zinc (SR-WQ-11 y P-7) superaron los valores de la guía (Figura 6.101).

La granulometría del río Antauta (Zona 3) indica que la arena predomina en diferentes rangos. De esa manera, las arenas gruesas están en mayor porcentaje en SR-WQ-11 y P-7, arena mediana en SED-06 y arena fina en LA-WQ-04 y P-6. En tanto, las gravas y limos son diferentes en el río Antauta, en donde LA-WQ-04 y P-6 no registraron gravas, pero registra los mayores porcentajes de limo, mientras que SR-WQ-01 registró el mayor porcentaje de grava y bajo porcentaje de limo (3,09 %) como se muestra en la Figura 6.99.

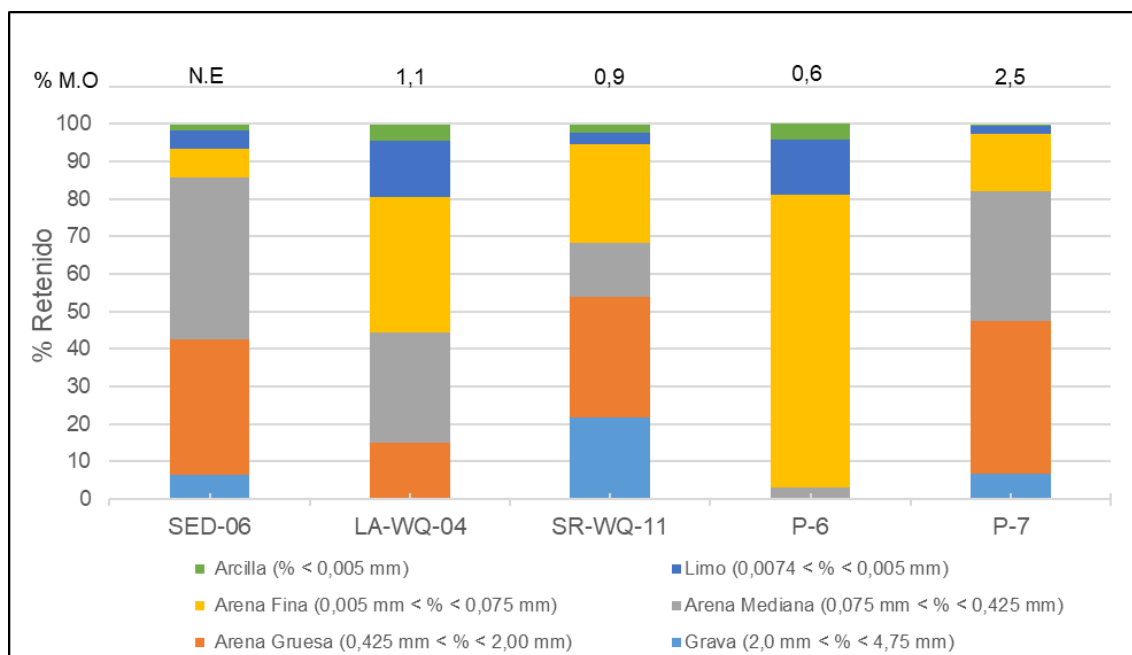


Figura 6.99. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O.) de los sedimentos de la Zona 3

Los resultados de Tessier en el río Antauta (Zona 3) indican que la concentración de la fracción residual (F6) fue la predominante para el arsénico, níquel y plomo para los dos puntos de muestreo. Mientras que, el cobre estuvo principalmente ligado a la fracción F4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) y fracción F6 (residual) en P-7, mientras que P-6 está ligado a la materia orgánica (F5). En tanto, el cadmio está ligado a la fracción F2 (intercambiable y adsorbida) en P-6 y fracción F4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) en P-6 y P-7 (Figura 6.100)

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

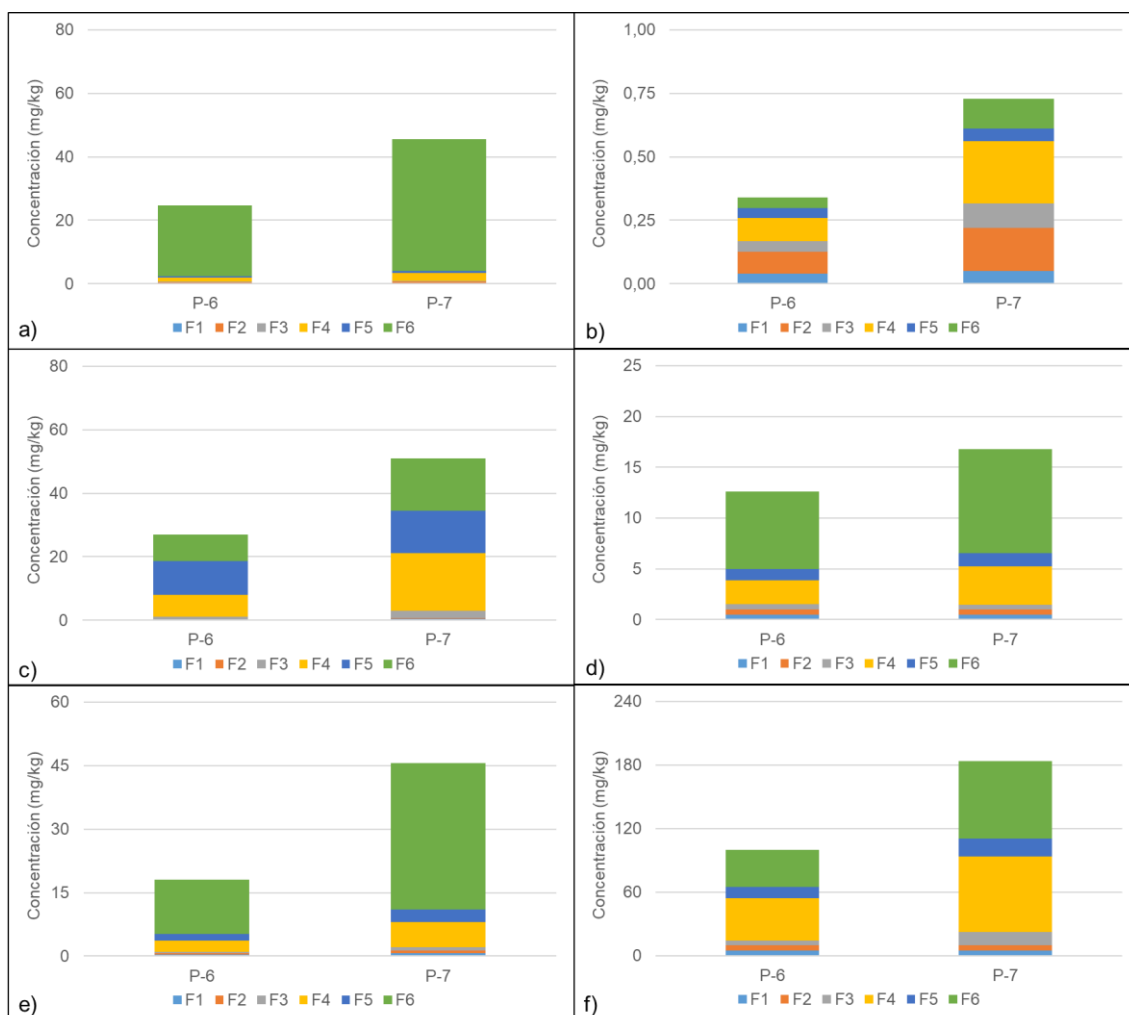


Figura 6.100. Fracciones de Tessier en a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobre, d) Níquel, e) Plomo y f) Zinc del río Antauta



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

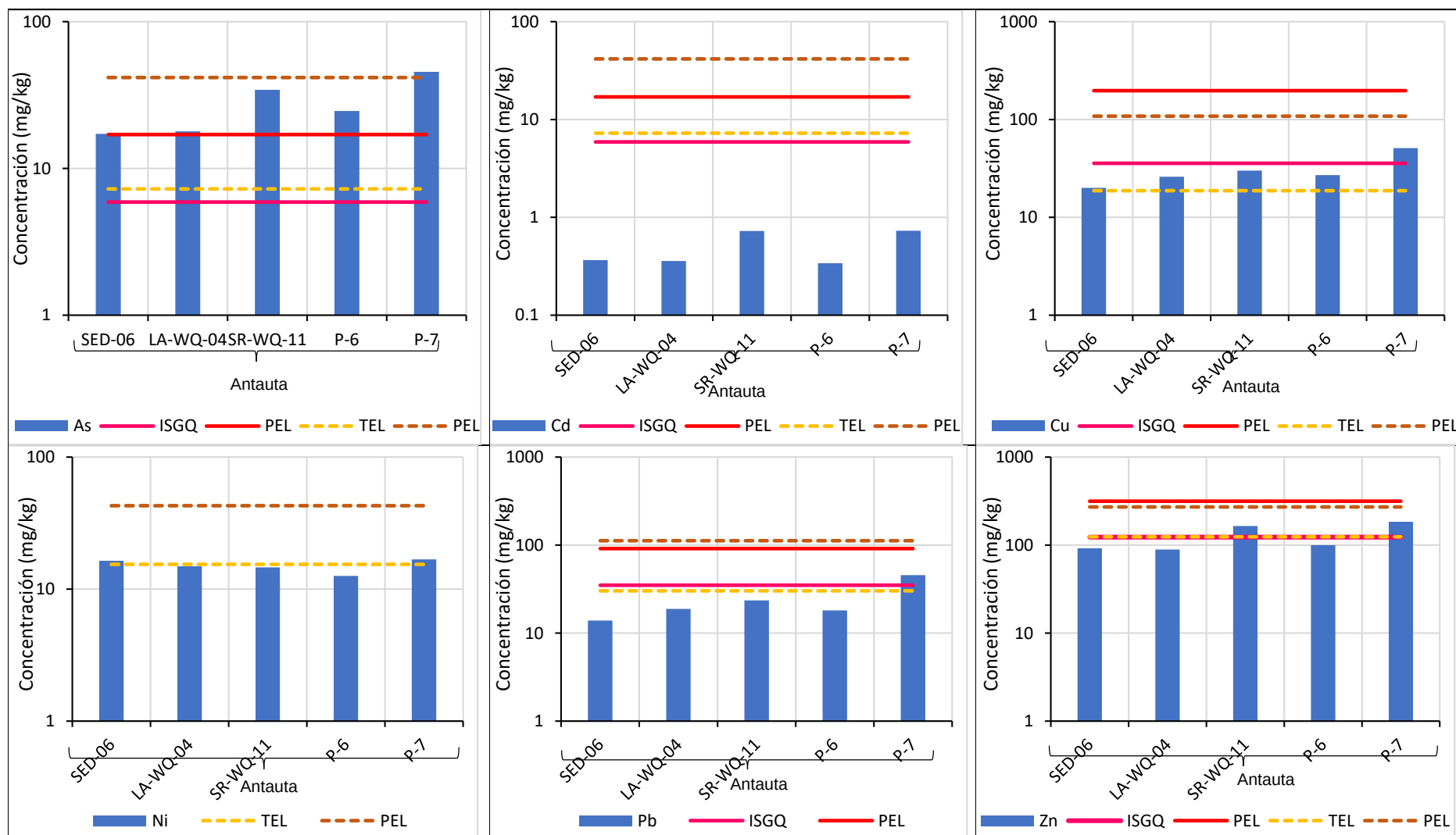


Figura 6.101. Concentración de metales totales en sedimento a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc en la Zona 3

6.4.3.3. Resultados de comunidades hidrobiológicas

En esta sección se presentan los resultados del análisis taxonómico de las comunidades del perifiton (microalgas y microorganismos), macroinvertebrados bentónicos y necton (peces), así como también el procesamiento de la información para la estimación de los índices de diversidad y estado de calidad según el índice ABI. La información antes mencionada, respecto al análisis taxonómico, se detalla en el Anexo 3: Reporte de resultados.

6.4.3.3.1. Perifiton

El perifiton fue analizado en sus dos componentes: microalgas y microorganismos.

Microalgas

- Composición y riqueza

Se evaluó la comunidad de microalgas del perifiton en 4 puntos de muestreo de la zona 3 en el río Antauta, donde se registraron 21 taxones, los cuales están agrupadas en 4 phyla, 4 clases, 11 órdenes y 16 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el phylum Bacillariophyta fue dominante con 12 taxones (57,14% del total), seguido de Chlorophyta con 5 (23,81% del total), Cyanobacteria con 3 (14,29% del total) y Charophyta con un único taxón (4,76% del total). Cabe precisar que el phylum Charophyta solamente estuvo presente en el punto de muestreo SR-WQ-11 (Figura 6.102). Los taxones *Cymbella* cf. *cistula*, *Encyonema minutum*, *Ulnaria ulna* y *Stigeoclonium* sp. estuvieron presentes en todos los puntos de muestreo.

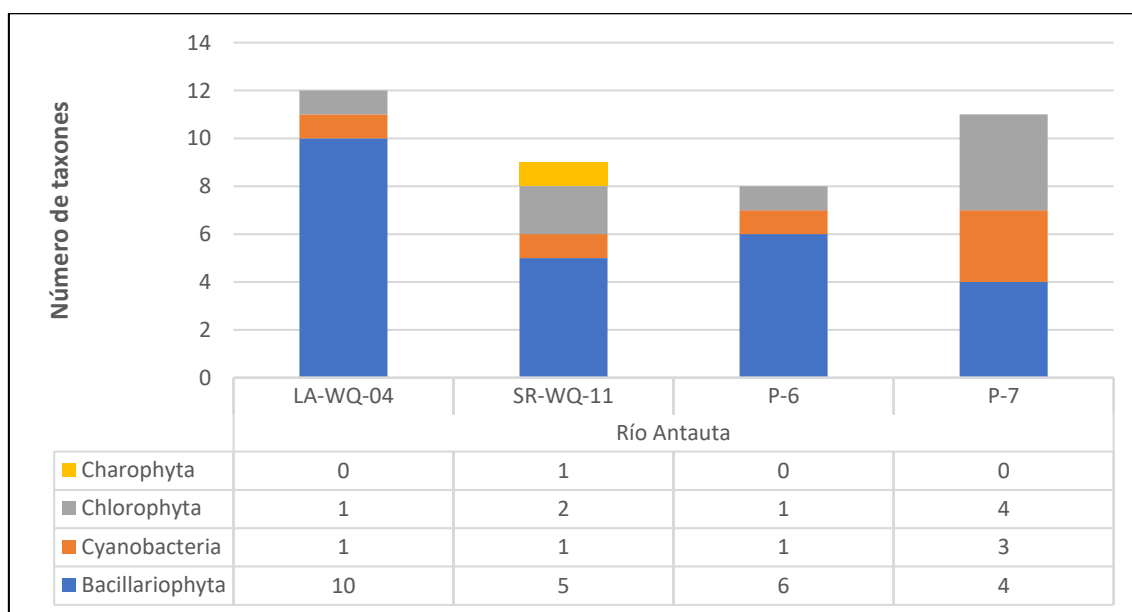


Figura 6.102. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

Respecto a la comunidad de microalgas, se registraron 105889 organismos, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante con 95373 organismos (90,07% del total), seguido de Cyanobacteria con 8731 organismos (8,25% del total), Chlorophyta con 1685 organismos (1,59% del total) y Charophyta con 100 organismos (0,09% del total).

Los valores de abundancia más altos corresponden a los puntos de muestreo LA-WQ-04 y P-6, con 38280 organismos/cm² y 39709 organismos/cm²; mientras que el valor de abundancia más bajo se registró en P-7 (aguas abajo del aporte de la quebrada Chogñacota), con 5560 organismos/cm². Cabe destacar que, en general, el phylum Bacillariophyta fue dominante en todos los puntos de muestreo (Figura 6.103).

El taxón más abundante fue *Encyonema minutum* (62063 organismos, 58,61% del total).

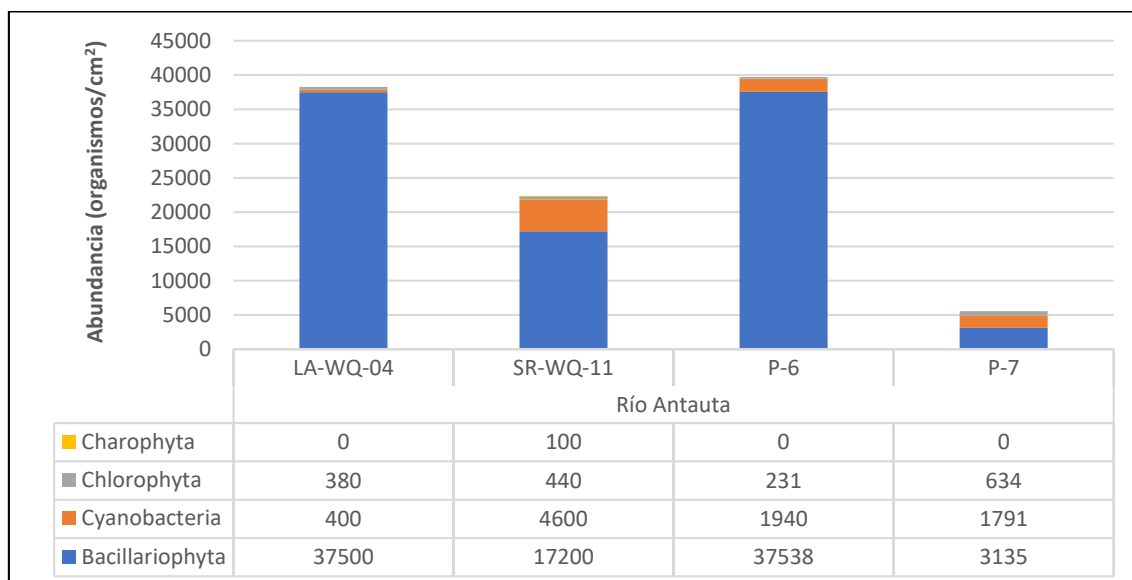


Figura 6.103. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En base a la riqueza y abundancia de taxones, en la Tabla 6.37 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en el punto de muestreo P-7, así como también el máximo valor de equidad de Pielou (0,7905). Los más bajos valor de diversidad N1 y N2 se registró en P-6, así como también el mínimo valor de equidad de Pielou (0,2265).

Tabla 6.37. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-04	5,83	4,497	0,7095
SR-WQ-11	3,726	2,675	0,5986
P-6	1,602	1,234	0,2265
P-7	6,657	5,159	0,7905

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

 Valores máximos de índices de diversidad alfa

 Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

En el clúster de similaridad de Bray Curtis se observa la conformación de una agrupación entre los puntos de muestreo SR-WQ-11 y P-6 (similaridad de 49%), que a su vez se agrupan con LA-WQ-04, con una menor similaridad. Estos puntos muestran una muy baja

similitud con el punto LA-WQ-04, que se encuentra aguas abajo del aporte de la quebrada Chogñacota (Figura 6.104).

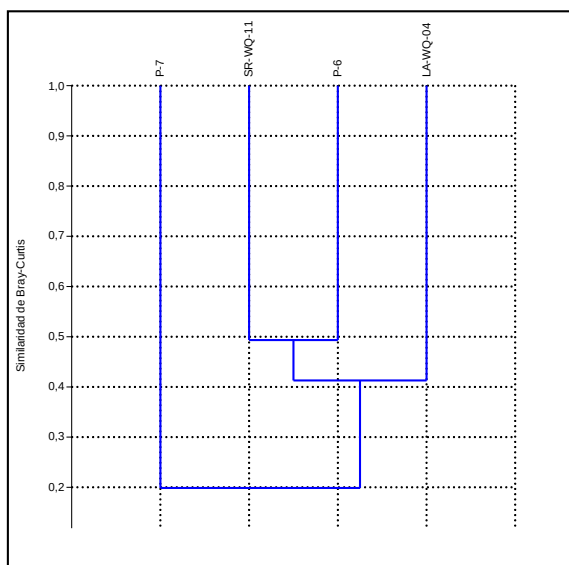


Figura 6.104. Clúster de similitud de Bray Curtis de microalgas

Microorganismos

- Composición y riqueza

Respecto a la comunidad de microorganismos del perifiton, se registraron 6 taxones, los cuales están agrupadas en 4 phyla, 5 clases, 5 órdenes y 6 familias. No se registraron organismos en el punto de muestreo P-6 (Figura 6.105).

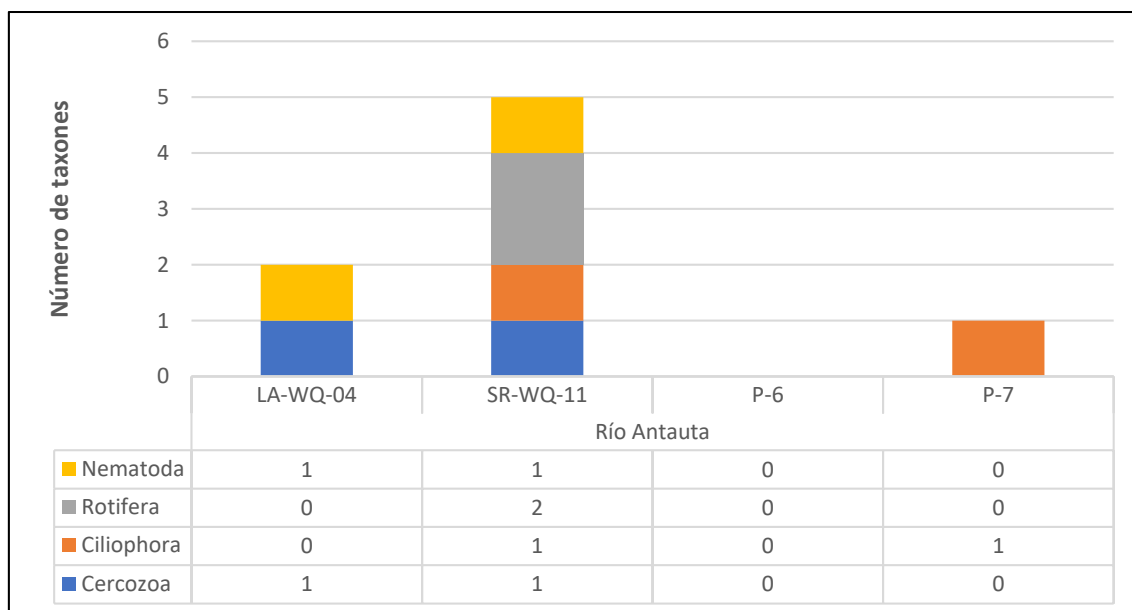


Figura 6.105. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo SR-WQ-11 (aguas abajo del aporte de la quebrada Caquene), con 74 organismos/cm²; mientras que los demás puntos de muestreo presentaron una abundancia menor a 4 organismos/cm² (Figura 6.106).

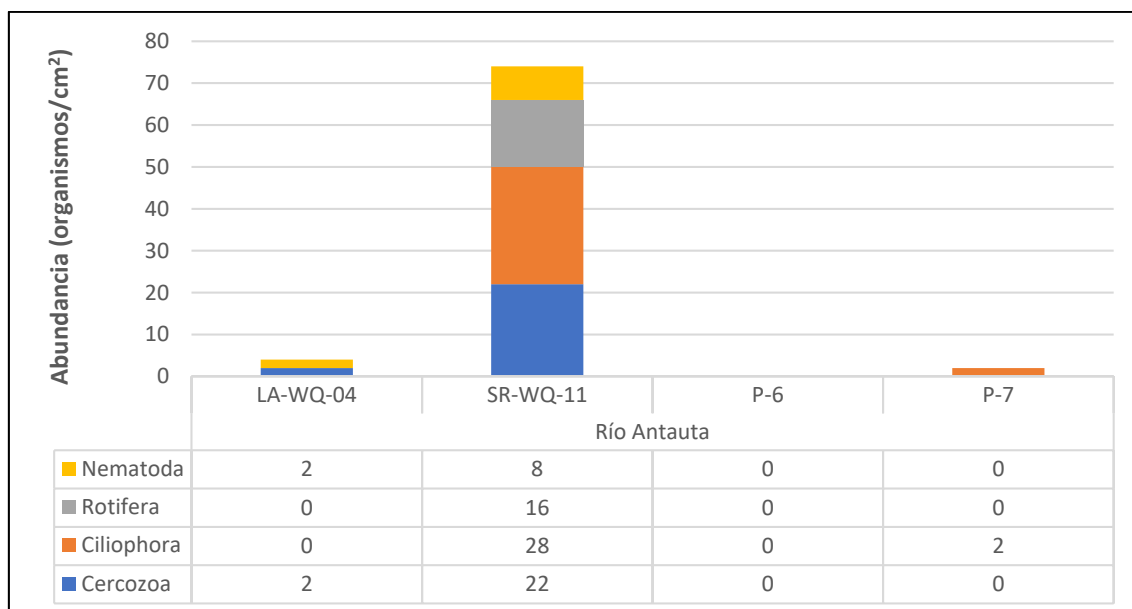


Figura 6.106. Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.38 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en el punto de muestreo SR-WQ-11; mientras que el mayor valor de equidad de Pielou (1) se registró en LA-WQ-04. Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 y de equidad de Pielou se registraron en P-7, donde solo se registraron 2 organismos del taxón *Euplotes* sp., y el menor valor de equidad (0,8583) se registró en SR-WQ-04.

Tabla 6.38. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-04	2	2	1
SR-WQ-11	3,981	3,574	0,8583
P-6	1	-	-
P-7	1	1	-

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

6.4.3.3.2. Macroinvertebrados bentónicos

- Composición y riqueza

A continuación, se describe la composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos en 4 puntos de muestreo en el río Antauta, donde se registraron 30 taxones, agrupados en 3 phyla, 4 clases, 8 órdenes y 22 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el orden Diptera

fue dominante con 17 taxones (56,67% del total), seguido de Trichoptera y Coleoptera con 3 taxones cada uno (10% del total); Trombidiformes y Ephemeroptera con 2 taxones cada uno (6,67% del total); mientras que Nematoda ND, Annelida ND y Plecoptera presentaron un único taxón cada uno (3,33% del total). El orden Diptera estuvo presente en todos los puntos evaluados, donde también fue dominante (Figura 6.107).

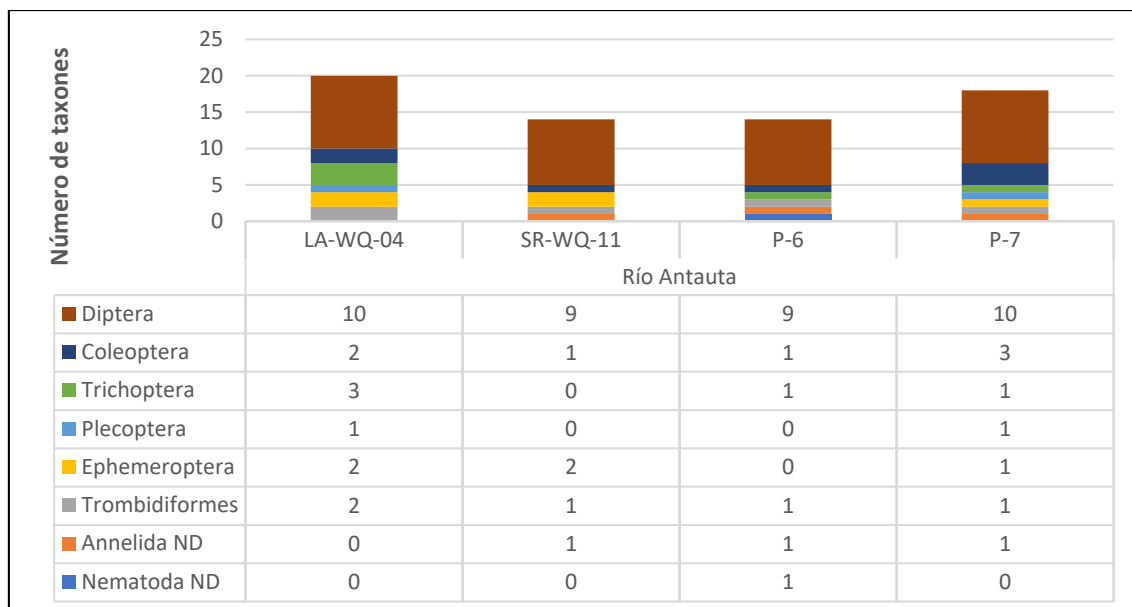


Figura 6.107. Riqueza de taxones de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo

- Abundancia

Se registraron 8282 organismos, siendo el orden Diptera el más dominante con 4583 organismos (55,34% del total), seguido de Annelida ND con 2756 organismos (33,28% del total), Coleoptera con 573 organismos (6,92% del total), Trombidiformes con 172 organismos (2,08% del total); Ephemeroptera con 129 organismos (1,56% del total), Trichoptera con 45 organismos (0,54% del total), Nematoda ND con 16 organismos (0,19% del total) y Plecoptera con 8 organismos (0,095% del total).

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo SR-WQ-11, con 4902 organismos/0,27cm², principalmente por el aporte de Oligochaeta ND (Figura 6.108).

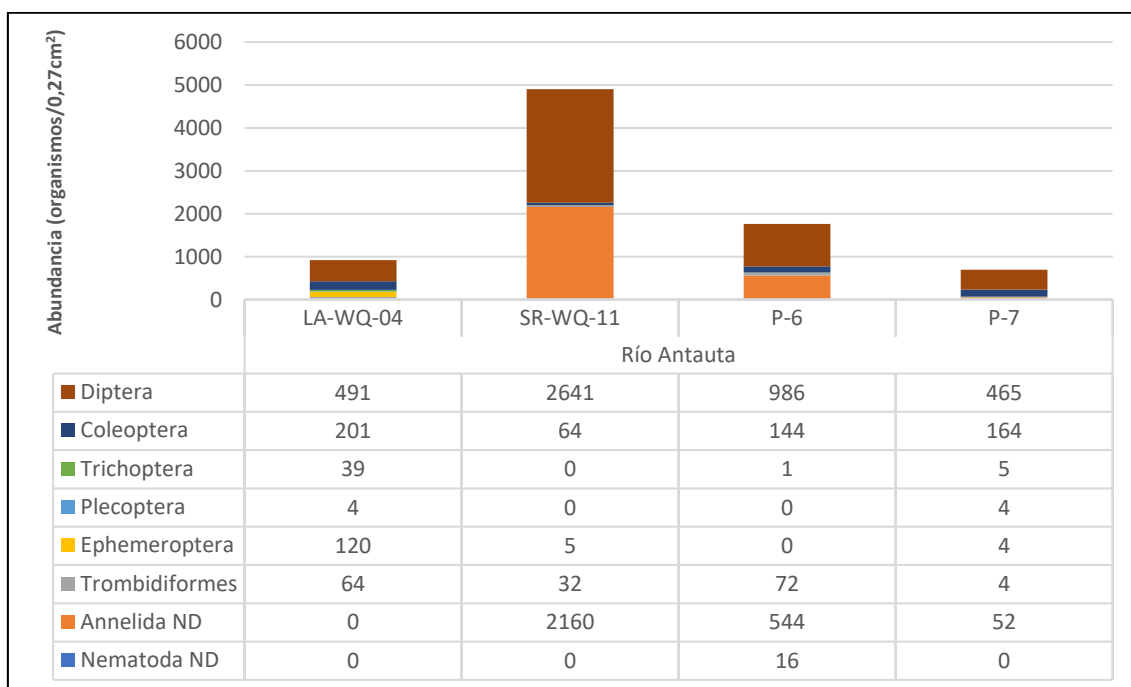


Figura 6.108. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos por orden y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.39 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2, y de equidad de Pielou (0,7606) se registraron en el punto de muestreo LA-WQ-04; mientras que los más bajos valores de diversidad N1 y N2, y de equidad de Pielou (0,5489) se registraron en SR-WQ-11.

Tabla 6.39. Índices de diversidad de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-04	9,761	7,755	0,7606
SR-WQ-11	4,257	3,331	0,5489
P-6	5,079	4,046	0,6158
P-7	5,21	3,68	0,571

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

- Diversidad beta

En el clúster de similitud de Bray Curtis se observa la conformación de una agrupación entre los puntos P-6 y P-7, con una similitud del 53%; a su vez, esta se agrupa con el punto LA-WQ-04. Estos puntos muestran una muy baja similitud con el punto SR-WQ-11, que se encuentra aguas abajo del aporte de la quebrada Caquene (Figura 6.109).

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

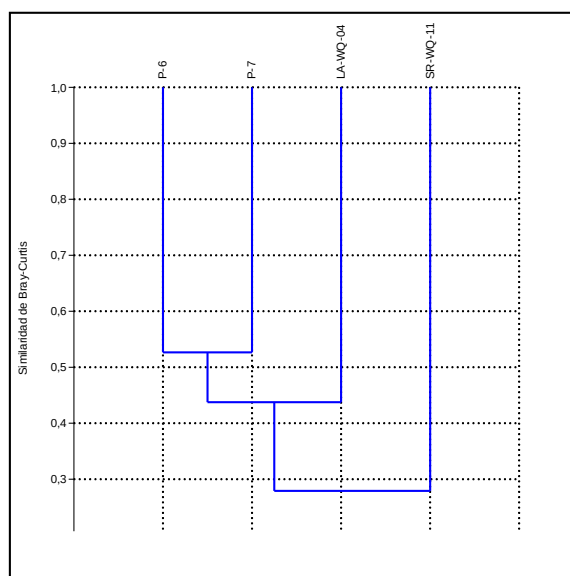


Figura 6.109. Clúster de similitud de Bray-Curtis de macroinvertebrados bentónicos.

- Calidad Ecológica - Índice Biótico Andino (ABI)

Según la valoración del índice ABI en la Tabla 6.40, el punto de muestreo LA-WQ-04 presentó una calidad ecológica muy buena, con el mayor número de taxones y abundancia de organismos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera; mientras que SR-WQ-11 y P-6 presentaron una calidad moderada. El punto de muestreo P-7, aguas debajo del aporte de la quebrada Chogñacota, presentó una calidad ecológica buena, con una composición comunitaria heterogénea que presentó taxones indicadores de buena calidad como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, pero en menor abundancia con respecto a LA-WQ-04.

Tabla 6.40. Calidad ecológica del agua según el índice biótico andino (ABI)

Puntos de muestreo	Calidad ABI	
	Puntaje	Calidad
LA-WQ-04	92	Muy buena
SR-WQ-11	42	Moderada
P-6	37	Moderada
P-7	68	Buena

6.4.3.3.3. Necton (peces)

- Composición y riqueza

En los 4 puntos de muestreo evaluados en el río Antauta se registraron 4 taxones, pertenecientes a un phylum (Chordata), una clase (Teleostei), 2 órdenes (Salmoniformes y Siluriformes) y 2 familias (Salmonidae y Trichomycteridae). Se registraron las especies *Oncorhynchus mykiss* y *Trichomycterus rivulatus*, además otros dos taxones indeterminados (*Trichomycterus* cf. *rivulatus* y alevines) de la familia Trichomycteridae.

- Abundancia

Se registraron 104 individuos, siendo los individuos de la familia Trichomycteridae los que registraron la mayor abundancia, con 101 individuos (97,12% del total), seguido de 3 individuos de la familia Salmonidae (2,88% del total).

6.4.4. Zona 4: LAGUNAS

La laguna Suyrococha, formada por el deshielo del nevado ubicado en la cabecera de cuenca, aporta sus aguas a la laguna Estancococha; asimismo esta última laguna recibe aporte de los canales de coronación del nivel 4730. Una parte de las aguas de la laguna Estancococha sirve para abastecer de agua fresca a la planta de proceso.²⁵

Finalmente, aguas abajo de las lagunas mencionadas se encuentra la laguna Chogñacota, cuyo rebose es considerado en el manejo de aguas como aguas de contacto, por lo que este rebose es trasladado a través de un canal al depósito de relaves B2 para luego ser dirigido al depósito de relaves B3²⁶.

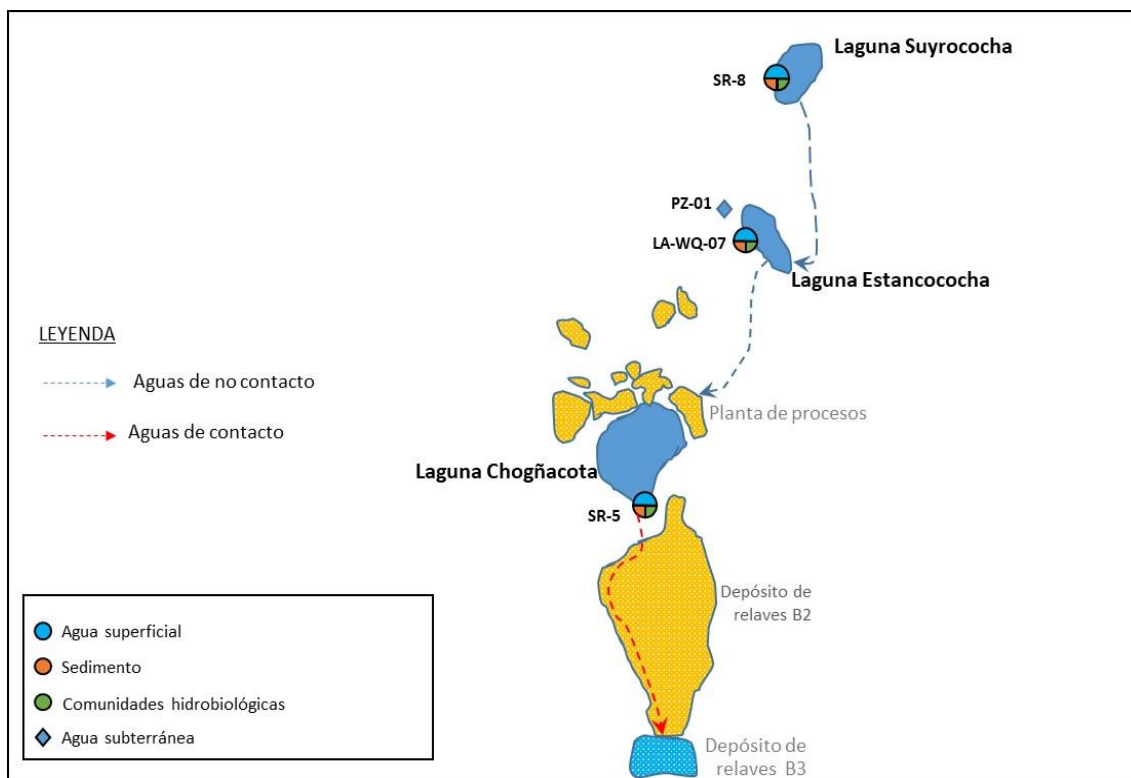


Figura 6.110. Puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas de la Zona 4

6.4.4.1. Resultados de agua superficial

Los valores de pH registrados en las lagunas Estancococha, Suyrococha y Chogñacota incumplieron con los ECA para agua 2008 y ECA para agua 2017 en la Categoría 4, siendo las lagunas Estancococha y Suyrococha las que presentaron los valores de pH más ácidos;

²⁵ AMPHOS, 2017. Plan de Manejo Integral de Aguas y Efluentes de soporte a la MEIA, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 095-2017-SENACE/DCA

²⁶ Ídem

los demás resultados de parámetros de campo cumplieron con los estándar en mención (Anexo 3: Reporte de resultados).

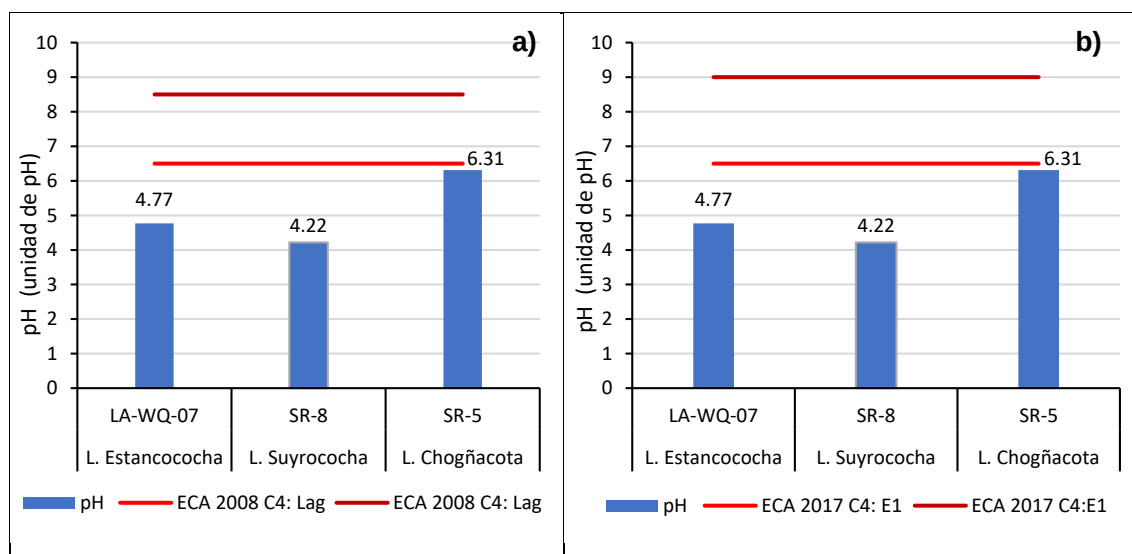


Figura 6.111. Valores de pH en puntos de agua superficial de la Zona 4 a) comparado con los ECA para agua 2008 y b) ECA para agua 2017

Respecto a los metales totales, al ser comparados con los ECA para agua 2008 Cat 4, las concentraciones de cadmio total, cobre total, níquel total, plomo total y zinc total superaron el estándar correspondiente; mientras que al ser comparados con los ECA para agua 2017 Cat 4 las concentraciones de cobre total, níquel total, plomo total, zinc total y cadmio disuelto superaron el estándar en mención (Figura 6.112). Cabe indicar que, las mayores concentraciones de cadmio, níquel y zinc se presentaron en la laguna Chogñacota.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

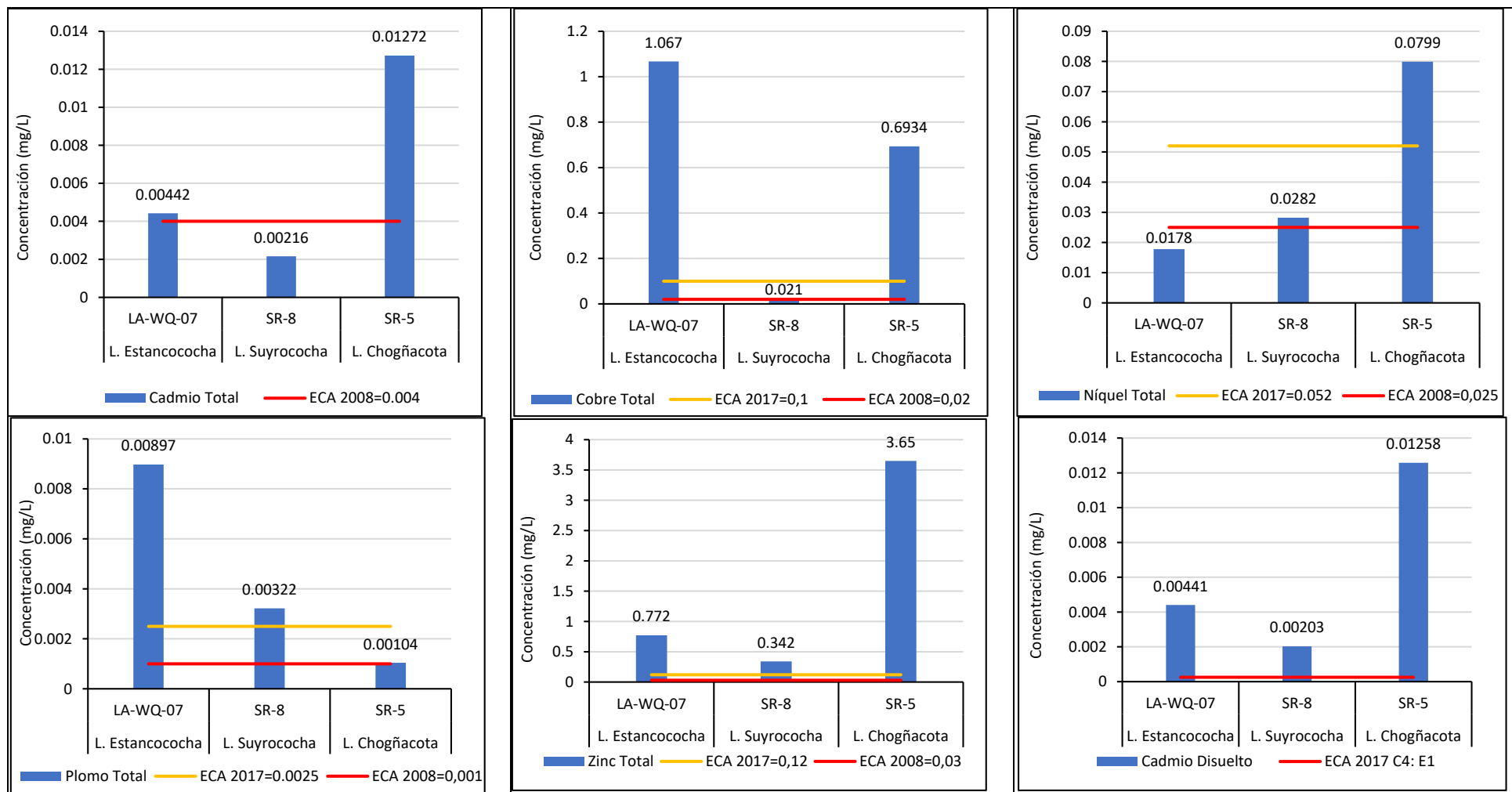


Figura 6.112. Concentración de metales totales en puntos de agua superficial de la Zona 4 comparado con los ECA para agua 2008 y ECA para agua 2017

6.4.4.2. Resultados de sedimentos

De la comparación de los resultados con la guía CCME, las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en todos los puntos superaron los valores de esta guía. Respecto a los resultados de mercurio, estos superaron los valores de la guía solo en el punto SR-5. Figura 6.114.

De la comparación de los resultados con la guía USEPA, las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc superaron en todos los puntos los valores de esta guía. Además, el mercurio (SR-5) y plata (LA-WQ-07) superaron los valores de la guía (Figura 6.114).

La composición granulométrica de los sedimentos de las lagunas Suyrococha (SR-8) y Estantococha (LA-WQ-07) indica que tienen semejantes porcentajes de arena gruesa (promedio de 30,2 %), mientras que SR-5 tiene mayor porcentaje de arena fina (46,68 %). No obstante, los porcentajes de limo (promedio de 27,6 %), arcilla (promedio de 7,8 %) y grava (0 %) son semejantes en las tres lagunas (Suyrococha, Estantococha y Chogñacota) como se muestra en la Figura 6.113.

De otro lado, los porcentajes de materia orgánica (M.O) en las lagunas Suyrococha (SR-8) y Estantococha (LA-WQ-07) fueron mayores que la laguna Chogñacota (SR-5) con 2,0 % (Figura 6.113).

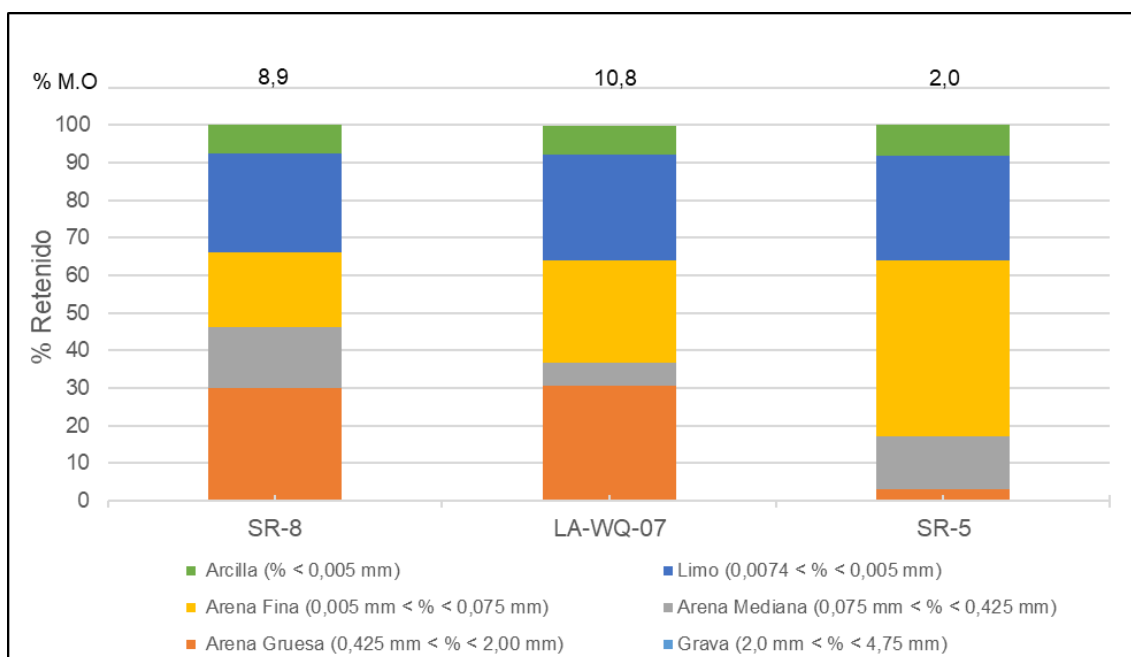


Figura 6.113. Composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica (M.O) de los sedimentos de la Zona 4



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

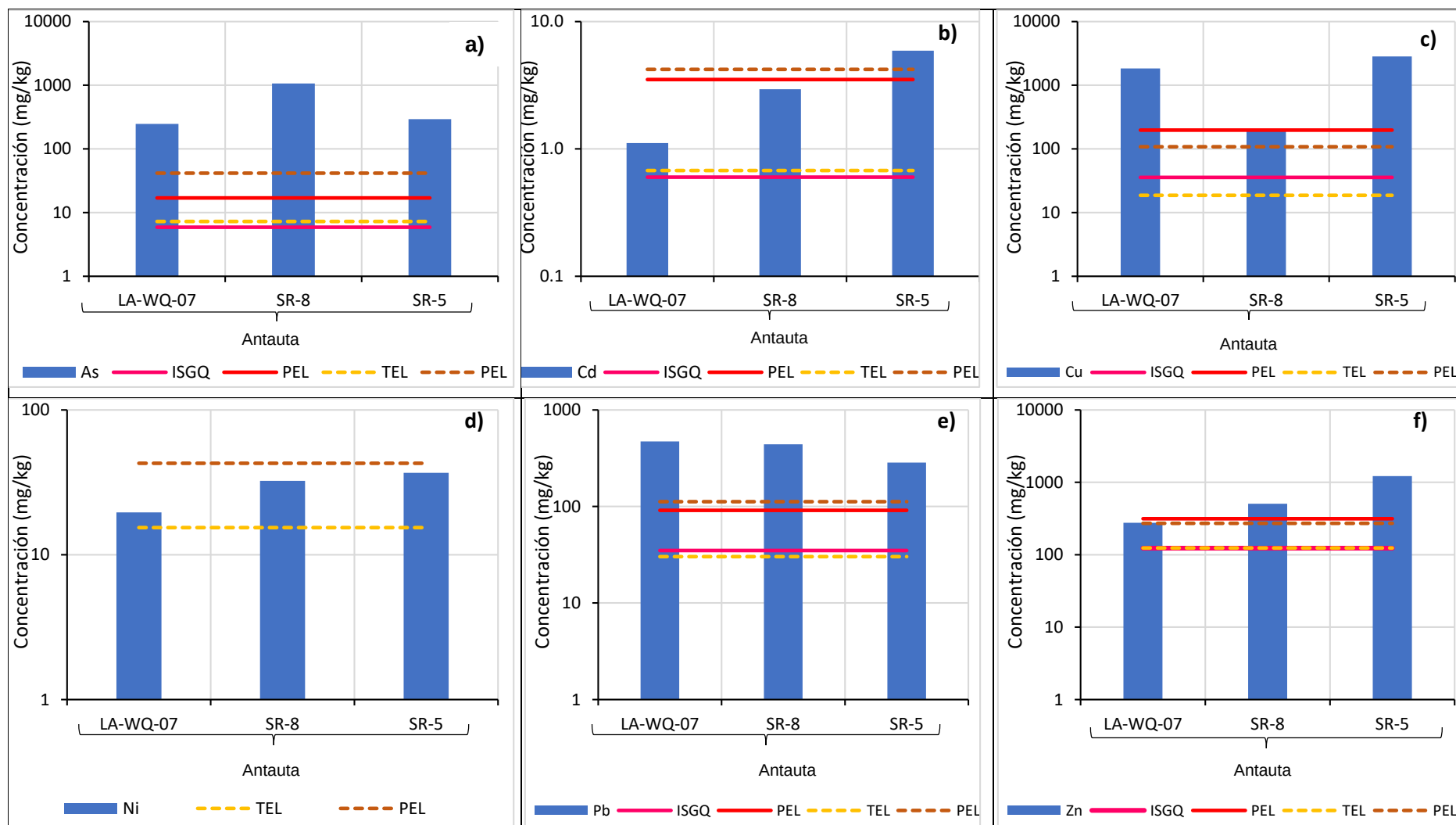


Figura 6.114. Concentración de metales totales en sedimento a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc en la Zona 4



6.4.4.3. Resultados de comunidades hidrobiológicas

En esta sección se presentan los resultados del análisis taxonómico de las comunidades del plancton (fitoplancton y zooplancton) y perifiton (microalgas y microorganismos), así como también el procesamiento de la información para la estimación de los índices de diversidad y estado de calidad según el índice ABI. La información antes mencionada, respecto al análisis taxonómico, se detalla en el Anexo 3: Reporte de resultados.

6.4.4.3.1. Plancton

El plancton fue analizado en sus dos componentes: fitoplancton y zooplancton.

Fitoplancton

- Composición y riqueza

Se evaluó la comunidad del fitoplancton en 3 puntos de muestreo (laguna Suyrococha, laguna Estancococha y laguna Chogñacota), donde se registraron 20 taxones, los cuales están agrupadas en 6 phyla, 9 clases, 15 órdenes y 18 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el phylum Bacillariophyta fue dominante con 10 taxones (50% del total), seguido de Chlorophyta con 4 (20% del total), Cyanobacteria con 3 (15% del total) y, Charophyta, mizozoa y Ochrophyta con un único taxón (5% del total). Cabe precisar que los phyla Ochrophyta y Charophyta no se registraron en el punto de muestreo SR-5 (Figura 6.115).

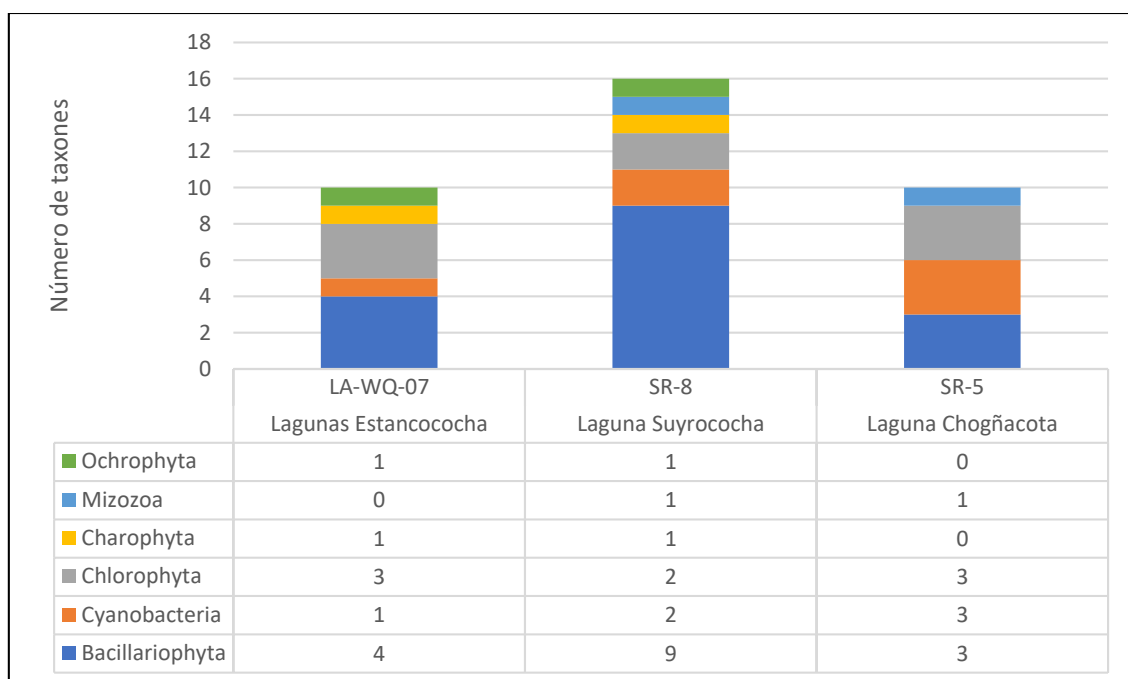


Figura 6.115. Riqueza de taxones del fitoplancton por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

Se registraron 8418 organismos, siendo el phylum Mizozoa el más dominante con 5750 organismos (68,31% del total), seguido de Ochrophyta con 1150 organismos (13,66% del total), Bacillariophyta con 800 organismos (9,50% del total), Cyanobacteria con 600 organismos (7,13% del total), Chlorophyta con 110 organismos (1,31% del total) y Charophyta con 8 organismos (0,1% del total).

El valor de abundancia más altos corresponde al punto de muestreo SR-8 (laguna Suyrococha), con 6120 organismos/L. Cabe destacar que, cada una de las lagunas evaluadas tuvo diferente phyla dominante, en el punto LA-WQ-07 predominó el phylum Ochrophyta, en SR-8 predominó el phylum Mizozoa, y en SR-5 predominó el phylum Cyanobacteria (Figura 6.116).

El taxón más abundante fue *Parvodinium umbonatum* con 5750 organismos, 68,31% del total; registrado principalmente en SR-8.

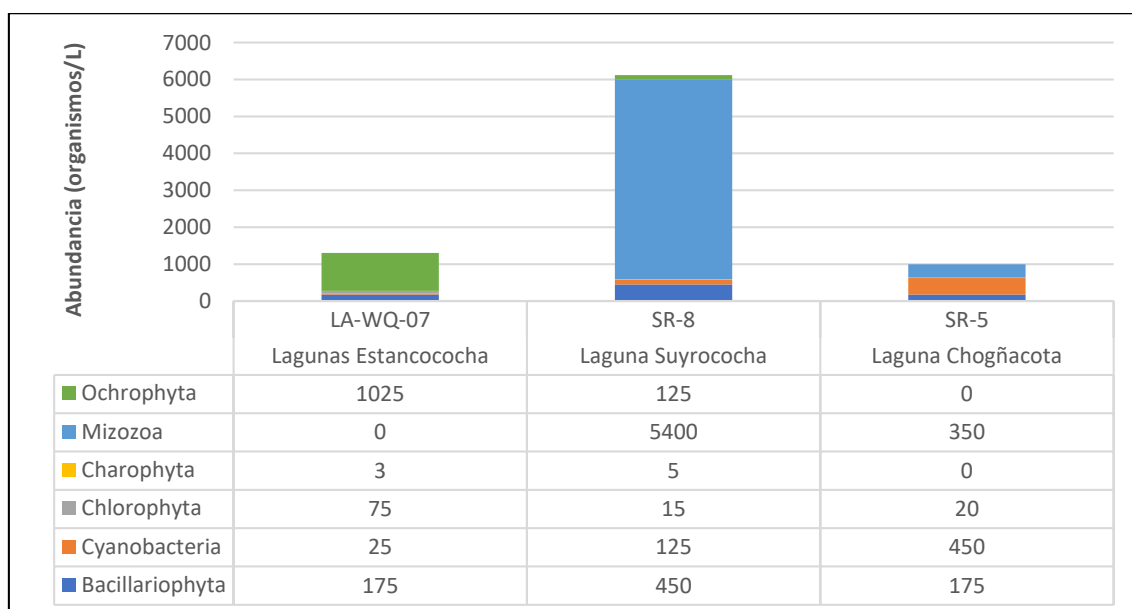


Figura 6.116. Abundancia del fitoplancton por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En base a la riqueza y abundancia de taxones, en la Tabla 6.41 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en el punto de muestreo SR-5 (laguna Chogñacota), así como también el máximo valor de equidad de Pielou (0,7207). Los más bajos valor de diversidad N1 y N2 se registró en SR-8 (laguna Suyrococha), así como también el mínimo valor de equidad de Pielou (0,2324).

Tabla 6.41. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-07	2,579	1,6	0,4114
SR-8	1,904	1,282	0,2324
SR-5	5,256	4,099	0,7207

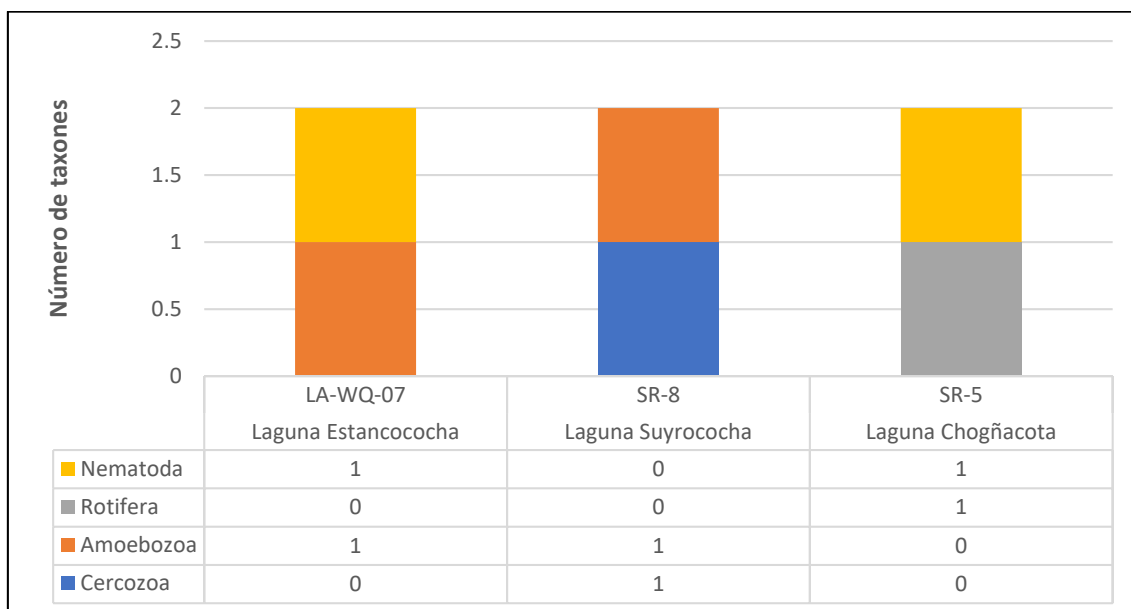
Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

Zooplankton

- Composición y riqueza

Respecto a la comunidad del zooplankton, se registraron 5 taxones, los cuales están agrupadas en 4 phyla, 4 clases, 4 órdenes y 5 familias. (Figura 6.117). Se registraron 2 taxones en cada uno de los puntos de muestreo evaluado.


Figura 6.117. Riqueza de taxones del zooplankton por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo LA-WQ-07 (laguna Estancococha), con 15 organismos/L; mientras que los demás puntos de muestreo presentaron una abundancia de 10 organismos/L, cada uno (Figura 6.118).

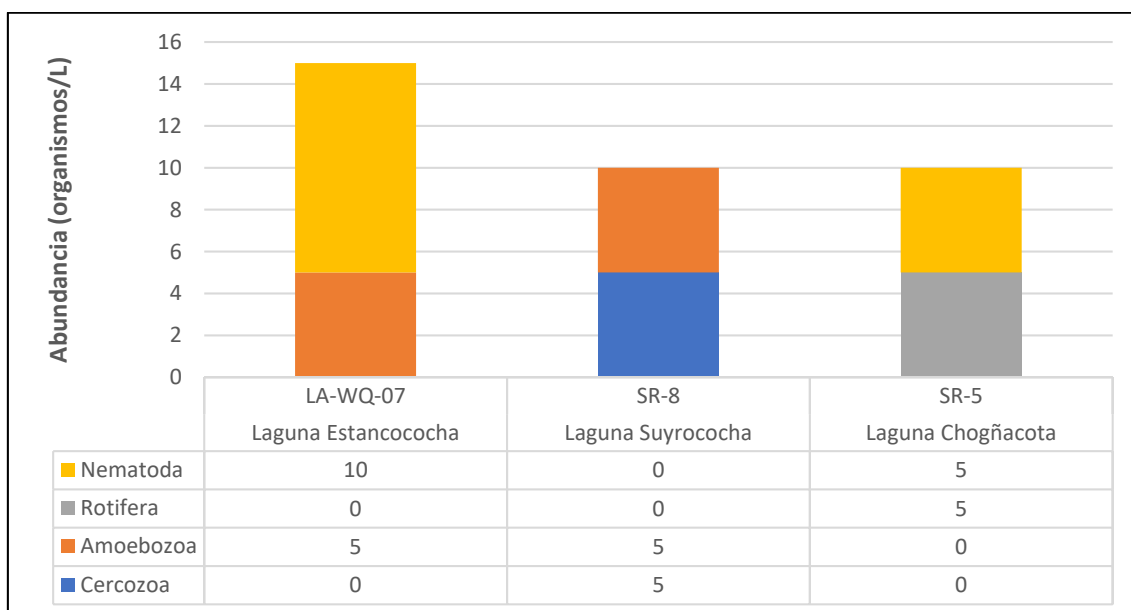


Figura 6.118. Abundancia del zooplancton por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.42 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en los puntos de muestreo SR-8 (laguna Suyrococha) y SR-5 (laguna Chogñacota), así como también los mayores valores de equidad de Pielou (1). El más bajo valor de diversidad N1 y N2 y de equidad de Pielou (0,9183) se registró en LA-WQ-07 (laguna Estancococha).

Tabla 6.42. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-07	1,89	1,8	0,9183
SR-8	2	2	1
SR-5	2	2	1

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

6.4.4.3.2. Perifiton

El perifiton fue analizado en sus dos componentes: microalgas y microorganismos.

Microalgas

- Composición y riqueza

Se evaluó la comunidad de microalgas del perifiton en 3 puntos de muestreo (laguna Suyrococha, laguna Estancococha y laguna Chogñacota), donde se registraron 38 taxones, los cuales están agrupadas en 6 phyla, 8 clases, 18 órdenes y 27 familias. Respecto a la riqueza de taxones, el phylum Bacillariophyta fue dominante con 20 taxones (52,63% del total), seguido de Cyanobacteria con 11 (28,95% del total), Chlorophyta con 3 (7,89% del total), Charophyta con 2 taxones (5,26% del total), mientras que Ochrophyta y Mizozoa

registró un único taxón cada uno (2,63% del total). El phylum Ochrophyta solamente estuvo presente en el punto de muestreo LA-WQ-07 (laguna Estancococha), mientras que Mizozoa y Charophyta solo se registraron en SR-8 (laguna Suyrococha) (Figura 6.119). Solamente el taxón *Diadlesmis confervacea* estuvo presente en todos los puntos de muestreo.

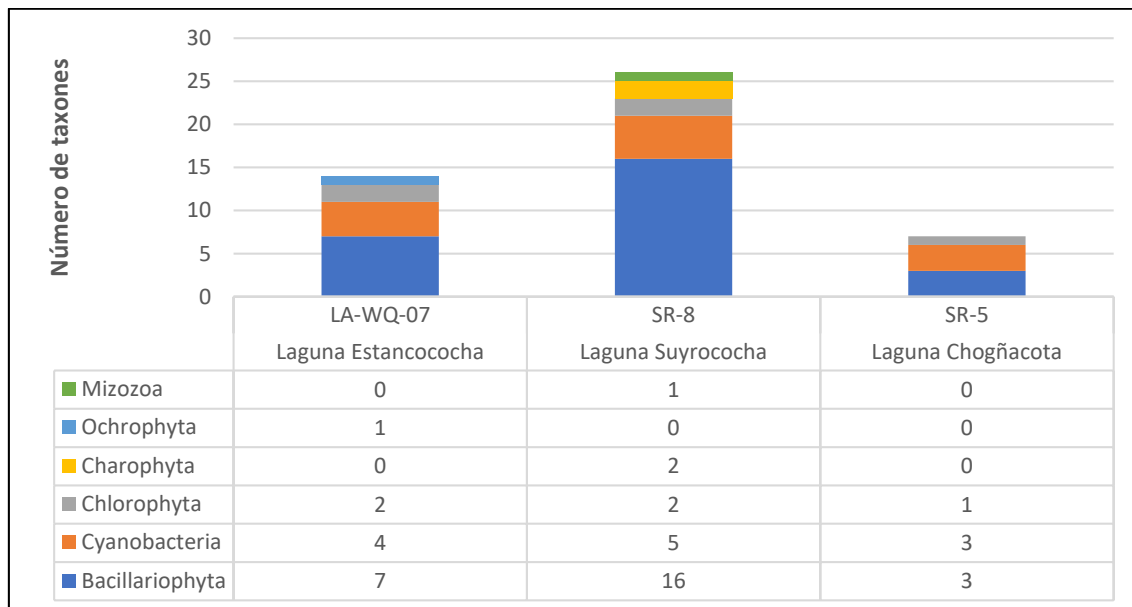


Figura 6.119. Riqueza de taxones de microalgas por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

Se registraron 28117 organismos, siendo el phylum Bacillariophyta el más dominante con 19412 organismos (69,04% del total), seguido de Cyanobacteria con 5054 organismos (17,97% del total), Myzozoa con 1567 organismos (5,57% del total), Charophyta con 1209 organismos (4,30% del total), Chlorophyta con 475 (1,70% del total) y Ochrophyta con 400 organismos (1,42% del total).

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo SR-8 (laguna Suyrococha), con 16400 organismos/cm². Cabe destacar que el phylum Bacillariophyta fue dominante en los puntos de muestreo LA-WQ-07 (laguna Estancococha) y SR-8 (laguna Suyrococha); mientras que en SR-5 (laguna Chogñacota) predominó Cyanobacteria (Figura 6.120).

El taxón más abundante fue *Diadlesmis confervacea* (4506 organismos, 16,03% del total).

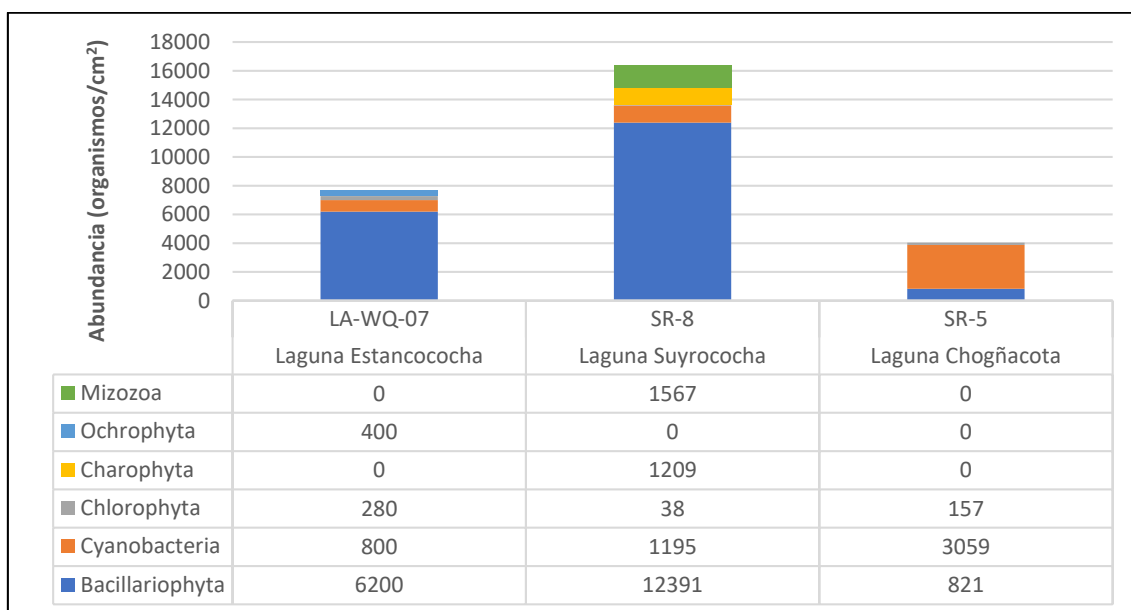


Figura 6.120. Abundancia de microalgas por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En base a la riqueza y abundancia de taxones, en la Tabla 6.43 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en el punto de muestreo SR-8 (laguna Suyrococha), así como también el máximo valor de equidad de Pielou (0,822). Los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en SR-5 (laguna Chogñacota), así como también el mínimo valor de equidad de Pielou (0,7071).

Tabla 6.43. Índices de diversidad de microalgas por punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-07	7,951	5,137	0,7856
SR-8	14,56	10,14	0,822
SR-5	3,959	2,704	0,7071

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

Microorganismos

- Composición y riqueza

Se registraron 3 taxones, los cuales están agrupadas en 3 phyla, 3 clases, 3 órdenes y 3 familias. No se registraron organismos en el punto de muestreo LA-WQ-07 (Figura 6.121).

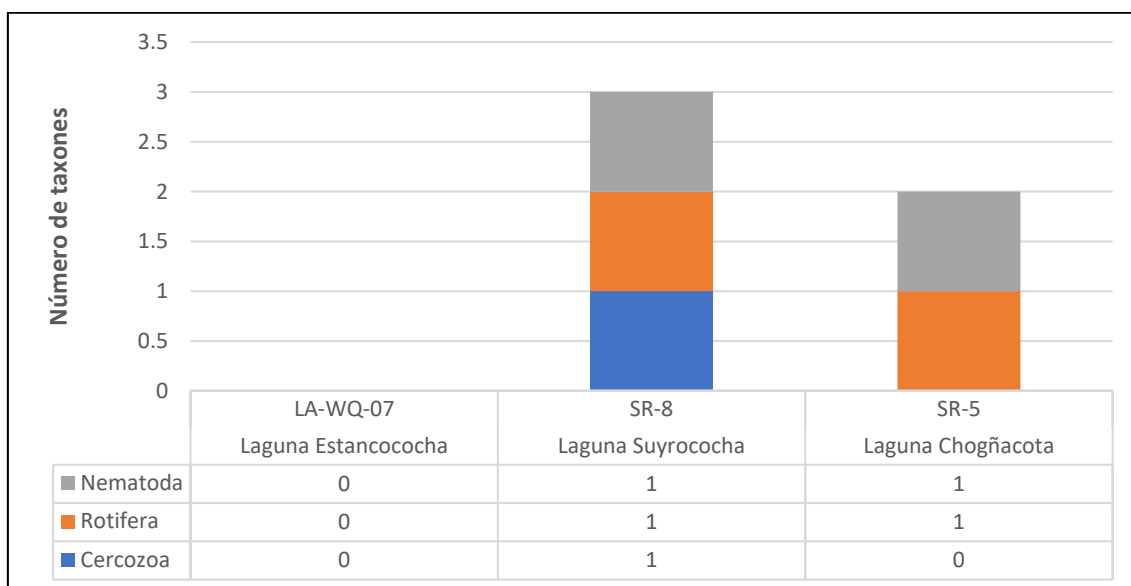


Figura 6.121. Riqueza de taxones de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Abundancia

El valor de abundancia más alto corresponde al punto de muestreo SR-8 (laguna Suyrococha), con 13 organismos/cm²; además, solo en este punto de muestreo se registraron organismos del phylum Cercozoa (Figura 6.122).

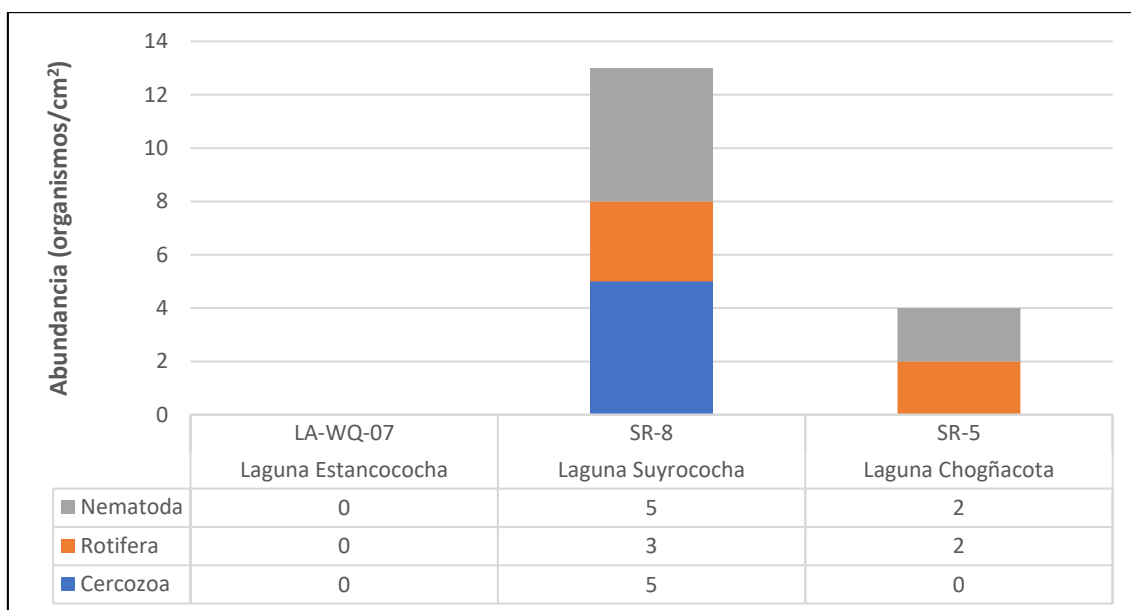


Figura 6.122 Abundancia de microorganismos por phylum y punto de muestreo

- Diversidad alfa

En la Tabla 6.44 se detallan los valores del índice de diversidad de Hill (N1 y N2) y la equidad de Pielou (J') para cada punto de muestreo.

Los máximos valores de diversidad N1 y N2, se registraron en el punto de muestreo SR-8 (laguna Suyrococha), y de equidad de Pielou (1) en el punto SR-5 (laguna Chogñacota);



mientras que los más bajos valores de diversidad N1 y N2 se registraron en SR-5, y de equidad de Pielou (0,977) en SR-8.

Tabla 6.44. Índices de diversidad de microorganismos por punto de muestreo

Puntos de muestreo	Diversidad N1	Diversidad N2	Equidad de Pielou (J')
LA-WQ-07	1	-	-
SR-8	2,925	2,864	0,977
SR-5	2	2	1

Dónde: N1 y N2: Índices de diversidad de Hill

	Valores máximos de índices de diversidad alfa
	Valores mínimos de índices de diversidad alfa

6.4.4.4. Resultados de agua subterránea

Se tiene 1 punto de muestreo de agua subterránea a través de un piezómetro PZ-01 ubicado en la zona 4 (Figura 6.110).

Los resultados fueron comparados con los ECA para agua Cat.1 aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM (Detallados en la ítem 5.4).

Respecto a los parámetros pH, conductividad eléctrica oxígeno disuelto; los estándares de calidad ambiental aplicada para agua subterránea establecen que las concentraciones de oxígeno disuelto deberán ser mayor o igual a 6 mg/l; sin embargo, el resultado obtenido presentó valor inferior a lo recomendado (Anexo 3: Reporte de resultados)

Respecto a los resultados de sólidos totales disueltos, sulfuros, cloruros, fluoruros, sulfatos y cromo hexavalente no superaron el valor establecido en los estándares de comparación. Los resultados de estos parámetros y los parámetros que no cuentan con estándar de comparación como: acidez, sólidos totales en suspensión, alcalinidad total, bicarbonato y carbonato se presentan en el Anexo 3.

Respecto a los metales totales, el aluminio, arsénico, hierro, manganeso y plomo superaron los estándares de comparación. El global de los resultados de metales totales se presenta en el Anexo 3.

6.4.5. HIDROQUÍMICA

6.4.5.1. Hidroquímica de agua superficial

A continuación, se detallan los resultados de la caracterización hidroquímica de las aguas superficiales de la zona 1 (microcuenca Larancota) distribuida en 5 puntos, zona 2 (microcuenca Chogñacota, Chuquisani y Paccha) distribuida en 8 puntos incluido el efluente minero P-4, zona 3 (río Antauta) con 4 puntos y la zona 4 que consta de 3 lagunas.

a. Parámetros de campo

Potencial de hidrógeno (pH)

En la zona 1, las quebradas Larancota, vilacota y Caquene presentaron una tendencia neutra (entre 6,76 y 7,51), el mismo patrón se dio en la zona 2, donde las quebradas Chogñacota, Chuquisani y Paccha también presentaron una tendencia neutra (entre 7,09 y



7,85) a excepción del efluente minero P-4 y el punto de agua superficial PCA-09 que presentaron tendencia alcalina (8,44 y 8,26).

En la zona 3, los puntos ubicados en el río Antauta, antes de la confluencia con la quebrada Chogñacota, presentaron tendencia alcalina (entre 8,21 y 8,74); mientras que el punto P-7 ubicado aguas abajo de la quebrada Chogñacota presentó un valor cercano a neutro (7,56).

En la zona 4, las lagunas Estancococha y Suyrococha presentaron valores más ácidos (4,77 y 4,22) respecto a la laguna Chogñacota (6,31).

Temperatura

En las aguas superficiales de la zona 1 se registraron temperaturas que variaron entre 4,6 °C y 10,7 °C, en la zona 2 entre 7,5 °C y 14,5 °C, en la zona 3 entre 7,8 °C y 14,9 °C y en la zona 4 variaron entre 7,8 °C y 12,5 °C.

Conductividad eléctrica

En las aguas superficiales de la zona 1, se registraron valores de conductividad eléctrica entre 15,28 µS/cm (LA-WQ-01) y 75,1 µS/cm (LA-WQ-03), en la zona 2 valores entre 69,3 µS/cm (SR-14) y 1337 µS/cm (PCA-09), en la zona 3 valores entre 155,2 µS/cm (SR-WQ-11) y 594 µS/cm (P-7) y en la zona 4 valores entre 51,4 µS/cm (LA-WQ-07) y 595 µS/cm (SR-5).

b. Diagramas hidroquímicos

Para efectos de este análisis se utilizaron las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios del agua (cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ y aniones: HCO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^-) mediante los diagramas de Piper y Stiff.

✓ Diagramas de Stiff

Los diagramas de Stiff muestran que las concentraciones de iones mayoritarios (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) en las aguas superficiales fueron desde 0 hasta 15 meq-l (ver Figura 6.123) y se encuentran agrupados de acuerdo a lo siguiente.

- De 0 a 1 meq-l: todas las muestras de la Zona 1 (LA-WQ-01, SR-WQ-03, R-3, R-4 y LA-WQ-03) presentaron en su mayoría características sulfatadas sódicas magnésicas, de la Zona 2 (SR-14) con características bicarbonatada cálcica y de la zona 4 (SR-8 y LA-WQ-07) presenta características sulfatadas.
- De 0 a 2 meq-l: muestras de la Zona 2 – río Antauta (LA-WQ-04, SR-WQ-11 y P-6), presentando características bicarbonatadas cálcicas magnésicas.
- De 0 a 15 meq-l: muestras de la Zona 2 (P-4, PCA-09, AS-09, AS-04, SR-37, P-5 y AS-05), de la Zona 3 (P-7) y de la Zona 4 (SR-5), que presentaron en su mayoría características sulfatadas cálcicas.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

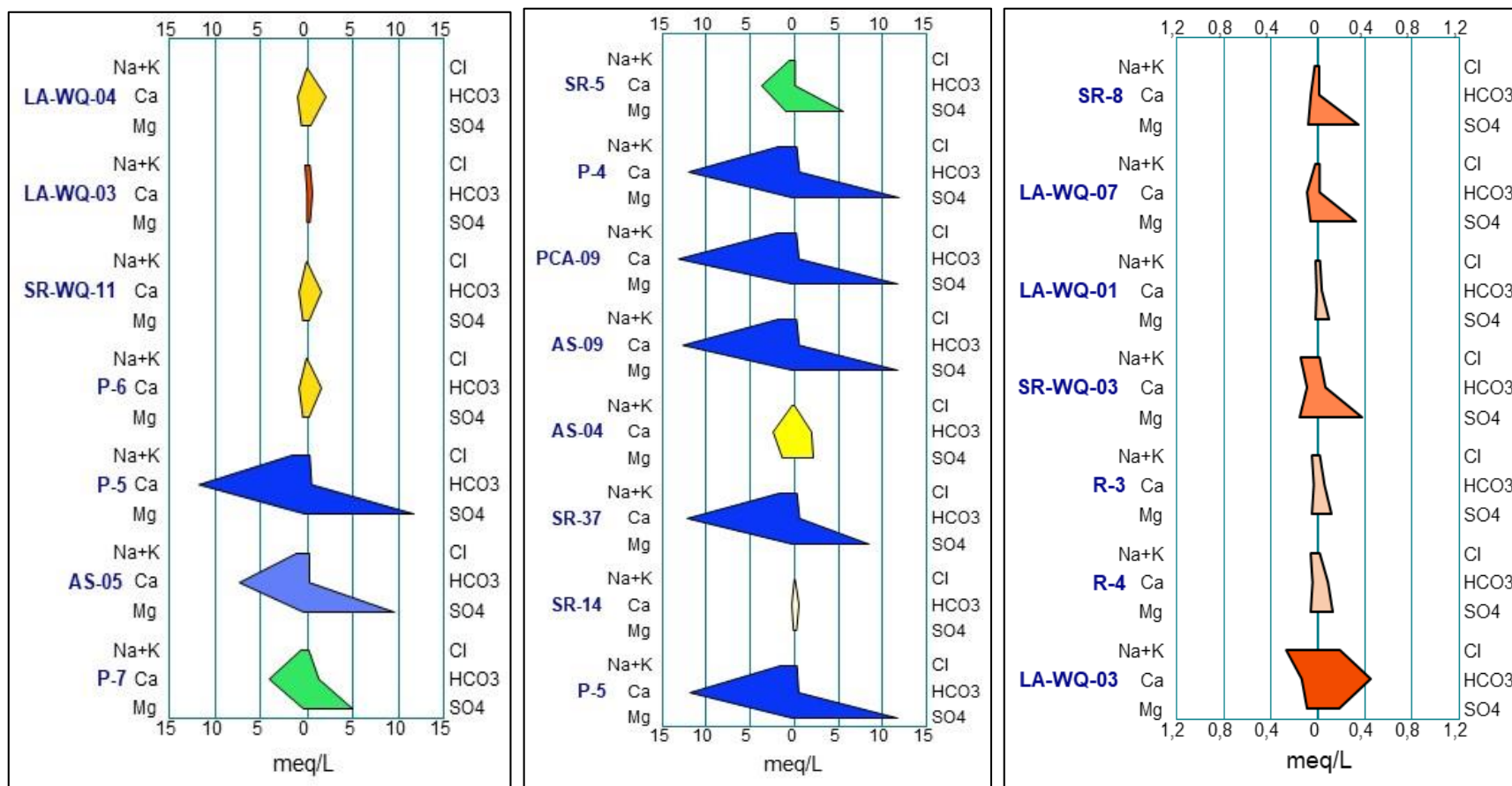


Figura 6.123. Diagrama de Stiff para muestras de agua superficial y efluente minero

✓ Diagramas de Piper

El diagrama de Piper (Figura 6.124) indica que las aguas superficiales se agrupan en 3 facies hidroquímicas:

La primera de tipo bicarbonatada cálcica que agrupa a 5 puntos de muestreo que se ubican en el río Antauta (LA-WQ-04, SR-WQ-11, P-6 y AS-04, ubicados antes de la confluencia con la quebrada Chogñacota), un punto en la quebrada Chuquisani (SR-14) y en el canal de aguas de no contacto (AS-04).

La segunda de tipo sulfatada magnésica que agrupa a 4 puntos de muestreo (LA-WQ-01, SR-WQ-03, R-3 y R-4, ubicados en la microcuenca Larancota).

La tercera de tipo sulfatada cálcica que agrupa a 10 puntos de muestreo (P-4, PCA-09, AS-09, SR-37, P-5, AS-05, SR-8, LA-WQ-07, SR-5 y P-7) que se encuentran ubicados en las lagunas, la quebrada Chogñacota y el río Antauta.

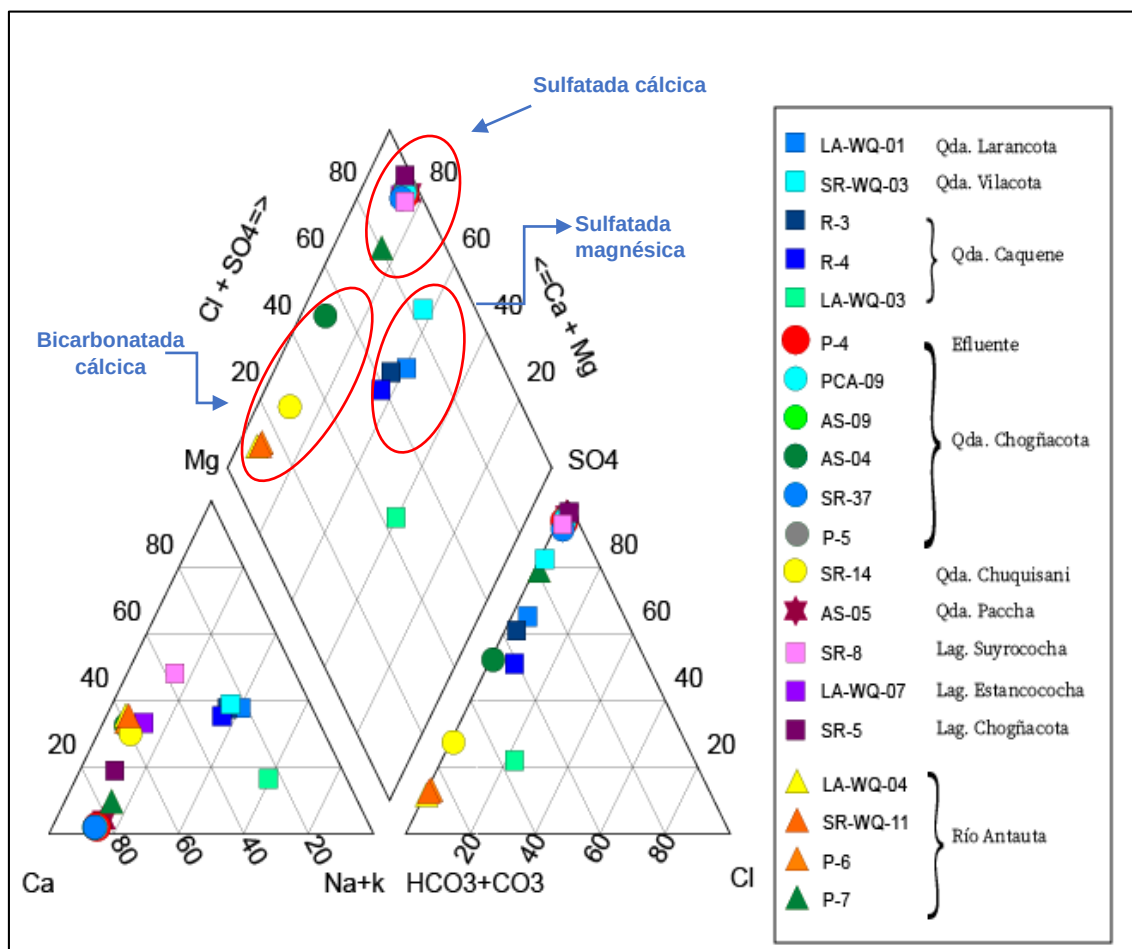


Figura 6.124. Diagrama de Piper para muestras de agua superficial y efluente minero



6.4.5.2. Hidroquímica del agua subterránea

A continuación, se detallan los resultados de la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas en 3 piezómetros y 4 manantiales de la Zona 1, 8 piezómetros y 2 manantiales de la Zona 2 y 1 piezómetro de la Zona 4.

c. Parámetros de campo

Potencial de hidrógeno (pH)

En las aguas subterráneas de la Zona I, los valores de pH variaron entre 5,37 unidades de pH (M-22) y 7,47 unidades de pH (M-26), en la zona II variaron entre 6,0 unidades de pH (DH16-05) y 8,95 unidades de pH (BHSR-KP16-13) y en la zona IV el valor de pH fue de 8,08 unidades de pH (PZ-01).

Temperatura

En las aguas subterráneas de la Zona I, la temperatura varió entre 8,1 °C (BH-LA13-01) y 10,7 °C (BH-LA17-05), en la Zona II varió entre 9,9 °C (M-31) y 18,0 °C (BHSR-KP16-13) y en la Zona IV el valor registrado fue 10,6 °C (PZ-01).

Conductividad eléctrica

En las aguas subterráneas de la Zona I, la conductividad eléctrica varió entre 16,01 $\mu\text{S/cm}$ (M-22) y 67 $\mu\text{S/cm}$ (M-23), en la Zona II varió entre 58,2 $\mu\text{S/cm}$ (DH16-05) y 1024 $\mu\text{S/cm}$ (VW-20), y en la Zona IV el valor registrado fue 205,4 $\mu\text{S/cm}$ (PZ-01).

d. Diagramas hidroquímicos

Para efectos de este análisis se utilizaron las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios del agua (cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+} y aniones: HCO_3 , SO_4^{2-} y Cl^{-}) mediante los diagramas de Piper y Stiff.

✓ Diagramas de Stiff

Los diagramas de Stiff (Figura 6.125) muestran que las concentraciones de iones mayoritarios (Cl^{-} , HCO_3^{-} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} y K^{+}) en las aguas subterráneas fueron desde 0 hasta 7 meq-l y se encuentran agrupados de acuerdo a lo siguiente.

- De 0 a 0,5 meq-l: todas las muestras de la Zona I (M-22, M-23, M-13, M-26, BH-LA13-01, BH-LA17-05 y BH-LA17-06) y dos muestras de la Zona II (AMP-03 y DH16-05).
- De 0 a 8 meq-l: muestras de la Zona II (M17, M31), de la Zona II (VW-20, AMP-04, BHSR-KP17-05, BHSR-KP16-13, AMP-06 y PM-2) y de la Zona IV (PZ-01).

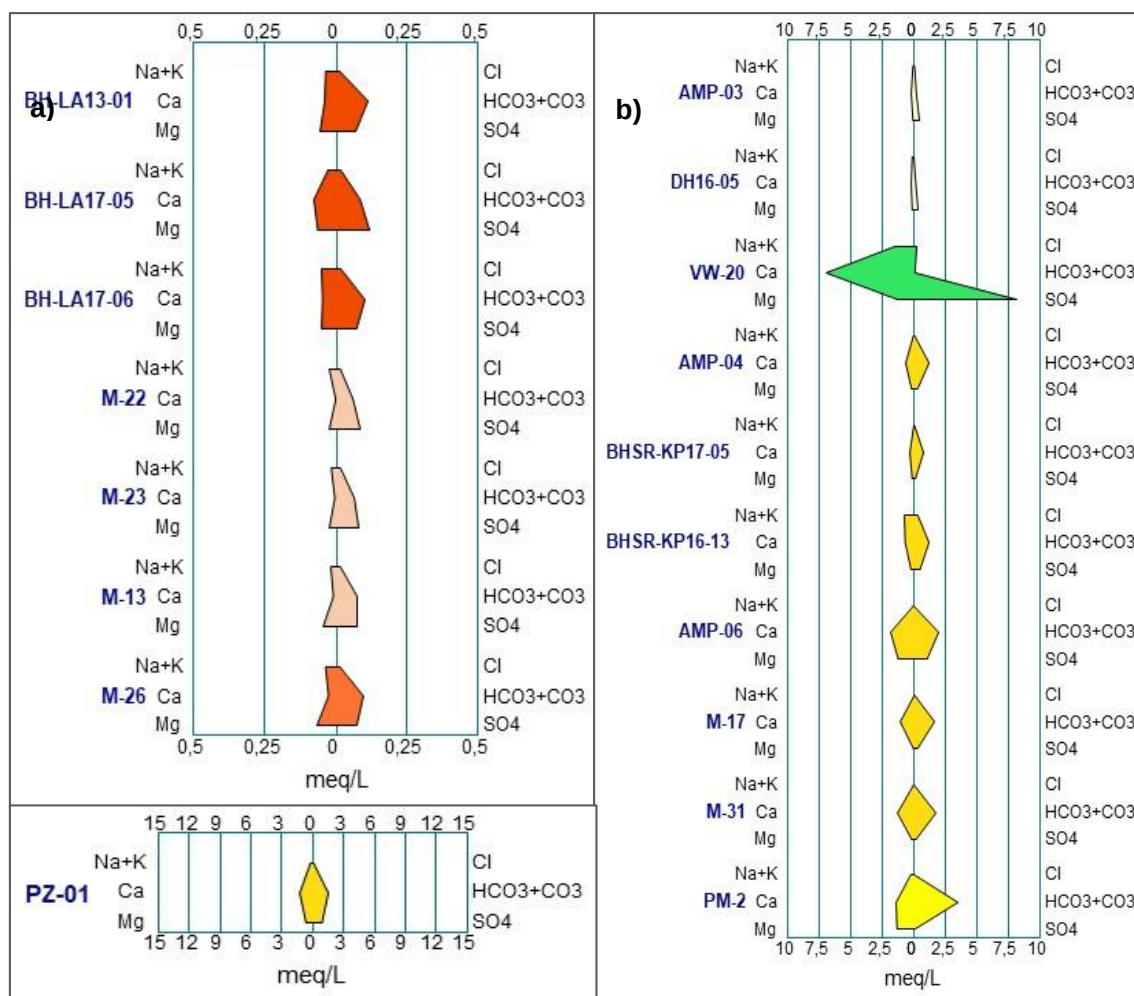


Figura 6.125. Diagramas de Stiff para muestras de agua subterránea: a) Zona 1, b) Zona 2 y c) Zona 4

✓ Diagramas de Piper

El diagrama de Piper (Figura 6.126) indica que las aguas subterráneas se agrupan en 3 facies hidroquímicas:

La primera de tipo bicarbonatada cálcica que agrupa a 10 puntos de muestreo (M-17, M-31, AMP-04, PM-2, BHSR-KP17-05, BHSR-KP16-13, AMP-06 y PZ-01, BH-LA13-01, BH-LA17-06).

La segunda de tipo sulfatada magnésica que agrupa a 4 puntos de muestreo (M-26, M-13, M-23 y M-22).

La tercera de tipo sulfatada cálcica que agrupa a 4 puntos de muestreo (VW-20, DH16-05, BH-LA17-05 y AMP-03).

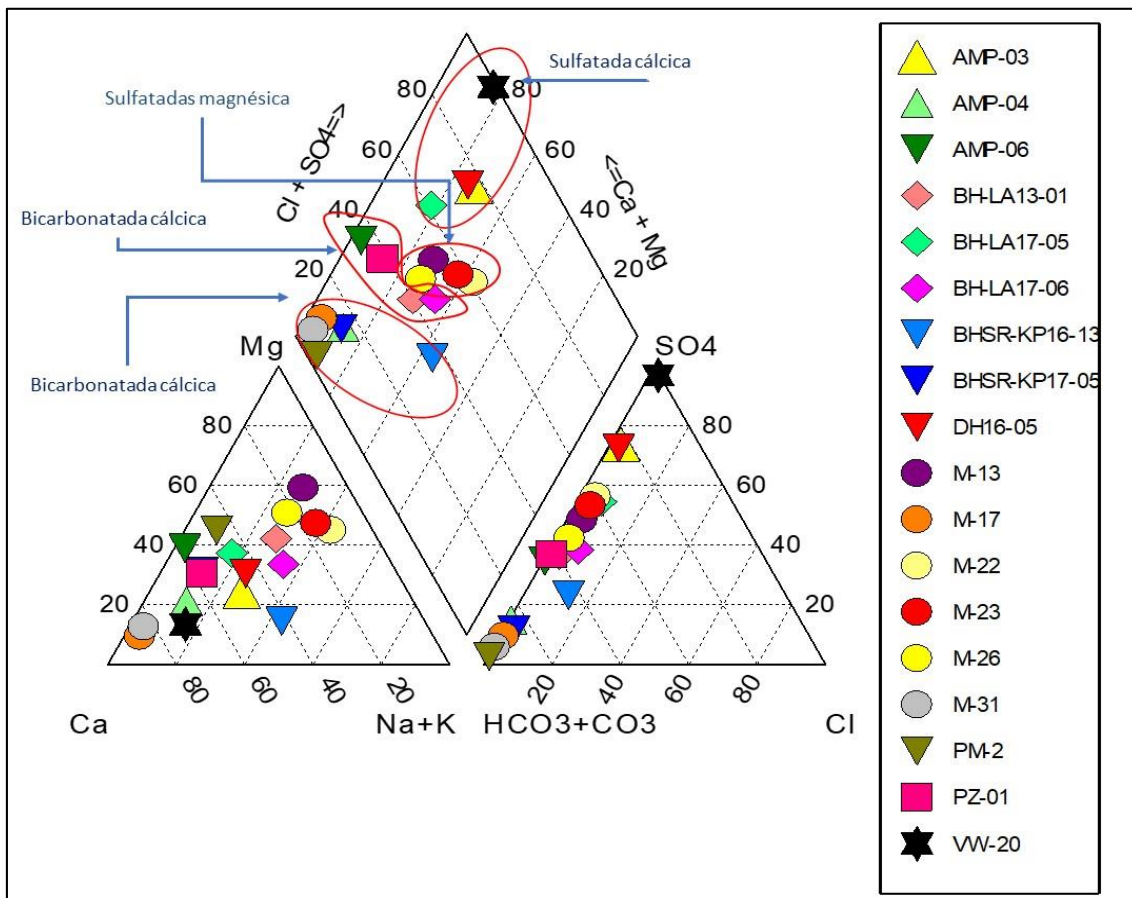


Figura 6.126. Diagrama de Piper para muestras de agua subterránea

✓ Diagramas de Mifflin

De acuerdo a este diagrama, las aguas subterráneas pertenecientes al flujo local corresponden a aguas de reciente infiltración y las aguas de flujo intermedio son aguas que presentan evolución hidrogeoquímica debido a su tiempo de permanencia en el acuífero.

En la Figura 6.127 destaca la presencia de un tipo de flujo de agua subterránea, marcando la tendencia evolutiva, donde los puntos de la Zona 1 poseen valores en $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (0,020 a 0,054 meq/L) y en $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ (0,0686 a 0,1165 meq/L) y los puntos de la Zona 2 poseen valores en $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (0,064 a 1,587 meq/L) y en $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ (0,0978 a 8,3924 meq/L).

Un caso particular se presenta en el punto VW-20, que se ubica como agua de flujo intermedio, sin embargo, se precisa que el área evaluado se ubica en cabecera de cuenca y sus aguas deberían tener características de flujo local similar a las muestras obtenidas en los demás puntos, por lo que se hace hincapié en resaltar que las aguas de este punto pueden presentar algún tipo de alteración.

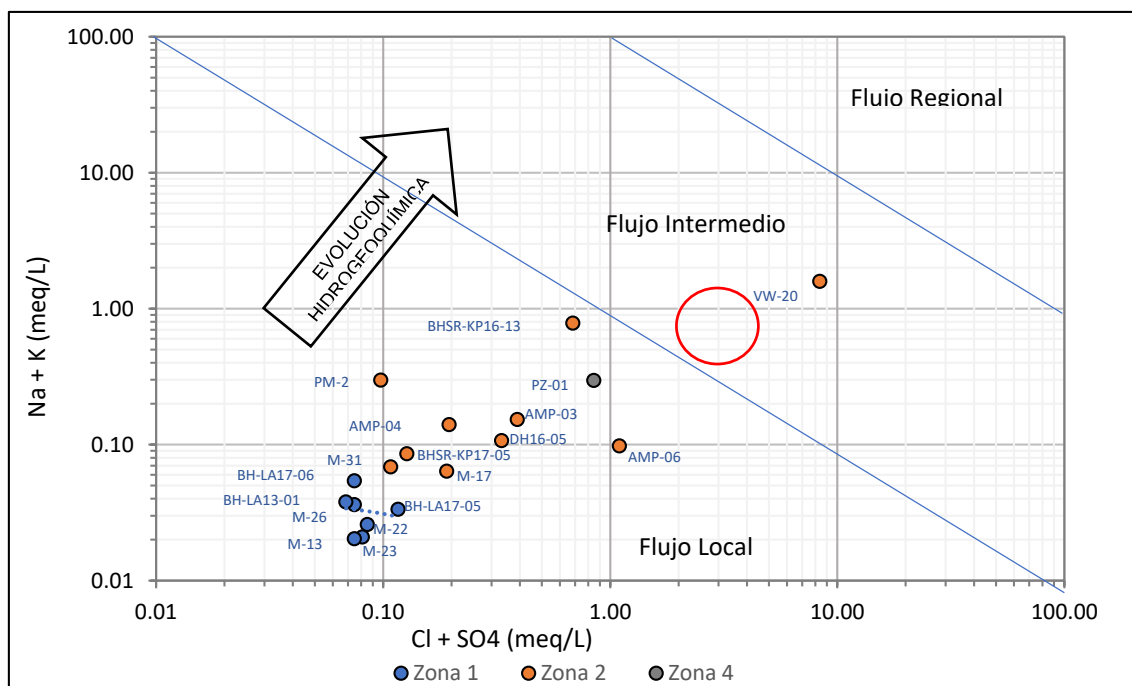


Figura 6.127. Diagrama de Mifflin para muestras de agua subterránea

6.4.5.3. Hidroquímica del agua de los depósitos de relaves

A continuación, se detallan los resultados de la caracterización hidroquímica de las muestras de aguas de los depósitos de relaves Bofedal 2 y Bofedal 3.

a. Parámetros de campo

Potencial de hidrógeno (pH)

La muestra de agua de del depósito de relaves Bofedal 2 (REL-B2) presentó un valor de 6,26 unidades de pH, mientras que la muestra del depósitos de relaves Bofedal 3 (REL-B3) presentó un valor de 10,77 unidades de pH.

Temperatura

En el depósito de relaves Bofedal 2 (REL-B2), la temperatura del agua registrada fue de 9,9 °C, mientras que en el depósito de relaves Bofedal 3 (REL-B3) la temperatura del agua fue de 13,2 °C.

Conductividad eléctrica

En el depósito de relaves Bofedal 2 (REL-B2), la conductividad del agua registrada fue de 1272 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en el depósito de relaves Bofedal 3 (REL-B3) la conductividad del agua fue de 1348 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

b. Diagramas hidroquímicos

La información que proporciona los diagramas hidroquímicos se detallan a continuación.

✓ Diagramas de Stiff

Los diagramas de Stiff muestran que las concentraciones de iones mayoritarios (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) en las aguas de los depósitos de relaves fueron desde 0 hasta 12 meq/l tal como se muestra en la Figura 6.128.

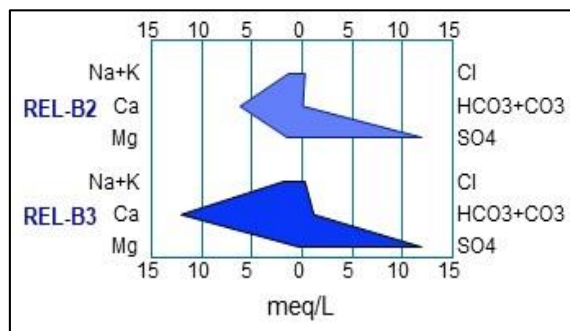


Figura 6.128. Diagramas de Stiff para muestras de agua residual industrial

✓ Diagramas de Piper

El diagrama de Piper (Figura 6.129) indica que las aguas de los depósitos de relaves son del tipo sulfatada cálcica:

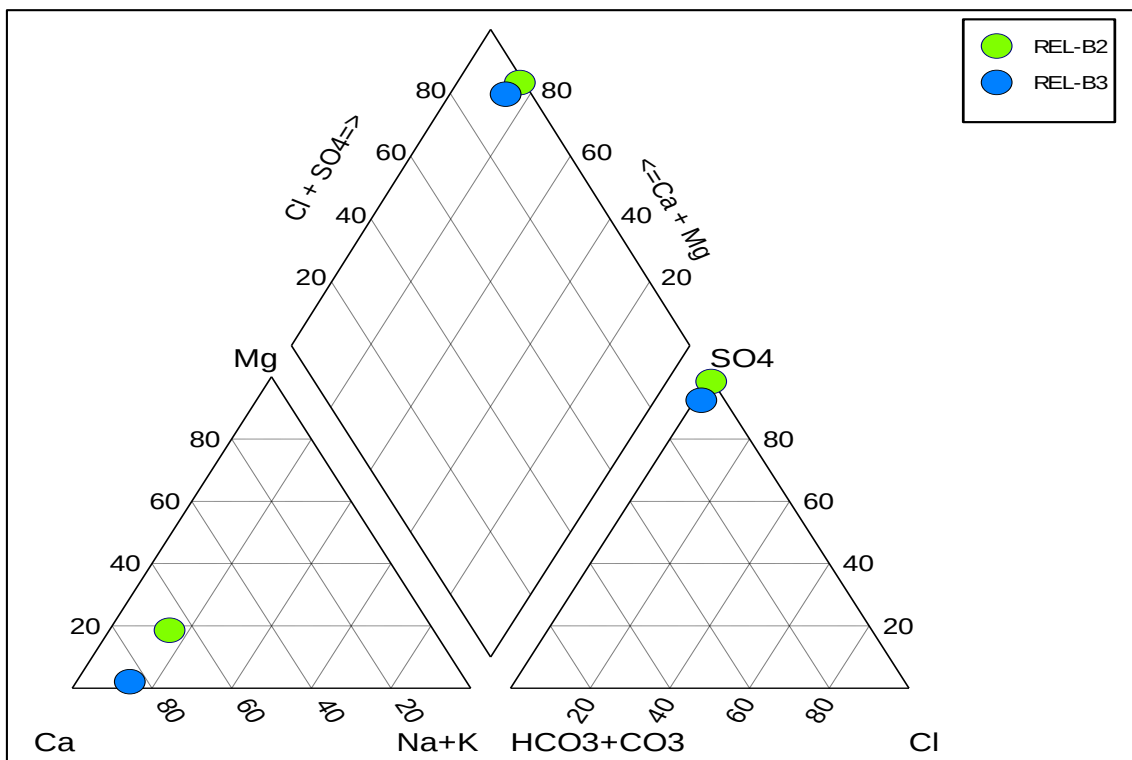


Figura 6.129. Diagrama de Piper para muestras de agua de los depósitos de relaves Bofedal 2 y Bofedal 3

6.5. Objetivo específico 5: Estimar los niveles de toxicidad del agua superficial y sedimentos de la quebrada Chogñacota, río Antauta, y la toxicidad del efluente minero industrial

Zona 1: Microcuenca Larancota

En la zona 1, enmarcada en la microcuenca de la quebrada Larancota, se evaluaron 2 puntos de ecotoxicidad (agua superficial y sedimento), cuyos resultados y fuentes potenciales se observan en la Figura 6.130.

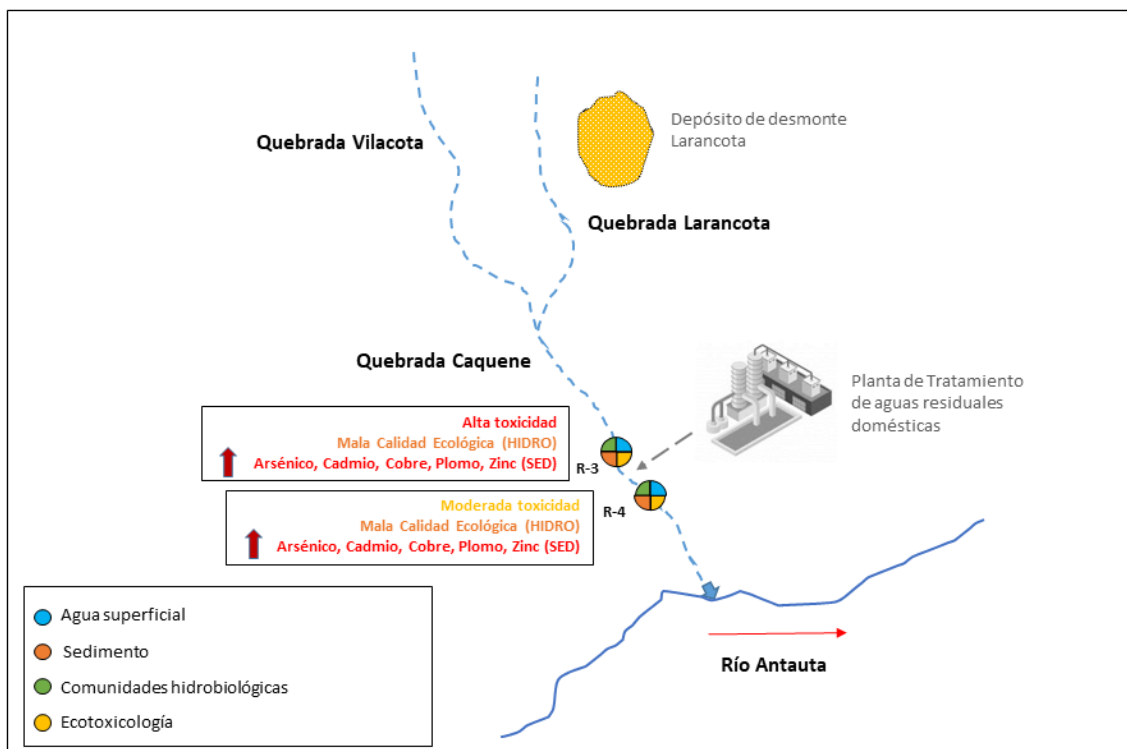


Figura 6.130. Esquema de la Zona 1, puntos de evaluación de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y ecotoxicidad (agua y sedimento)

En los puntos de muestreo R-3 (aguas arriba del efluente R-2) y R-4 (aguas abajo del efluente R-2), se obtuvieron resultados de alta y moderada toxicidad, respectivamente; lo cual coincide con una mala y moderada calidad ecológica según el índice ABI (Tabla 6.45); además de identificar posibles fuentes contaminantes en las concentraciones de arsénico total, cadmio total, cobre total, plomo total y zinc total que superaron los valores de la norma referencial canadiense CEQG. El resultado de alta toxicidad en sedimento del punto R-4 guarda una mejor relación con el resultado de calidad ecológica ya que los macroinvertebrados bentónicos viven directamente asociado al sedimento.

Cabe resaltar que el efluente de agua residual doméstica R-2 superó 416 veces el valor límite máximo de toxicidad aguda para efluentes; sin embargo, el punto R-4 que se encuentra 150 m. aguas abajo de dicho efluente obtuvo un resultado de «no tóxico» para agua superficial.

Tabla 6.45. Índices de toxicidad en agua superficial y sedimento, y Calidad Ecológica según el índice ABI

Puntos de muestreo	Nivel de toxicidad				Calidad Ecológica	
	SED	AS	Total	Índice ABI		
R-3	Alta toxicidad	Alta toxicidad	Alta toxicidad	4	Mala Calidad	19
R-4	Alta toxicidad	No tóxico	Moderada toxicidad	3	Mala Calidad	11

Zona 2: Microcuencas Chogñacota y Paccha

En la zona 2, enmarcada en la microcuenca de la quebrada Chogñacota, se evaluaron 6 puntos de ecotoxicidad (agua superficial y sedimento), cuyos resultados y fuentes potenciales se observan en la Figura 6.131.

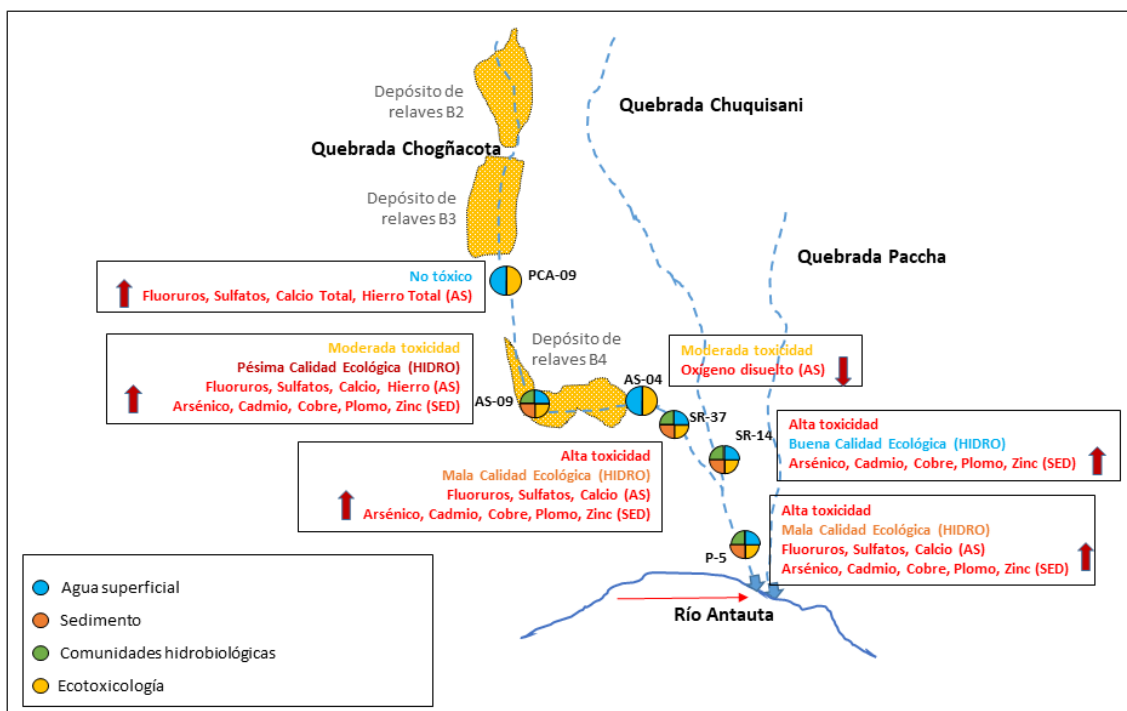


Figura 6.131. Esquema de la Zona 2, puntos de evaluación de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y ecotoxicidad (agua y sedimento)

En los puntos de muestreo SR-37 y P-5 en quebrada Chogñacota, se obtuvieron resultados de alta toxicidad, lo cual coincide con una mala calidad ecológica según el índice ABI (Tabla 6.46); además de identificar posibles fuentes contaminantes en las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc que superaron los valores de la norma referencial canadiense CEQG; además de fluoruros, sulfatos, calcio total y hierro total en agua superficial que superaron los ECA para agua 2017. El punto de muestreo AS-09 (quebrada Chogñacota) presentó un resultado de **alta toxicidad en sedimento**, lo cual guardaría relación con el resultado de pésima calidad ecológica ya que los macroinvertebrados bentónicos viven directamente asociado al sedimento.

En el punto de muestreo SR-14 (quebrada Chuquisani) se obtuvieron resultados de alta toxicidad, así como también se identifican como posibles fuentes contaminantes las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc que superaron los valores de la norma referencial canadiense CEQG; sin embargo, se obtuvo un resultado de buena calidad

ecológica según el índice ABI, lo cual se debería a la presencia de organismos facultativos casi en la misma proporción de organismos tolerantes.

El punto de muestreo AS-04 (quebrada Chogñacota) presentó una alta toxicidad en sedimento; sin embargo, no se presentó ningún parámetro en sedimento que incumpla la norma referencial canadiense (CEQG), lo cual sugeriría que la naturaleza del agente tóxico no se identificó en los análisis respectivos. La toxicidad en agua superficial fue no tóxica, lo cual guarda relación con la ausencia de parámetros que incumplan los ECA para agua, con excepción del valor de oxígeno disuelto, pero este parámetro es regulado y estabilizado en la prueba de toxicidad en laboratorio.

El punto de muestreo PCA-09 (quebrada Chogñacota) presentó un resultado de no tóxico en agua superficial; sin embargo, los valores registrados de fluoruros, sulfatos, calcio total y hierro total incumplieron los ECA para agua superficial 2017.

Tabla 6.46. Índices de toxicidad en agua superficial y sedimento, y Calidad Ecológica según el índice ABI

Puntos de muestreo	Nivel de toxicidad						Calidad Ecológica	
	SED		AS		Total		Índice ABI	
P-5	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Mala calidad	11
SR-14	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Buena Calidad	51
SR-37	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Mala Calidad	23
AS-04	Alta toxicidad	4	No tóxico	1	Moderada toxicidad	3	NE	-
AS-09	Alta toxicidad	4	No tóxico	1	Moderada toxicidad	3	Pésima Calidad	5
PCA-09	NE	-	No tóxico	1	No tóxico	1	NE	-

Zona 3: río Antauta

En la zona 3, enmarcada en el río Antauta, se evaluaron 2 puntos de ecotoxicidad (agua superficial y sedimento), cuyos resultados y fuentes potenciales se observan en la Figura 6.132.

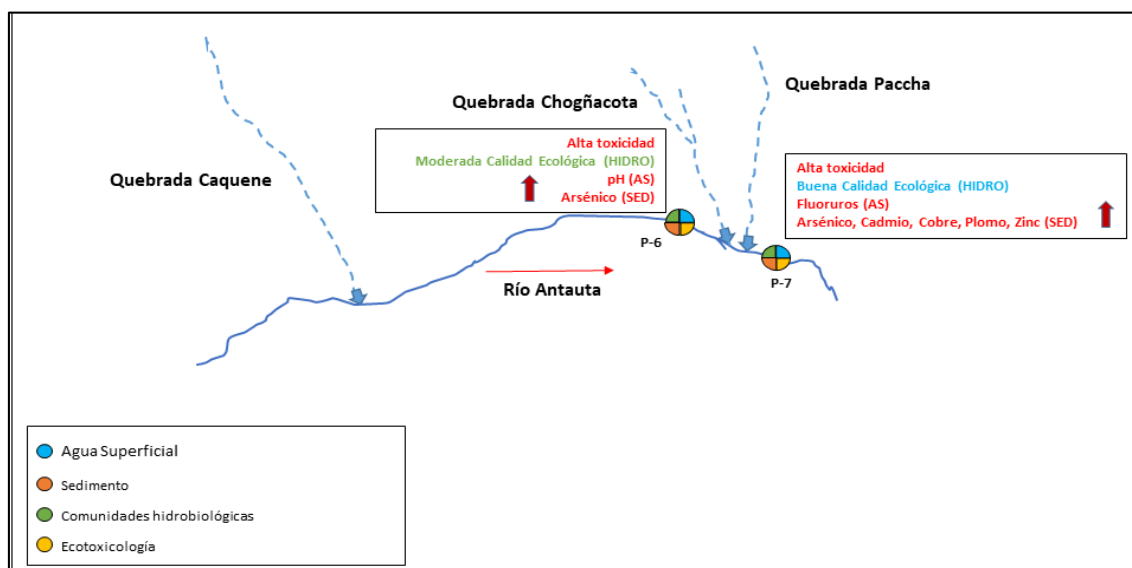


Figura 6.132. Esquema de la Zona 3, puntos de evaluación de agua superficial, sedimento, comunidades hidrobiológicas y ecotoxicidad (agua y sedimento)

En los puntos de muestreo P-6 y P-7 en el río Antauta, se obtuvieron resultados de alta toxicidad, además de identificar posibles fuentes contaminantes en las concentraciones de arsénico total, cadmio total, cobre total, plomo total y zinc total que superaron los valores de la norma referencial canadiense CEQG; además de fluoruros en agua superficial en P-7 y pH en agua superficial en P-6. En contraste a los resultados antes descritos, el índice ABI presentó calificaciones de moderada calidad y buena calidad, para los puntos P-6 y P-7, respectivamente; lo cual indicaría la presencia de una composición comunitaria adaptada (presencia moderada de organismos facultativos).

Tabla 6.47. Índices de toxicidad en agua superficial y sedimento, y Calidad Ecológica según el índice ABI

Índice ABI								
Nivel de toxicidad							Calidad Ecológica	
Puntos de muestreo	SED		AS		Total		Índice ABI	
P-6	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Moderada Calidad	37
P-7	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Alta toxicidad	4	Buena Calidad	68

7. DISCUSIÓN

Para el análisis de los resultados se mantiene las 4 zonas presentados en la sección 6: Zona 1: Microcuencas Larancota, Zona 2: Microcuencas Chogñacota, Chuquisani y Paccha, Zona 3: río Antauta y Zona 4: Lagunas (Figura 7.1).

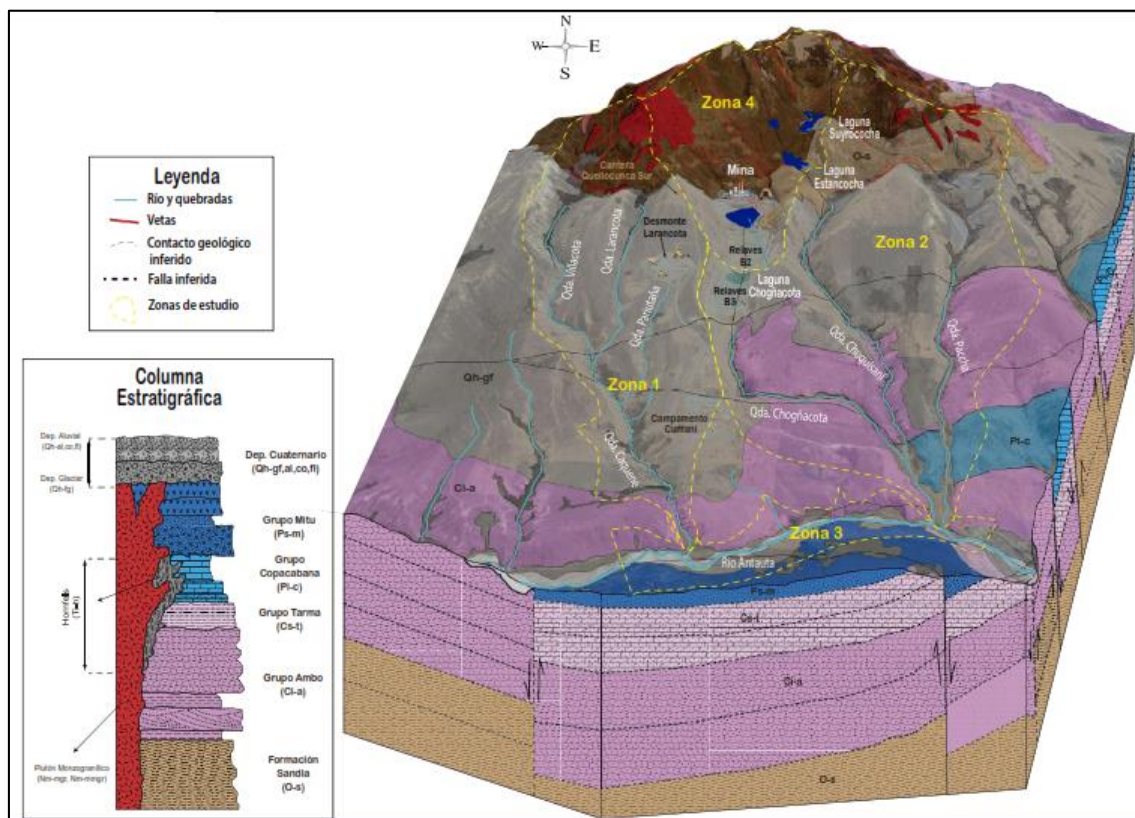


Figura 7.1. Distribución de las zonas de estudio en la UM Quenamari

El área de estudio se emplaza en las microcuencas Larancota, Chogñacota, Chuquisani y Paccha (afluentes del río Antauta). Tanto la microcuenca Larancota como las quebradas



Chogñacota, Chuquisani y Paccha drenan hacia el sur del área de estudio y confluyen por la margen izquierda del río Antauta (Figura 7.1).

Constituido principalmente por rocas metamórficas de origen sedimentario y por rocas sedimentarias propiamente dichas que van en edades desde el Ordoviciano, Permiano del Paleozoico hasta el Holoceno con los depósitos Cuaternarios; estas rocas presentan un fallamiento preferencial de rumbo NW-SE, como parte de la tectónica Andina; conformado por fallas normales longitudinales las que fueron posteriormente desplazadas por fallas transversales de rumbo NE-SW y E-W. Siendo probablemente, estas fallas longitudinales, las que permitieron el ingreso de los intrusivos Cenozoicos de composición alcalina y producto de ello, el emplazamiento de las principales vetas siguiendo el mismo tren andino.

En la zona 1 y 2 afloran las rocas del Grupo Ambo y la Formación Sandia, sobreyaciendo a estas rocas se encuentran los depósitos cuaternarios (glaciofluvial y coluvial); los tipos de roca que presenta el Grupo Ambo son areniscas intercaladas con limolitas con estratos de 1m de espesor mientras que la Formación Sandia está conformado por rocas pizarrosas a filíticas producto del metamorfismo regional y local. Adicionalmente en la quebrada Chuquisani aflora rocas del grupo Copacabana constituido por rocas de calizas y areniscas calcáreas.

En la zona 3 (río Antauta) la geología está conformado por rocas del Grupo Ambo en la margen izquierda y por el Grupo Mitu y Grupo Tarma en la margen derecha.

En la zona 4 (Lagunas) ubicado en la cuenca alta está conformada por rocas del intrusivo de composición monzogranítico y rocas metamórficas de contacto entre el intrusivo con la Formación Sandia «Hornfels», esta zona presenta fallas y vetas mineralizadas de dirección NW-SE.

Adicionalmente, el origen del volumen de agua subterránea en el área de estudio proviene de la infiltración de la precipitación, es decir, el porcentaje de precipitación que no se pierde por evaporación o escorrentía superficial. Los niveles piezométricos en la zona de estudio, varían desde 4200 msnm, en la intercepción de la quebrada Chogñacota con el río Antauta, a aproximadamente 4500 msnm en las partes altas de las montañas, lo que determina la dirección del flujo el área de estudio desde las partes altas (donde se produce la recarga) hacia las partes más bajas (fondos de quebradas) donde se producen las descargas

7.1. Zona 1: Microcuenca Larancota

Esta área de estudio se encuentra emplazada sobre rocas del Grupo Ambo (sustrato rocoso), sobreyaciendo a estos por depósitos glaciofluviales producto de la erosión y sedimentación de rocas pre existentes de la zona norte, tales como intrusivo granodiorítico y rocas de la Formación Sandia compuestas por pizarras afilitas alteradas y metamorfizadas, mineralizadas por vetas que contienen minerales como pirita, pirrotita, galena, esfalerita, arsenopirita, goethita y calcorpitas. Esta microcuenca comprende a la quebrada Vilacota; la quebrada Larancota, en cuya parte alta y margen izquierda se encuentra ubicado el depósito de desmonte del mismo nombre y la quebrada Caquene, en cuya margen izquierda descarga el efluente doméstico R-2. Estas 3 quebradas tienen una dirección de flujo de norte a sur.

Las aguas superficiales de esta zona tienen como anión predominante el sulfato con concentraciones que variaron entre 4,5-18 mg/L; mientras que el catión predominante fue el



magnesio, con valores entre 0,315-1,99 mg/L, similares a lo reportado por el administrado en su IGA²⁷, estos valores son característicos de aguas con muy poca evolución (Custodio y Llamas, 1996). La presencia de estos iones es debido a que el agua circula sobre depósitos cuaternarios con presencia de los sulfatos como iones predominantes, tal como se determinó en los resultados de las pruebas de lixiviación de las muestras de suelo GEO-07, GEO-06 y GEO-11 y el análisis de metales totales en el punto GEO-11 que reportó principalmente la presencia del magnesio (minerales como la turmalina y clorita).

En las aguas subterráneas predominaron el sulfato y bicarbonato, con concentraciones que variaron entre 3,3-5,6 mg/L y 2,4-5,6 mg/L respectivamente; mientras que los cationes predominantes fueron el magnesio y calcio con valores entre 0,319-0,856 mg/L y 0,1-1,7 mg/L respectivamente. Estos iones son el resultado de la interacción entre el agua-roca (depósito cuaternario y formación sandia); además, según el diagrama de Miffilin (Figura 6.121) se observa la categorización de todos los puntos de esta zona como aguas de flujo local, es decir aguas de reciente infiltración.

En la Figura 7.2 se muestra el resumen de los componentes evaluados y los parámetros que incumplieron las normativas de comparación evaluados en la zona 1.

²⁷

Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la UM Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael. Resolución Directoral N.º 095-2017-SENACE/DCA.

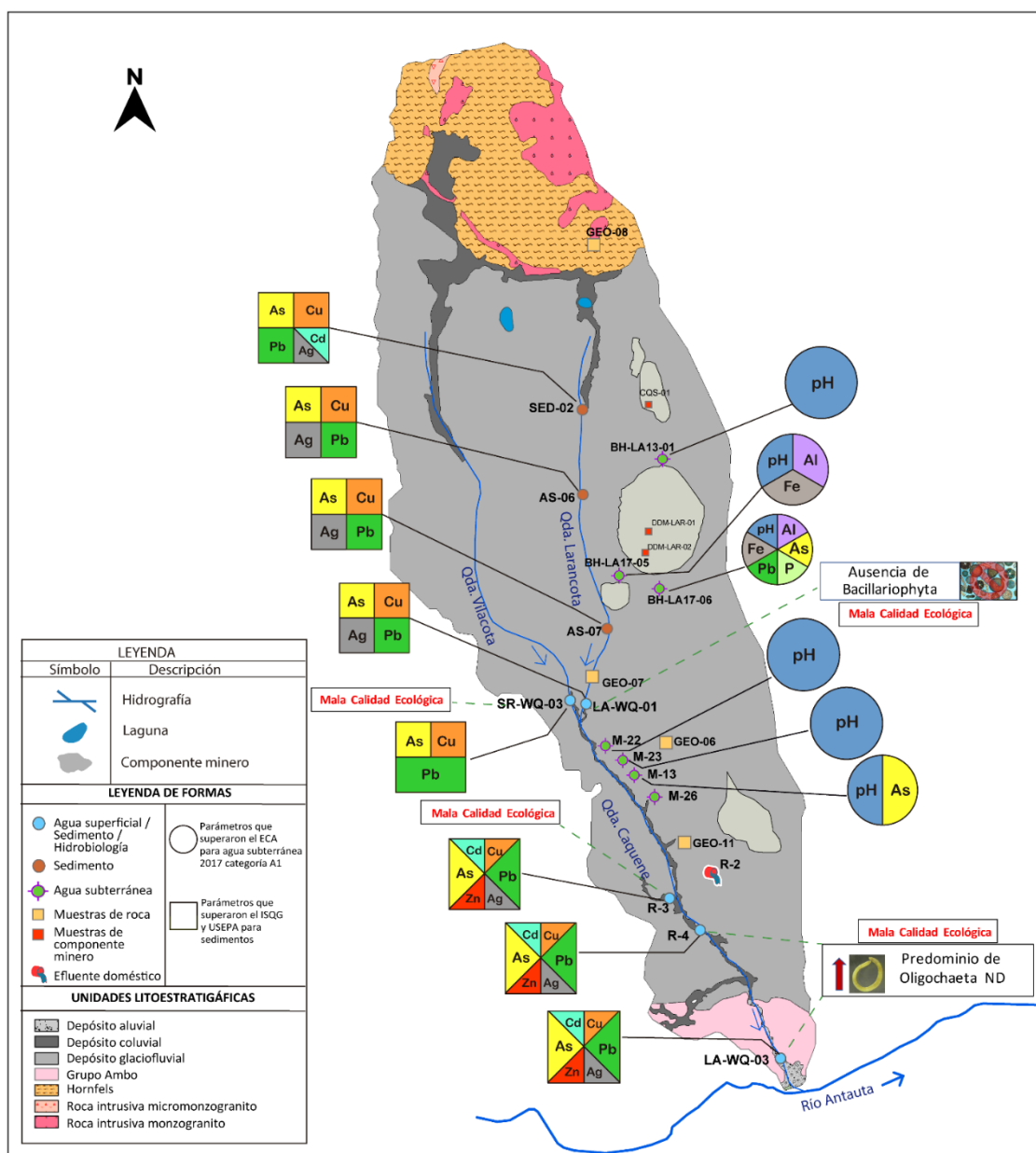


Figura 7.2. Parámetros de agua superficial, agua subterránea y sedimentos que incumplieron los estándares

Respecto a la calidad del agua, todos los parámetros evaluados en los 5 puntos de la Zona 1 no superaron los ECA para agua categoría 3: D1 Riego de vegetales y D2: Bebida de animales (ECA 2008 y 2017); asimismo el efluente doméstico R-2 cumplió con los LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS N.º 003-2010-MINAM).

Cabe precisar que los resultados históricos de los parámetros evaluados tampoco superaron el estándar en mención tal como se muestra en la Figura 7.3.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

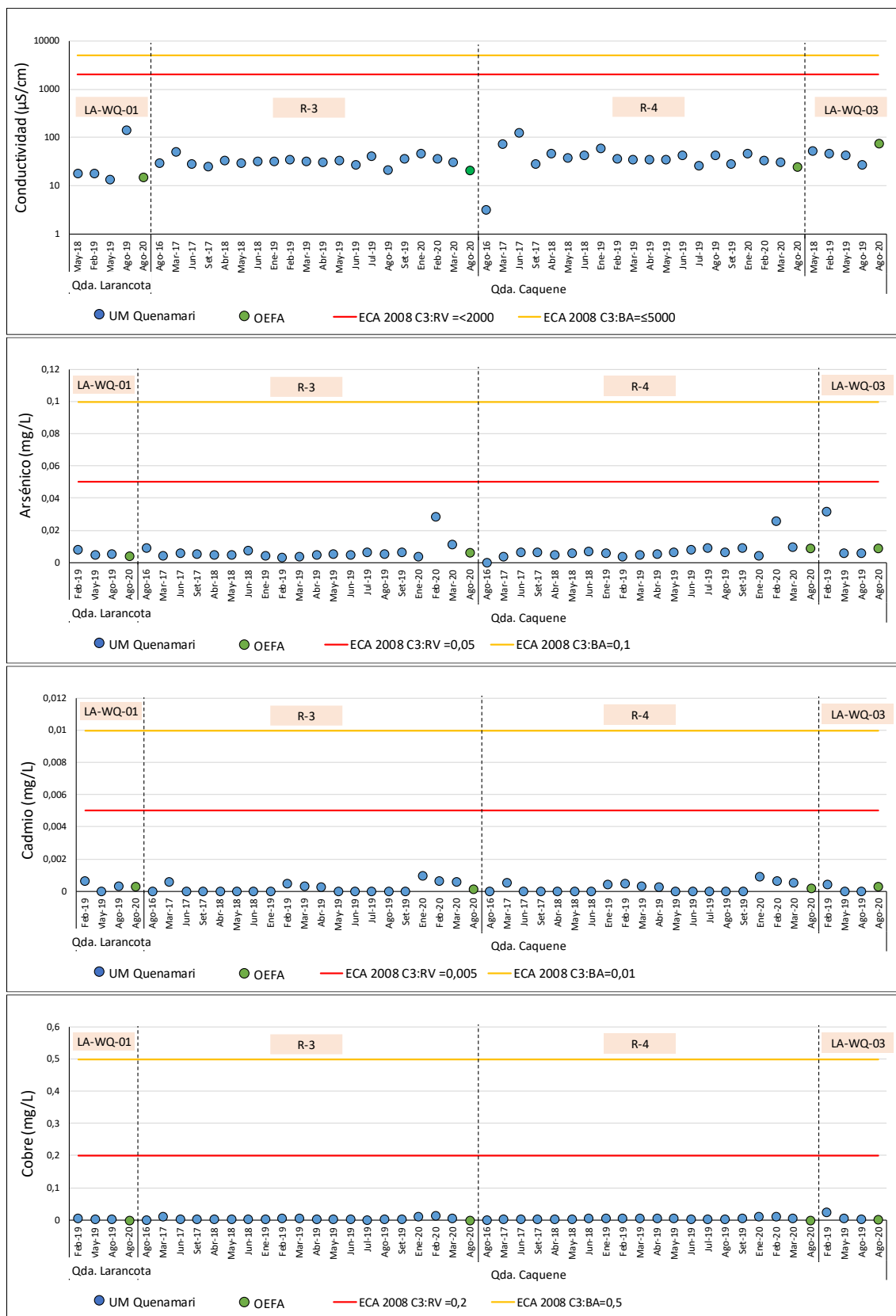


Figura 7.3. Data histórica de los parámetros de agua superficial en la zona 1

Con relación al agua subterránea, los valores de pH registrados en los manantiales M-13, M-22 y M-23; así como en los piezómetros BH-LA13-01, BH-LA17-05, BH-LA17-06 incumplieron referencialmente los ECA para agua Categoría 1: A1 aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (2008 y 2017). Así también, los valores de arsénico, hierro y plomo en el punto BH-LA17-06, y valores de hierro en el punto BH-LA17-05 superaron referencialmente los ECA para agua categoría 1 (2008 y 2017), mientras que las concentraciones de aluminio en estos dos puntos solo superaron el ECA para agua categoría 1 (2008).

Los valores ácidos reportados en las aguas subterráneas se sustentan en los resultados de la prueba ABA para las muestras de suelo y roca en los puntos GEO-06 (pH=4,9) y GEO-O7 (pH=4,9), GEO-11 (pH= 5,43) que presentaron características ácidas, los cuales interactúan con las aguas subterráneas de esta zona; mientras que la presencia de metales que superaron los ECA para agua se encuentran en la fase suspendida, lo que se encuentra relacionado con la presencia de los sólidos totales suspendidos (SST) como se puede ver en la Figura 7.4.

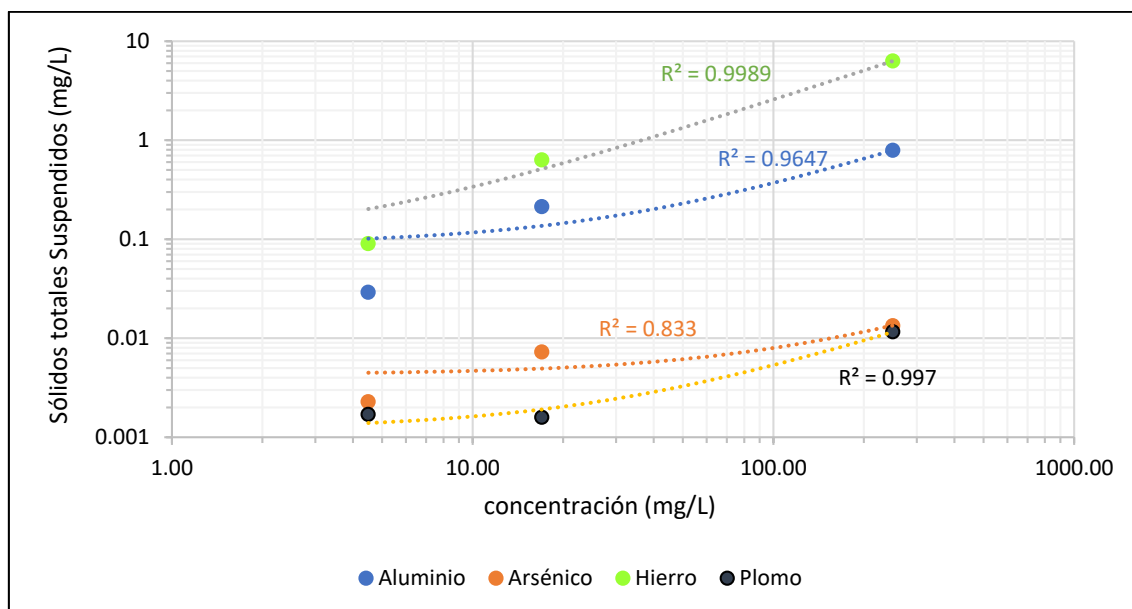


Figura 7.4. Correlación entre resultados de SST y metales

Los piezómetros ubicados en esta zona se encuentran emplazados sobre depósitos cuaternarios; además, el agua de recarga de estos acuíferos se encuentran en contacto con la Formación Sandia y depósitos glaciofluviales generando la erosión y transporte (infiltración) de estos materiales disgregados hacia el acuífero a través de la arena y grava que se encuentra en la parte inferior de los piezómetros (diseño de construcción de piezómetros Anexo 5) lo que finalmente se refleja en la presencia de sólidos suspendidos en las muestras de agua subterránea de esta zona.

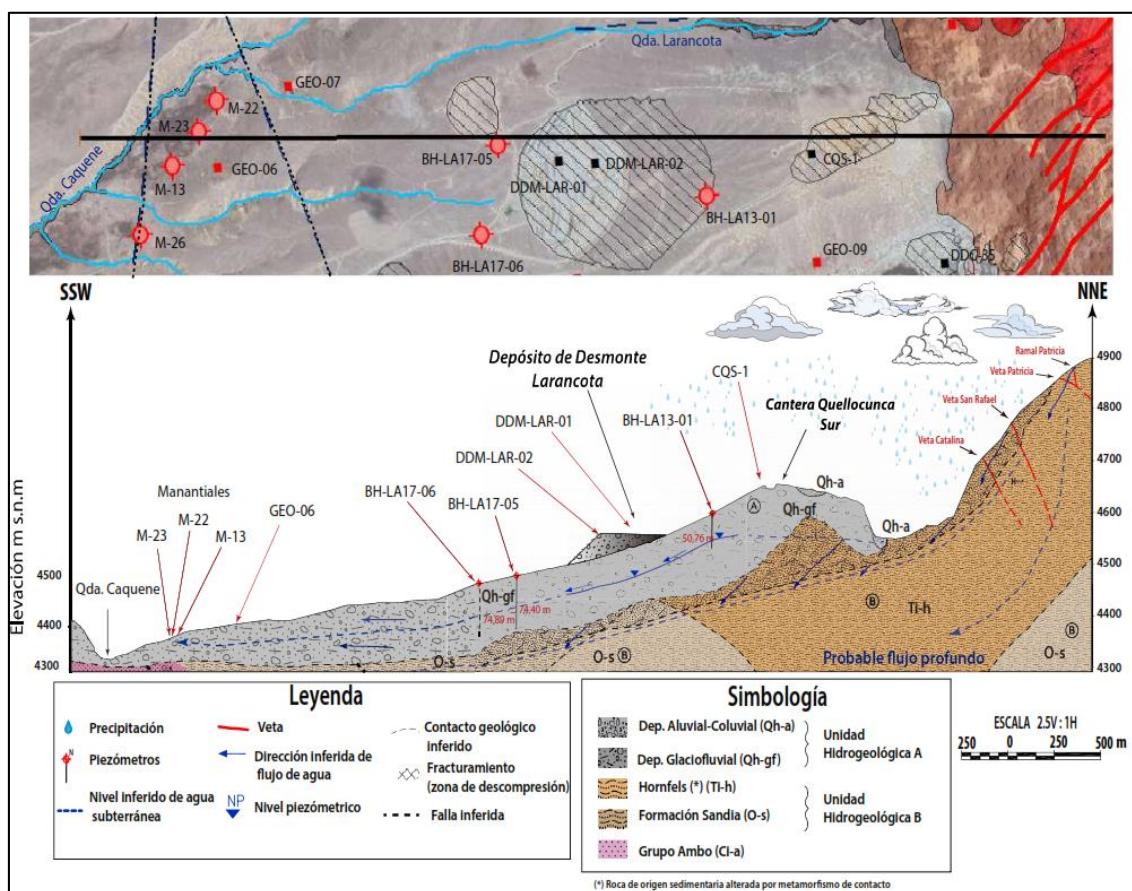


Figura 7.5. Recarga y dirección de flujo de agua subterránea en la zona 1

Con relación a la concentración de metales en sedimento que excedieron los valores establecidos en las guías Canadiense CCME (ISQG-PEL) y USEPA (TEL-PEL): arsénico, cobre, cadmio, plomo, plata y zinc, estos están asociados al contexto geológico (Grupo Ambo y depósitos glaciofluviales), y de acuerdo a la caracterización de rocas (muestras GEO-06, GEO-07 y GEO-11), estos metales están presentes en los siguientes minerales del intrusivo y roca metamórfica como son la arsenopirita (As), calcopirita (Cu), galena (Pb+Ag), esfalerita (Zn) y cadmio (Cd) en trazas; y según la extracción secuencial (Dold) en la muestra GEO-11, el arsénico, cadmio, zinc y cobre se encuentran principalmente en las fracciones 5, 6 y 7 (sulfuros primarios, secundarios y residuales); es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.

Adicionalmente, como se puede ver en la Figura 7.6 los resultados históricos muestran que las concentraciones de estos elementos se encontraron con valores similares a lo determinado en el presente estudio y en algunos casos ya se encontraron superando los estándares mencionados.

Los resultados de sedimentos fueron comparados con la Guía para la Protección de Vida Acuática CCME (ISQG - PEL) y con los valores de la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense USEPA (TEL-PEL). La Figura 7.2 muestra que las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plata, plomo y zinc superaron en todos los puntos de esta zona al menos uno de los estándares mencionados.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

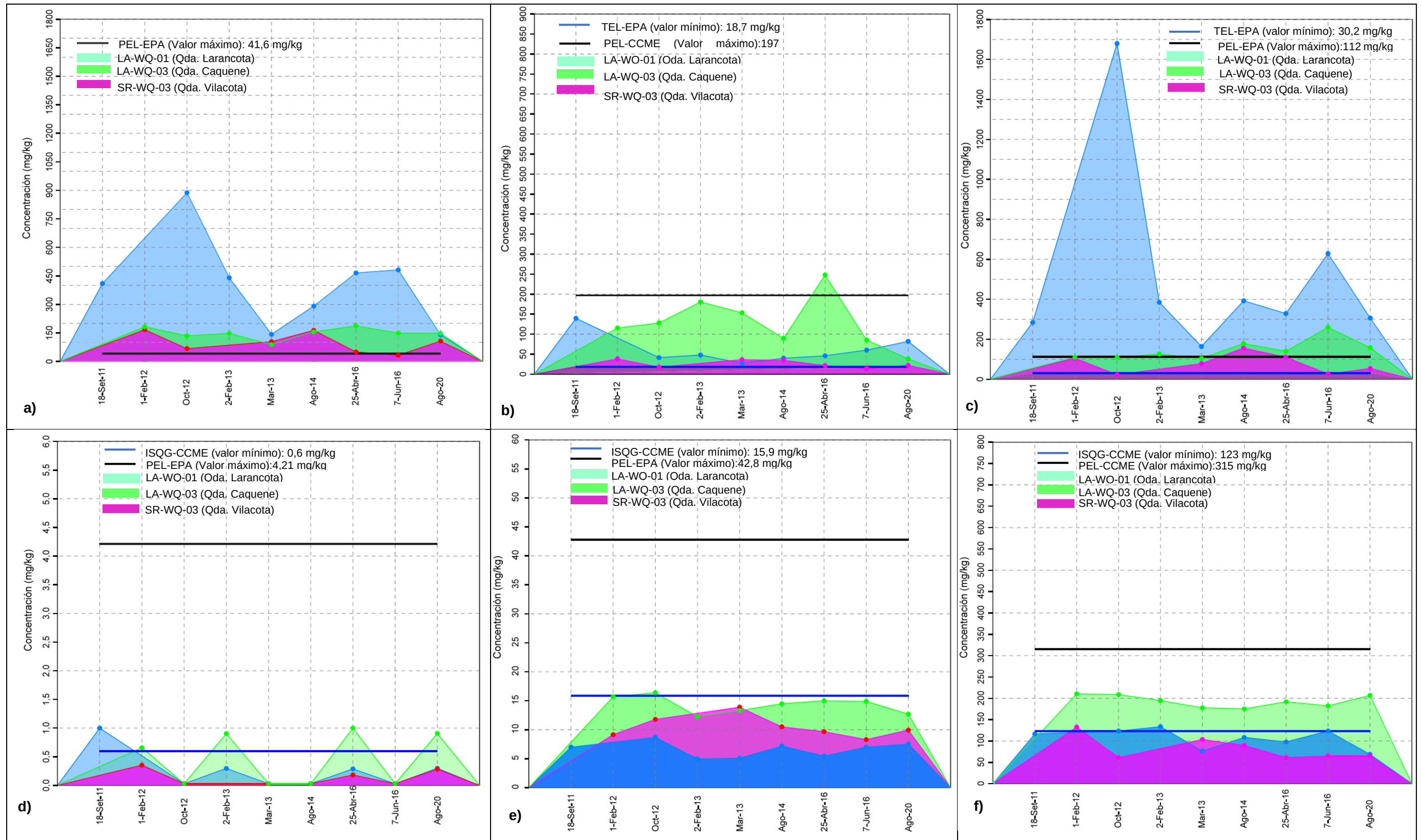


Figura 7.6. Concentración de metales en sedimento de la Zona 1 a) arsénico, b) cobre, c) plomo, d) cadmio, e) níquel y f) zinc

Con relación a las comunidades hidrobiológicas, en la Figura 7.7, se observa que la calidad ecológica de la Zona 1, según el índice ABI, dio como resultado condiciones que variaron entre pésima y mala calidad.

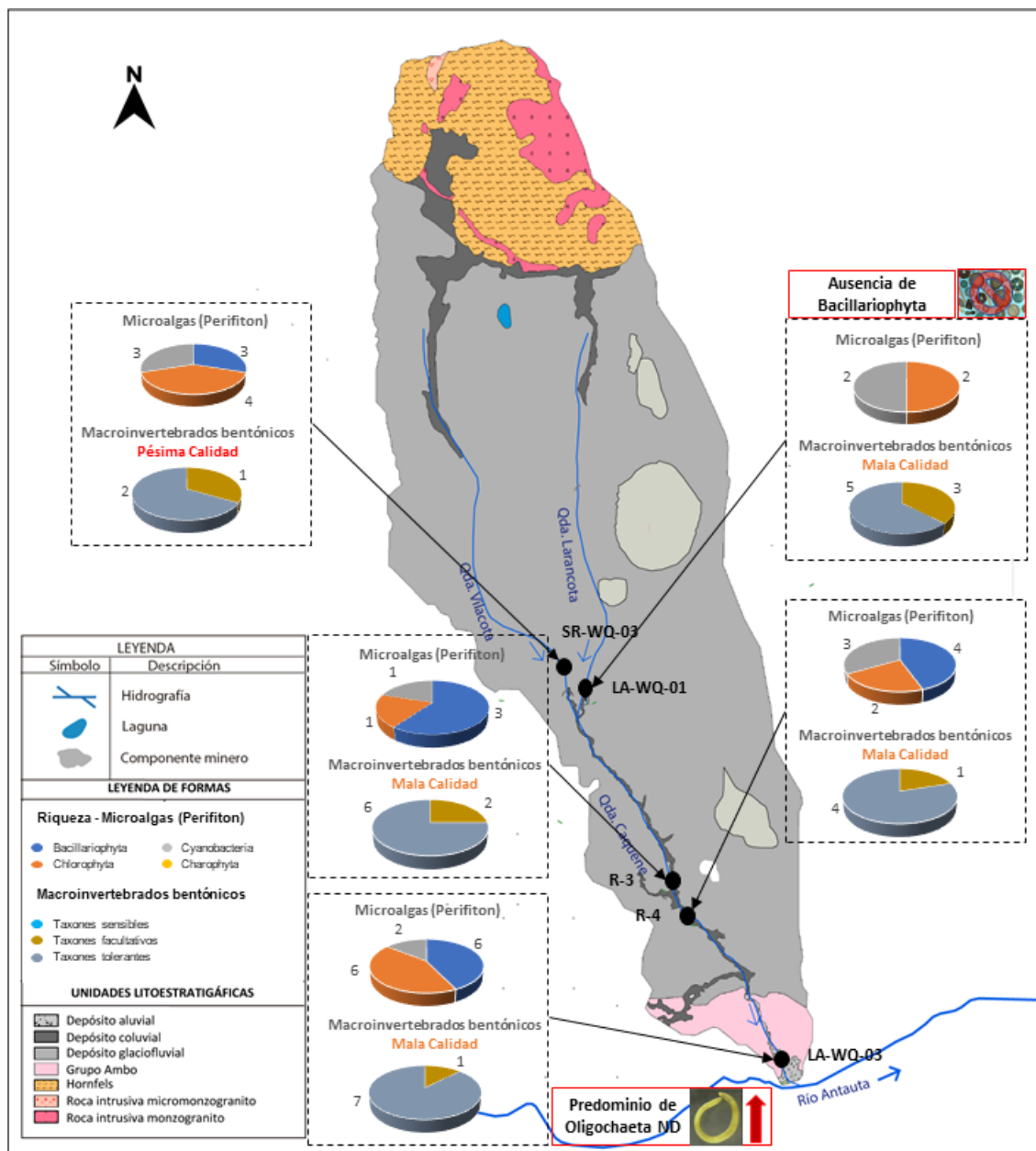


Figura 7.7. Esquema de riqueza de taxones de microalgas del perifiton, taxones bioindicadores de macroinvertebrados bentónicos y calidad biológica según el índice ABI, por punto de muestreo

La calidad ecológica determinada en esta zona (pésima y mala calidad), se debe a la baja riqueza de taxones, donde predominan organismos tolerantes del taxón no determinado del sub orden Oligochaeta, presente en fondos lodosos, con carga elevada de materia orgánica y corriente lenta (Liévano & Ospina, 2007); así como también organismos de la familia Chironomidae, los cuales forman parte importante de la biomasa de los ambientes lóticos y lénticos y tienen un papel determinante en los ciclos tróficos y el procesamiento de los detritus (Ospina et al., 1999; Paggi, 1999). Tal como se evidenció en los puntos de muestreo evaluados, donde predominaron pastizales del género Festuca. La materia orgánica de

partícula gruesa estaría siendo generada por la vegetación riparia, a través de procesos físicos y fisiológicos, exportando al interior de la quebrada sus hojas, ramas, flores y otros componentes (Webster et al., 1999; Richardson et al., 2005).

La vegetación es clave en la mejora de algunas propiedades del suelo al aportar materia orgánica, así como al mantener e incrementar la fertilidad y estructura del suelo (Santana, 2007); también aporta estabilidad a las zonas de ribera y reduce la turbulencia generada cerca de los bordes y debilita corrientes secundarias (Thorne & Furbish, 1995), condiciones evidenciadas en la presente evaluación.

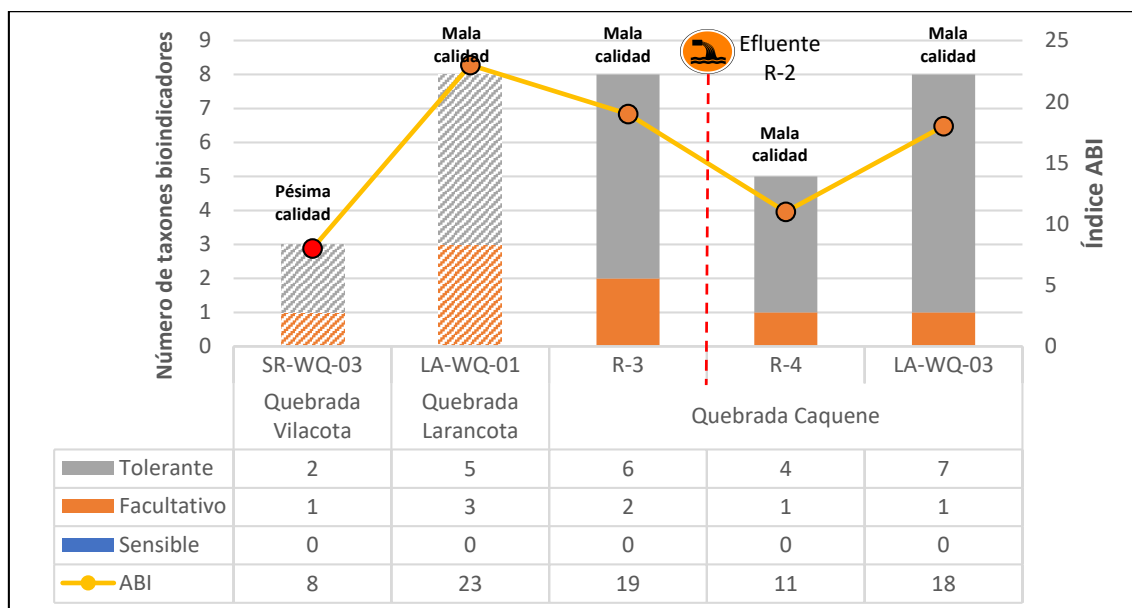


Figura 7.8. Número de taxones bioindicadores de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con el índice ABI.

Respecto a las microalgas, destaca en el punto de muestreo LA-WQ-01 (quebrada Larancota) la ausencia de taxones del phylum Bacillariophyta. Esta condición no se registra en evaluaciones anteriores, según los informes de monitoreo del administrado, como tampoco se presenta en ningún punto de muestreo de la presente evaluación (Figura 7.9).

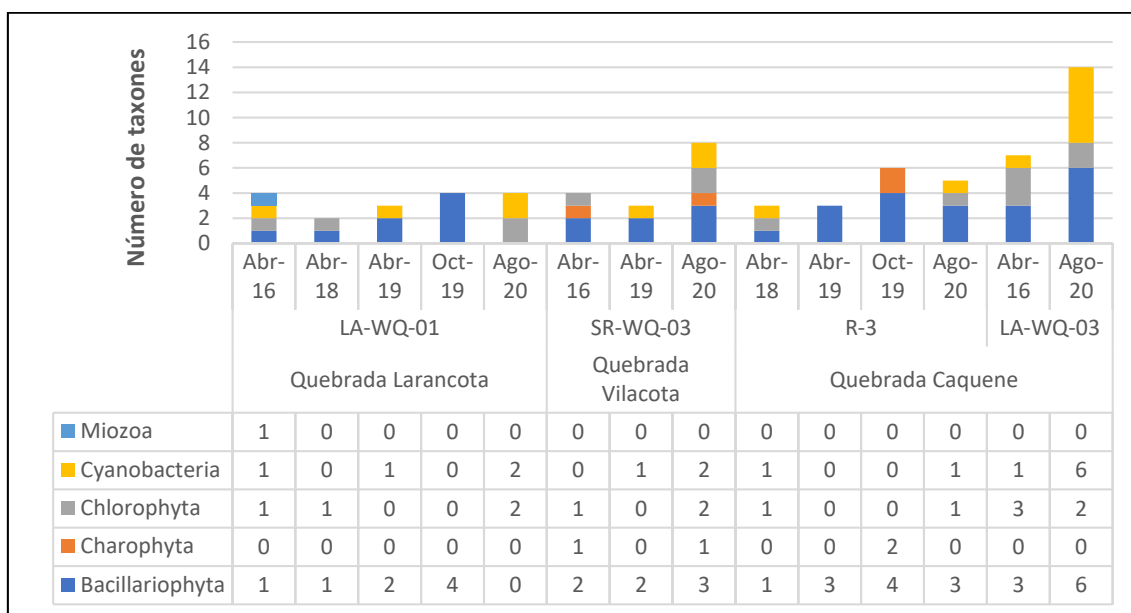


Figura 7.9. Resultados históricos de la riqueza de taxones de la comunidad de microalgas del perifiton.

7.2. Zona 2: Microcuenca Chogñacota-Chuquisani.

Geológicamente esta zona de estudio se encuentra emplazada por rocas del Grupo Ambo (sustrato rocoso), con afloramientos de rocas del Grupo Copacabana en la parte baja y sobreyaciendo a estos por depósitos glaciofluviales producto de la erosión y sedimentación de rocas pre existentes de la zona norte, tales como intrusivo granodiorítico y rocas de la Formación Sandia compuestas por pizarras afilitas alteradas y metamorfizadas. Adicionalmente, estas rocas están mineralizadas por vetas que contienen minerales como pirita, pirrotita, galena, esfalerita, arsenopirita, goethita y calcopirita. Esta microcuenca comprende las quebradas Chuquisani (tributario del río Chogñacota) y la quebrada Paccha (tributario del río Antauta).

Antes de las operaciones mineras, la naciente de la quebrada Chogñacota era la laguna del mismo nombre. Actualmente los componentes mineros se encuentran emplazados desde la laguna Chogñacota hasta aproximadamente 3 km en dirección sur hacia la quebrada Chogñacota. Debido a las operaciones mineras, el rebose de la laguna pasa a través de un ducto hacia el depósito de relave B2.5 y mediante bombeo hacia el canal de relaves del depósito B3, donde pasa por un proceso de tratamiento junto a las demás aguas de contacto²⁸. Finalmente, los excedentes del tratamiento de agua industrial son descargados hacia la quebrada Chogñacota en el punto de vertimiento P-4 (Figura 7.10).

En el tramo de la quebrada Chogñacota donde se emplazan los componentes mineros, los flujos superficiales fueron derivados tanto en la margen derecha como izquierda para su descarga aguas abajo del punto de vertimiento P-4. Por lo antes expuesto, el régimen hidrológico de la quebrada Chogñacota está determinado por las precipitaciones, flujo superficial y la descarga del vertimiento P-4.

²⁸

Anexo 2.7.4: Plan de manejo integral de aguas y efluentes de soporte a la MEIA 2017 (RD N.º 095-2017-SENACE/DCA)

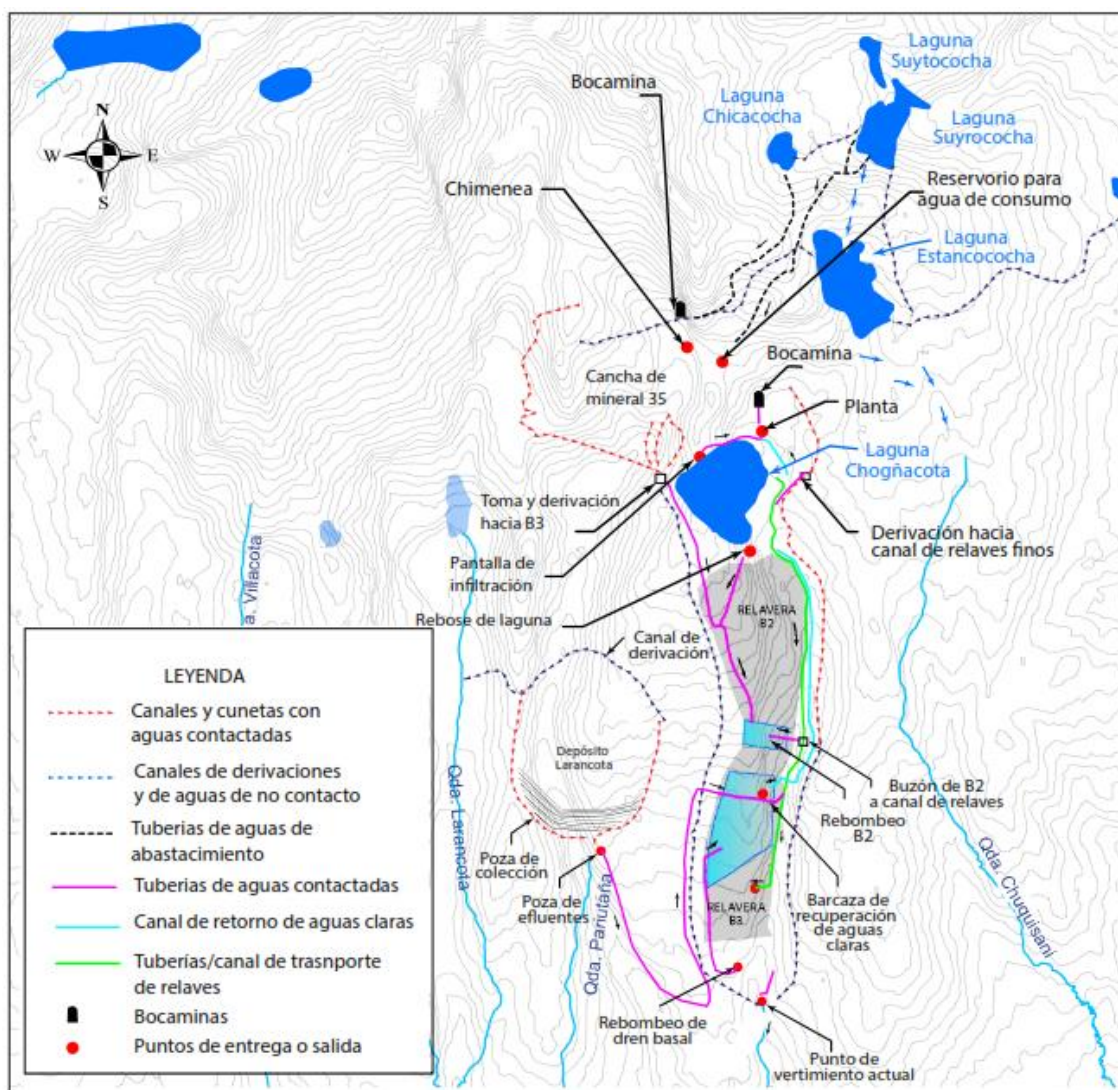


Figura 7.10. Esquema de manejo de aguas en la Zona 2

El registro de precipitaciones de la Estación Ananea–Senamhi (1964-2012) presentado en el IGA²⁹, indica que los valores más altos se registraron entre octubre y abril, durante la época de lluvias (89% de la precipitación anual), y los valores más bajos durante la época seca, entre mayo y septiembre (11% de la precipitación anual); además, se observa que la precipitación puede llegar a ser nula entre los meses de mayo a agosto (ver Figura 7.11).

29

Línea base del MEIA aprobado mediante RD N.º 095-2017-SENACE/DCA

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

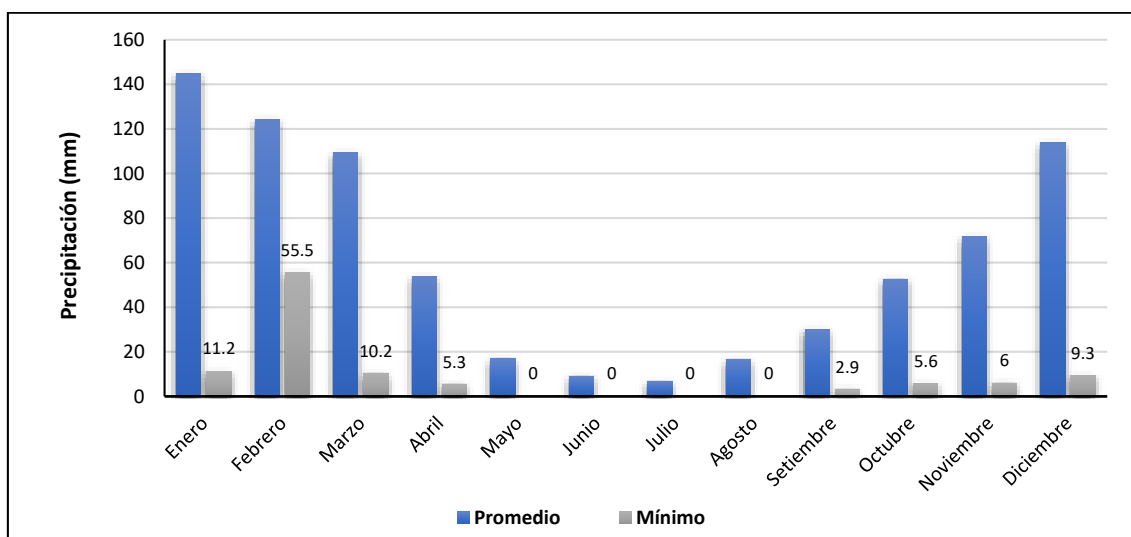


Figura 7.11. Registro mínimo y promedio de precipitación en la UM Quenamari.

Fuente: Datos obtenidos del MEIA 2017

Según el estudio de balance hídrico realizado en el 2016 por Minsur³⁰, la quebrada Chogñacota no presentó flujo en los meses de junio, julio y agosto (Figura 7.12).

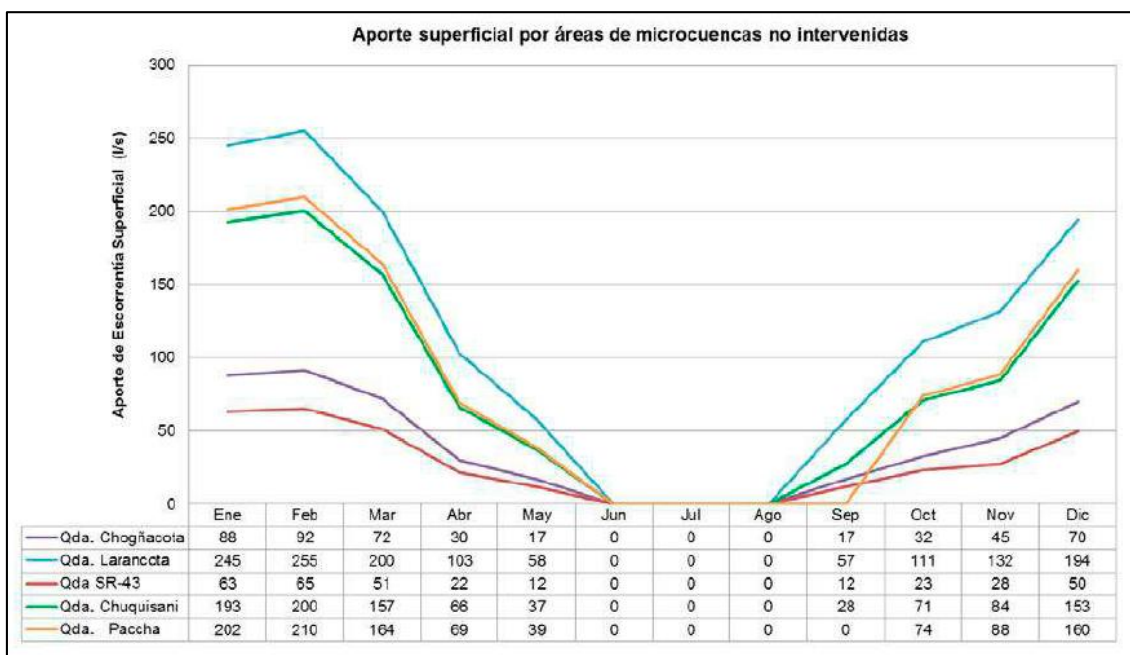


Figura 7.12. Balance hídrico promedio mensual de la microcuenca Chogñacota.

Fuente: MEIA 2017

En la evaluación realizada en el mes de agosto de 2020 (OEFA), se evidenció que los canales de agua de no contacto que descargan aguas abajo del vertimiento P-4, no presentaron flujo (Fotografía 7.1), lo cual corrobora la información del registro de caudales.

³⁰

Línea base del MEIA aprobado mediante RD N.° 095-2017-SENACE/DCA



Fotografía 7.1. Canales de agua de no contacto tomadas en agosto de 2020

Por lo antes expuesto, la configuración de los componentes de la UM Quenamari y las condiciones hidrológicas que se presentaron en el mes de agosto (época de estiaje) la principal fuente de recarga en la quebrada Chogñacota proviene del efluente minero P-4.

Del monitoreo realizado en el mes de agosto de 2020, se evaluaron el vertimiento P-4, cuatro puntos ubicados en la quebrada Chogñacota (PCA-09, AS-09, SR-37 y P-5) y un punto en la quebrada Chuquisani (SR-14); también, se evaluó la filtración proveniente del canal de no contacto (AS-04) que aportó a la quebrada Chogñacota con un caudal mínimo de 1 L/s. Asimismo se evaluaron 6 piezómetros y 3 manantiales. Con respecto a las matrices de sedimento y comunidades hidrobiológicas, estas fueron evaluadas en los cuatro puntos ubicados en la quebrada Chogñacota y en el punto ubicado en la quebrada Chuquisani.

La ubicación de los puntos y el resumen de los parámetros que excedieron las normas y guías correspondientes a cada matriz, se muestran en la Figura 7.13.

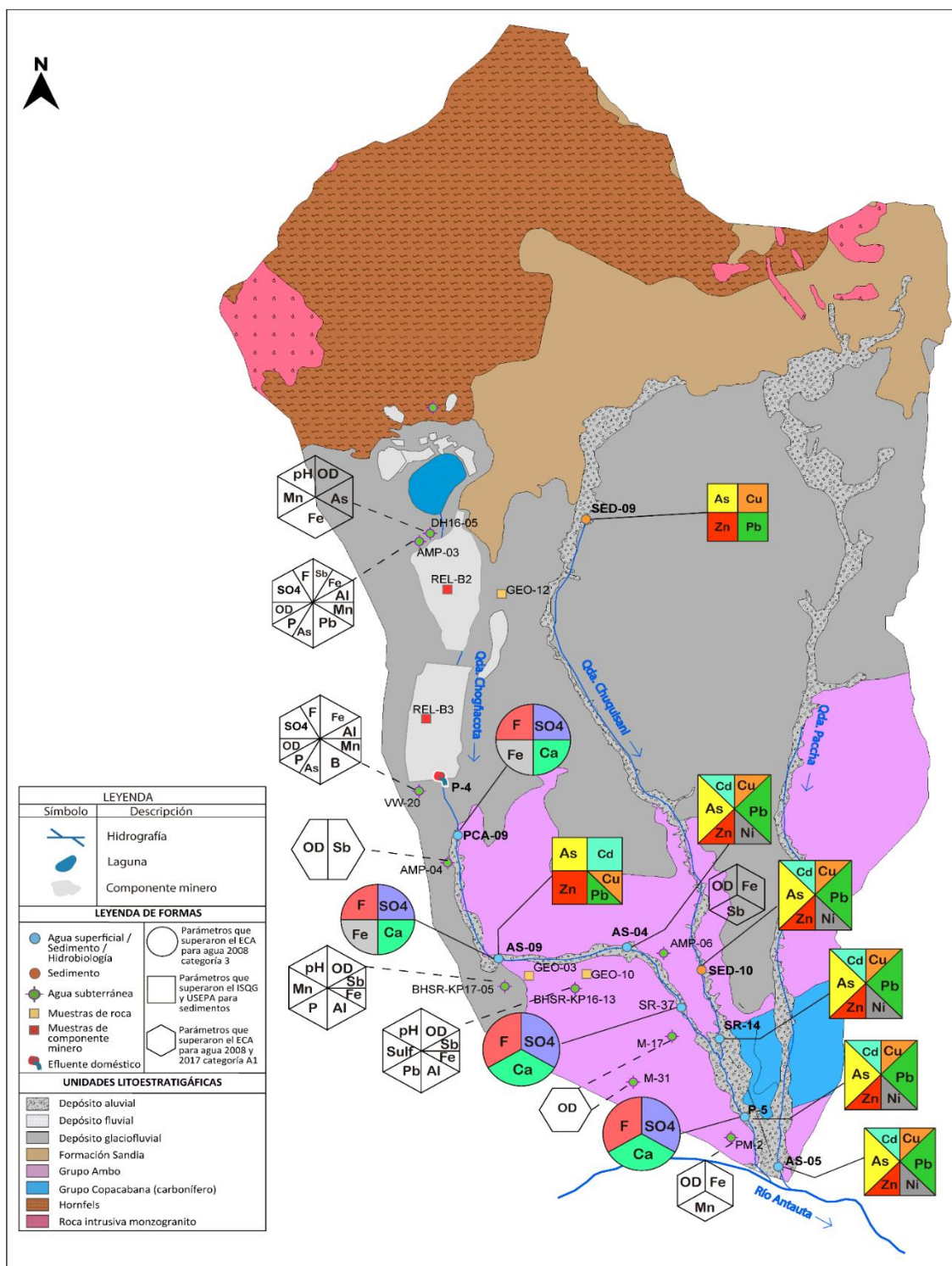


Figura 7.13. Parámetros de agua superficial, agua subterránea y sedimentos que incumplieron los estándares

Respecto a la calidad de agua superficial, las concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio excedieron los ECA para agua 2008 categoría 3 en la quebrada Chogñacota (puntos SR-37

y P-5)³¹, cuya fuente es el efluente minero P-4; asimismo los puntos PCA-09 y AS-09 excedieron hierro total además de los parámetros mencionados. Cabe mencionar que el tributario SR-14 (quebrada Chuquisani) y el canal de no contacto (AS-04) no excedieron los ECA para agua 2008 (ver Figura 7.14 a, b y c).

Con respecto a las concentraciones de hierro total, estas fueron disminuyendo en dirección aguas abajo llegando al punto SR-37 y P-5 con menor concentración y sin exceder el ECA para agua 2008 (Figura 7.14). La concentración determinada para este metal se encontró principalmente en la fase suspendida (mayor a 90%).

Cabe precisar también que de acuerdo a lo mencionado por Minsur en el PIMA³² la totalidad del flujo en la quebrada Chogñacota proviene del efluente minero P-4, siendo el P-5, el punto de control de la zona de mezcla (ubicado aproximadamente a 3.5 km desde la descarga del efluente minero), sin embargo en este punto se registraron concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio que excedieron los ECA para agua 2008 categoría 3. De acuerdo a la presente evaluación (OEFA) y los reportes trimestrales (Minsur S.A.), el efluente minero P-4 cumple con los LMP (D.S. N° 010-2010-MINAM); sin embargo, los parámetros de fluoruros, sulfatos y calcio no forman parte de dichos reportes.

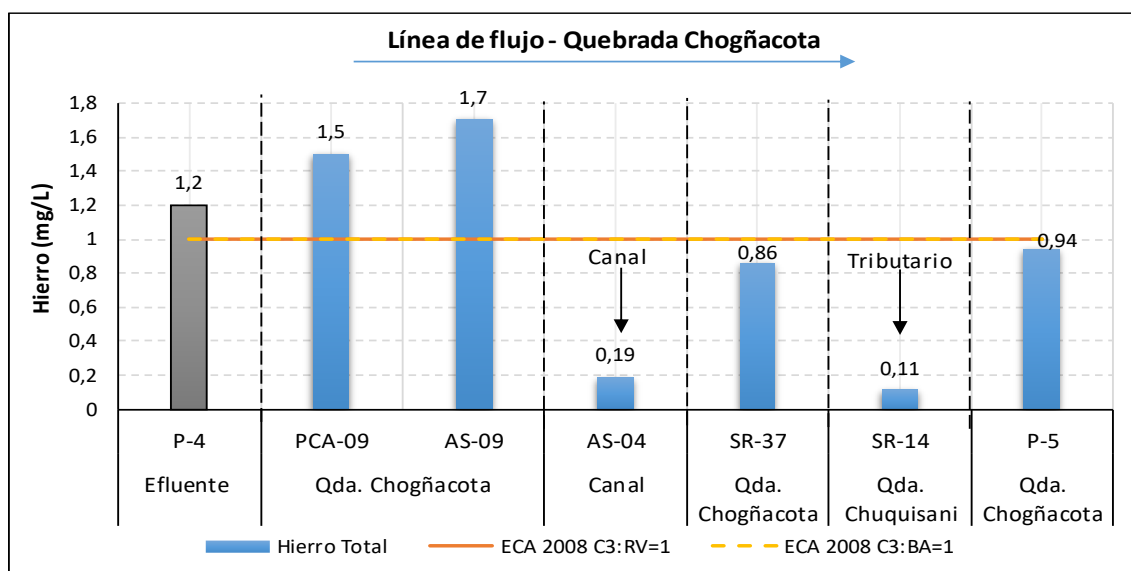


Figura 7.14. Concentraciones de hierro total en la Zona 2

De acuerdo a la característica hidroquímica de la zona 2, el vertimiento P-4 y los puntos aguas abajo de la descarga (quebrada Chogñacota) presentaron facies sulfatadas cálcicas, a diferencia de la quebrada Chuquisani (SR-14) que presentó menores concentraciones de iones de sulfatos y calcio con facie bicarbonatada cálcica (Figura 7.15 d).

³¹ Puntos de monitoreo aprobados en el plan de manejo ambiental – Octavo ITS RD N° 146-2019-SENACE-PE/DEAR

³² Plan de manejo integral de aguas y efluentes - MEIA 2017, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 095-2017-SENACE/DCA

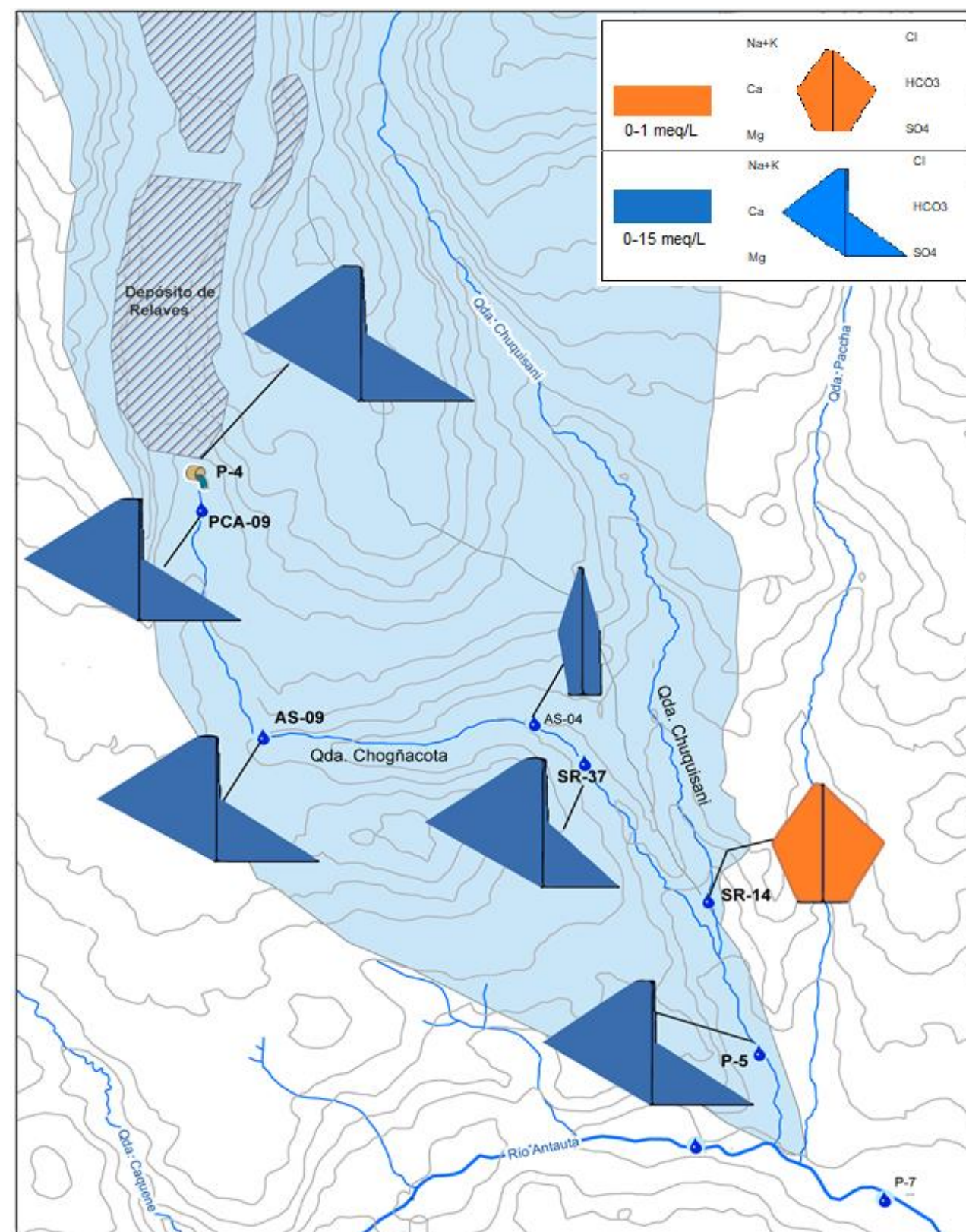
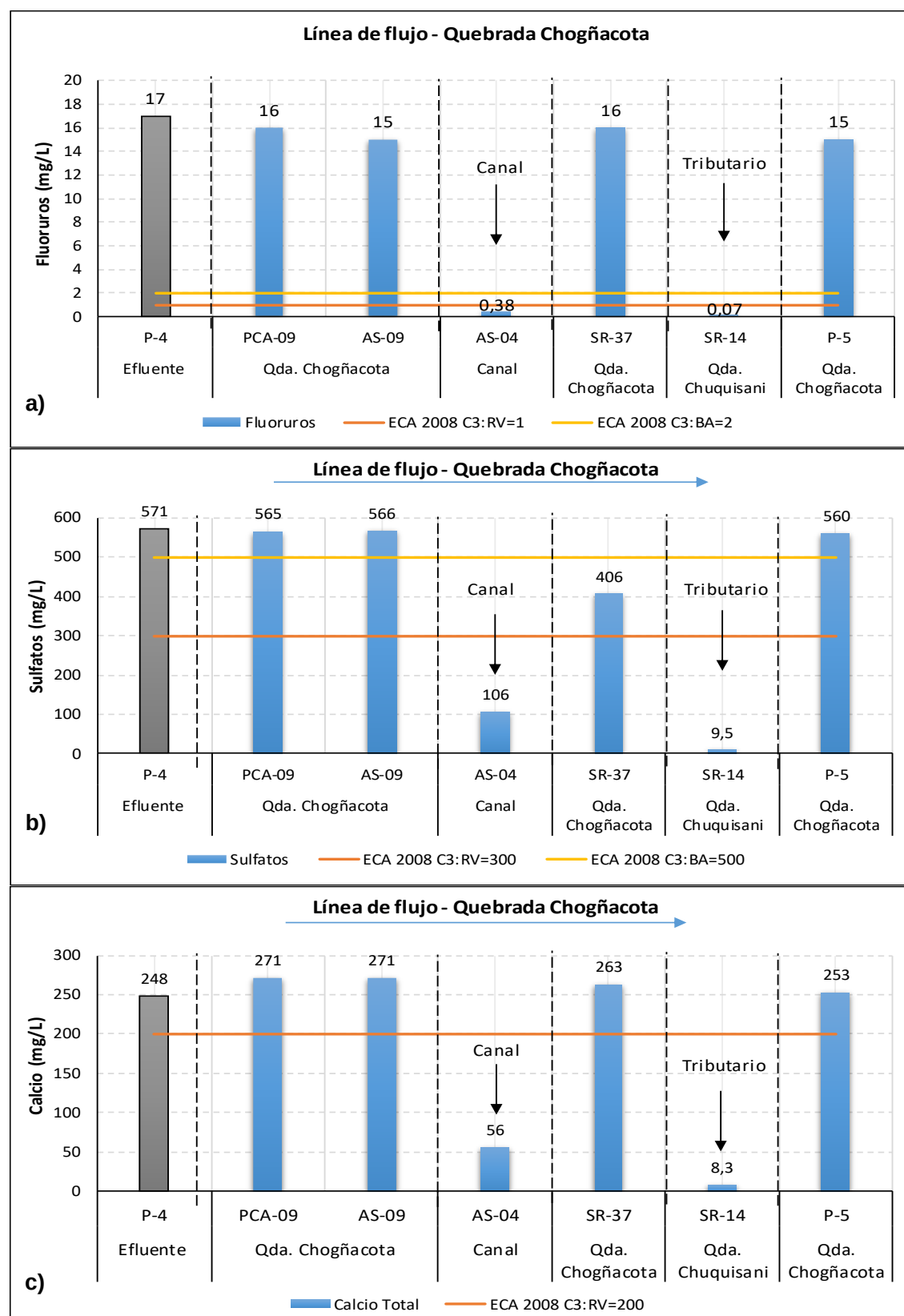


Figura 7.15. Concentraciones de a) sulfatos, b) calcio, c) fluoruros y d) Diagramas de Stiff en la Zona 2

Asimismo, de acuerdo al registro histórico del punto P-5 en el periodo 2012 al 2020, reportado por Minsur³³, las concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio mostraron un incremento; cabe precisar, que las concentraciones de fluoruros excedieron en todas las evaluaciones registradas el ECA para agua (2008) en la categoría 3 (Figura 7.16).

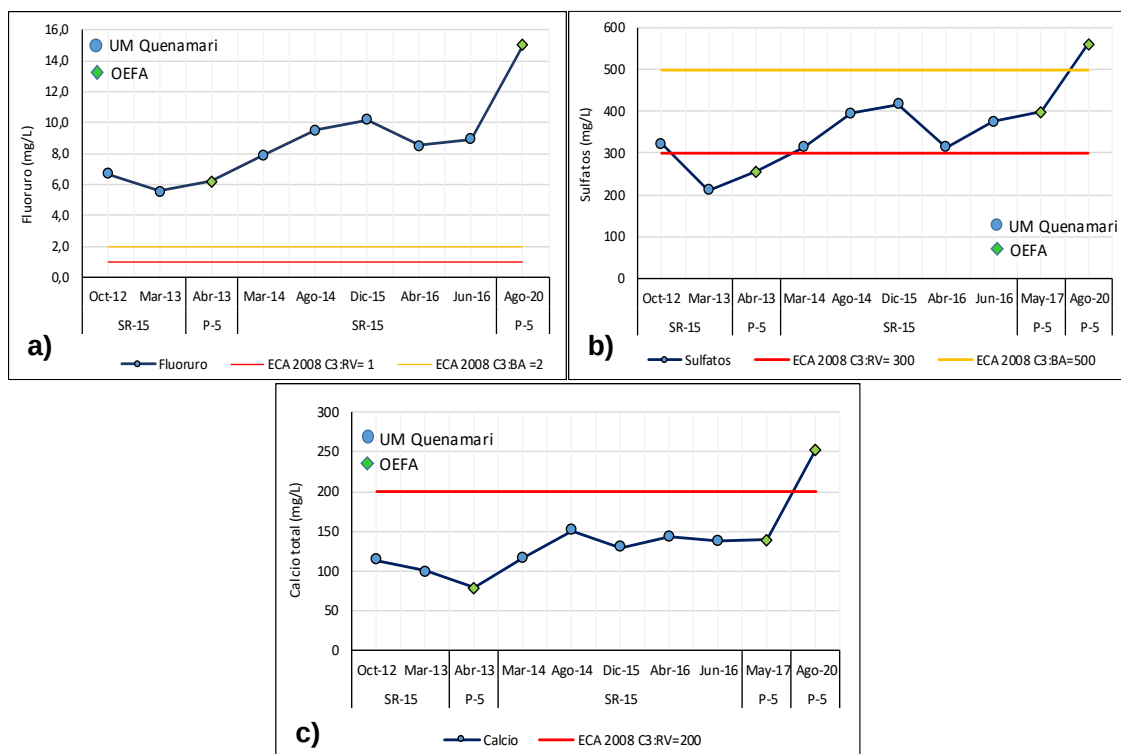


Figura 7.16. Registro histórico de concentración a) fluoruro, b) sulfatos y c), calcio total en la quebrada Chogñacota

Asimismo, se realizó el balance de masa obtenido a partir de los caudales y concentraciones registrados en los puntos SR-37 (quebrada Chogñacota) y SR-14 (quebrada Chuquisani), donde los valores calculados de fluoruros (15,2 mg/L), sulfatos (387,2 mg/L) y calcio (251 mg/L) excedieron los valores del ECA para agua 2008, mientras que las concentraciones de hierro no excedieron dicha norma (Tabla 7.1); esto guarda relación con lo medido en campo donde las concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio presentaron un RPD de 1%, 17% y 1% respectivamente (ver Tabla 7.2), lo cual indica que la excedencia de fluoruros al ECA en el punto P-5 es debido a la descarga del efluente minero P-4 provenientes del depósito de relaves B3.

Tabla 7.1. Balance de masa de la quebrada Chogñacota

Ubicación	Caudal L/s	Fluoruros	Sulfatos	Calcio Total	Hierro Total
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Quebrada Chogñacota (SR-37)	141	16	406	263	0,86
Quebrada Chuquisani (SR-14)	7	0,07	9,5	8,3	0,11
Carga contaminante (mg/s)		Fluoruros	Sulfatos	Calcio Total	Hierro Total
Quebrada Chogñacota (SR-37)		2256	57246	37083	121,26

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

Quebrada Chuquisani (SR-14)	0,49	66,5	58,1	0,77
Balance de masa (mg/L)	15,2	387,2	251	0,8
ECA 2008 C3: RV	1	300	200	1
ECA 2008 C3: BA	2	500	-	1

RV: Riego de vegetales / BA: Bebida de animales
- No presenta valor de ECA

Tabla 7.2. Comparación de concentraciones entre el balance de masa y el valor de laboratorio

Parámetro	Balance de Masa	P-5	ECA 2008	RPD ($\leq 20\%$)
Fluoruros	15,3	15	1	1%
Sulfatos	393,2	560	300	-17%
Calcio Total	256,2	253	200	1%
Hierro Total	0,9	0,94	1	-3%
Resultados de laboratorio				

RPD: Diferencia porcentual relativa

Con relación a las aguas subterráneas presentaron facies bicarbonatadas cálcicas y bicarbonatadas magnésicas, con valores de pH alcalino debido a la presencia de rocas calizas intercaladas con areniscas calcáreas. Cabe precisar que las aguas subterráneas de esta zona son de flujo local, es decir, aguas de reciente infiltración, con dirección de flujo de norte a sur influenciado por la topografía, tal como lo demuestra el diagrama de Mifflin (Figura 6.120) y el estudio hidrogeológico³⁴ realizado por la UM Quenamari.

En el punto VW-20 presentó concentraciones de sulfatos (393 mg/L) y fluoruros (1,6 mg/L) que superaron referencialmente los ECA para agua Categoría 1 (2008 y 2017). El análisis de lixiviación de muestras de roca (GEO-03) y depósitos cuaternarios (GEO-01) aledaños a este punto, dieron como resultado menores valores de sulfatos (179mg/L y 8,84 mg/L respectivamente); de forma similar el fluoruro reportó valores de 0,24 mg/L y 0,1 mg/L respectivamente; evidenciando que las concentraciones encontradas en este piezómetro tienen aporte antrópico.

De acuerdo al registro histórico del periodo 2014 al 2020, las concentraciones de arsénico y hierro en el punto VW-20 superaron referencialmente los ECA para Agua Categoría 1; además, se evidencia que las concentraciones de estos metales se incrementaron (arsénico: de 0,0124 a 0,49517 mg/L y hierro: de 0,925 a 57 mg/L) tal como se muestra en la Figura 7.12. Del mismo modo, los valores de la conductividad eléctrica y las concentraciones de boro, magnesio, manganeso y sodio se incrementaron en el periodo indicado.

34

AMPHOS 2017. Factibilidad del Re Aprovechamiento de Relaves Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de Soporte a la MEIA

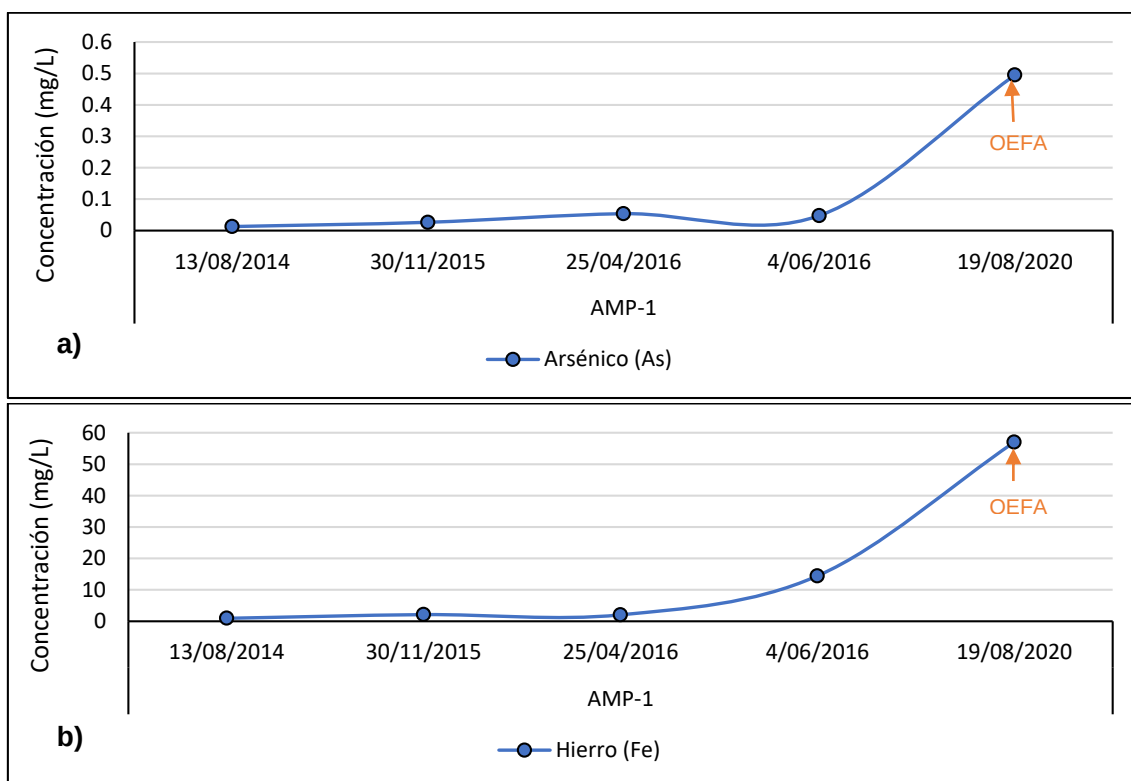


Figura 7.17. Registro histórico de metales totales a) arsénico b) hierro en el agua del piezómetro AMP-1

Para determinar la fuente aportante de los aniones (sulfatos y fluoruros) y metales (arsénico, hierro, boro, magnesio, manganeso y sodio) en el agua subterránea de esta zona, se realizó la caracterización hidroquímica de los relaves REL-B2 y REL-B3, los piezómetros y manantiales.

La caracterización hidroquímica de la fase líquida de los relaves se clasificó como sulfatada cálcica, con concentraciones de iones mayoritarios (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) de 0 a 8 meq/l. Además, según las relaciones binarias (Ca-SO_4 , Cond-SO_4 , TDS-Cond) el agua del piezómetro VW-20 se agrupó en una zona de mayor concentración con las aguas anteriormente mencionadas, mientras que los demás piezómetros se agruparon en una zona de menor concentración (Figura 7.18).

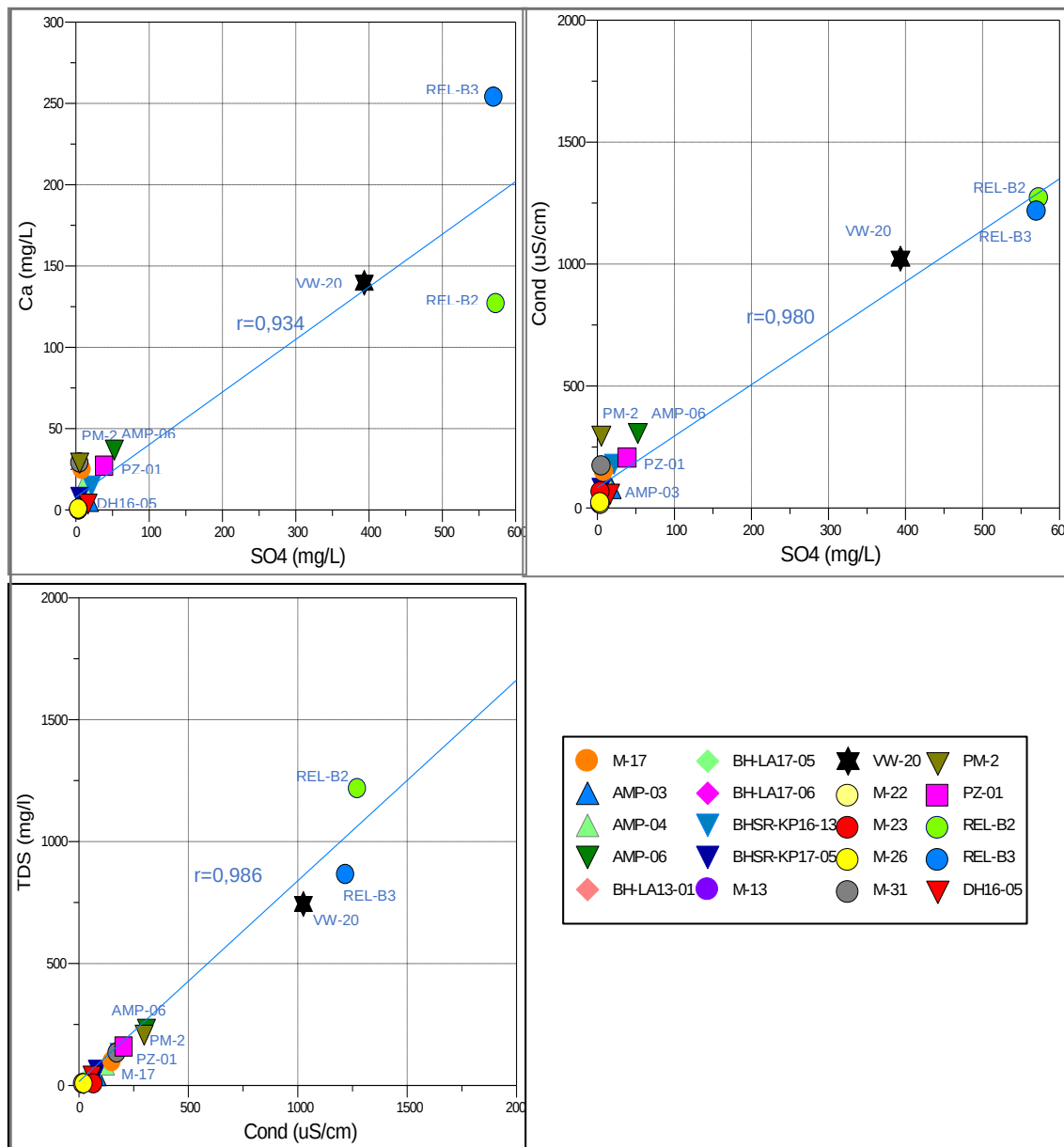


Figura 7.18. Relaciones binarias (Ca-SO₄, Cond-SO₄, TDS-Cond) entre muestras de agua subterránea y muestras de relaves.

Aguas abajo del piezómetro VW-20 se ubican los piezómetros AMP-04, AMP-06 y PM-2 donde se observó que los valores de sulfatos y fluoruros descienden a concentraciones menores a la capacidad de lixiviación del entorno geológico, evidenciando que las filtraciones de los componentes (laguna Chogñacota, depósitos de relaves B2 y B3) ubicado aguas arriba del piezómetro VW-20 están siendo controlados adecuadamente en el punto de rebombeo de aguas de filtraciones como se puede ver en la Figura 7.19.

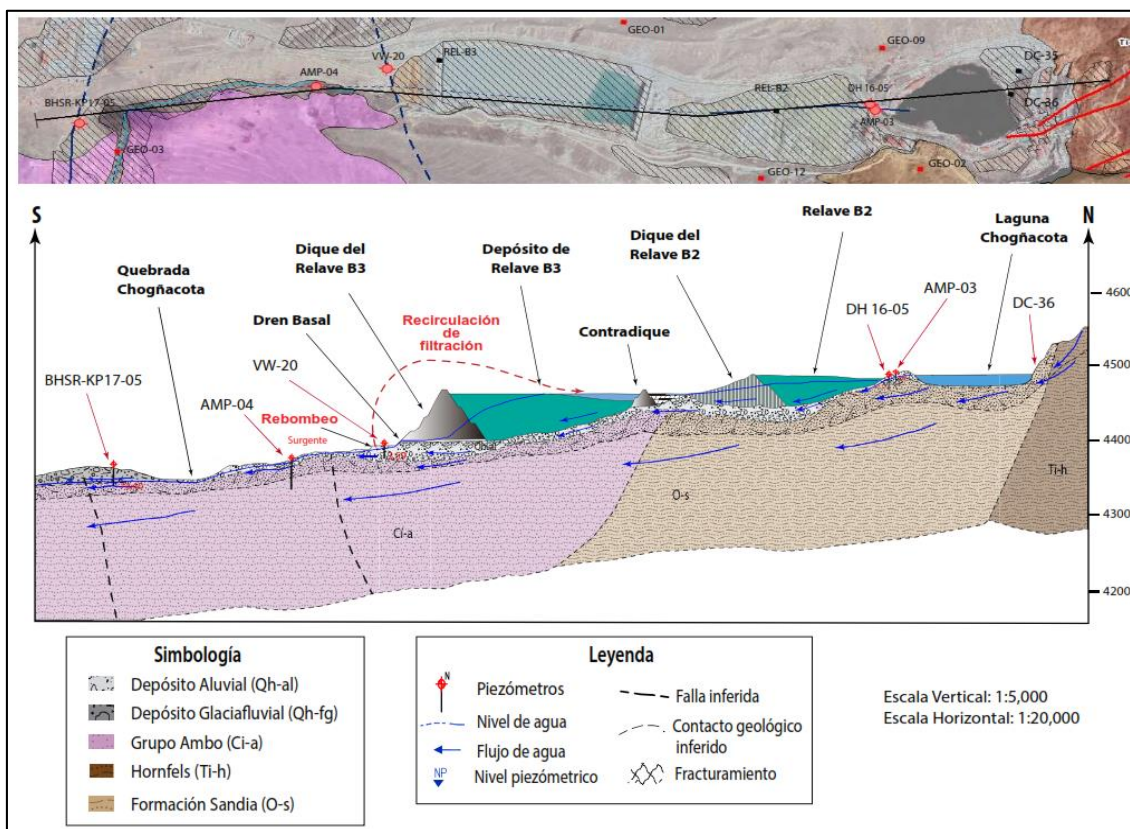


Figura 7.19. Vista esquemática en planta y perfil de los piezómetros ubicados aguas abajo y aguas arriba de los depósitos de relaves B2 y B3

En sedimento, las concentraciones de arsénico, cobre, níquel, plomo y zinc incumplieron los valores establecidos en las guías Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL), se encontraron asociados a las rocas y depósitos cuaternarios presentes en esta zona (de acuerdo al análisis de metales totales y test de lixiviación).

Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad de metales, los ensayos Dold en suelo (GEO-10) permitió identificar que estos metales se encontraron en las fracción 6 y 7 (asociados a sulfuros primarios y fracción residual) y el análisis Tessier en sedimento (AS-09, SR-37 y P-5) reportó estos metales en la fracción 6 (residual). Estos resultados denotan que el origen de estos metales se debe a fuentes litológicas y edáficas; es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio. (Figura 7.20).

Los resultados obtenidos para aluminio y hierro se encontraron en mayor porcentaje en la fase residual; mientras que el calcio, un metal más soluble a los anteriores, se encontró en mayor proporción en la fase 2 (intercambiable y absorbida) y la fase 3 (ligado a carbonatos). Estos resultados sustentan la validez de los análisis mencionados. Según (Namiesnik & Rabajczyk, 2010), El aluminio es insoluble en los sedimentos en el rango de pH de 5 a 9, cuyo mineral común en la naturaleza son los feldespatos, grupo de los aluminosilicatos (Domenech, 2006), que forman parte de los compuestos de la fase residual. En tanto, el hierro, es liberado al agua de los sedimentos y suelos a través de procesos de removilización a pH menores a 6; tal como ocurre en los drenajes ácidos de mina y lluvia ácida, ya que la



migración del hierro desde el sustrato (suelo y sedimentos) aumenta en condiciones ácidas (Pitter, 2006, citado por Slaninova et al., 2014).

En cambio, el calcio es el elemento más abundante de las especies disueltas predominantes en la disolución de los sedimentos y suelos son los cationes intercambiables presentes en este medio gracias a procesos de meteorización química, cuyo elemento más abundante es el calcio (Domenech, 2006).

Como se puede ver en la Figura 7.21 los resultados históricos muestran que las concentraciones de estos elementos se encontraron superando los estándares mencionados. Adicionalmente, las concentraciones de cobre y zinc registrados en las microcuencas Chogñacota y Chuquisani son mayores a lo registrados en la microcuenca Larancota, esto debido a la cercanía al yacimiento minero (Anexo 1.4: Mapas geológicos).



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

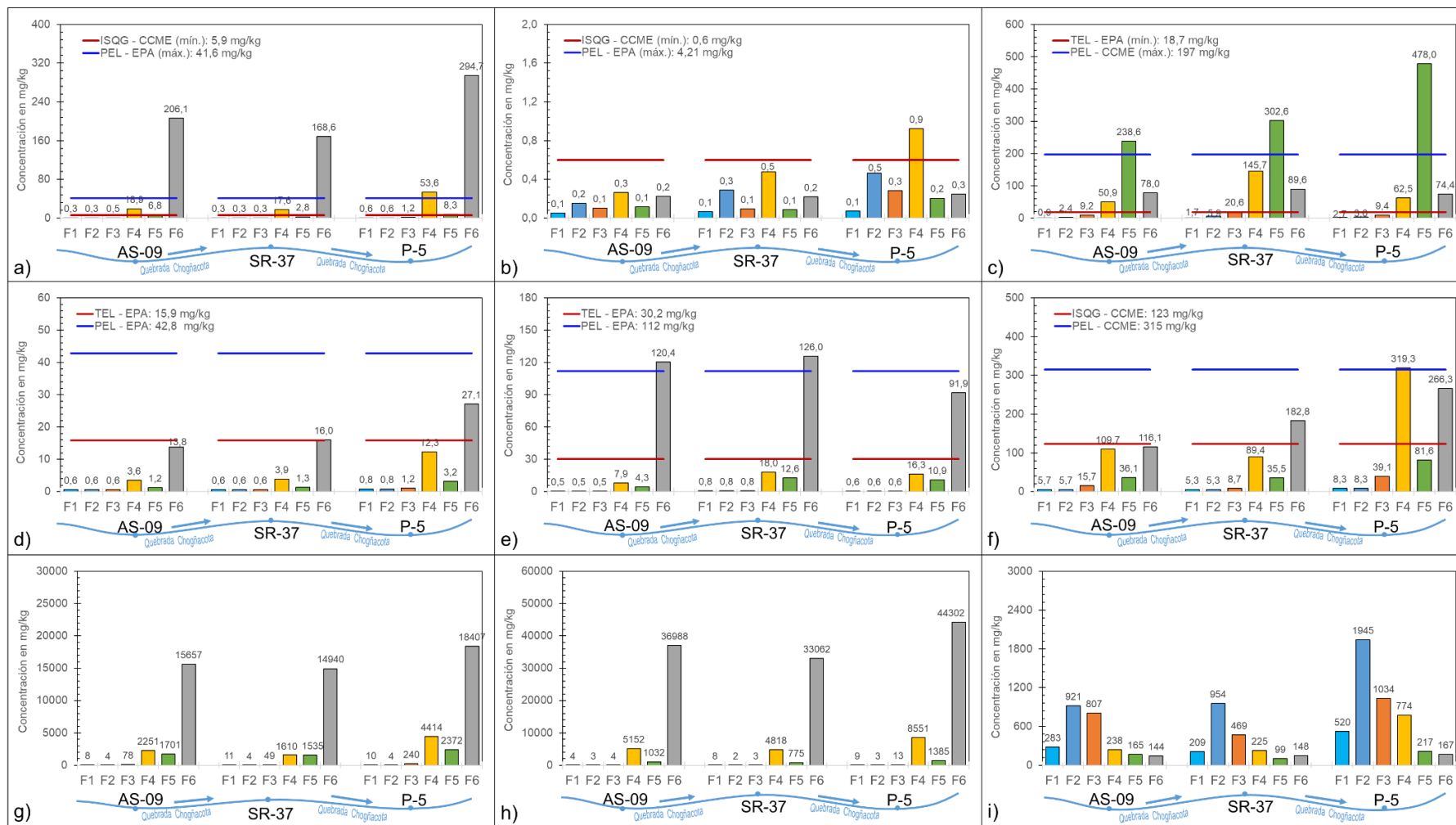


Figura 7.20. Análisis Tessier en sedimentos de la zona 2 a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobre, d) Níquel, e) Plomo, f) Zinc, g) Aluminio, h) Hierro y i) Calcio

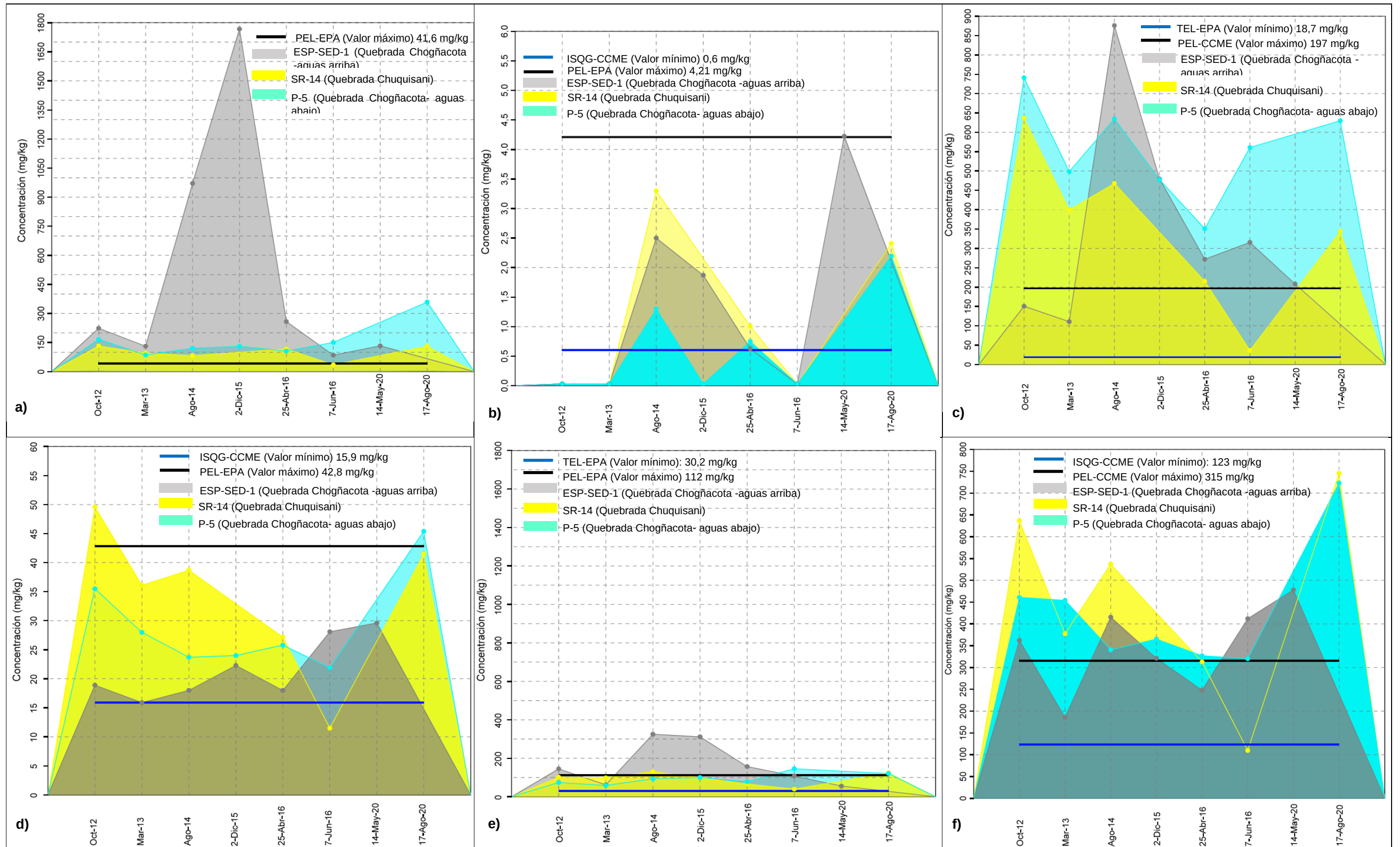


Figura 7.21. Concentración de metales en sedimento de la Zona 2 a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc

La calidad ecológica, según el índice ABI, en todos los puntos de la quebrada Chogñacota presentaron como resultado condiciones que variaron entre pésima y mala calidad; mientras que las quebradas Chiquisani y Paccha presentaron buena calidad ecológica (Figura 7.22).

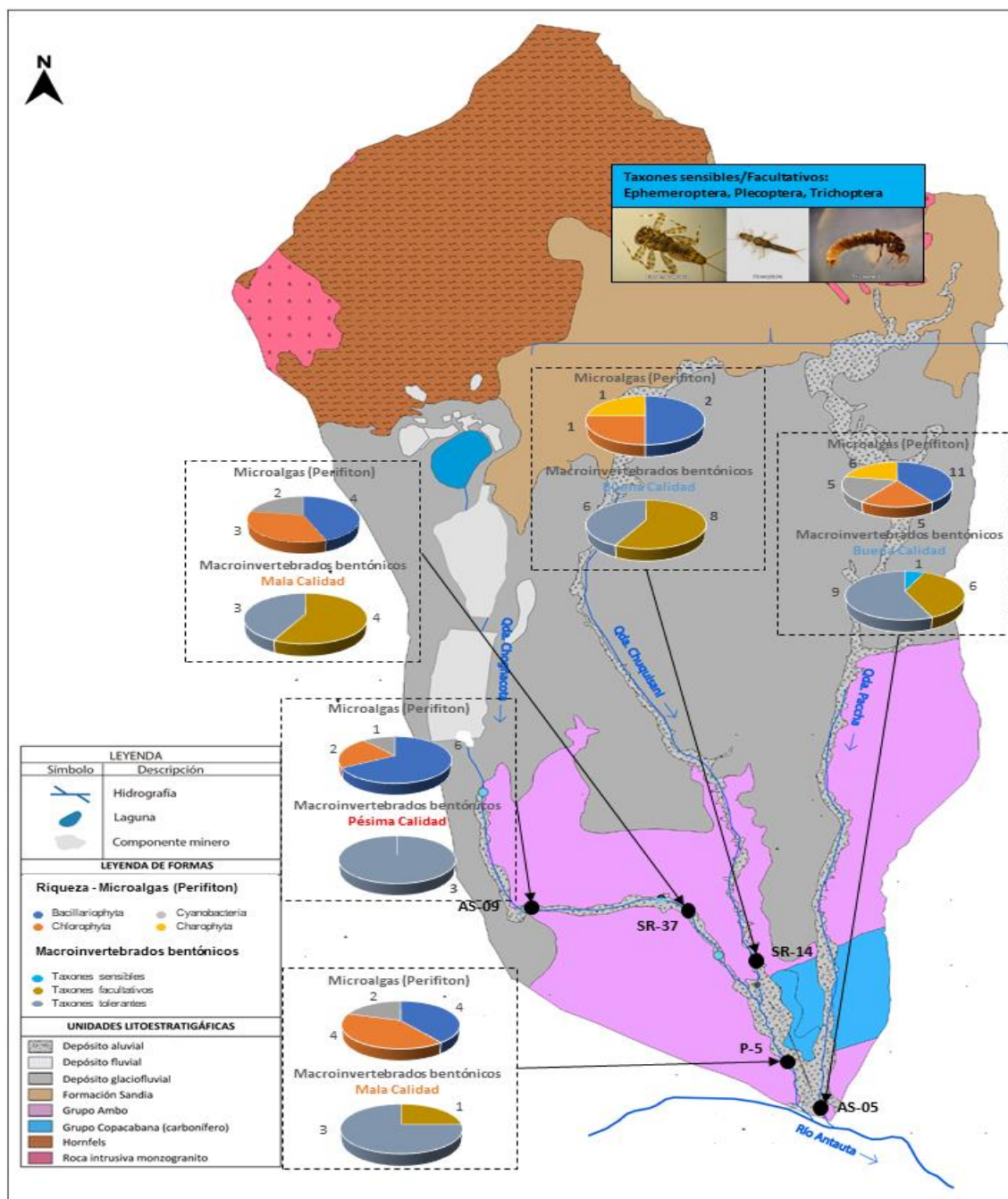


Figura 7.22. Esquema de riqueza de taxones de microalgas del perifiton, taxones bioindicadores de macroinvertebrados bentónicos y calidad biológica según el índice ABI, por punto de muestreo

La mala y pésima calidad ecológica en la quebrada Chogñacota se debe a la baja riqueza de taxones, como es el caso de los puntos AS-09 y P-5, donde se registraron 3 y 4 taxones, respectivamente; además de no presentar taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera que son los órdenes que poseen buen potencial como indicadores

del estado ecológico del hábitat y la calidad del agua, además de cumplir un papel importante en los ciclos de nutrientes y transferencia de energía de estos ecosistemas (Roldan, et al., 2014; Zuñiga y Cardona, 2009). Adicionalmente, en el punto SR-37 (quebrada Chogñacota) hubo un predominio de organismos del género *Austrelmis*, género propio de aguas alcalinas (entre 7,5 y 8,5 unidades de pH).

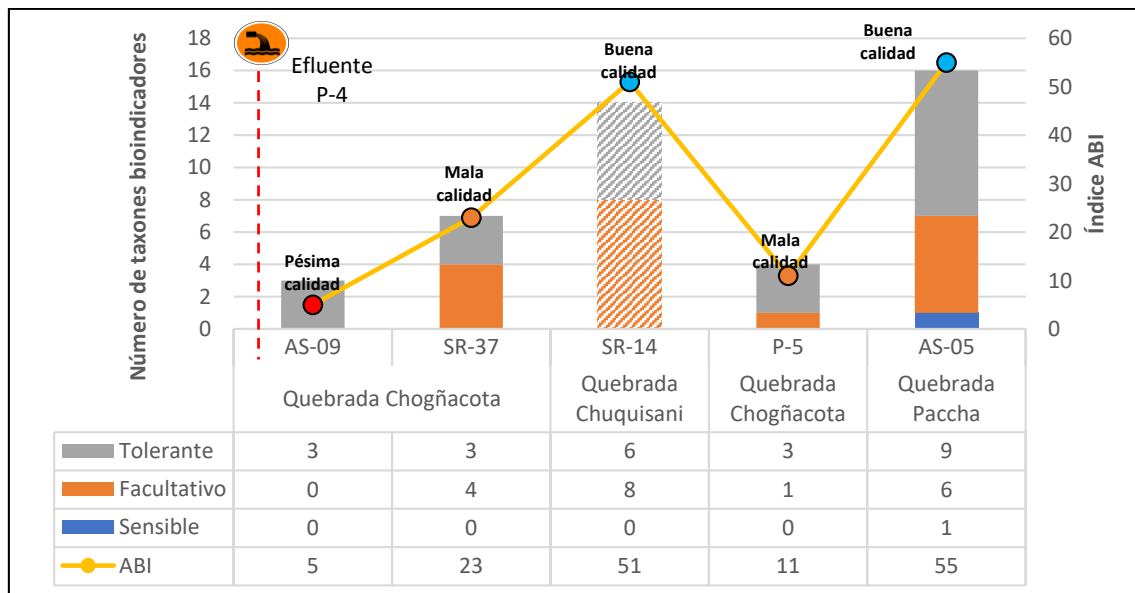


Figura 7.23. Número de taxones bioindicadores de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con el índice ABI.

La baja riqueza de taxones en los puntos de muestreo de la quebrada Chogñacota estarían relacionados a la temporalidad, siendo en la época de estiaje el único aportante el efluente minero P-4, el cual a su vez presenta variaciones interdiarias de caudal (ver anexo 5).

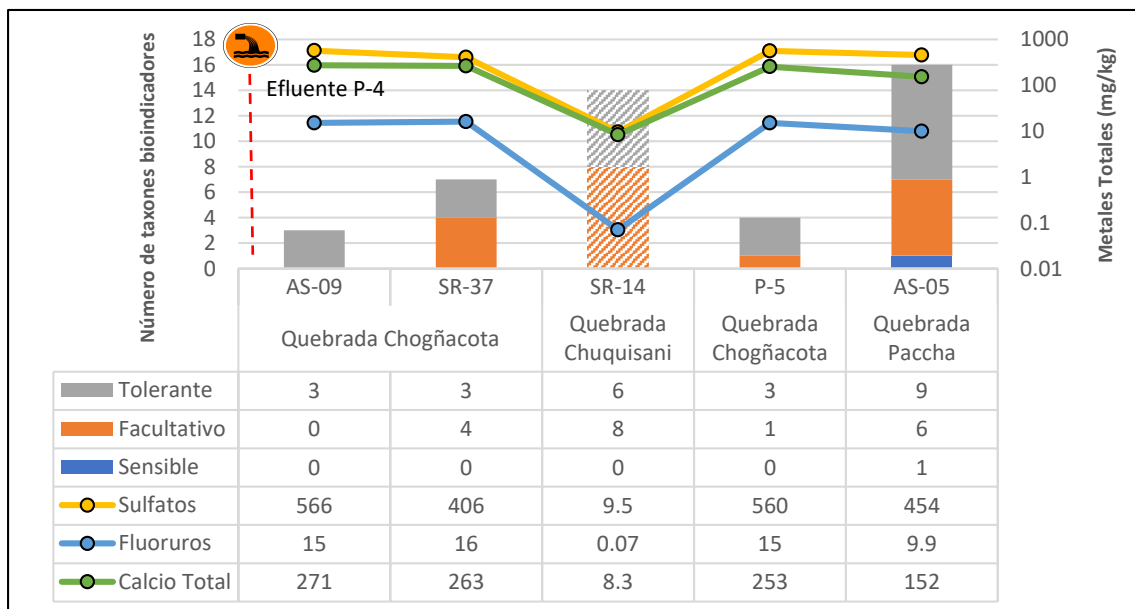


Figura 7.24. Número de taxones bioindicadores y su relación con los aniones de sulfato, fluoruro y calcio

7.3. Zona 3: Río Antauta.

En el área de estudio, el río Antauta discurre con dirección de flujo de oeste a este, constituido en su margen izquierda por rocas del Grupo Ambo, compuesto por areniscas e intercaladas con limolitas y lodolitas; y por la margen derecha por rocas del Grupo Mitu, que es un volcánico sedimentario de calizas, andesita, areniscas, lodolitas y conglomerados. Este río cuenta con 3 quebradas tributarias por la margen izquierda, las cuales son Caquene, Chogñacota y Paccha; estos 2 últimos con régimen estacional, mientras que el río Antauta posee un régimen permanente con caudales que varían de 135,2 L/s a 4194 L/s en época húmeda y época seca³⁵ (registro en los años 2012, 2013, 2014 y 2015).

En el río Antauta se evaluaron 4 puntos de agua superficial, de los cuales los puntos SR-WQ-11 y P-6, ubicados aguas arriba de la confluencia con la quebrada Chogñacota, presentaron valores de pH alcalino que se encontraron fuera del rango establecido en los ECA para agua (2008) categoría 3; así también el punto P-7, ubicado aguas abajo de esta confluencia presentó una concentración de fluoruros que superó la norma en mención (Figura 7.8).

De acuerdo a sus características hidroquímicas, el punto P-7 (río Antauta), presentó facies sulfatas cálcicas de igual similitud que la quebrada Chogñacota y el efluente industrial P-4, mientras que los puntos LA-WQ-04, SR-WQ-11 y P-6, ubicados en el río Antauta (aguas arriba de la confluencia con la quebrada Chogñacota) presentó facies bicarbonatadas cálcicas.

Los resultados de sedimentos fueron comparados con la Guía para la Protección de Vida Acuática CCME (ISQG - PEL) y con los valores de la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense USEPA (TEL-PEL). La Figura 7.25 muestra que las concentraciones de arsénico superaron en todos los puntos los valores de las guías en mención; mientras que los valores de cadmio, cobre, níquel, plata, plomo y zinc superaron los valores de las guías en al menos un punto de esta zona.

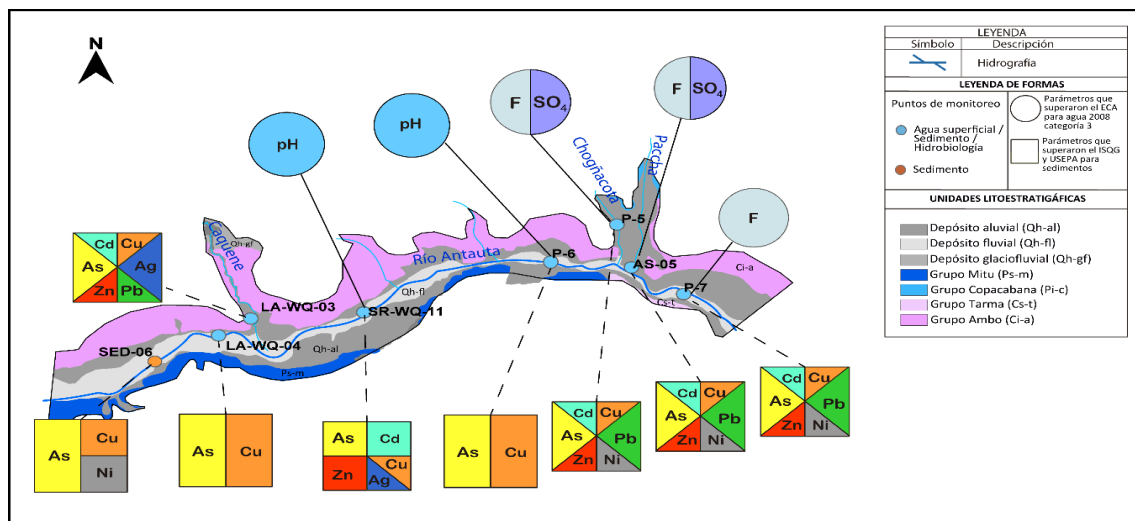


Figura 7.25. Parámetros de agua superficial, agua subterránea y sedimentos que incumplieron los estándares en la zona 3

35 Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la UM Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael. Resolución Directoral N.° 095-2017-SENACE/DCA

Según el registro histórico del periodo 2011-2020, los datos obtenidos por la ANA en el punto R Anta 1³⁶, UM Quenamari (LA-WQ-04) y el OEFA (LA-WQ-04 y P-6), presentaron valores de pH básico mayores a 7; mientras que el punto P-7 presentó valores que oscilan entre 6 a 9, a excepción de los valores obtenidos en 1994³⁷ que presentó características ácidas (Figura 7.26 b). Esta característica alcalina de las aguas del río Antauta se debería a la presencia de rocas calcáreas que se encuentran en la parte alta³⁸.

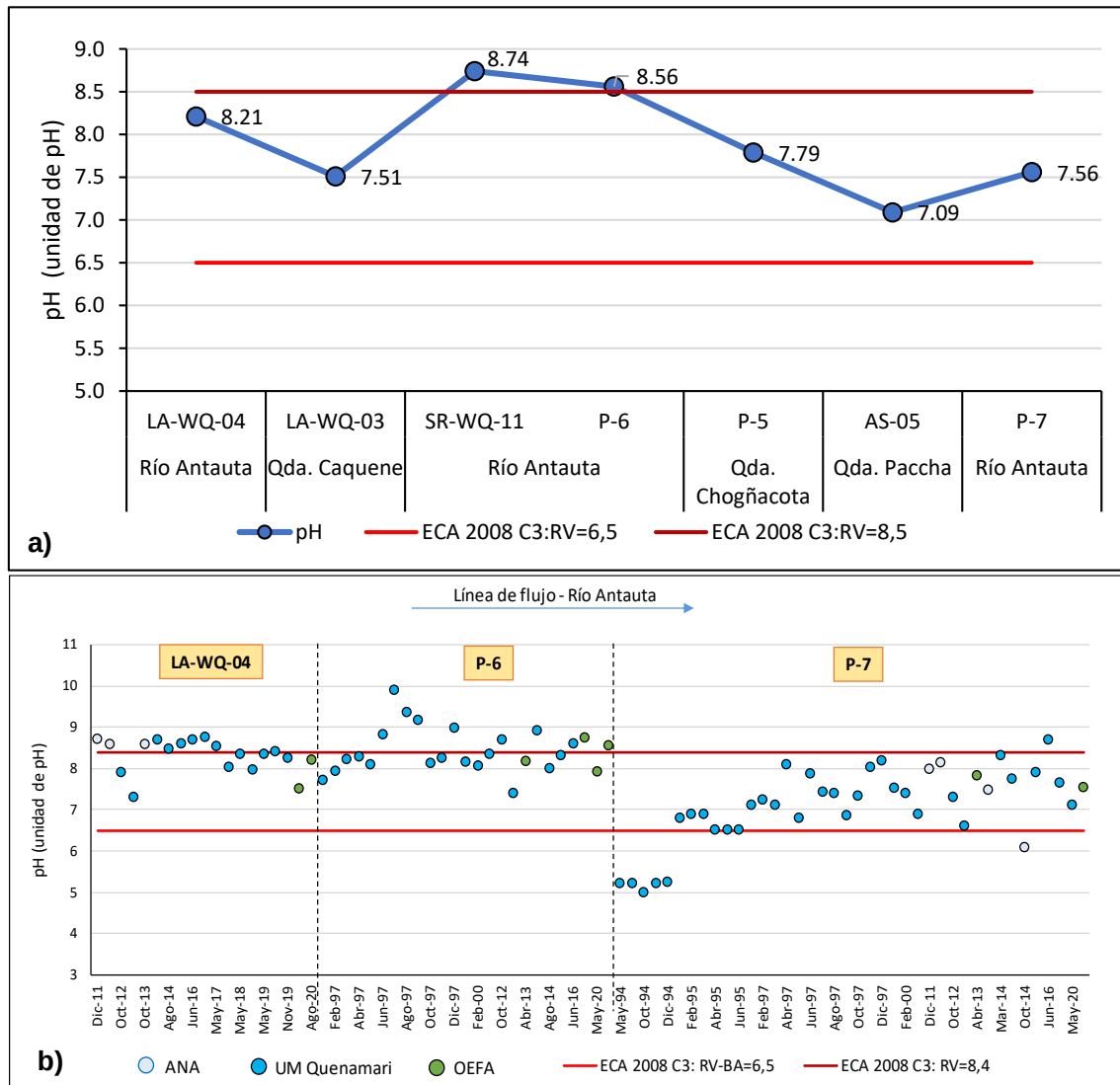


Figura 7.26. Valores de pH a) en el río Antauta y aportantes b) registro histórico.

En la Figura 7.27, se evidencia que el punto P-7 (río Antauta) y los puntos P-5 y AS-05 (quebradas Chogñacota y Paccha respectivamente) presentaron concentraciones de fluoruro que excedieron el ECA para agua 2008, mientras que los puntos LA-WQ-04, SR-WQ-11, P-6 (río Antauta) y el punto LA-WQ-04 (quebrada Caquene) no superaron dicha norma y presentaron bajas concentraciones respecto al punto P-7.

³⁶ Se tomó como referencia el punto R Anta 1 de los informes técnicos de la ANA, que representa el punto aguas arriba de la confluencia con la quebrada Caquene. Informes técnicos N°: 002-2012-ANA-DGCRH, 0024-2012-ANA-DGCRH, 013-2013-ANA-DGCRH, 012-2014-ANA-DGCRH, 051-2014-ANA-DGCRH.

³⁷ Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la U.P. "San Rafael" de Minsur S.A." RD N° 016-97-EM

³⁸ Ver mapa geológico regional (Anexo 1.4)

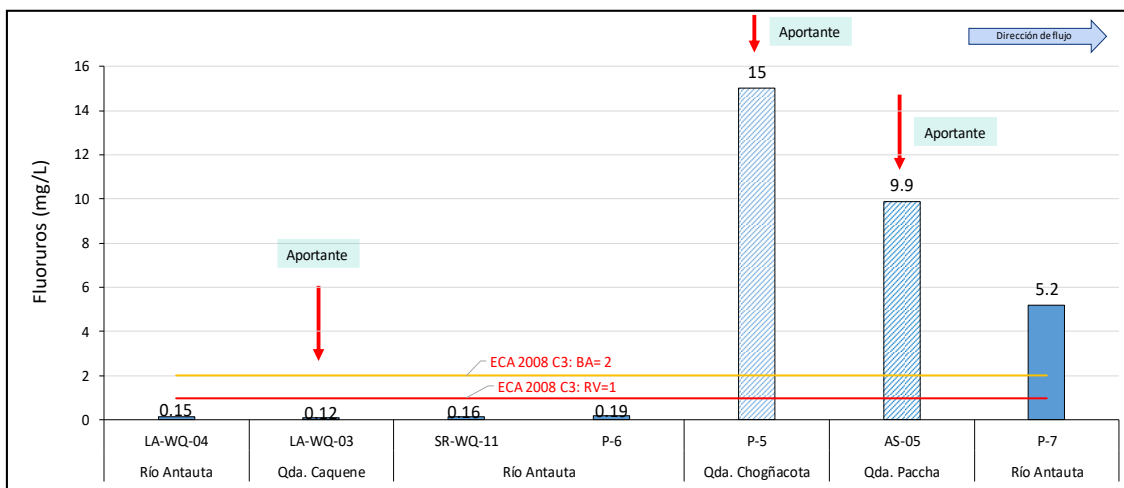


Figura 7.27. Distribución de las concentraciones de Fluoruro en el río Antauta y sus tributarios

La conductividad, sólidos totales disueltos, aniones y metales totales, presentaron un comportamiento similar al fluoruro, evidenciándose un incremento de concentraciones en el punto P-7 (río Antauta) por el aporte directo de la quebrada Chogñacota, modificando las características naturales del río Antauta; lo indicado también es mencionado en el IGA del administrado³⁹. Cabe precisar que dichos parámetros no superaron los ECA para agua 2008 y 2017.

De acuerdo al registro histórico del punto P-7 reportado por Minsur S.A., en el periodo 2012 al 2020, las concentraciones de fluoruros excedieron el ECA para agua (2008) en la categoría 3 en todas las evaluaciones registradas (Figura 7.28).

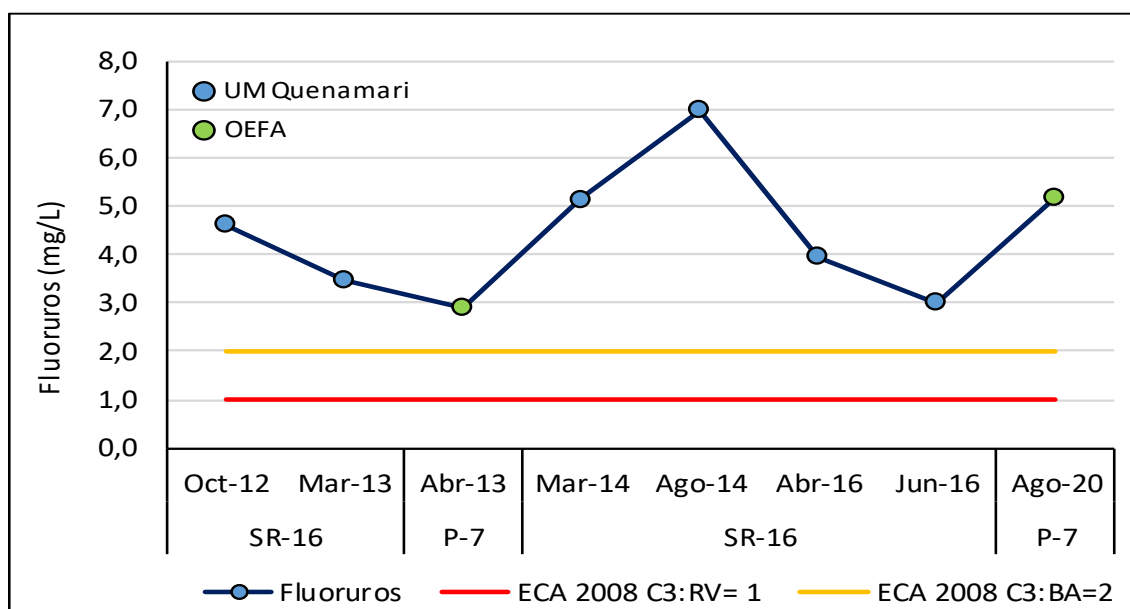


Figura 7.28. Registro histórico de fluoruros en el punto P-7

³⁹

«El río Antauta se nota claramente la entrada de agua desde la quebrada Chogñacota (procedente en su mayoría de la explotación minera) ya que las características físico-químicas del agua se ven alteradas, con un claro aumento de la conductividad eléctrica, el potencial redóx o la tasa de sólidos disueltos» – Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Reaprovechamiento de Relaves en la UM Nueva Acumulación Quenamari – San Rafael. Resolución Directoral N.º 095-2017-SENACE/DCA



En el río Antauta, los puntos SED-02 y LA-WQ-04, ubicados aguas arriba de la confluencia con la quebrada Caquene, presentaron concentraciones de arsénico, cobre y níquel que superaron los valores de las guías Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL); aguas abajo de esta confluencia, además de los metales antes mencionados se evidencia el incremento en las concentraciones de cadmio, plata y zinc producto del aporte por arrastre de los sedimentos de la quebrada Caquene, y aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota se adiciona el plomo, llegando a superar los valores de las guías en mención.

Es preciso indicar que las quebradas Caquene y Chogñacota presentaron concentraciones de estos metales asociados al contexto geológico, con metales en las fracciones 5, 6 y 7 (sulfuros primarios, secundarios y residuales) de acuerdo al ensayo Dold. Asimismo, según el ensayo Tessier (Figura 7.29), en los puntos P-6 y P-7 el arsénico, cadmio, cobre, níquel, plata, plomo y zinc se encontraron en la fracción 4, 5 y 6. Estos resultados indican que el origen de estos metales se debe a fuentes litológicas y edáficas. Adicionalmente, como se puede ver en la Figura 7.30 y Figura 7.31 los resultados históricos muestran variabilidad en las concentraciones de estos elementos, con tendencia al incremento en el río Antauta por el aporte de las quebradas Caquene y Chogñacota.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

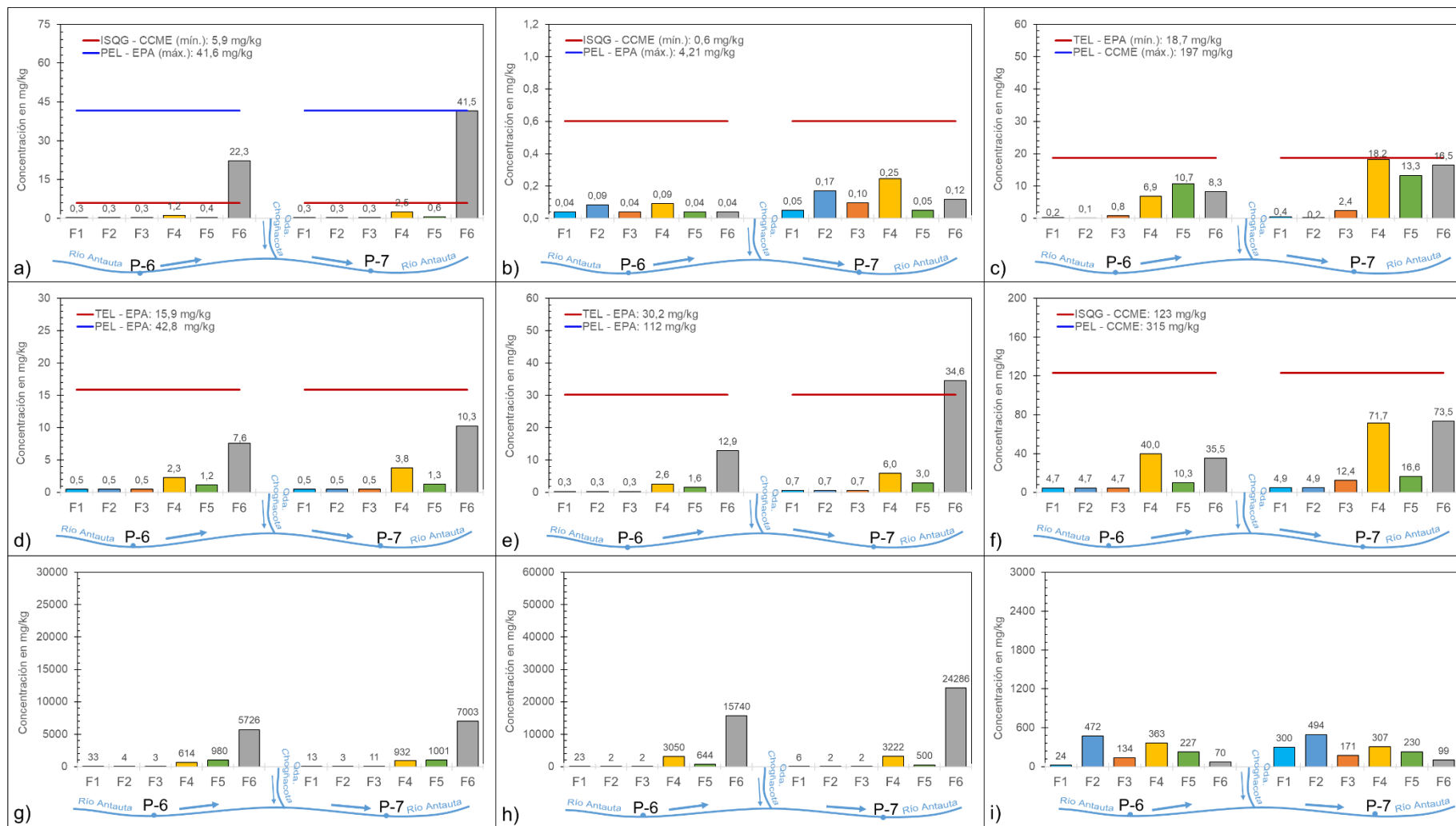


Figura 7.29. Río Antauta a) Arsénico, b) Cadmio, c) Cobalto, d) Níquel, e) Plomo, f) Zinc, g) Aluminio, h) Hierro y i) Calcio



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

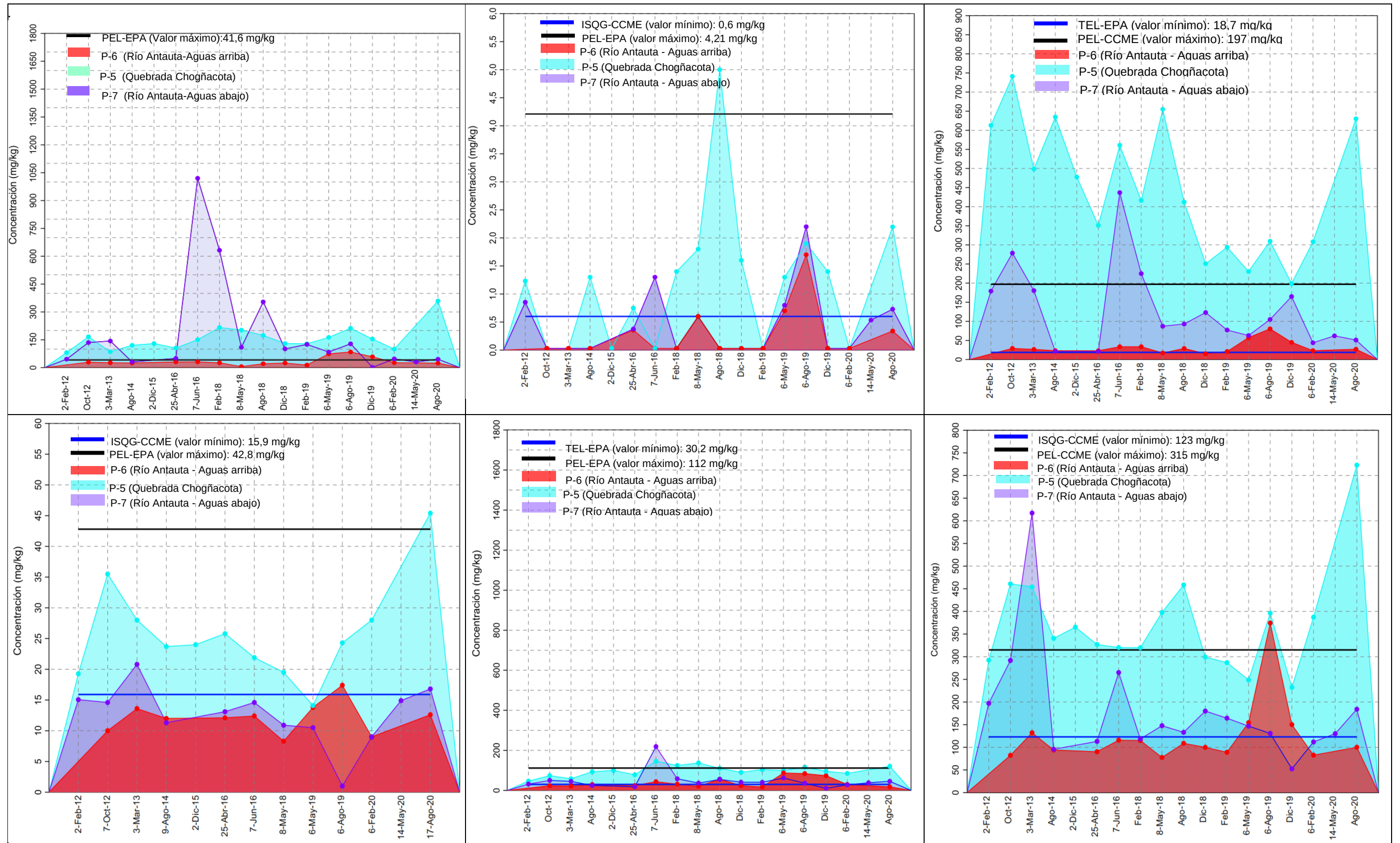


Figura 7.30. Concentración de metales en sedimento de la Zona 3 en la confluencia del río Antauta y la quebrada Chogñacota a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

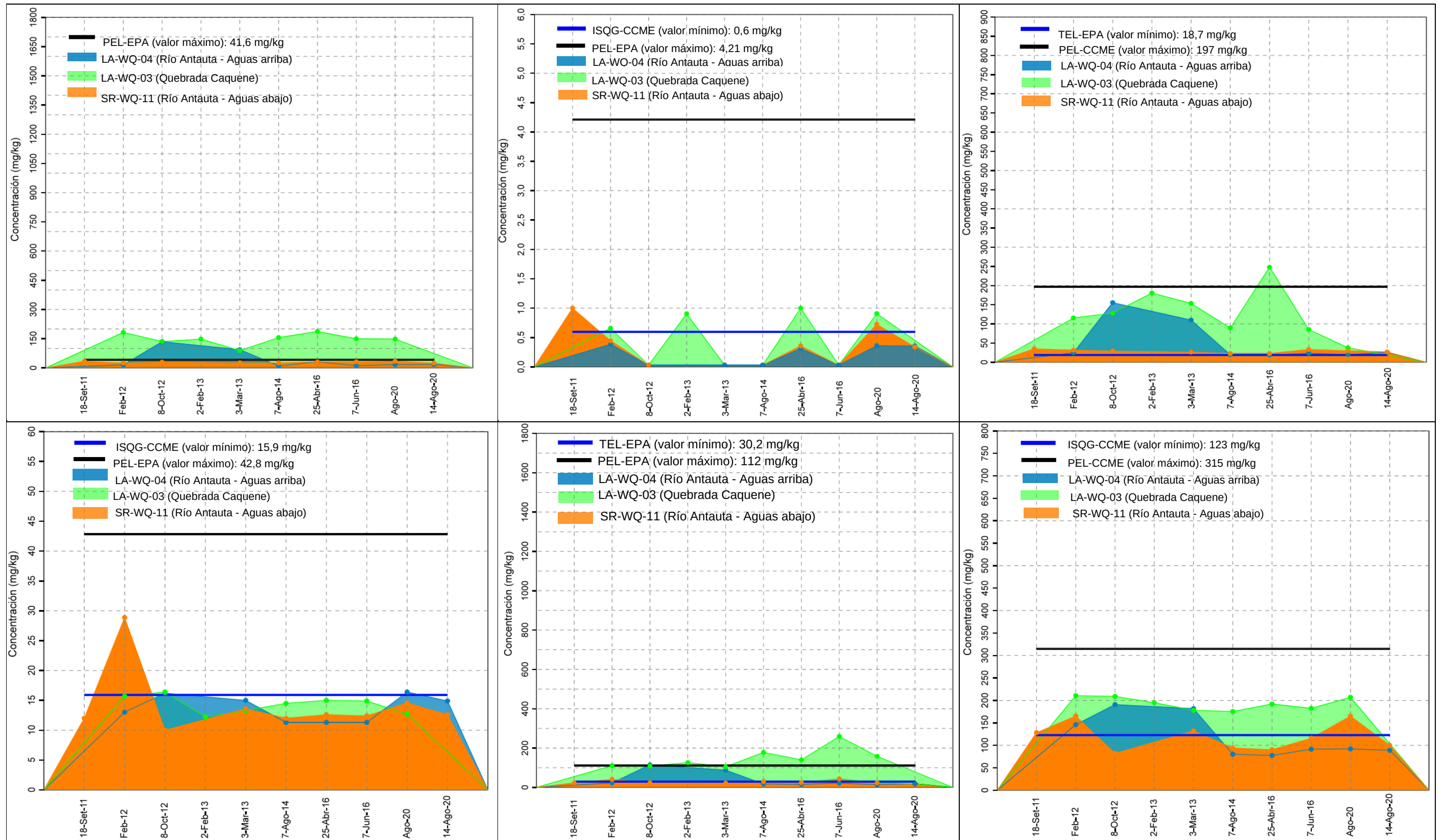


Figura 7.31. Concentración de metales en sedimento de la Zona 3 en la confluencia del río Antauta y la quebrada Caquene a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) níquel, e) plomo y f) zinc

Respecto a la calidad ecológica los puntos evaluados en el río Antauta dieron como resultado condiciones de calidad que variaron entre moderada y muy buena, diferenciándose principalmente de la condición de la mala calidad presentada en 2 de sus 3 tributarios evaluados: quebrada Caquene (LA-WQ-03) y quebrada Chogñacota (LA-WQ-03). Los puntos de muestreo del río Antauta presentaron en promedio valores altos de riqueza con respecto a las demás zonas evaluadas, además de la persistencia de organismos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera que son los órdenes que poseen buen potencial como indicadores del estado ecológico del hábitat.

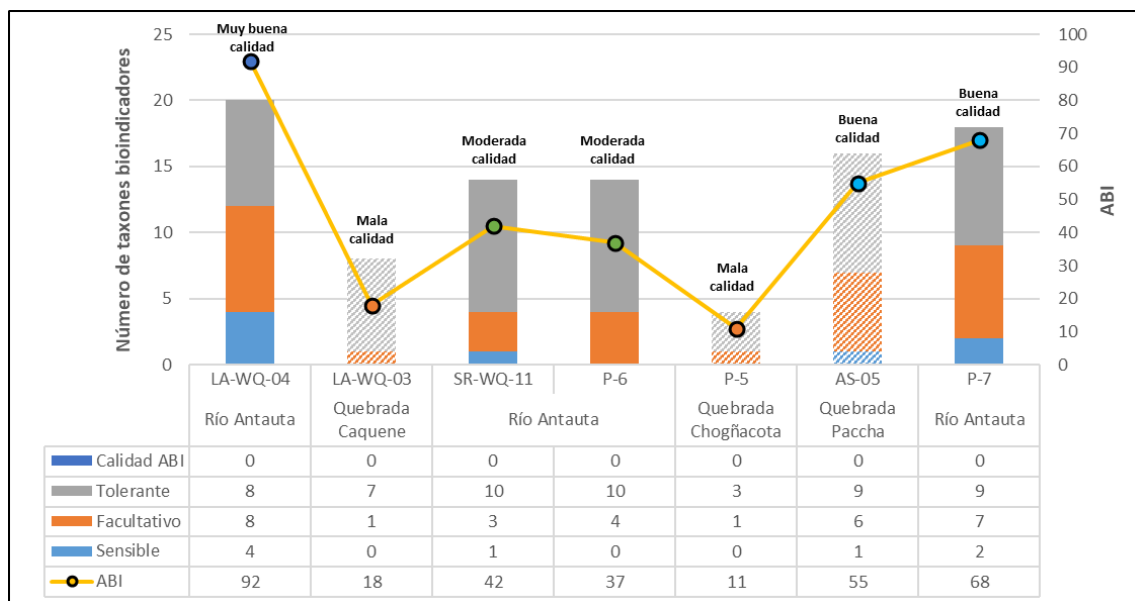


Figura 7.32. Número de taxones bioindicadores de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y su relación con el índice ABI.

Las comunidades hidrobiológicas presentaron valores de riqueza de taxones de microalgas del perifiton que variaron entre 8 (P-6) y 12 (LA-WQ-04), y entre 14 (SR-WQ-11 y P-6) y 20 (LA-WQ-04) taxones para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos; siendo estos últimos valores en promedio los más altos registrados entre todas las zonas evaluadas. Respecto a las microalgas, en los puntos antes mencionados destaca el predominio de la diatomea *Encyonema minutum*, presente en todos los puntos de muestreo de esta zona y representando el 58,61% del abundancia relativa total.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

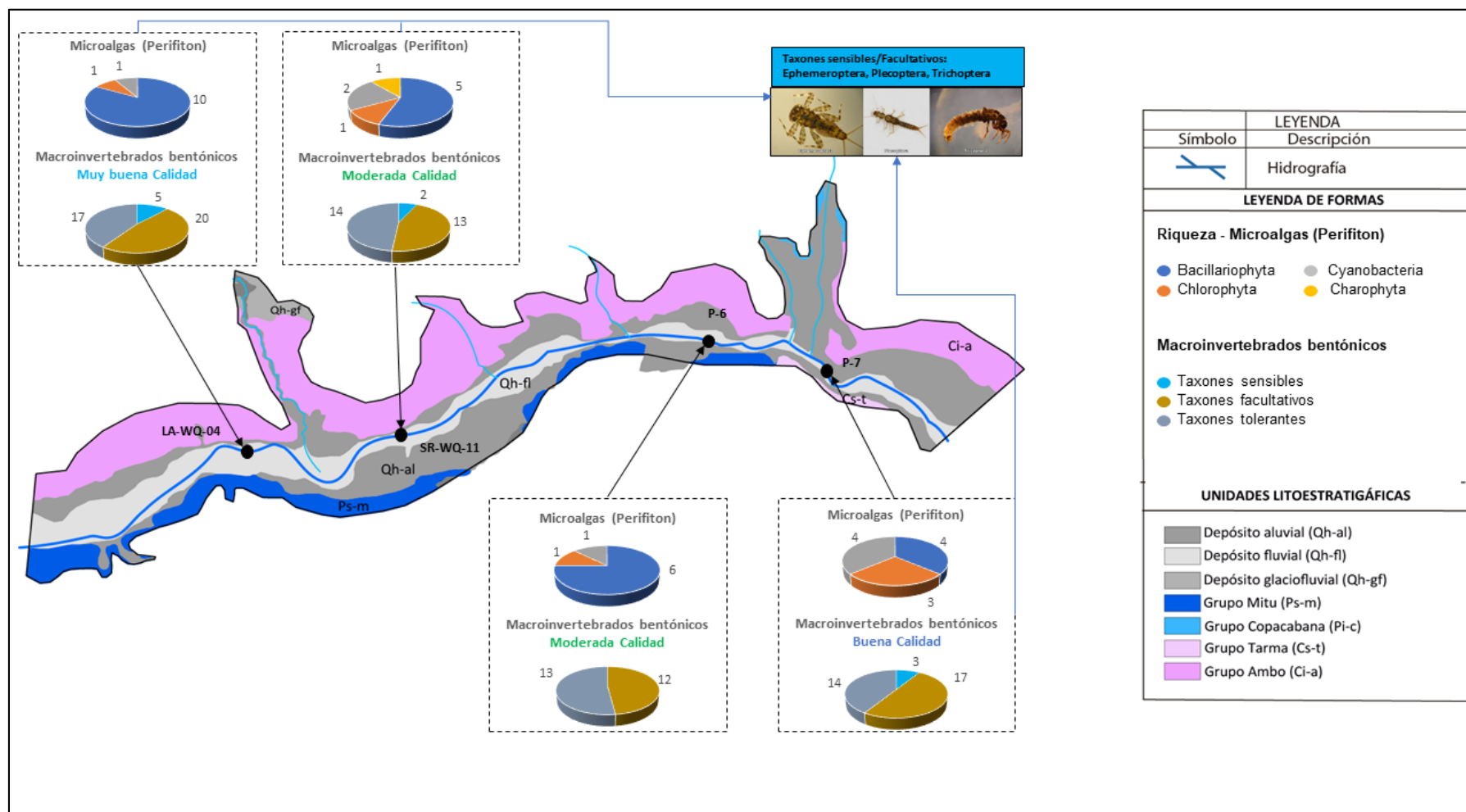


Figura 7.33. Esquema de riqueza de taxones de microalgas del perifiton, taxones bioindicadores de macroinvertebrados bentónicos y calidad biológica según el índice ABI, por punto de muestreo

En el río Antauta, se capturaron peces solamente en los 3 puntos aguas arriba de la confluencia con la quebrada Chogñacota; mientras que en P-7, ubicado aguas abajo, no se obtuvo registro de peces. Cabe precisar que en este punto se evidenciaron características del cauce similares a la quebrada Chogñacota, como coloración aparente y fondo del lecho (Figura X-6), esto último debido a la mezcla de aguas y amplitud del cauce.

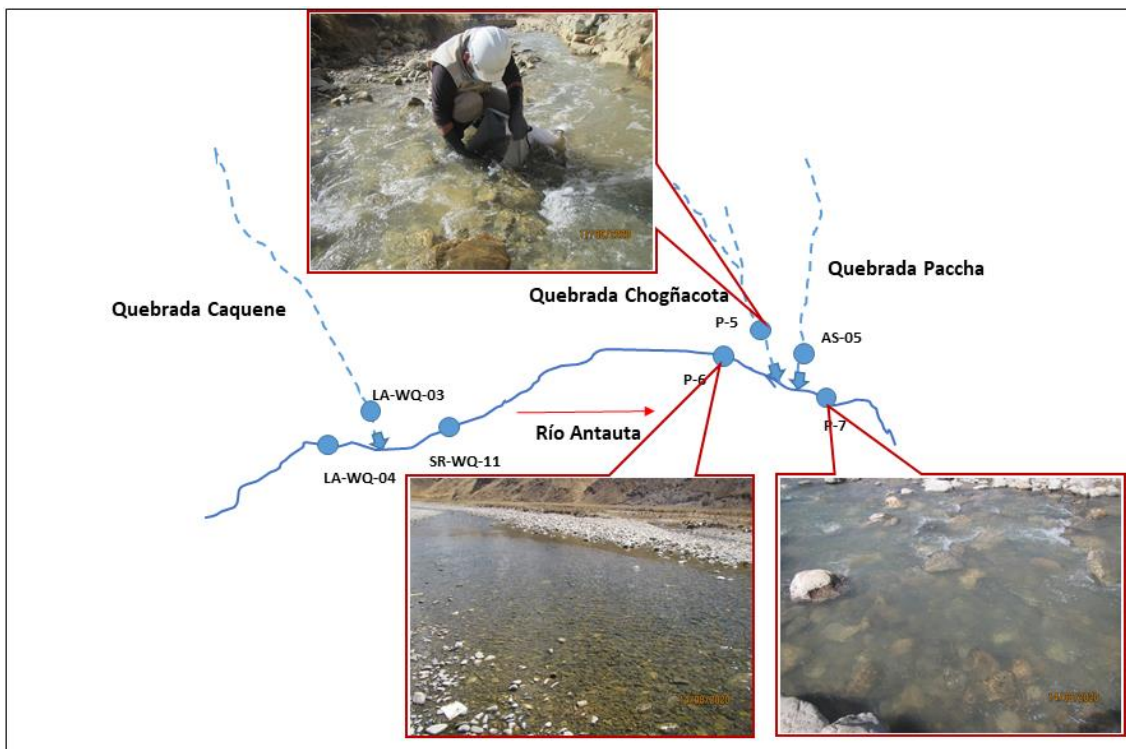


Figura 7.34. Variación en la apariencia en el cauce del río Antauta, aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota.

7.4. Zona 4: Lagunas

Las lagunas Chogñacota, Estancococha y Suyrococha están emplazadas sobre rocas de la Formación Sandia, compuesta por pizarras y filitas (GEO-04) y rocas Hornfels producto del metamorfismo de contacto entre las rocas metasedimentarias y el intrusivo. Según Palma (1981), el intrusivo está alterado por procesos de oxidación y cloritización en las cercanías de las vetas.

Estas rocas presentan fallas (Falla Estancococha y Suytococha) y vetas enriquecidas con minerales tales como: la casiterita, estannita, valmorfit, esfalerita, galena, enargita, estibina, scheelita, wolframita y minerales ganga como el cuarzo, clorita, sílice, pirita, arsenopirita, turmalina, calcita, fluorita, marcasita, pirrotita, rodocrosita, siderita y adularia, los cuales Palma (1981) distinguió en 4 etapas de mineralización. Adicionalmente, se pudo observar estos minerales en los ensayos de mineralogía de los puntos de muestreo GEO-04, GEO-05, GEO-08 y GEO-02.



Figura 7.35. Laguna Estancococha

Las lagunas Estancococha y Suyrococha, ubicadas en la parte alta de la microcuenca Chogñacota, se encuentran represadas para uso de la unidad minera. Alrededor de la laguna Chogñacota se encuentran los componentes mineros: Relavera B2, canchas de desmote 35 y 36, planta de procesos, entre otros.

De acuerdo al EIA⁴⁰ aprobado según RD 112-2000-EM/DGAA, en la sección de manejo de relaves, menciona lo siguiente: «La cola final del proceso es de 2 flujos, la primera formada por las espumas de sulfuros y la cola scavenger, y la segunda por las lamas; las cuales se trasladan por gravedad al relave de colas en el que los materiales se depositarán y el agua clara va formando el espejo de agua de donde es impulsado con bombas a la laguna Chogñacota».

Las lagunas evaluadas presentaron valores de pH y concentraciones de cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc total fuera que incumplieron los ECA para agua 2008 y 2017 en la categoría 4; así también el cadmio disuelto excedió el ECA para agua 2017.

Los sedimentos de las lagunas Chogñacota, Estancococha y Suyrococha, presentaron concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc que superaron los valores de las guías para la Protección de Vida Acuática CCME (ISQG - PEL) y la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense USEPA (TEL-PEL). Además, la concentración de mercurio en la laguna Chogñacota (SR-5) y las concentraciones de plata en las lagunas Estancococha (LA-WQ-07) y Suyrococha (SR-8) superaron también los valores de las guías en mención.

⁴⁰

RD. N.º112-2020-E/DGAA. Estudio de Impacto Ambiental de ampliación de capacidad instalada de 1500 a 2700 TM/día de la concesión de beneficio «Planta de Concentración San Rafael»

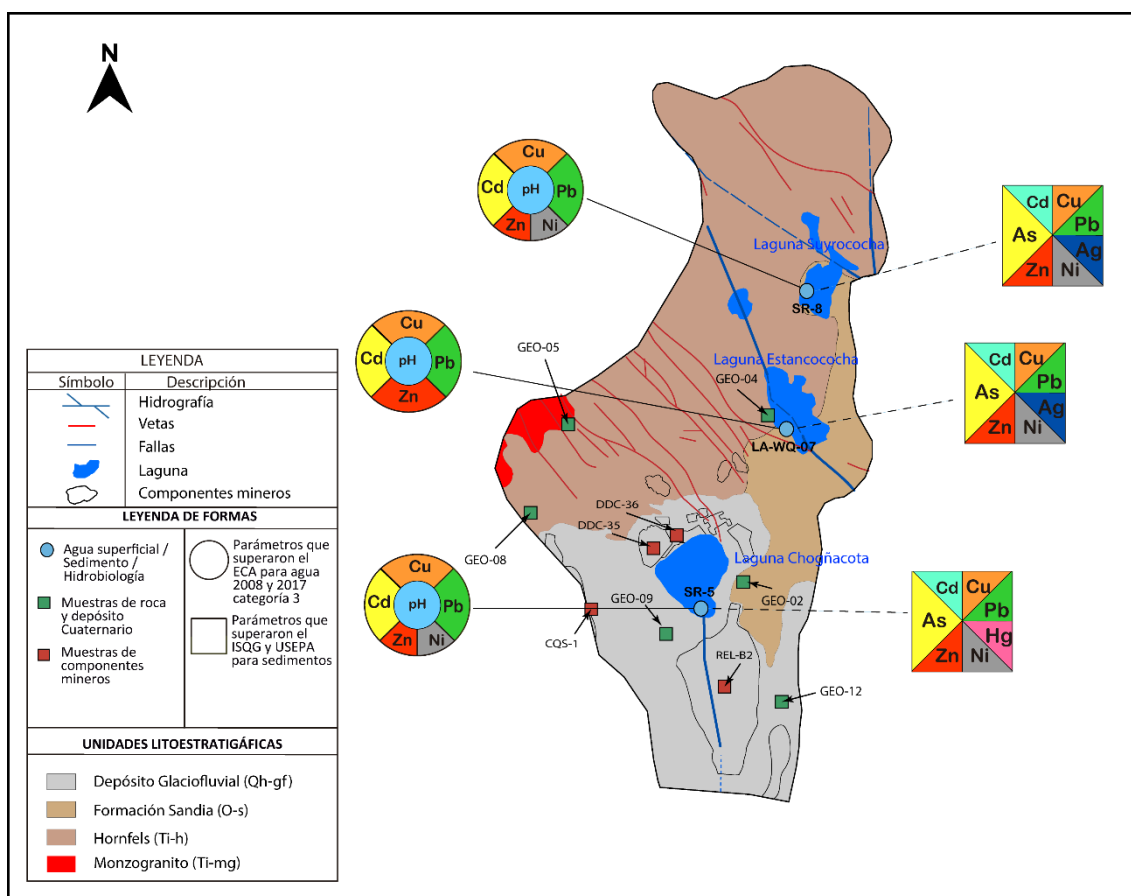


Figura 7.36. Parámetros de agua superficial y sedimentos que incumplieron los estándares en la zona 4

Los valores de pH ácido en las lagunas Estancococha (4,77), Suyrococha (4,22) y Chogñacota (6,31) están relacionados al contexto geológico local, que comprende minerales de sulfuros como arsenopirita y pirita, y que a su vez son generadores de acidez. La presencia de estos minerales se determinó mediante el análisis de mineralogía óptica en la muestra de roca GEO-04. No obstante, la laguna Chogñacota presentó menor acidez lo cual podría estar relacionado a presencia de vegetación de ribera (Figura 7.37).

De acuerdo al registro histórico del periodo 2003-2020, los valores de pH han presentado poca variabilidad en las 3 lagunas evaluadas, manteniendo una condición ácida (Figura 7.37).

Las concentraciones de cadmio, cobre, plomo, níquel y zinc que superaron los ECA para agua 2008 y 2017 categoría 4, se encuentran relacionados al contexto geológico local, ya que de acuerdo al análisis mineralógico de las muestras de roca GEO-02 y GEO-04 se reportó la presencia de calcopirita (CuFeS_2), esfarelita (XXZn), galena (XXPb) y trazas de cadmio y zinc, también de acuerdo al test de lixiviación estas muestras liberaron estos metales.

De acuerdo al registro histórico, la laguna Suyrococha presentó poca variabilidad en las concentraciones de cadmio, cobre, níquel y zinc total; mientras que la laguna Chogñacota presentó un incremento de estos metales. La laguna Estancococha presentó una disminución de cobre, cadmio y zinc total (ver Figura 7.38).



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

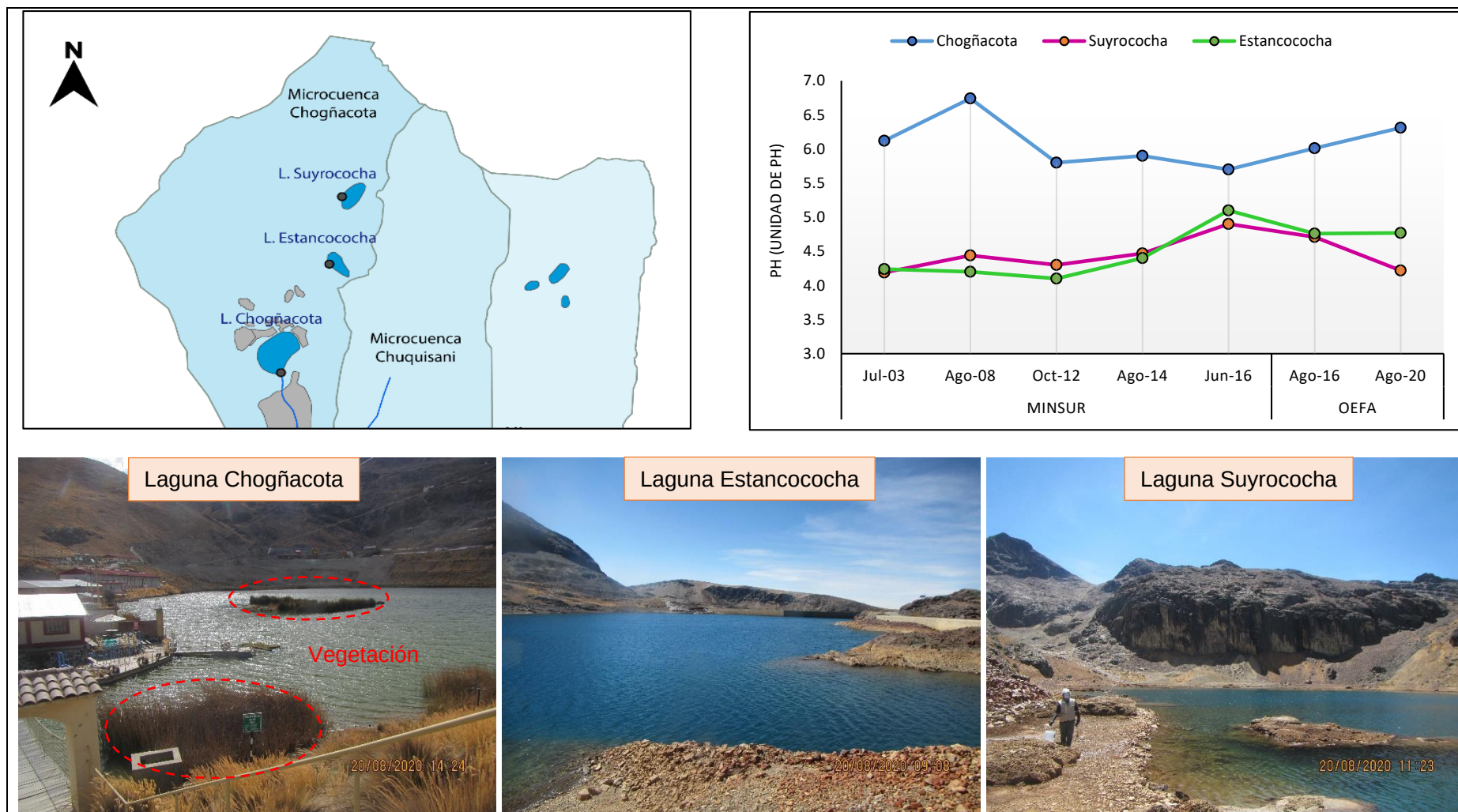


Figura 7.37. Esquema de la ubicación de las lagunas y su data histórica de los valores de pH



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Universalización de la Salud

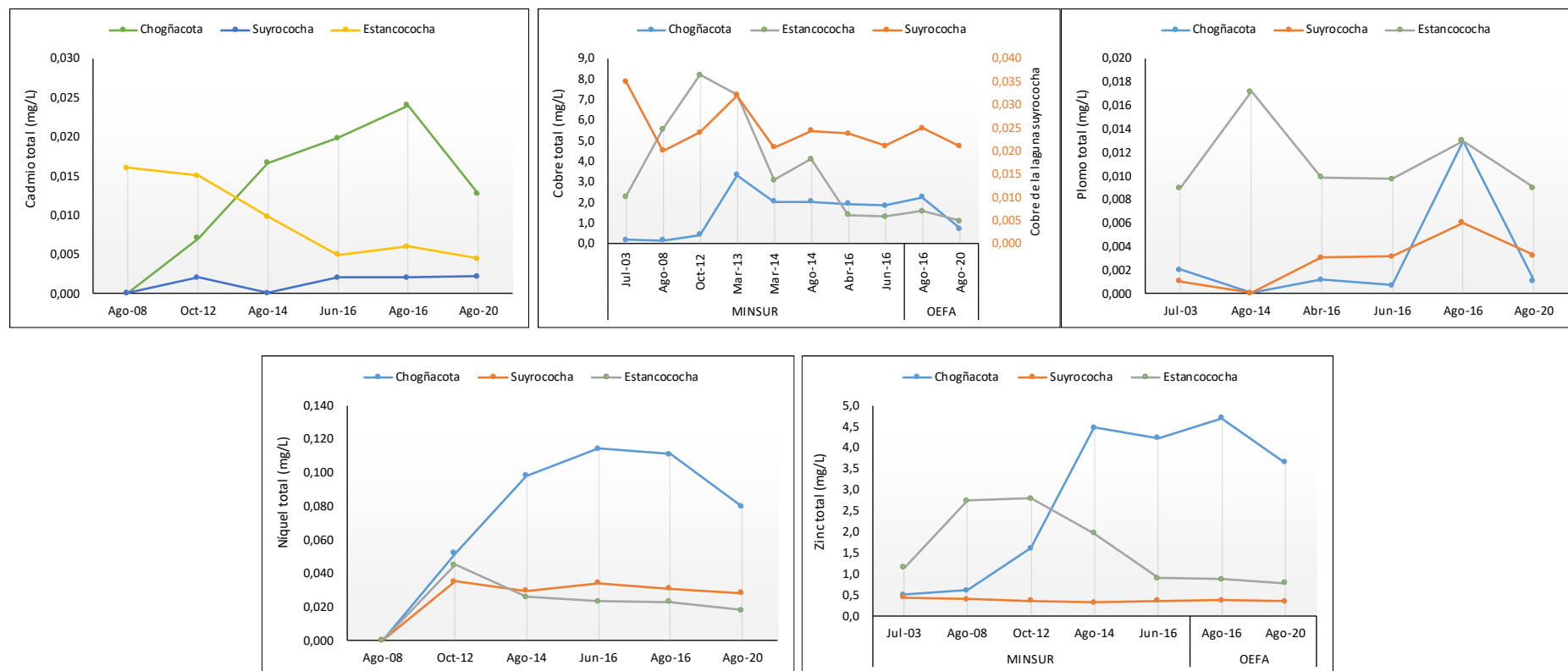


Figura 7.38. Registro histórico de concentración de metales en agua de las lagunas Chogñacota, Estancococha y Suyrococha



El arsénico, cadmio, cobre, níquel, plata, plomo y zinc en sedimento que excedieron los valores establecidos en las guías Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL), se encontraron asociados a las rocas y depósitos cuaternarios presentes en esta zona, de acuerdo al análisis de metales totales, análisis mineralógico y test de lixiviación.

Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad de metales, los ensayos Dold en suelo (GEO-09 y CQS-1) permitieron identificar que estos metales se encontraron en las fracciones 6 y 7 (asociados a sulfuros primarios y residuales). Estos resultados denotan que el origen de estos metales se debe a fuentes litológicas y edáficas, es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.

Las comunidades hidrobiológicas de microalgas (perifiton) y fitoplancton, evaluadas en las lagunas Estancococha (LA-WQ-07), Suyrococha (SR-8) y Chogñacota (SR-5), presentaron una moderada riqueza de taxones, siendo la laguna Suyrococha la que presentó el mayor número de taxones y predominio de Bacillariophyta en ambas comunidades. La composición de ambas comunidades se vio influenciada por las condiciones de acidez determinada por el contexto geológico.

En la laguna Suyrococha, la comunidad del perifiton predominaron organismos del género *Eunotia* (*Eunotia exigua*, *Eunotia* sp. 1 ANC y *Eunotia flexuosa*) y *Frustulia* (*Frustulia vulgaris* y *Frustulia* cf. *magaliesmontana*), tolerantes a las condiciones de acidez (Margalef, 1955; Rimet et al., 2004); así como también *Diadesmis flexuosa*, este género es un taxón aerofílico debido que crece en musgos y rocas húmedas de baja conductividad y en aguas ligeramente ácidas (Guamán-Burneo, M y González R., 2016). En la comunidad del fitoplancton predominaron organismos de la especie *Parvodinium umbonatum*, representando el 88,24% de la abundancia relativa del punto SR-8, esta especie está asociada a condiciones eutróficas (Chu et al., 2008).

En la laguna Estancococha, el taxón más predominante de la comunidad de microalgas del perifiton fue *Brachysira* cf. *brebissonii*, cuyo género se encuentra con frecuencia en lagos oligotróficos y turberas, algunas especies suelen ser muy abundantes en ambientes dulceacuícolas ácidos y con baja conductividad (Round et al., 1990). En la comunidad del fitoplancton predominó *Dinobryon sertularia*, este género crece en aguas ácidas y básicas (Prescott, 1951).

En la laguna Chogñacota, predominó *Leptolyngbya* sp. 2CAJ en la comunidad de microalgas del perifiton (57,30% de la abundancia total); mientras que el fitoplancton presentó una composición comunitaria sin taxones predominantes.



8. CONCLUSIONES

Generales

De la evaluación ambiental de causalidad para determinar la influencia de los depósitos de relaves B2 y B3, depósito de desmonte Larancota, efluente minero y efluente doméstico de la UM Quenamari en las quebradas Larancota, Chuquisani, Chogñacota, Caquene, río Antauta y laguna Chogñacota y su efecto en los peces, se tienen las siguientes conclusiones generales:

- En el agua superficial, la quebrada Chogñacota presentó concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio que superaron los ECA para agua 2008 en la categoría 3 (DS N.º 002-2008-MINAM) en los puntos PCA-09, AS-09, SR-37 y P-5, siendo estos 2 últimos, puntos de control del administrado; asimismo, comparados de manera referencial con el ECA para agua 2017 (DS N.º 004-2017-MINAM) solo excedió el fluoruro. Se determinó que el origen de las concentraciones de los parámetros mencionados en la quebrada Chogñacota provienen del efluente minero P-4, los cuales no están contemplados en los LMP (DS N.º 010-2010-MINAM).
- En el sedimento, las concentraciones de arsénico, cobre, níquel, plomo y zinc que excedieron referencialmente los valores establecidos en la guía Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL) están asociados al contexto geológico del área evaluada. En cuanto a la movilidad y disponibilidad de dichos metales, estos se encontraron en mayor proporción en la fracción residual estando enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua quedando retenidos en la fase sólida; siendo esta excedencia de metales en sedimento una condición natural de la zona de estudio.
- En el río Antauta, se capturaron 3 peces de la especie *Oncorhynchus mykiss* (Trucha) y 101 del género *Trichomycterus* (Bagre) en los 3 puntos aguas arriba del aporte de la quebrada Chogñacota; mientras que en el punto P-7, ubicado aguas abajo, no se obtuvo registro de ningún pez. Del análisis de cadmio, mercurio y plomo en el tejido muscular, ninguno de estos metales excedió los valores de la norma referencial «Indicadores sanitarios y de Inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para el mercado nacional y de exportación (2016)» del Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (Sanipes). Cabe precisar que en este punto se evidenció un ligero cambio en la coloración, disminuyendo su transparencia, condición similar a lo observado en la quebrada Chogñacota (P-5).

Específicas

Del análisis de los resultados de las 4 zonas de evaluación (Zona 1: Microcuencas Larancota, Zona 2: Microcuencas Chogñacota, Chuquisani y Paccha, Zona 3: río Antauta y Zona 4: Lagunas), se llegaron a las siguientes conclusiones específicas:

Zona 1: Microcuenca Larancota

- Respecto a la calidad del agua superficial, se evaluaron 5 puntos distribuidos en las quebradas Larancota, Vilacota y Caquene, cuyos parámetros no superaron los ECA para agua categoría 3: D1 Riego de vegetales y D2: Bebida de animales (ECA 2008 y 2017); asimismo el efluente doméstico R-2 cumplió con los LMP para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (DS N.º 003-2010-MINAM). Lo

anteriormente descrito evidenció que en la presente evaluación no hubo influencia del depósito de desmonte Larancota ni del efluente doméstico sobre la calidad del agua en las quebradas evaluadas.

- Con relación al agua subterránea, los valores de pH registrados en los manantiales M-13, M-22 y M-23; así como en los piezómetros BH-LA13-01, BH-LA17-05 y BH-LA17-06 incumplieron referencialmente los ECA para agua Categoría 1: A1 aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección (2008 y 2017). Así también, los valores de arsénico, hierro y plomo en el punto BH-LA17-06, y de hierro en el punto BH-LA17-05 superaron referencialmente los ECA para agua categoría 1 (2008 y 2017), mientras que las concentraciones de aluminio en estos dos puntos solo superaron el ECA para agua categoría 1 (2008). Cabe precisar que estos metales se encuentran en fase suspendida (mayor al 90%) y relacionados a la presencia de los sólidos suspendidos totales
- La presencia de estos SST se debe a la recarga de los acuíferos que se encuentran en contacto con la Formación Sandia y depósitos glaciofluviales, generando la erosión y transporte (infiltración) de estos materiales disgregados a través de la arena y grava, que se encuentran en la parte inferior de los piezómetros.
- Las concentraciones de metales arsénico, cadmio, cobre, plomo, plata y zinc en el sedimento excedieron los valores establecidos en la guía Canadiense CCME (ISQG-PEL) y la guía USEPA (TEL-PEL), los cuales se deben al contexto geológico el Grupo Ambo y depósitos glaciofluviales en donde se determinó mediante el análisis mineralógico de microscopía óptica la presencia de los minerales arsenopirita, calcopirita, galena, esfarelita y trazas de cadmio. Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad, estos metales se encuentran principalmente en las fracciones 5, 6 y 7 (sulfuros secundarios, sulfuros primarios y residuales); es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.
- Adicionalmente, los resultados históricos muestran que las concentraciones de estos elementos se encontraron con valores similares a lo determinado en el presente estudio y en algunos casos ya se encontraron superando los estándares mencionados.
- La calidad biológica, según el índice ABI, dio como resultados condiciones que variaron entre pésima y mala calidad, debido a la baja riqueza de taxones, donde predominaron organismos preferentes por condiciones de alta carga orgánica. La comunidad de microalgas (perifiton) presentó una composición comunitaria heterogénea donde predominaron los taxones del phylum Bacillariophyta en casi todos los puntos de muestreo, con excepción de LA-WQ-01 (quebrada Larancota).

Zona 2: Microcuenca Chogñacota-Chuquisani

- Todos los puntos evaluados en la quebrada Chogñacota (PCA-09, AS-09, SR-37 y P-5) presentaron concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio, que excedieron los ECA para agua 2008 categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales; además, solo los puntos PCA-09 y AS-09 presentaron concentraciones de hierro total que excedieron dicha norma. De manera referencial los resultados se compararon con el ECA para agua 2017 categoría 3: D1 Riego de vegetales, excediendo las concentraciones de fluoruros en todos los puntos de la quebrada Chogñacota. Los puntos evaluados en la quebrada Chuquisani



(SR-14) y las aguas del canal de no contacto (AS-04) cumplieron con los ECA para agua (2008 y 2017); asimismo, el efluente minero P-4 cumplió con los LMP (DS N.º 010-2010-MINAM).

- Como se evidenció en la presente evaluación, las aguas de la quebrada Chogñacota fueron en su totalidad provenientes de la descarga del efluente minero P-4, donde las concentraciones de fluoruros, sulfatos y calcio presentaron poca variabilidad hasta el punto P-5, lo cual indica que la presencia de estos parámetros en este punto se debe al aporte del efluente minero. Asimismo, según el registro histórico del punto P-5 en el periodo 2012 al 2016, reportado por Minsur S.A., las concentraciones de fluoruros excedieron el ECA para agua (2008) en la categoría 3.
- De acuerdo al balance de masa calculados a partir de los resultados en los puntos SR-37 (quebrada Chogñacota) y SR-14 (quebrada Chuquisani), se obtuvo que las concentraciones de fluoruros (15,2 mg/L), sulfatos (387,2 mg/L) y calcio (251 mg/L) superaron los ECA para agua 2008, no cumpliendo con los resultados esperados para una zona de mezcla según la ANA.
- Las aguas subterráneas de los piezómetros BHSR-KP16-13, BHSR-KP17-05 y DH16-05 presentaron valores de pH que incumplieron referencialmente los ECA para agua categoría 1 (2008 y 2017), además en todos los puntos de agua subterránea se incumplen los ECA para agua categoría 1 (2008 y 2017) para al menos alguno de los siguientes metales: aluminio, antimonio, boro, hierro, manganeso y plomo.
- El agua subterránea del piezómetro VW-20, ubicado en la parte baja del depósito de relaves B3 fue de tipo sulfatada cálcica con concentraciones de iones mayoritarios sulfato y calcio de 8,174 meq-l y 6,986 meq-l respectivamente, y elevadas concentraciones de arsénico, calcio, cobalto, boro, hierro y manganeso respecto a las aguas subterráneas de los piezómetros ubicados aguas abajo, debido al aporte de las infiltraciones de los depósitos de relaves B2 y B3. De acuerdo a lo declarado en el IGA, estas filtraciones son captadas en el dren basal y recirculadas mediante rebombeo.
- Los metales de arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc en el sedimento excedieron los valores establecidos en la guía canadiense CCME (ISQG-PEL) y la guía USEPA (TEL-PEL), los cuales se encontraron asociados a las rocas (intrusivo, vetas, fracturas mineralizadas) y depósitos Cuaternarios presentes en esta zona. Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad, estos metales se encuentran principalmente en las fracciones 6 y 7 (sulfuros primarios y residuales) de acuerdo al ensayo Dold y en la fracción 6 (residual) de acuerdo al análisis de Tessier; es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.
- Las comunidades hidrobiológicas presentaron bajos valores de riqueza de taxones en todos los puntos de muestreo de la quebrada Chogñacota, tanto para la comunidad de microalgas del perifiton como de macroinvertebrados bentónicos.
- La calidad biológica, según el índice ABI, dio como resultado condiciones que variaron entre pésima y mala calidad solamente en los puntos de muestreo de la quebrada Chogñacota, lo cual se debe a la baja riqueza de taxones y el predominio de taxones



tolerantes y facultativos, donde no se registraron taxones sensibles como Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera que son los órdenes que poseen buen potencial como indicadores del buen estado ecológico del hábitat y la calidad del agua.

Zona 3: Río Antauta

- En el río Antauta, el punto LA-WQ-04 ubicado aguas arriba de la confluencia con la quebrada Caquene presentó característica alcalina (facie bicarbonatada cálcica y pH básico) y después de la confluencia con la quebrada Caquene, los puntos SR-WQ-11 y P-6 mantuvieron la misma característica; mientras que el punto P-7, ubicado aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota, disminuyó su valor de pH y presentó una facie sulfatada cálcica. Estos datos son similares a lo registrado en la data histórica, evidenciando que el aporte de la quebrada Chogñacota influye en la disminución del valor de pH.
- Con respecto a las concentraciones de fluoruros en el río Antauta, los puntos LA-WQ-04, SR-WQ-11, P-6 y la quebrada Caquene (LA-WQ-03), presentaron bajas concentraciones de fluoruro a diferencia del punto P-7 que registró una concentración que excedió el ECA para agua 2008, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales. El incremento de la concentración de fluoruro en el punto P-7 se debe al aporte de la quebrada Chogñacota, que también presentó altas concentraciones de fluoruros a diferencia de las otras quebradas aportantes.
- En el río Antauta, los puntos de sedimento SED-02 y LA-WQ-04, ubicados aguas arriba de la confluencia con la quebrada Caquene, presentaron concentraciones de arsénico, cobre y níquel que superaron los valores de la guía Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL); aguas abajo de esta confluencia, además de los metales antes mencionados se evidencia el incremento en las concentraciones de cadmio, plata y zinc producto del aporte por el transporte de los sedimentos de la quebrada Caquene, y aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chogñacota se adiciona el plomo, llegando a superar los valores de las guías en mención. Cabe precisar que estos metales en las quebradas Caquene y Chogñacota se encontraron en las 3 últimas fracciones residuales de Tessier y Dold, demostrando que estas concentraciones se deben a fuentes litológicas y edáficas.
- En el río Antauta, la comunidad de microalgas (perifiton) y macroinvertebrados bentónicos presentaron valores de riqueza de taxones, en general, mayores a las zonas 1 y 2 evaluadas. La comunidad de microalgas presentó una composición comunitaria heterogénea donde predominaron las bacillariophytas; mientras que la comunidad de macroinvertebrados presentó valores de calidad biológica que varió entre moderada y muy buena.
- En el río Antauta, se capturaron peces de los géneros Oncorhynchus y Trichomycterus en los 3 puntos aguas arriba del aporte de la quebrada Chogñacota; mientras que en P-7, ubicado aguas abajo, no se obtuvo registro de estos. Cabe precisar que en este punto se evidenció un ligero cambio en la coloración, disminuyendo su transparencia, condición similar a lo observado en la quebrada Chogñacota (P-5).



Zona 4: Lagunas

- Las aguas de las lagunas Estancococha, Suyrococha y Chogñacota presentaron valores de pH ácido y concentraciones de metales totales: cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc y cadmio disuelto que incumplieron los ECA para agua 2008 y 2017 en la categoría 4: Lagunas; esta característica de acidez facilita la presencia de organismos tolerantes a estas condiciones en las comunidades de microalgas (perifiton) y del fitoplancton. La presencia de metales se encuentra relacionada al contexto geológico local, comprendido por minerales de sulfuros generadores de acidez y por la presencia de minerales como la calcopirita (CuFeS_2), esfarelita (ZnS), galena (PbS_2) y elementos trazas de cadmio y níquel, que se encuentran presentes en la litología de la zona.
- El arsénico, cadmio, cobre, níquel, plata, plomo y zinc en sedimento que excedieron los valores establecidos en la guía Canadiense CCME (ISQG- PEL) y USEPA (TEL-PEL), se encontraron asociados a las rocas y depósitos cuaternarios presentes en esta zona y observados en el análisis de metales totales, análisis mineralógico y test de lixiviación. Desde el punto de vista de la movilidad y disponibilidad, estos metales se encuentran principalmente en las fracciones 6 y 7 (sulfuros primarios y residuales) de acuerdo al ensayo Dold y en la fracción 6 (residual) de acuerdo al análisis de Tessier; es decir, estos metales están enlazados al sedimento, lo que no permite su fácil disolución e incorporación al agua, quedando retenidos en la fase sólida, siendo esta excedencia de metales en sedimento condiciones naturales de la zona de estudio.

9. ANEXOS

Anexo 1: Mapas

Anexo 1.1. Mapa de ubicación

Anexo 1.2. Mapa de puntos de monitoreo

Anexo 1.3. Mapa hidroquímico

Anexo 1.4. Mapa geológico

Anexo 2: Reporte de campo RC-027-2020-STEC

Anexo 3: Reporte de resultados RRE-025-2020-STEC

Anexo 4: Tabla histórico de sedimento

Anexo 5: Otros documentos

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, E. O. (2006). Drenaje Ácido de Mina: Generación y Tratamiento. Madrid. IGME.
- Arenas Figueroa, M. (1999) - Exploración y geología de la mina San Rafael, Puno. Trabajo presentado al Primer Congreso de Prospectores y Exploradores, Lima 1999. Minería, n. 260, pp. 10-31, mayo 1999.
- Chu, G., Sun, Q., Rioual, P., Boltovskoy, A., Liu, Q., Sun, P., Han, J., Liu, J., (2008), Distinct microlaminations and freshwater "red tides" recorded in Lake Xiaolongwan, northeastern China: Journal of Paleolimnology v. 39(3), p. 319–333.
- Clark, H. (1983). Ocurrencia y edad de la mineralización de estaño en la Cordillera Sur del Perú. Boletín de la Society of Economic Geologists.



- Clark A., Farrar E., Kontak D., Langridge R. (1990) *Geologic and Geochronologic Constrain on the Metallogenic Evolution of the Andes of Southwestern Perú*. Economic Geology Vol. 85, pp. 1520-1583.
- D.M. Hill MO. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. Ecology 54: 427–432.
- Dold, B. (2003). *Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfide mine waste*. Journal of Geochemical Exploration, 80, 55-68.
- Domenech, X., & Peral, J. (2006). Química Ambiental de Sistemas Terrestres. Ed. Reverte S.A, Barcelona, España.
- Guamán-Burneo, M. C. y González R., N. (2016). Catálogo de Microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador: Biodiversidad de los principales géneros de microalgas y cianobacterias encontrados en sistemas lacustres de Áreas Protegidas de los Andes y Amazonía del Ecuador. Corporación para la Investigación Energética, Laboratorio de Biotecnología Energética, Quito, Ecuador.
- Kontak, D.J. (1984), "The Magmatic and Metallogenetic evolution of a craton orogenic interfaces: the Cordillera of Carabaya, Perú", Ph.D. Thesis Queen's University, Canada, 714 P.1039-1073.
- Liévano, A.; Ospina, R. (2007). Guía ilustrada de los macroinvertebrados acuáticos del río Bahamón. Bogotá D.C. Universidad El Bosque e Instituto Alexander Von Humboldt. Bogotá, D. C. 130p.
- Magurran A. 1988. Ecological diversity and its measurement, 179 pp. Princeton University Press, New Jersey.
- Margalef, R. (1955). Los organismos indicadores en la limnología. Biología de las aguas continentales, 12. Instituto Forestal de Investigaciones y experiencias. Ministerio de Agricultura. Madrid. 308 pp.
- Namiesnik, J., & Rabajczyk, A. (2010). The Speciation and physico-chemical forms of metal in surface waters and sediments. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 22(1), 1-24. <https://doi.org/10.3184/095422910X12632119406391>
- Ospina, T.R. Riss, W., Ruíz, J.L. (1999). Guía para la identificación genérica de larvas de quironómidos (Diptera: Chironomidae: Orthocladiinae) de la Sabana de Bogotá. Pp. 363-383.
- Paggi, A. C. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. Actas del IV Congreso argentino de Entomología. Mar del Plata, 8-12 de marzo de 1998. Rev. Soc. Entomol. Argent. 58 (1-2): 202- 207.
- Palma, V. (1981). *The San Rafael Tin-Copper Lode System*, Puno, SE Perú. Ottawa: Queen's University Canada.
- Pitter, P. (2006). Hydrochemistry (in Czech). 4ta Ed. Institute of Chemical Technology.
- Prescott, G.W. (1951). Algae of Western Great Lakes Area. W.M.C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, 977p.
- Price, W.A. (1997). Draft Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia.
- Rimet F, Ector L, Cauchie H. M, Hoffmann L. (2004). Regional distribution of diatom assemblages in the headwater streams of Luxembourg. Hydrobiologia. 520(1-3):105-117.



- Roldán, G, Zúñiga, M. del C, Zamora, H, Álvarez, L.F. Reinoso, G. & M. Longo, M. (2014). Capítulo de Colombia. En: Perla Alonso-Eguíalis, José Manuel Mora, Bruce Campbell y Monika Springer, Editores 2014. Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico. IMTA México.
- Round, F. E., R. M. Crawford & D.G. Mann (1990): The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge. 747 pp.
- Sandeman, H.A.; Clark, A.H.; Farrar, E. (1995). *An integrated tectonomagmatic model for the evolution of the southern Peruvian Andes (13-20°S) since 55 Ma*. International Geology Review 37
- Slaninova, A., Machova, J., & Svobodova, Z. (2014). Fish kill caused by aluminium and iron contamination in a natural pond used for fish rearing: a case report. *Veterinarni Medicina*, 59(11), 573-581.
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú / Departamento de Limnología – Lima: Ministerio del Ambiente
- Wedepohl, K.H. (1984). *The composition of the continental crust (abstract)*. Mineral. Mag. 58, suppl. 959-960.
- Wedepohl, K.H., (1995). *The composition of the continental-crust*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 1217e1232