2019-I01-014872

INFORME N. ° 00046 -2019-OEFA/DEAM-STEC

A	:	FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN Director de Evaluación Ambiental
DE	:	LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS Subdirector de la Subdirección Técnica Científica LUIS ÁNGEL ANCCO PICHUILLA Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y Energía RICHARD TEODORO JULCA CRUZ Especialista de Evaluaciones Ambientales
ASUNTO	:	Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad minera Raura de Compañía Minera Raura S.A.-2018
CUE	:	2018-01-0009
CUC	:	013-6-2018-401 y 004-9-2018-401
REFERENCIA	:	Planefa 2018
FECHA	:	Lima, 25 de marzo de 2019

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

1. INFORMACIÓN GENERAL

Los aspectos generales de la evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad minera Raura, se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Datos generales de la evaluación ambiental

a.	Zona evaluada	Distritos San Miguel de Cauri y Oyón, provincias Lauricocha y Oyón, departamentos Huánuco y Lima
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio	Unidad minera Raura
c.	Problemática identificada	Presunta afectación de los componentes ambientales agua y suelo
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2018
e.	Tipo de evaluación	Evaluación ambiental que determina causalidad

Profesionales que aportaron al estudio

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.°	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Richard Teodoro Julca Cruz	Ingeniero Químico	Campo y gabinete
2	Osler Panduro Flores	Ingeniero Ambiental	Campo y gabinete
3	Kilmenia Luna Campos	Biólogo	Campo y gabinete
4	José Sócrates Pancca Chino	Ingeniero Ambiental	Campo y gabinete
5	Jacqueline Jannet Pechuga Melgar	Geólogo	Campo y gabinete
6	Krover Wilian Lazarte Ponce	Ingeniero Geofísico	Campo y gabinete

N.°	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
7	Juan Carlos Fernández Cerna	Biólogo	Gabinete
8	Raúl Magno Vega Chuco	Ingeniero Agrícola	Gabinete
9	Darwin Ernesto Orós Guzmán	Ingeniero Ambiental	Gabinete
10	Shianny Vásquez Cardeña	Geólogo	Gabinete
11	Luis Ángel Ancco Pichuilla	Ingeniero Químico	Gabinete
12	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero Químico	Gabinete

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros y matrices evaluadas en el área de influencia de la unidad minera Raura, se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Puntos y matrices evaluadas

Matriz evaluada	Fecha	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos evaluados
Agua subterránea	Del 18/06/2018 al 30/06/2018	Potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, temperatura, bicarbonato, carbonato, cloruros, sulfatos, sólidos totales suspendidos, nitrógeno total, cianuro total, demanda química de oxígeno, metales totales, metales disueltos	22
Efluente minero			1
Suelo		Metales totales, cianuro libre, cromo hexavalente, análisis granulométrico, pH, extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier, materia orgánica, análisis mineralógico	186
Componente minero		Metales totales, extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier, SPLP (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*), ABA (*Acid Base Accounting*), análisis mineralógico, análisis granulométrico	17
Agua superficial	Del 10/09/2018 al 30/09/2018	Potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, potencial de oxidación-reducción, temperatura, bicarbonato,	121
Efluente minero			6

Matriz evaluada	Fecha	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos evaluados
Agua residual doméstica	Del 10/09/2018 al 30/09/2018	carbonato, cloruros, sulfatos, sólidos totales suspendidos, nitrógeno total, cianuro total, demanda química de oxígeno, metales totales, metales disueltos	1
Agua residual industrial			8
Comunidades hidrobiológicas		Fitoplancton y zooplancton	76
		Macroinvertebrados bentónicos	21
		Perifiton	37
		Necton	5
Sedimento		Metales totales, extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier, pH, análisis granulométrico, lixiviación SPLP (Metales), análisis mineralógico	38
Lodo			3
Prospección geofísica		Resistividad	12*
Suelo	07/11/2018 al 11/11/2018	Metales totales, cianuro libre, cromo hexavalente, ABA (*Acid Base Accounting*)	31

*: Líneas tomográficas

Los parámetros que incumplieron la normativa en el área de influencia de la unidad minera Raura de Compañía Minera Raura S.A., se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros que incumplen o exceden normativa ambiental

AGUA SUPERFICIAL		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
pH	Laguna Nieve Ucro: LNieU-08	Laguna Niñococha: LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-05 y LNiñC-05-F Laguna Santa Ana: LSanB-02, LSanB-02-T, LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F y LSanB-07
Oxígeno disuelto	No aplica	Quebrada S/N 9: QLSN-01
Sólidos totales disueltos	No aplica	Quebrada S/N 9: QNiñC-03 Quebrada S/N 1: QNiñC-05, QSanAB-01
Nitrógeno total	No aplica	Laguna Siete Caballeros: L7Caba-01
Arsénico total	Laguna Nieve Ucro: LNieU-06, LNieU-07 y LNieU-08	No aplica

AGUA SUPERFICIAL		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Cobre total	No aplica	Quebrada S/N 9: QNiñC-03 Quebrada S/N 1: QNiñC-05, QSanAB-01
Plomo total	Laguna Santa Ana: LSanB-02, LSanB-02-T, LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F y LSanB-07 Quebrada S/N 9: QLSN-01 Quebrada S/N 1: QSanAB-01 Laguna Nieve Ucro: LNieU-01, LNieU-04, LNieU-06, LNieU-07 y LNieU-08	Laguna Niño Perdido: LNiñP-01, LNiñP-02, LNiñP-02-F, LNiñP-03 y LNiñP-04 Laguna Locacocha: LLoca-10-T y LLoca-10-F Laguna Niñococha: LNiñC-03-F y LNiñC-05 Canal de coronación de botadero Niñococha: QNiñC-01 Quebrada S/N 9: QLSN-01 y QNiñC-03 Quebrada S/N 1: QNiñC-05, QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Santa Ana: LSanB-02, LSanB-02-T, LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F y LSanB-07 Laguna Caballococha: LCaba-01, LCaba-02, LCaba-02-F, LCaba-03, LCaba-04, LCaba-04-T, LCaba-04-F, LCaba-07, LCaba-07-T, LCaba-07-F, LCaba-08, LCaba-08-T, LCaba-08-F, LCaba-12, LCaba-12-T, LCaba-12-F, LCaba-14, LCaba-14-T y LCaba-14-F Laguna Nieve Ucro: LNieU-06, LNieU-07 y LNieU-08 Laguna Tinquicocha: LTinq-02, LTinq-02-T, LTinq-09-T, LTinq-16 y LTinq-19-T Quebrada S/N: QRupa-03, DRupa-01 y QRupa-04. Laguna Rupahuay: LRupa-01, LRupa-01-F, LRupa-03, LRupa-03-T, LRupa-03-F, LRupa-05, LRupa-05-F, LRupa-08, LRupa-09, LRupa-09-F y LRupa-12 Río Quichas: QRupa-02, QRupa-08, QRupa-05 y QLRumb-04
Selenio total	No aplica	Laguna Niñococha: LNiñC-05 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Santa Ana: LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F y LSanB-07 Quebrada S/N 2: QL7Caba-02 Laguna Nieve Ucro: LNieU-01, LNieU-04 y LNieU-08

AGUA SUPERFICIAL		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA [1]	Vigente [2]
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Zinc total	No aplica	Laguna Niñococha: LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-03-F, LNiñC-05 y LNiñC-05-F Canal de coronación de botadero Niñococha: QNiñC-01 Quebrada S/N 9: QNiñC-03 Quebrada S/N 1: QNiñC-05, QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Santa Ana: LSanB-03-F Laguna Tinquicocha: LTinq-01, LTinq-02, LTinq-02-T, LTinq-02-F, LTinq-09, LTinq-09-T, LTinq-09-F, LTinq-10, LTinq-13, LTinq-16, LTinq-18, LTinq-19, LTinq-19-T y LTinq-19-F Quebrada S/N: DRupa-01 y QRupa-04. Laguna Rupahuay: LRupa-01, LRupa-01-F, LRupa-03, LRupa-03-T, LRupa-03-F, LRupa-05, LRupa-05-F, LRupa-08, LRupa-09, LRupa-09-F y LRupa-12 Río Quichas QRupa-02, QRupa-08, QRupa-05 y QLRumb-04
Talio total	No aplica	Quebrada S/N 2: QL7Caba-02
Cadmio disuelto	No aplica	Laguna Niñococha: LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-03-F, LNiñC-05 y LNiñC-05-F Quebrada S/N 9: QNiñC-03 Quebrada S/N 1: QNiñC-05, QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Tinquicocha: LTinq-01, LTinq-02, LTinq-02-T, LTinq-02-F, LTinq-09, LTinq-09-T, LTinq-09-F, LTinq-10, LTinq-13, LTinq-16, LTinq-18, LTinq-19, LTinq-19-T y LTinq-19-F Quebrada S/N: DRupa-01 y QRupa-04 Laguna Rupahuay LRupa-01, LRupa-01-F, LRupa-03-T, LRupa-03-F, LRupa-05 y LRupa-05-F

AGUA SUBTERRÁNEA		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Primer monitoreo (junio)	
pH	AS-04	AS-04 y PR-105
Oxígeno disuelto	AS-02, PZ-03, AS-04, AS-05 y PZ-06	PZ-NP-01, AS-02, PZ-03, AS-04, AS-05, PZ-01, PZ-04.1, PZ-104, PZ-06, AS-01, PE-03, PE-06, PR-105, PR-101 y PR-104
Bicarbonato	No aplica	PZ-04.1
Sulfato	No aplica	PZ-01
Aluminio total	No aplica	PZ-NP-01, PZ-04.1,
Arsénico total	AS-03, PZ-03 y AS-04	PZ-03, AS-04, PZ-04.1 y PR-104
Cadmio total	No aplica	PZ-04.1
Hierro total	AS-02, AS-03 y PZ-03	PZ-NP-01, AS-03, PZ-01, PZ-04.1, PZ-104, AS-01
Manganeso total	AS-02 y PZ-03	PZ-NP-01, AS-02, PZ-03, PZ-01, PZ-04.1, AS-01 y PR-104.
Plomo total	AS-02	PZ-NP-01, AS-02, PZ-01, PZ-04.1, PZ-104 y AS-01
Zinc total	No aplica	PZ-01 y PZ-04.1
EFLUENTE MINERO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
pH	No aplica	V-1
Demanda química de oxigeno	No aplica	V-1
Sólidos suspendidos totales	No aplica	FNiñP-01, FNiñC-09
Hierro disuelto	No aplica	FNiñC-09
Zinc total	No aplica	FNiñC-09, FTinqco-04
Plomo	No aplica	FNinP-01
SEDIMENTO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Arsénico	No aplica	Laguna Locacocha: LLoca-SED-01, LLoca-SED-12, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B LLoca-SED-10. Quebrada S/N 5: QNiñC-04 Laguna Niñococha: LNiñC-SED-01 y LNiñC-SED-07 Laguna Niño Perdido: LNiñP-SED-05, LNiñP-SED-04 y LNiñP-SED-06 Laguna sin Nombre: QLSN-01 Laguna Santa Ana: LSanB-SED-08, LSanB-SED-09 Quebrada S/N 1: QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02

SEDIMENTO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA [1]	Vigente [2]
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Arsénico	No aplica	Laguna Siete Caballeros: L7Caba-SED-01, L7Caba-SED-02 y L7Caba-SED-03. Quebrada S/N 2: QL7Caba-02 Laguna Nieve Ucro: LNieU-SED-08, LNieU-SED-07, LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A, LNieU-SED-01-B y LNieU-SED-01-C Laguna Caballococha: LCaba-SED-02, LCaba-SED-04, LCaba-SED-15 y LCaba-SED-14. Quebrada S/N 12: Qcaba-05 Laguna Tinquicocha: LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20. Laguna Yanacocha: LYana-SED-01, LYana-SED-02 y LYana-SED-03 Quebrada S/N: QRupa-03 y QRupa-04. Laguna Rupahuay: LRupa-SED-13-A, LRupa-SED-13-B, LRupa-SED-14, LRupa-SED-08 y LRupa-SED-12. Quebrada S/N 6: QRupa-06 Rio Quíchas: QRupa-08, QRupa-05, QLRumb-04, QLRumb-01 y QLRumb-02. Quebrada Chaco: QVeta-01 Quebrada S/N 7: QLRumb-03 Laguna Rumbrococha: LRumb-SED-07-A, LRumb-SED-07-B y LRumb-SED-07-C
Cadmio	No aplica	Laguna Locacocha: LLoca-SED-01, LLoca-SED-12, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B LLoca-SED-10. Quebrada S/N 5: QNiñC-04 Laguna Niñococha: LNiñC-SED-01 y LNiñC-SED-07 Laguna Niño Perdido: LNiñP-SED-05, LNiñP-SED-04 y LNiñP-SED-06 Laguna sin Nombre: QLSN-01 Laguna Santa Ana: LSanB-SED-08, LSanB-SED-09 Quebrada S/N 1: QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02

SEDIMENTO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Cadmio	No aplica	Laguna Siete Caballeros: L7Caba-SED-02 y L7Caba-SED-03. Quebrada S/N 2: QL7Caba-02 Laguna Nieve Ucro: LNieU-SED-08, LNieU-SED-07, LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A, LNieU-SED-01-B y LNieU-SED-01-C Laguna Caballococha: LCaba-SED-02, LCaba-SED-04, LCaba-SED-15 y LCaba-SED-14. Quebrada S/N 12: Qcaba-05 Laguna Tinquicocha: LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20 Laguna Yanacocha: LYana-SED-01, LYana-SED-02 y LYana-SED-03 Quebrada S/N: QRupa-03 y QRupa-04. Laguna Rupahuay: LRupa-SED-13-A, LRupa-SED-13-B, LRupa-SED-14, LRupa-SED-08 y LRupa-SED-12. Quebrada S/N 6: QRupa-06 Rio Quíchas: QRupa-08, QRupa-05, QLRumb-04, QLRumb-01 y QLRumb-02. Laguna Rumbrococha: LRumb-SED-07-A y LRumb-SED-07-C
Cobre	No aplica	Laguna Locacocha: LLoca-SED-01, LLoca-SED-12, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B LLoca-SED-10. Quebrada S/N 5: QNiñC-04 Laguna Niñococha: LNiñC-SED-01 y LNiñC-SED-07 Laguna Niño Perdido: LNiñP-SED-05, LNiñP-SED-04 y LNiñP-SED-06 Laguna sin Nombre: QLSN-01 Laguna Santa Ana: LSanB-SED-08, LSanB-SED-09 Quebrada S/N 1: QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Siete Caballeros: L7Caba-SED-02 Laguna Nieve Ucro: LNieU-SED-08, LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A, LNieU-SED-01-B y LNieU-SED-01-C

SEDIMENTO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Cobre	No aplica	Laguna Caballococha: LCaba-SED-02, LCaba-SED-04, LCaba-SED-15 y LCaba-SED-14. Quebrada S/N 12: Qcaba-05 Laguna Tinquicocha: LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20 Laguna Yanacocha: LYana-SED-03 Quebrada S/N: QRupa-03 y QRupa-04. Laguna Rupahuay: LRupa-SED-13-B, LRupa-SED-14, LRupa-SED-08 y LRupa-SED-12. Rio Quíchas: QRupa-08 y QRupa-05. Laguna Rumbrococha: LRumb-SED-07-C
Cromo	No aplica	Laguna Nieve Ucro: LNieU-SED-08, LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A, LNieU-SED-01-B y LNieU-SED-01-C Laguna Caballococha: LCaba-SED-02, LCaba-SED-04 y LCaba-SED-15. Laguna Tinquicocha: LTinq-SED-20
Mercurio	No aplica	Laguna Santa Ana: LSanB-SED-08, LSanB-SED-09 Quebrada S/N 1: QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Siete Caballeros: L7Caba-SED-01, L7Caba-SED-02 y L7Caba-SED-03. Quebrada S/N 2: QL7Caba-02 Laguna Nieve Ucro: LNieU-SED-08, LNieU-SED-07, LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A y LNieU-SED-01-B. Laguna Caballococha: LCaba-SED-04 y LCaba-SED-15. Quebrada S/N 12: QCaba-05 Laguna Tinquicocha: LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20. Quebrada S/N: QRupa-04. Laguna Rupahuay: LRupa-SED-14
Plomo	No aplica	Laguna Locacocha: LLoca-SED-01, LLoca-SED-12, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B LLoca-SED-10

SEDIMENTO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Plomo	No aplica	Quebrada S/N 5: QNiñC-04 Laguna Niñococha: LNiñC-SED-01 y LNiñC-SED-07 Laguna Niño Perdido: LNiñP-SED-05, LNiñP-SED-04 y LNiñP-SED-06 Laguna sin Nombre: QLSN-01 Laguna Santa Ana: LSanB-SED-08, LSanB-SED-09 Quebrada S/N 1: QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Siete Caballeros: L7Caba-SED-02 Quebrada S/N 2: QL7Caba-02 Laguna Nieve Ucro: LNieU-SED-08, LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A, LNieU-SED-01-B y LNieU-SED-01-C Laguna Caballococha: LCaba-SED-02, LCaba-SED-04, LCaba-SED-15 y LCaba-SED-14 Quebrada S/N 12: Qcaba-05 Laguna Tinquicocha: LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20 Laguna Yanacocha: LYana-SED-02 y LYana-SED-03 Quebrada S/N: QRupa-03 y QRupa-04 Laguna Rupahuay: LRupa-SED-13-A, LRupa-SED-13-B, LRupa-SED-14, LRupa-SED-08 y LRupa-SED-12 Rio Quíchas: QRupa-08, QRupa-05, QLRumb-04, QLRumb-01 y QLRumb-02 Quebrada Chaco: QVeta-01 Laguna Rumbrococha: LRumb-SED-07-A y LRumb-SED-07-C
Zinc	No aplica	Laguna Locacocha: LLoca-SED-01, LLoca-SED-12, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B LLoca-SED-10. Quebrada S/N 5: QNiñC-04 Laguna Niñococha: LNiñC-SED-01 y LNiñC-SED-07 Laguna Niño Perdido: LNiñP-SED-05, LNiñP-SED-04 y LNiñP-SED-06

SEDIMENTO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Segundo monitoreo (setiembre)	
Zinc	No aplica	Laguna sin Nombre: QLSN-01 Laguna Santa Ana: LSanB-SED-08, LSanB-SED-09 Quebrada S/N 1: QSanAB-01 Quebrada S/N 10: QSanAB-02 Laguna Siete Caballeros: L7Caba-SED-02 Quebrada S/N 2: QL7Caba-02 Laguna Nieve Ucro: LNieU-SED-08, LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A, LNieU-SED-01-B y LNieU-SED-01-C Laguna Caballococha: LCaba-SED-02, LCaba-SED-04, LCaba-SED-15 y LCaba-SED-14 Quebrada S/N 12: Qcaba-05 Laguna Tinquicocha: LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20 Laguna Yanacocha: LYana-SED-01, LYana-SED-02 y LYana-SED-03 Quebrada S/N: QRupa-03 y QRupa-04. Laguna Rupahuay: LRupa-SED-13-A, LRupa-SED-13-B, LRupa-SED-14, LRupa-SED-08 y LRupa-SED-12 Rio Quíchas: QRupa-08, QRupa-05, QLRumb-04, QLRumb-01 y QLRumb-02. Quebrada Chaco: QVeta-01 Laguna Rumbrococha: LRumb-SED-07-A y LRumb-SED-07-C
SUELO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Primer monitoreo (junio)	
Arsénico	API Niño Perdido 1: API_NNP_6 API Primavera: API_TP_18, API_TP_22, API_TP_23 y API_TP_25. API Nieve Ucro: API_NIEV_1, API_NIEV_3, API_NIEV_4, API_NIEV_5 API_NIEV_6, API_NIEV_7, API_NIEV_8, API_NIEV_9 API_NIEV_10, API_NIEV_11 API_NIEV_12, API_NIEV_13 API_NIEV_14, API_NIEV_15	API Niño Perdido 1: API_NNP_6 API Primavera: API_TP_18, API_TP_22, API_TP_23 y API_TP_25. API Nieve Ucro: API_NIEV_1, API_NIEV_3, API_NIEV_4, API_NIEV_5 API_NIEV_6, API_NIEV_7, API_NIEV_8, API_NIEV_9 API_NIEV_10, API_NIEV_11 API_NIEV_12, API_NIEV_13 API_NIEV_14, API_NIEV_15

SUELO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Primer monitoreo (junio)	
Arsénico	API_NIEV_16, API_NIEV_17 API_NIEV_18, API_NIEV_19 API_NIEV_20, API_NIEV_22, API_NIEV_23, API_NIEV_24 API_NIEV_25, API_NIEV_28, API_NIEV_29, API_NIEV_30, API Caballococha: API_CABA_1, API_CABA_8, API_CABA_11, API_CABA_14, API_CABA_15 y API_CABA_17. API Tinquicocha: API_TINQ_1, API_TINQ_2, API_TINQ_3A, API_TINQ_3B API_TINQ_3C, API_TINQ_4 API_TINQ_5, API_TINQ_6 API_TINQ_7, API_TINQ_8 API_TINQ_9, API_TINQ_10 API_TINQ_11, API_TINQ_12 API_TINQ_13, API_TINQ_14A API_TINQ_14B, API_TINQ_16 API_TINQ_17, API_TINQ_18 API_TINQ_20, API_TINQ_21 API_TINQ_22, API_TINQ_24, API_TINQ_26, API_TINQ_29, API_TINQ_30, API_TINQ_31 API_TINQ_32, API_TINQ_33. API Rupahuay: API_RUPA_5, API_RUPA_8, API_RUPA_11, API_RUPA_21, API_RUPA_36, API_RUPA_42, API_RUPA_47, API_RUPA_52, API_RUPA_53, API_RUPA_59, API_RUPA_66, API_RUPA_67, API_RUPA_69, API_RUPA_73, API_RUPA_74A, API_RUPA_81, API_RUPA_85 y API_RUPA_89.	API_NIEV_16, API_NIEV_17 API_NIEV_18, API_NIEV_19 API_NIEV_20, API_NIEV_22, API_NIEV_23, API_NIEV_24 API_NIEV_25, API_NIEV_28, API_NIEV_29, API_NIEV_30, API Caballococha: API_CABA_1, API_CABA_8, API_CABA_11, API_CABA_14, API_CABA_15 y API_CABA_17. API Tinquicocha: API_TINQ_1, API_TINQ_2, API_TINQ_3A, API_TINQ_3B API_TINQ_3C, API_TINQ_4 API_TINQ_5, API_TINQ_6 API_TINQ_7, API_TINQ_8 API_TINQ_9, API_TINQ_10 API_TINQ_11, API_TINQ_12 API_TINQ_13, API_TINQ_14A API_TINQ_14B, API_TINQ_16 API_TINQ_17, API_TINQ_18 API_TINQ_20, API_TINQ_21 API_TINQ_22, API_TINQ_24, API_TINQ_26, API_TINQ_29, API_TINQ_30, API_TINQ_31 API_TINQ_32, API_TINQ_33. API Rupahuay: API_RUPA_5, API_RUPA_8, API_RUPA_11, API_RUPA_21, API_RUPA_36, API_RUPA_42, API_RUPA_47, API_RUPA_52, API_RUPA_53, API_RUPA_59, API_RUPA_66, API_RUPA_67, API_RUPA_69, API_RUPA_73, API_RUPA_74A, API_RUPA_81, API_RUPA_85 y API_RUPA_89.
	Tercer monitoreo (noviembre)	
	API Primavera: API_TP_18, API_TP_22, API_TP_23 y API_TP_25.	API Primavera: API_TP_18, API_TP_22, API_TP_23 y API_TP_25.
Cadmio	Primer monitoreo (junio)	
	API Niño Perdido 1: API_NNP_6 API Primavera: API_TP_23, API_TP_25 y API_TP_27. API Nieve Ucro: API_NIEV_24 API Tinquicocha: API_TINQ_1, API_TINQ_3A, API_TINQ_4, API_TINQ_5, API_TINQ_6, API_TINQ_8, API_TINQ_9, API_TINQ_14A y API_TINQ_18	API Niño Perdido 1: API_NNP_6 API Primavera: API_TP_23, API_TP_25 y API_TP_27 API Nieve Ucro: API_NIEV_24 API Tinquicocha: API_TINQ_1, API_TINQ_3A, API_TINQ_4, API_TINQ_5, API_TINQ_6, API_TINQ_8, API_TINQ_9, API_TINQ_14A y API_TINQ_18

SUELO		
Parámetro	Puntos que incumplen o exceden la norma ambiental	
	IGA (1)	Vigente (2)
	Primer monitoreo (junio)	
Cadmio	API Rupahuay: API_RUPA_5, API_RUPA_8, API_RUPA_21, API_RUPA_36, API_RUPA_47 y API_RUPA_52	API Rupahuay: API_RUPA_5, API_RUPA_8, API_RUPA_21, API_RUPA_36, API_RUPA_47 y API_RUPA_52
	Tercer monitoreo (noviembre)	
	API Primavera: API_TP_23, API_TP_25 y API_TP_27	API Primavera: API_TP_23, API_TP_25 y API_TP_27
Cromo	Primer monitoreo (junio)	
	API Nieve Ucro: API_NIEV_10, API_NIEV_13, API_NIEV_14, API_NIEV_18, API_NIEV_24 y API_NIEV_25. API Tinquicocha: API_TINQ_3B	API Nieve Ucro: API_NIEV_10, API_NIEV_13, API_NIEV_14, API_NIEV_18, API_NIEV_24 y API_NIEV_25. API Tinquicocha: API_TINQ_3B
Plomo	Primer monitoreo (junio)	
	API Niño Perdido 2: API_NNP2_10 API Primavera: API_TP_4, API_TP_8, API_TP_13, API_TP_22, API_TP_23, API_TP_25, y API_TP_31 API Nieve Ucro: API_NIEV_10, API_NIEV_18, API_NIEV_24 y API_NIEV_25 API Tinquicocha: API_TINQ_1, API_TINQ_2, API_TINQ_3A, API_TINQ_3B, API_TINQ_4, API_TINQ_5 API_TINQ_6, API_TINQ_7 API_TINQ_8, API_TINQ_9 API_TINQ_10, API_TINQ_12, API_TINQ_13, API_TINQ_14A, API_TINQ_18 API Rupahuay: API_RUPA_5, API_RUPA_21, API_RUPA_29, API_RUPA_33, API_RUPA_36, API_RUPA_47, API_RUPA_53, API_RUPA_59, API_RUPA_69, API_RUPA_73, API_RUPA_74A y API_RUPA_85	API Niño Perdido 2: API_NNP2_8 y API_NNP2_10 API Primavera: API_TP_2, API_TP_3, API_TP_4, API_TP_8, API_TP_13, API_TP_15, API_TP_21, API_TP_22, API_TP_23, API_TP_25, API_TP_27 y API_TP_31 API Nieve Ucro: API_NIEV_9, API_NIEV_10, API_NIEV_13, API_NIEV_14, API_NIEV_15, API_NIEV_18, API_NIEV_19, API_NIEV_22, API_NIEV_23, API_NIEV_24 y API_NIEV_25. API Caballococha: API_CABA_13 API Tinquicocha: API_TINQ_1, API_TINQ_2, API_TINQ_3A, API_TINQ_3B, API_TINQ_4, API_TINQ_5 API_TINQ_6, API_TINQ_7 API_TINQ_8, API_TINQ_9 API_TINQ_10, API_TINQ_12, API_TINQ_13, API_TINQ_14A, API_TINQ_17, API_TINQ_18 y API_TINQ_21 API Rupahuay: API_RUPA_5, API_RUPA_8, API_RUPA_21, API_RUPA_29, API_RUPA_33, API_RUPA_36, API_RUPA_47, API_RUPA_53, API_RUPA_59, API_RUPA_66, API_RUPA_69, API_RUPA_73, API_RUPA_74A, API_RUPA_81 y API_RUPA_85
	Tercer monitoreo (noviembre)	
	API Primavera: API_TP_4, API_TP_8, API_TP_13, API_TP_21, API_TP_22, API_TP_23, API_TP_25 y API_TP_31	API Primavera: API_TP_2, API_TP_3, API_TP_4, API_TP_8, API_TP_13, API_TP_15, API_TP_21, API_TP_22, API_TP_23, API_TP_25, API_TP_27 y API_TP_31

(1) **Agua superficial**: Ley general de aguas para clase III: aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales, y clase VI: aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial (Resolución Jefatural N.° 0291-2009-ANA).

Agua subterránea: Comparada referencialmente con los Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales (Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM).
Suelo: Estándares de calidad ambiental para suelo, para uso industrial/extractivo (Decreto Supremo N.° 002-2013-MINAM).

(2) **Agua superficial:** Comparada referencialmente con los Estándares de calidad ambiental para agua, categoría 4: conservación del ambiente acuático, subcategoría E1: lagunas y lagos (D.S. N.° 004-2017-MINAM)
Agua subterránea: Comparada referencialmente con los Estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, subcategoría D1: riego de vegetales y subcategoría D2: bebidas de animales (Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM)
Efluentes mineros: Para el caso de los efluentes no señalados en los IGA del administrado, se compararon con los Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM), y de manera supletoria para los parámetros demanda química de oxígeno y temperatura con los Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM).
Sedimento: Comparado referencialmente con la Guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales (*Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater*)
Suelo: Comparado referencialmente con los Estándares de calidad ambiental para suelo, para uso industrial/extractivo (Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM).

3. PRINCIPALES CONCLUSIONES

3.1 Zona 1 – Microcuenca de la laguna Santa Ana

Ámbito de la laguna Niño Perdido

En la laguna Niño Perdido, las concentraciones de metales cumplieron con los valores límites establecidos en la LGA Clase VI (R.J. N.° 291-2009-ANA); además, de la comparación referencial con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), la concentración de plomo excedió en todos los puntos evaluados el valor establecido en dicha norma. Asimismo, se observó una disminución de la concentración del plomo y otros metales en comparación con los resultados obtenidos en el 2017.

Al ser comparadas referencialmente con la guía canadiense (CEQG), las concentraciones de plomo, zinc y cadmio en el sedimento de dicha laguna, excedieron los valores establecidos en la referida norma. Además, estos metales se encuentran clasificados como «no contaminado a moderadamente contaminado» en los 6 puntos evaluados en esta laguna; a excepción del plomo en el punto LNiñP-SED-04 que se clasificó como «moderadamente contaminado».

En este extremo, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

Sin perjuicio de lo anterior, el efluente FNiñP-1, ubicado al pie del depósito de desmonte Niño Perdido, presentó concentraciones de sólidos suspendidos totales y plomo, que excedieron los Límites Máximos Permisibles para Efluente Minero– Metalúrgico (D.S. N.° 010-2010-MINAM) en 750 % y 83,1 % respectivamente, teniendo estos parámetros un riesgo ambiental.

Las concentraciones de arsénico y cadmio en el punto API_NNP_6 (1 de 34 puntos), en el suelo contiguo al depósito de desmonte Niño Perdido, excedieron los Estándares de Calidad Ambiental para suelo de uso industrial/extractivo (2013).

Laguna Niñococha

Los puntos de muestreo en la laguna Niñococha cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la

R.J. N.° 291-2009-ANA); además, de la comparación referencial con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), las concentraciones de zinc total y cadmio disuelto en los 6 puntos de muestreo, de plomo en 2 y de selenio en 1 excedieron los valores establecidos en dicha norma.

En la parte baja del depósito de desmonte Niñococha se identificó el efluente FNiñC 1 que descarga a la laguna Niñococha, el cual no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A. Este efluente presentó concentraciones de sulfato (715,3 mg/L), cadmio disuelto (0,00085 mg/L), níquel (0,0052 mg/L), plomo (0,0072 mg/L), y zinc (1,28 mg/L). Asimismo, en la laguna Niñococha se observa un incremento de la concentración de sulfato, plomo y zinc en agua superficial en comparación con los resultados obtenidos entre el 2017 y 2018, lo que estaría asociado principalmente al aportante FNiñC-1.

Las concentraciones de cobre, plomo, y zinc en sedimento al ser comparados referencialmente con el valor PEL de la guía canadiense excedieron los valores establecidos en esta norma en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (5 puntos) y 2018 (2 puntos). De acuerdo al índice de geoacumulación, la presencia de estos metales en 3 puntos de sedimento (LNiñC-SED-07, LNiñC-SED-05 y

LNiñC-SED-02) alcanzó la clasificación de «moderadamente contaminado» por zinc y un punto LNiñC-SED-07, por cobre y plomo. Cabe precisar que, las mayores concentraciones de los metales mencionados se registraron cerca a la descarga del efluente FNiñC 1.

Al respecto, cabe mencionar que es pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en el sedimento de la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Laguna Santa Ana

La concentración de plomo en la laguna Santa Ana en los niveles superficial (3 de 3 puntos), medio (2 de 2 puntos) y fondo (2 de 2 puntos) incumplieron los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA); además, al compararse referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), excedió los valores de pH y concentraciones de selenio, plomo y zinc. Asimismo, las concentraciones de plomo, zinc, y los valores de pH se incrementaron en comparación con los valores reportados en el mes de setiembre del PAMA.

Se identificó en la parte baja del depósito de desmonte Niñococha Etapa II – Depósito 2 (sector norte), el efluente FNiñC-09, que vierte al canal de derivación de aguas de escorrentía que confluye con la quebrada S/N 9 el cual tributa en la quebrada S/N 1. Al comparar los valores obtenidos con los Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM), se evidenció que este excedió los valores para los parámetros SST en 22%, hierro disuelto en 116,6 % y zinc en 728,7 %. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

Adicional a ello, la quebrada S/N 1, principal aportante de la laguna Santa Ana, presentó concentraciones de níquel y plomo que incumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la

R.J. N.° 291-2009-ANA). Si bien el efluente FNiñC-09 aporta plomo (0,0566 mg/L) a la quebrada S/N 1, es importante destacar que no se descartan otras posibles fuentes de aporte de dicho metal.

Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en el sedimento de esta laguna excedieron los valores PEL de la guía canadiense en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (7 puntos) y 2018 (2 puntos). Además, de acuerdo con el índice de geoacumulación, los sedimentos se clasifican como «no contaminado a moderadamente contaminado» por arsénico en 3 de 9 puntos; y de «moderadamente contaminado a fuertemente contaminado» por cadmio en 7 de 9 puntos y zinc en 8 de 9 puntos, y como «fuertemente contaminado» en 1 punto por cadmio y todos los puntos por plomo. Cabe indicar que, la mayor concentración de arsénico y cadmio se encuentra próximo a la descarga de la quebrada S/N 10 y la mayor concentración de plomo y zinc se encuentra próximo a la zona de rebose. Al respecto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en el sedimento de la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Asimismo, de los resultados de la evaluación ambiental, se verificó dentro del API Primavera material acumulado sobre suelo que, por sus características geoquímicas y condiciones distintas al suelo declarado en el ITS de CMR S.A., corresponde a desmonte de mina.

3.2 Zona 2 – Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha

Laguna Caballococha

Los parámetros evaluados en la laguna Caballococha cumplieron los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA). Además, al ser comparado referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), el plomo excedió dicha norma en los 3 niveles superficial (8 de 8 puntos), medio (5 de 5 puntos) y fondo (6 de 6 puntos). Además, la concentración de plomo en dicha laguna se encontró en mayor porcentaje en la fracción suspendida (sólido) que varió de 63 a 92 %, respecto a la fracción disuelta de 8 a 37 %.

Del análisis comparativo de la concentración de plomo entre 2017 y 2018, se observó un incremento en el nivel superficial (LCaba-02, LCaba-03, LCaba-04) y en el nivel superficial y fondo cercanos a la zona de rebose (LCaba-08, LCaba-12, LCaba-14, LCaba-08-F) de la laguna Caballococha; lo cual, se debe a la resuspensión del material fino de coloración plomiza acumulado en la orilla de la laguna. Sin embargo, se observó una disminución de zinc total y cadmio disuelto en los tres niveles evaluados en esta laguna.

La profundidad en los puntos LCaba-01, LCaba-02 y LCaba-04 fueron de 0,8, 2,7 y 2,4 m respectivamente, los cuales fueron corroborados con los resultados del estudio «Levantamiento Batimétrico del Embalse Caballococha», en donde se reportó profundidades menores a 3,0 m en los puntos mencionados y en otros lugares de la laguna; al respecto en la actualización del Plan de Cierre, se señala que, afín de evitar el riesgo de generación de drenaje ácido, se debe asegurar una cubierta mínima de 2,8 m en época de estiaje. Cabe precisar que, de las acciones de evaluación dichos puntos presentaron valores de pH de 8,84 (LCaba-01), 8,23 (LCaba-02) y 8,03 (LCaba-04).
En este extremo, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos (vigilancia ambiental) para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

Laguna Nieve Ucro y Laguna 3

Las concentraciones de plomo (4 de 4 puntos) y arsénico (2 de 4 puntos) en la laguna Nieve Ucro, y el pH básico, arsénico y plomo (1 de 1 punto) en la Laguna 3 incumplieron los ECA para agua (2008) Cat.4: LyL; además, al compararse referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), las concentraciones de plomo y selenio (laguna Nieve Ucro: 2 de 4 puntos y Laguna 3: 1 de 1 punto) excedieron dicha norma. Asimismo, solo las concentraciones de plomo (Laguna 3) y arsénico (laguna Nieve Ucro) se incrementaron al comparar los resultados de la línea base ambiental de la Modificación del Estudio de Impacto ambiental del proyecto de recrecimiento del depósito de relaves Nieve Ucro II (2013) con los resultados de las evaluaciones 2017 y 2018. La presencia de plomo estaría asociada a la resuspensión del sedimento en la Laguna 3. No obstante, de los resultados de la evaluación no se ha identificado el origen del plomo en el sedimento (Laguna 3) ni la fuente de arsénico para la laguna Nieve Ucro, por lo que se requiere mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en dichas lagunas, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Por otro lado, los resultados de sedimento en la laguna Nieve Ucro presentaron concentraciones de metales que superaron el valor PEL de la norma canadiense, en el nivel superficial: arsénico en 3 de 3 puntos; cadmio, cobre, cromo, plomo, zinc en 2 de 3 puntos y mercurio en 1 de 3 puntos; además, en el nivel medio y fondo de 1 punto se registró concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, zinc, cobre, cromo, cadmio que superaron la referida norma. Además, en el nivel medio del punto LNieU SED-01-B se registró una capa de material con un espesor de 8 cm aproximado, con presencia de minerales como esfalerita, pirita, entre otros, similares a lo registrado en el material sedimentado compuesto principalmente por relave de la laguna Caballococha. Cabe señalar que, durante las acciones de evaluación no se evidenció disposición de relave en la laguna Caballococha ni en laguna Nieve Ucro; asimismo, no fue posible determinar el mecanismo de transporte del material sedimentario con presencia de relaves entre ambas lagunas.

Las concentraciones de arsénico (24 de 30 puntos), cadmio (1 de 30 puntos), cromo y plomo (6 de 30 puntos) en el API Nieve Ucro, comparados referencialmente con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013) excedieron la referida norma. El mecanismo de transporte de plomo, cromo y cadmio de la laguna Nieve Ucro (zona II-NieU) hacia el API_Nieve Ucro (API_NIEV_24 y API_NIEV_25) sería a través de la fracción sólida, los que se están acumulando en la zona de menor pendiente o zona de rebose de la laguna Nieve Ucro.

Laguna Tinquicocha

Los parámetros evaluados en los niveles superficial, medio y fondo de la laguna Tinquicocha registraron concentraciones que cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la
R.J. N.° 291-2009-ANA); además, al compararse referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), las concentraciones de cadmio disuelto y zinc en los 3 niveles y plomo en el nivel superficial (2 de 8 puntos) y medio (3 de 3 puntos) excedieron dicha norma.

En relación con la calidad del sedimento, las mayores concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc se registraron en los puntos LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20 (próximos al canal de concreto de descarga del efluente FTinqco-03), y a la descarga del efluente FTinqco-04. Los índices de geoacumulación en esa zona indican que el sedimento se encuentra de «Fuerte a extremadamente contaminado» por cadmio en 1 de 15 y «Extremadamente contaminado» por cobre y zinc en 7 de 15 puntos, plomo en 1 de 15 puntos y cromo en 2 de 15 puntos. Resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos (vigilancia ambiental) para

evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

En la parte baja del depósito de desmonte Tinquicocha se identificó el efluente FTinqco-04, la cual es producto de la infiltración de las aguas de precipitación en el depósito de desmontes, las cuales fluyen a nivel subsuperficial y, posteriormente, emergen a la superficie. Este efluente presentó mayores concentraciones de cobre (0,24454 mg/L), plomo (0,1168 mg/L) y zinc (16,67 mg/L), así como, cadmio disuelto (0,02984 mg/L). Asimismo, al comparar los valores obtenidos del efluente FTinqco-04 con los Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM), se evidenció que este excedió el valor para el parámetro zinc total en 1011%. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

Las concentraciones de arsénico (30 de 33 puntos), cadmio (9 de 33 puntos), cromo (1 de 33 puntos) y plomo (15 de 33 puntos) en la zona contigua al depósito de desmonte Tinquicocha incumplieron los ECA para suelo (2013) de uso industrial/extractivo en la mayoría de los puntos cercanos al depósito de desmonte Tinquicocha; en contraste con los puntos alejados a dichos componentes, que sí cumplieron dicha norma; cabe señalar que, el área de suelo afectado fue de 2,47 ha.

La excedencia de dichos metales en el suelo se debe al transporte del material fino proveniente de los taludes del depósito de desmontes Tinquicocha, el cual se encuentra desnudo y en contacto directo con el suelo, por medio de las aguas de escorrentías; además, otro aportante de metales (cadmio disuelto, plomo y zinc) al suelo es el efluente FTinqco-04, que descarga sus aguas al suelo contiguo al depósito de desmonte en su calidad de cuerpo receptor.

3.3 Zona 3- Microcuenca de la laguna Rupahuay

Laguna Rupahuay

En el área de potencial interés Rupahuay (API Rupahuay), ubicado sobre un bofedal de relieve plano a ligeramente inclinado, las concentraciones de arsénico (18 de 89 puntos), cadmio (5 de 89 puntos) y plomo (12 de 89 puntos) incumplieron los ECA para suelo de uso industrial extractivo (2013). Cabe precisar que, el material del depósito de desmonte Shucshapá contiene dichos metales, los que mediante el mecanismo de la escorrentía estarían transportándose al suelo principalmente en la época de avenida acumulándose el arsénico en la parte media-baja del API y el cadmio y plomo en el suelo próximo al depósito de desmontes. Lo que indica que una de las fuentes de aporte de estos metales en el suelo es el depósito de desmonte Shucshapá. Cabe indicar que este depósito no cuenta con canales de derivación para el manejo de aguas de escorrentía ni se encuentra contemplado dentro del instrumento de gestión ambiental.

Asimismo, en la parte baja del API Rupahuay en 3 de 5 calicatas se observó un perfil de material fino (color plomizo) de espesores variables dispuestos sobre suelo orgánico dentro de un área aproximada de 0,8 ha, el cual contiene arsénico, cadmio y plomo en los puntos API_Rupa_47 y API_Rupa_36, y solo arsénico y plomo en el punto API_Rupa_53. Cabe precisar, que no se pudo identificar la procedencia del material plomizo en el suelo de este API, por lo que se requiere mayores estudios técnicos.

Todos los parámetros evaluados en la laguna Rupahuay en los 3 niveles y tributarios cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI y III respectivamente (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA); además, al comparar referencialmente con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, esta laguna presentó concentraciones de plomo, zinc (nivel superficial: en 6 de 6 puntos, nivel medio: en 1 de 1 punto y nivel fondo: en 4 de 4 puntos) y cadmio disuelto (nivel superficial: en 2 de 6 puntos, nivel medio: en 1 de 1 punto y nivel fondo en 3 de 4 puntos) que excedieron dicha norma. Al respecto, de los cursos de agua que tributan a la laguna, se debe mencionar que la quebrada S/N (o Shucshapá) (QRupa-04), presentó concentraciones de plomo, zinc total, y cadmio disuelto que excedieron los ECA para agua (2017) Cat.4:E1; cabe señalar que a dicha quebrada se vierte el efluente EFRupa 02, el cual presentó concentraciones de metales que no excedieron los Límites Máximos Permisibles, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Además, respecto a la quebrada Yanco (QRupa-01) las concentraciones de metales registrados no excedieron los ECA para agua (2017) Cat.4:E1.

Además, el punto EFRupa-1 (E-20A: código del administrado) cuenta con autorización de vertimiento hacia la laguna Rupahuay, según Resolución Directoral N.° 199-2017-ANA-DGCRH otorgado por la Autoridad Nacional del Agua, en dicha resolución el caudal autorizado para el vertimiento es de 577,60 L/s, no obstante, de la evaluación se registró un caudal de 615,1 L/s.

Los sedimentos de la laguna Rupahuay presentaron concentraciones de arsénico, plomo y zinc (4 de 4 puntos), cadmio (3 de 4 puntos) y cobre (2 de 4 puntos) que superaron referencialmente los valores PEL de la guía canadiense; asimismo, las mayores concentraciones de cobre, plomo y zinc en el sedimento se registraron en el punto LRupa-SED-14 (próximos al aporte de la quebrada S/N), en relación a los demás puntos de la mencionada laguna. Además, similares características mineralógicas-geoquímicas de la poza de secado (C-R4) y el depósito de desmonte (C-R1), ambos materiales residuales producto de la explotación del material extraído de la zona mineralizada - asociado a la actividad minera, fue registrado en el sedimento (LRupa-SED-14) de la laguna Rupahuay; por lo que es posible que los metales y minerales presentes en los sedimentos de la laguna provengan de materiales residuales asociados a la actividad minera. Sin embargo, de las acciones de evaluación no se identificó medios de transporte que permitan que en la actualidad dichos materiales se estén depositando en la laguna Rupahuay.

De lo expuesto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

Laguna Rumbrococha

Los parámetros evaluados en los cuerpos de agua relacionados a la laguna Rumbrococha (QLRumb-04, QLRumb-03, QLRumb-02 y QLRumb-01) no excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat.4:E1 (2017); sin embargo, el punto QLRumb-04, ubicado en el río Quichas que nace del rebose de la laguna Rupahuay, excedió los metales plomo y zinc total; Además presentó especies de dípteros como *Cricotopus* sp., *Podonomus* sp. *Simulium* sp. y *Gigantodax* sp. que pueden desarrollarse en un amplio rango de variables ambientales.

4. RECOMENDACIONES

Remitir a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas para los fines que se estimen convenientes.

Atentamente:

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: FAJARDO VARGAS Lazaro Walther FIR 10399543 hard
Cargo: Subdirector de la Subdirección Técnica Científica
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: ANCCO PICHUILLA Luis Angel (FIR24000799)
Cargo: Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Mineria y Energia
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: JULCA CRUZ Richard Teodoro (FIR41265834)
Cargo: Especialista de Evaluaciones Ambientales - Profesional I
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:

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: GARCIA ARAGON Francisco (FIR31044541)
Cargo: Director de la Direccción 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 los dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. Nª 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: 00262543"

00262543

Visado digitalmente por: FAJARDO VARGAS Lazaro Walther FIR 10399543 hard
Cargo: Subdirector de la Subdirección Técnica Científica
Motivo: Soy el autor del documento

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

Visado digitalmente por: JULCA CRUZ Richard Teodoro (FIR41265834)
Cargo: Especialista de Evaluaciones Ambientales - Profesional I
Motivo: Soy el autor del documento

Oefa Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Visado digitalmente por: ANCCO PICHUILLA Luis Angel (FIR24000799)
Cargo: Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Mineria y Energia
Motivo: Soy el autor del documento

EVALUACIÓN AMBIENTAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA UNIDAD MINERA RAURA DE COMPAÑÍA MINERA RAURA S.A. - 2018

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2019

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 2
2.1 Actividades extractivas o productivas identificadas 2
2.2 Recopilación, revisión y análisis de la información 3
2.2.1 Instrumentos de gestión ambiental 3
2.2.2 Acciones realizadas en el marco de la función evaluadora 8
2.2.3 Procedimientos administrativos sancionadores de la Dirección de Fiscalización y Aplicación de Incentivos (DFAI) del OEFA 9
2.2.4 Denuncias ambientales registradas en el Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (Sinada) del OEFA 10
3. OBJETIVOS 13
3.1 Objetivo general 13
3.2 Objetivos específicos 13
4. ÁREA DE ESTUDIO 14
5. METODOLOGÍA 16
5.1 Agua 16
5.1.1 Guías utilizadas para la evaluación 16
5.1.2 Ubicación de puntos 17
5.1.3 Parámetros y métodos de análisis 24
5.1.4 Equipos utilizados 25
5.1.5 Aseguramiento de la calidad 25
5.1.6 Criterios de comparación 25
5.2 Sedimento 26
5.2.1 Guías utilizadas para la evaluación 26
5.2.2 Ubicación de puntos 26
5.2.3 Parámetros y métodos de análisis 31
5.2.4 Aseguramiento de la calidad 31
5.2.5 Criterios de comparación 31
5.2.6 Procesamiento de datos 32
5.3 Suelo 33
5.3.1 Guías utilizadas para la evaluación 33
5.3.2 Ubicación de puntos 33
5.3.3 Parámetros y métodos de análisis 51
5.3.4 Equipos utilizados 51
5.3.5 Aseguramiento de la calidad 51
5.3.6 Criterios de comparación 52

5.4 Comunidades hidrobiológicas 52
5.4.1 Guías utilizadas para la evaluación 52
5.4.2 Ubicación de puntos 52
5.4.3 Parámetros y métodos de análisis 59
5.4.4 Equipos utilizados 59
5.4.5 Aseguramiento de la calidad 59
5.4.6 Criterios de comparación 60
5.4.7 Procesamiento de datos 60
5.5 Caracterización hidroquímica 66
5.5.1 Ubicación de puntos 66
5.5.2 Parámetros de análisis 67
5.5.3 Procesamiento de datos 67
5.6 Caracterización de componentes mineros 69
5.6.1 Guías utilizadas para la evaluación 69
5.6.2 Ubicación de puntos 70
5.6.3 Parámetros y métodos de análisis 72
5.6.4 Materiales utilizados 72
5.6.5 Procesamiento de datos 72
5.7 Caracterización geológica 73
5.7.1 Referencias para la caracterización geológica 73
5.7.2 Ubicación de puntos 74
5.7.3 Equipos y materiales utilizados 77
5.7.4 Procesamiento de datos 77
5.8 Prospección geofísica 77
5.8.1 Guías utilizadas para la evaluación 77
5.8.2 Ubicación de puntos 78
5.8.3 Parámetros de análisis 78
5.8.4 Equipos utilizados 78
5.8.5 Procesamiento de datos 78
5.8.6 Interpretación de datos 79
6. RESULTADOS 81
6.1 Comparación con la norma expresa en los IGA aprobados 89
6.1.1 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana) 89
6.1.2 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha) 94
6.1.3 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay) 100
6.1.4 Muestreo de suelo a la salida de ductos de ventilación 103

6.2 Comparación con la norma nacional vigente y estándares de nivel internacional no establecida en los IGA 103
6.2.1 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana) 104
6.2.2 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha) 123
6.2.3 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay) 153
6.3 Estudios especializados 176
6.3.1 Comunidades hidrobiológicas 176
6.3.2 Caracterización hidroquímica 231
6.3.3 Caracterización de componentes mineros 239
6.3.4 Caracterización geológica 267
7. DISCUSIONES 276
7.1 Zona 1 - Microcuenca de la laguna Santa Ana 278
7.2 Zona 2 - Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha 314
7.3 Zona 3 - Microcuenca de la laguna Rupahuay 357
8. CONCLUSIONES 384
8.1 Zona 1 – Microcuenca de la laguna Santa Ana 384
8.2 Zona 2 – Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha 386
8.3 Zona 3- Microcuenca de la laguna Rupahuay 388
9. RECOMENDACIONES 390
10. ANEXOS 390
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 390

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Instrumentos de gestión ambiental y otros documentos vinculados de la UM Raura de CMR S.A. 3
Tabla 2-2. Impactos ambientales identificados en el PAMA de la UM Raura de CMR S.A.5
Tabla 2-3. Resultados de agua superficial y efluentes, evaluados en el PAMA de la UM Raura de CMR S.A. 5
Tabla 2-4. Resultados de agua superficial en lagunas Nieve Ucro y 3, evaluados en el EIA del proyecto de recrecimiento del depósito de relaves «Nieve Acro II» 8
Tabla 2-5. Denuncias ambientales atendidas por el Sinada desde 2010 hasta 2018 relacionadas a la UM Raura de CMR S.A. 11
Tabla 2-6. Otras denuncias ambientales 12
Tabla 5-1. Guías de referencia para el muestreo de agua superficial y subterránea, surgencia, efluente minero, y agua residual industrial empleadas en la evaluación 16
Tabla 5-2. Ubicación de los puntos de muestreo de cuerpos lénticos (lagunas), cuerpos lóticos (ríos y quebradas), surgencia, agua residual industrial, agua residual doméstica, efluente minero y agua subterránea 17
Tabla 5-3. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para agua en la evaluación 24
Tabla 5-4. Controles realizados en el muestreo de agua para la evaluación 25

Tabla 5-5. Estándares de comparación para la evaluación de calidad del agua en el área de estudio 25
Tabla 5-6. Guías de referencia para el muestreo de sedimento empleadas en la evaluación 26
Tabla 5-7. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento 26
Tabla 5-8. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para sedimento en la evaluación 31
Tabla 5-9. Relaciones entre los valores del índice de geoacumulación (I_{geo}) y los niveles de contaminación 32
Tabla 5-10. Guías de referencia para el muestreo de suelo empleadas en la evaluación 33
Tabla 5-11. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo en las API identificadas 34
Tabla 5-12. Ubicación de muestras compuestas y submuestras tomados en las API evaluadas 47
Tabla 5-13. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para suelo en la evaluación 51
Tabla 5-14. Estándares de comparación para la evaluación de calidad de suelo en el área de estudio 52
Tabla 5-15. Guías de referencia para el muestreo de comunidades hidrobiológicas empleadas en la evaluación 52
Tabla 5-16. Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas en los cuerpos lénticos (lagunas) en el área de estudio 53
Tabla 5-17. Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas en los cuerpos lóticos (tributarios) en el área de estudio 55
Tabla 5-18. Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas en surgencias, agua residual industrial y efluentes mineros en el área de estudio 57
Tabla 5-19. Ubicación de los puntos de muestreo de peces en cuerpos lenticos (lagunas) en el área de estudio 58
Tabla 5-20. Ubicación de las muestras de tejidos de peces para el análisis de bioacumulación de metales totales de las lagunas en el área de estudio 59
Tabla 5-21. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para comunidades hidrobiológicas en la evaluación 59
Tabla 5-22. Características y puntuaciones hidromorfológica según el protocolo CERA-S 63
Tabla 5-23. Calidad hidromorfológica acuerdo a la puntuación del protocolo CERA-S 64
Tabla 5-24. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI 64
Tabla 5-25. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI 65
Tabla 5-26. Escala de calidad ecológica de un río 65
Tabla 5-27. Valores de error aceptable en función de la conductividad eléctrica 67
Tabla 5-28. Guía de referencia para la caracterización de componentes mineros empleada en la evaluación 70
Tabla 5-29. Ubicación de los puntos de muestreo de caracterización de componentes mineros 70
Tabla 5-30. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para la caracterización de componentes mineros en la evaluación 72
Tabla 5-31. Referencias para la caracterización geológica empleadas en la evaluación .. 73
Tabla 5-32. Ubicación de los puntos de control geológico 74
Tabla 5-33. Referencia para la prospección geofísica empleada en la evaluación 77

Tabla 5-34. Ubicación y longitud de las líneas de tomografía geoeléctrica en el área de estudio 78
Tabla 5-35. Resistividad característica de distintos materiales 79
Tabla 6-1. Distribución de puntos de muestreo de agua, sedimento y suelo en las zonas 1, 2 y 3 81
Tabla 6-2. Concentraciones de metales en el agua superficial de la zona 1 que incumplieron con los valores límites de la R.J. N.° 0291-2009-ANA Clases III y VI 90
Tabla 6-3. Concentraciones de metales en el agua superficial de las lagunas Nieve Ucro I, II y III que incumplieron con los valores de los ECA para agua Cat.4:LyL(2008) 94
Tabla 6-4. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua subterránea de la zona 1 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:RV y BA 96
Tabla 6-5. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua superficial de la zona 1 que excedieron los valores de los ECA para agua Cat.4:E1 105
Tabla 6-6. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en las surgencias identificadas en la zona 1 106
Tabla 6-7. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el agua residual doméstica de la zona 1 que excedieron los valores LMP del D.S. N.° 010-2010-MINAM y D.S. N° 003-2010-MINAM 107
Tabla 6-8. Valores de pH y concentraciones de metales en el agua residual industrial reportadas en la zona 1 108
Tabla 6-9. Concentraciones de metales en el agua subterránea de la zona 1 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:D1 y D2 108
Tabla 6-10. Resultados de pH y metales para muestras de sedimento y lodo de la zona 1 110
Tabla 6-11. Valor de fondo geoquímico (Bn) en los sedimentos evaluados en la zona 1 111
Tabla 6-12. Índices de geoacumulación obtenidos para la zona 1 112
Tabla 6-13. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos X en la muestra LNiñP-SED-06 112
Tabla 6-14. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos X en la muestra LSanB-SED-08 113
Tabla 6-15. Resultados de SPLP de muestras de sedimento en lagunas y de lodos de la zona 1 113
Tabla 6-16. Resultados de pH y materia orgánica en las API Niño Perdido 1 y 2 115
Tabla 6-17. Resultados de prueba ABA, según el primer criterio, en muestras de suelo del API Primavera de la zona 1 119
Tabla 6-18. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua superficial de la zona 2 que excedieron los valores de los ECA para agua Cat.4:E1 123
Tabla 6-19. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en las surgencias identificadas en la zona 2 125
Tabla 6-20. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua residual industrial reportadas en la zona 2 126

Tabla 6-21. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua subterránea de la zona 2 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:D1 y D2 128
Tabla 6-22. Resultados de pH y metales para muestras de sedimento y lodo de la zona 2 131
Tabla 6-23. Valor de fondo geoquímico (Bn) en los sedimentos evaluados en la zona 2 132
Tabla 6-24. Índices de geoacumulación obtenidos para la zona 2 132
Tabla 6-25. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra L7Caba-SED-03 138
Tabla 6-26. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra LCaba-SED-15 138
Tabla 6-27. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra LNieU-SED-01-B 139
Tabla 6-28. Resultados de SPLP de muestras de sedimento en lagunas y de lodos de la zona 2 139
Tabla 6-29. Resultados de pH y materia orgánica en las API Caballococha, Nieve Ucro y Tinquicocha 142
Tabla 6-30. Concentraciones de metales en el agua superficial de la zona 3 que excedieron los valores de los ECA para agua Cat.4:E1 153
Tabla 6-31. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en las surgencias identificadas en la zona 3 154
Tabla 6-32. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua residual industrial reportadas en la zona 3 155
Tabla 6-33. Valores de pH y concentraciones de metales en el agua subterránea de la zona 1 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:D1 y D2 156
Tabla 6-34. Resultados de pH y metales para muestras de sedimento de la zona 3 157
Tabla 6-35. Valor de fondo geoquímico (Bn) en los sedimentos evaluados en la zona 3 158
Tabla 6-36. Índices de geoacumulación obtenidos para la zona 3 158
Tabla 6-37. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra LRupa-SED-14 163
Tabla 6-38. Resultados de SPLP de muestras de sedimento de la zona 3 163
Tabla 6-39. Resultados de pH y materia orgánica en las API Rupahuay 166
Tabla 6-40. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos X en las muestras compuestas API_RUPA_100 y API_RUPA_102 175
Tabla 6-41. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de fitoplancton en lagunas de la zona 1 180
Tabla 6-42. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de zooplancton en lagunas de la zona 1 182
Tabla 6-43. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de microalgas de la zona 1 186
Tabla 6-44. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 1 189
Tabla 6-45. Resultados de la calidad ecológica según el índice biótico andino (ABI) y el protocolo CERA-S en los ambientes lóticos de la zona 1 191

Tabla 6-46. Relación entre longitud (L) y peso (W) para las especies de peces capturados en la laguna S/N 192
Tabla 6-47. Factor de condición (K) para las especies de peces capturados en la laguna S/N 192
Tabla 6-48. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de fitoplancton en lagunas de la zona 2 197
Tabla 6-49. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de zooplancton en lagunas de la zona 2 201
Tabla 6-50. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de microalgas de la zona 2..... 204
Tabla 6-51. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 2 207
Tabla 6-52. Resultados de la calidad ecológica según el índice biótico andino (ABI) y el protocolo CERA-S en los ambientes lóticos de la zona 2..... 209
Tabla 6-53. Relación entre longitud (L) y peso (W) para las especies de peces capturados en las lagunas Caballococha y Tinquicocha 210
Tabla 6-54. Factor de condición (K) para las especies de peces capturados en las Caballococha y Tinquicocha..... 210
Tabla 6-55. Concentración de metales en tejido de músculo de peces *O. empyraeus* «chalhua» capturados en la laguna Tinquicocha..... 211
Tabla 6-56. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de fitoplancton en lagunas de la zona 3 214
Tabla 6-57. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de zooplancton en lagunas de la zona 3 216
Tabla 6-58. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de microalgas de la zona 3..... 220
Tabla 6-59. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 3 226
Tabla 6-60. Resultados de la calidad ecológica según el índice biótico andino (ABI) y el protocolo CERA-S en los ambientes lóticos de la zona 3..... 228
Tabla 6-61. Relación entre longitud (L) y peso (W) para las especies de peces capturados en la laguna Rupahuay..... 230
Tabla 6-62. Factor de condición (K) para las especies de peces capturados en la laguna Rupahuay..... 230
Tabla 6-63. Concentración de metales en tejidos de músculo e hígado de peces *O. mykiss* «trucha» capturados en las lagunas Yanacocha y Rupahuay..... 231
Tabla 6-64. SPLP del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera..... 240
Tabla 6-65. SPLP del depósito de desmonte Niño Perdido..... 244
Tabla 6-66. SPLP de los depósitos de desmonte Catuva y Raura..... 247
Tabla 6-67. SPLP del depósito de relave Nieve Ucro II..... 251
Tabla 6-68. SPLP del depósito de relave Nieve Ucro I..... 253
Tabla 6-69. SPLP del depósito de desmonte Tinquicocha 256
Tabla 6-70. SPLP del depósito de desmonte Shucshapá..... 260

Tabla 6-71. Análisis mineralógico de la muestra C-R1 del depósito de desmonte Shucshapá 263
Tabla 6-72. SPLP de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá..... 264
Tabla 6-73. Análisis mineralógico de la muestra C-R4 de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá..... 267

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 2-1. Diagrama de flujo del proceso productivo-extractivo de la UM Raura 3
Figura 4-1. Ubicación del área de influencia directa de la UM Raura, con la distribución de sus zonas de estudio (microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha y Tinquicocha, y Rupahuay)..... 15
Figura 5-1. Diagrama de Piper 68
Figura 5-2. Diagramas de Stiff..... 68
Figura 5-3. Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin) 69
Figura 6-1. Concentraciones de arsénico en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)..... 92
Figura 6-2. Concentraciones de cadmio en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)..... 92
Figura 6-3. Concentraciones de plomo en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)..... 93
Figura 6-4. Concentraciones de arsénico en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013) 98
Figura 6-5. Concentraciones de cadmio en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013) 98
Figura 6-6. Concentraciones de cromo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)..... 99
Figura 6-7. Concentraciones de plomo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)..... 99
Figura 6-8. Concentraciones de arsénico en el API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013) 101
Figura 6-9. Concentraciones de cadmio en el API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013) 101
Figura 6-10. Concentraciones de plomo en el API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013) 102
Figura 6-11. Granulometría del sedimento de la laguna Niño Perdido de la zona 1 109
Figura 6-12. Porcentaje de arena, limo, arcilla, y triángulo textural en la muestra API_NNP2_13 114
Figura 6-13. Curva granulométrica de la muestra API_NNP2_13 en el suelo del API Niño Perdido 115
Figura 6-14. Concentraciones de arsénico en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)... 117
Figura 6-15. Concentraciones de cadmio en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)... 117
Figura 6-16. Concentraciones de plomo en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)... 118

Figura 6-17. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NNP2_13 de la zona 1 121
Figura 6-18. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NNP_25 de la zona 1 122
Figura 6-19. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto L7Caba-SED-01 de la zona 2 134
Figura 6-20. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto L7Caba-SED-03 de la zona 2 135
Figura 6-21. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LNieU-SED-08 de la zona 2..... 136
Figura 6-22. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre, y f) zinc; en el punto QCaba-05 de la zona 2 137
Figura 6-23. Porcentaje de arena, limo, arcilla, y triángulo textural en las muestras API_CABA_19, API_NIEV_33 y API_TINQ_38 140
Figura 6-24. Curva granulométrica de la muestra API_CABA_19 en el suelo del API Caballococha..... 141
Figura 6-25. Curva granulométrica de la muestra API_NIEV_33 en el suelo del API Nieve Ucro 141
Figura 6-26. Curva granulométrica de la muestra API_TINQ_38 en el suelo del API Tinquicocha 142
Figura 6-27. Concentraciones de arsénico en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017) 144
Figura 6-28. Concentraciones de cadmio en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017) 144
Figura 6-29. Concentraciones de cromo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)... 145
Figura 6-30. Concentraciones de plomo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)... 145
Figura 6-31. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_CABA_19 de la zona 2..... 147
Figura 6-32. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_CABA_21 de la zona 2..... 148
Figura 6-33. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NIEV_31 de la zona 2 149
Figura 6-34. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NIEV_33 de la zona 2 150
Figura 6-35. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_TINQ_34 de la zona 2 151
Figura 6-36. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_TINQ_38 de la zona 2 152
Figura 6-37. Granulometría del sedimento de la laguna Rupahuay de la zona 3 156
Figura 6-38. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LYana-SED-01 de la zona 3 160
Figura 6-39. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LYana-SED-02 de la zona 3 161
Figura 6-40. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LYana-SED-03 de la zona 3 162
Figura 6-41. Porcentaje de arena, limo, arcilla, y triángulo textural en las muestras API_CABA_19, API_NIEV_33 y API_TINQ_38 164

Figura 6-42. Curva granulométrica de la muestra a) API_RUPA_100 y b) API_RUPA_102, en el suelo del API Rupahuay 165
Figura 6-43. Concentraciones de arsénico en las API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017) 167
Figura 6-44. Concentraciones de cadmio en las API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017) 167
Figura 6-45. Concentraciones de plomo en las API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017) 168
Figura 6-46. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_100 de la zona 3 170
Figura 6-47. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_101 de la zona 3 171
Figura 6-48. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_102 de la zona 3 172
Figura 6-49. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_103 de la zona 3 173
Figura 6-50. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_104 de la zona 3 174
Figura 6-51. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Niño Perdido y d) Santa Ana de la zona 1 177
Figura 6-52. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Niño Perdido y d) Santa Ana de la zona 1 179
Figura 6-53. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Santa Ana y S/N de la zona 1 181
Figura 6-54. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Santa Ana y S/N de la zona 1 182
Figura 6-55. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 1 184
Figura 6-56. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 1 185
Figura 6-57. Dendrograma de similitud de la comunidad de microalgas de la zona 1 187
Figura 6-58. Riqueza (número de especies) de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 1 188
Figura 6-59. Densidad (abundancia) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 1 189
Figura 6-60. Dendrograma de similitud de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 1 190
Figura 6-61. Número de especies de macroinvertebrados bentónicos por grupos bioindicadores definidos referencialmente a partir del índice ABI en los ambientes lóticos de la zona 1 191
Figura 6-62. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2 194
Figura 6-63. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2 196

Figura 6-64. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2 199
Figura 6-65. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2 200
Figura 6-66. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 2 203
Figura 6-67. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 2 203
Figura 6-68. Dendrograma de similitud de la comunidad de microalgas de la zona 2 205
Figura 6-69. Riqueza (número de especies) de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 2 206
Figura 6-70. Densidad (abundancia) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 2 207
Figura 6-71. Dendrograma de similitud de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 2 208
Figura 6-72. Número de especies de macroinvertebrados bentónicos por grupos bioindicadores definidos referencialmente a partir del índice ABI en los ambientes lóticos de la zona 2 209
Figura 6-73. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3 212
Figura 6-74. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3 213
Figura 6-75. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3 215
Figura 6-76. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3 216
Figura 6-77. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 3 219
Figura 6-78. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 3 219
Figura 6-79. Dendrograma de similitud de la comunidad de microalgas de la zona 3 222
Figura 6-80. Riqueza (número de especies) de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 3 224
Figura 6-81. Densidad (abundancia) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 3 225
Figura 6-82. Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos de la zona 3227
Figura 6-83. Número de especies de macroinvertebrados bentónicos por grupos bioindicadores definidos referencialmente a partir del índice ABI en los ambientes lóticos de la zona 3 229
Figura 6-84. Distribución en el diagrama de Piper de las concentraciones de iones en los puntos de muestreo de agua de la zona 1 233
Figura 6-85. Diagrama de Ficklin con suma de metales disueltos Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni en muestras de agua de la zona 1 234

Figura 6-86. Distribución en el diagrama de Piper de las concentraciones de iones en los puntos de muestreo de agua de la zona 2 235
Figura 6-87. Diagrama de Ficklin con suma de metales disueltos Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni en muestras de agua de la zona 2 236
Figura 6-88. Distribución en el diagrama de Piper de las concentraciones de iones en los puntos de muestreo de agua de la zona 3 238
Figura 6-89. Diagrama de Ficklin con suma de metales disueltos Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni en muestras de agua de la zona 3 238
Figura 6-90. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros en la zona 1 239
Figura 6-91. Metales totales del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera 240
Figura 6-92. Extracción secuencial del material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera 242
Figura 6-93. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera 243
Figura 6-94. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera 243
Figura 6-95. Metales totales del depósito de desmonte Niño Perdido 244
Figura 6-96. Extracción secuencial del depósito de desmonte Niño Perdido 245
Figura 6-97. Resultados de ABA, según el primer criterio del depósito de desmonte Niño Perdido 246
Figura 6-98. Resultados de ABA, según el segundo criterio del depósito de desmonte Niño Perdido 246
Figura 6-99. Metales totales de los depósitos de desmonte Catuva y Raura 247
Figura 6-100. Extracción secuencial de los depósitos de desmonte Catuva y Raura 248
Figura 6-101. Resultados de ABA, según el primer criterio, de los depósitos de desmonte Catuva y Raura 249
Figura 6-102. Resultados de ABA, según el segundo criterio, de los depósitos de desmonte Catuva y Raura 249
Figura 6-103. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros en la zona 2 250
Figura 6-104. Metales totales del depósito de relave Nieve Ucro II 251
Figura 6-105. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de relave Nieve Ucro II 252
Figura 6-106. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de relave Nieve Ucro II 252
Figura 6-107. Metales totales en el área de influencia del relave Nieve Ucro I 253
Figura 6-108. Extracción secuencial del depósito de relave Nieve Ucro I 254
Figura 6-109. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de relave Nieve Ucro I 255
Figura 6-110. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de relave Nieve Ucro I 255
Figura 6-111. Metales totales del depósito de desmonte Tinquicocha 256
Figura 6-112. Extracción secuencial del depósito de desmonte Tinquicocha 257
Figura 6-113. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de desmonte Tinquicocha 258
Figura 6-114. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de desmonte Tinquicocha 258

Figura 6-115. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros en la zona 3 259
Figura 6-116. Metales totales del depósito de desmonte Shucshapá 260
Figura 6-117. Extracción secuencial del depósito de desmonte Shucshapá 261
Figura 6-118. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de desmonte Shucshapá 262
Figura 6-119. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de desmonte Shucshapá 262
Figura 6-120. Metales totales de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá 263
Figura 6-121. Extracción secuencial de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá 265
Figura 6-122. Resultados de ABA, según el primer criterio, de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá 266
Figura 6-123. Resultados de ABA, según el segundo criterio, de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá 266
Figura 6-124. Vista panorámica de lagunas a) Locacocha y b) Niñococha 268
Figura 6-125. Afloramiento de granodiorita adyacente a las lagunas Locacocha y Niñococha 268
Figura 6-126. a) Afloramiento de roca meteorizada y b) roca fresca con presencia de óxidos de hierro 269
Figura 6-127. Diseminaciones de a) pirita, calcopirita y esfalerita, y b) galena; así como la presencia de c) granate (grosularia en roca granodiorítica) 269
Figura 6-128. Principales afloramientos rocosos en los alrededores de la laguna Niñococha 270
Figura 6-129. Perfil geológico de las lagunas Locacocha y Niñococha 270
Figura 6-130. Vista panorámica de las lagunas Niño Perdido y S/N 271
Figura 6-131. Afloramiento de granodiorita adyacente a las lagunas Niño Perdido y S/N 271
Figura 6-132. Granodiorita con diseminaciones de freibergita (Frt), calcopirita (Cpy), pirita (Py), esfalerita (Sp) y galena (Gn) 272
Figura 6-133. Afloramiento de granodiorita adyacente a la laguna Santa Ana 272
Figura 6-134. Afloramiento de calizas pertenecientes a las formaciones Celendín (Ce), Jumasha (Jm) y hacia el W las granodioritas (Gd) 273
Figura 6-135. Vista panorámica de las lagunas Caballococha, Nieve Ucro I y II 273
Figura 6-136. Afloramiento de caliza producto de erosión y dilución de la laguna Caballococha 274
Figura 6-137. Vista panorámica de la laguna Tinquicocha 274
Figura 6-138. Afloramiento de caliza adyacente a la laguna Tinquicocha 275
Figura 6-139. Vista panorámica de las lagunas Rupahuay y Yanacocha 275
Figura 6-140. Presencia de anmonites en calizas adyacentes a la laguna Rupahuay 276
Figura 7-1. Zonas de estudio en el área de influencia de la unidad minera Raura 277
Figura 7-2. Distribución de puntos de muestreo de agua en la zona 1 278
Figura 7-3. a) Perfil litológico en dirección W-E y la línea de tomografía LTR-4 en el sector Niño Perdido, surgencia b) Vista panorámica de punto FNiñP-1, c) FNiñP-1, d) FNiñP-3, e) FNiñP-2, f) Poza de mampostería hacia donde descarga la tubería del punto FNiñP-3, y g) Vista de la poza con acumulación de agua 280
Figura 7-4. Punto de muestreo QNiñP-01 que descarga a la laguna Niño Perdido 281
Figura 7-5. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) plomo, d) alumino, e) hierro, f) manganeso, g) calcio en los API Niño Perdido 1 y 2, y h) Vista fotográfica del punto API_NNP_6 y su proximidad al depósito de desmonte Niño Perdido282

Figura 7-6. Concentraciones de plomo de los API Niño Perdido 1 y 2, comparados con los resultados del Informe de identificación de sitios contaminados de la UM Raura 283
Figura 7-7. a) Distribución de puntos en el ámbito de la laguna Niño Perdido, y b) Ingreso a la laguna Niño Perdido proveniente del deshielo del glaciar 284
Figura 7-8. Concentraciones de cadmio, plomo y zinc e índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Niño Perdido 285
Figura 7-9. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Niño Perdido 286
Figura 7-10. a) Perfil geológico de dirección de SW-NE comparado con el perfil geofísico LTR-12 en el desmonte Niñococha, b) surgencia FNiñC-1, c) canal de escorrentía QNiñC-01, y d) dirección de flujo del canal de aguas de escorrentía (QNiñC-01) y de la surgencia (FNiñC-1) hacia la laguna Niñococha 288
Figura 7-11. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios a la laguna Niñococha 289
Figura 7-12. Concentraciones de a) plomo y b) zinc en el ámbito de la laguna Niñococha en el 2018, concentraciones de c) plomo y d) zinc en la laguna Niñococha entre el 2017 y 2018, y e) concentración media de sulfato en la laguna Niñococha entre el 2017 y 2018 291
Figura 7-13. Vistas panorámicas de a) y b) dique de contención de la laguna Locacocha, y c) y d) dique de contención de la laguna Niñococha 292
Figura 7-14. Resultados de agua en el ámbito de la laguna Niñococha 293
Figura 7-15. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Niñococha 293
Figura 7-16. a) Concentraciones de cobre, plomo y zinc, e b) índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Niñococha 295
Figura 7-17. Distribución de puntos de muestreo de agua en el ámbito de la laguna Santa Ana 296
Figura 7-18. a) Vista panorámica de la surgencia FNiñC-09, b) Muestreo de la surgencia FNiñC-09, ubicado en la parte baja del depósito de desmonte Niñococha, y sus concentraciones de c) cadmio, d) plomo y e) zinc con valores de pH en los puntos ubicados aguas arriba (QLSN-01) y aguas abajo (QNiñC-03) de la misma 298
Figura 7-19. Perfil geológico de dirección de N-S de las líneas de tomografía eléctrica a) LTR-5 y b) LTR-6, y c) puntos de muestreo de componentes mineros en el material ajeno 300
Figura 7-20. Perfil longitudinal en el área contiguo a al tajo Primavera en 2000 y 2010 y poza-TP 302
Figura 7-21. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) plomo, d) aluminio, e) hierro, f) manganeso, y g) calcio; y valores de h) pH, y i) vista panorámica del API Primavera 303
Figura 7-22. Distribución de puntos en el ámbito de la laguna Santa Ana 305
Figura 7-23. Incremento de la concentración de plomo en la quebrada S/N 1 y aportantes (FNiñC-09 y FSanAB-01) 306
Figura 7-24. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios a la laguna Niño 307
Figura 7-25. Vertimiento V-1, que ingresa a la laguna Santa Ana 308
Figura 7-26. a) Vista panorámica de la poza de recirculación Catuva y la quebrada S/N 10, b) y c) Tuberías sin flujo con lodo en dirección a la quebrada S/N 10 (POZA-MC-A) con presencia de material plomizo. 309

Figura 7-27. Acumulación de agua en canal entre la poza de recirculación Esperanza y laguna Santa Ana. 310
Figura 7-28. Análisis temporal correspondiente a setiembre desde 1994 hasta 2018, de las concentraciones de plomo en la laguna Santa 311
Figura 7-29. Concentraciones de plomo en las quebradas aportantes y de la laguna Santa Ana 312
Figura 7-30. a) Concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc, e b) índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Santa Ana 313
Figura 7-31. Distribución de puntos de muestreo de agua en la zona 2 315
Figura 7-32. Distribución de puntos de muestreo en el ámbito de las lagunas Caballococha, Nieve Ucro y Siete Caballeros 316
Figura 7-33. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios de la laguna Siete Caballeros 317
Figura 7-34. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios de la laguna Caballococha..... 319
Figura 7-35. a) Surgencia QCaba-03, contiguo a la zanja de infiltración de la planta concentradora, y b) Rebose por un costado del canal tapado que ingresa a la laguna Caballococha EFCaba-01. 320
Figura 7-36. Concentración de plomo en la laguna Caballococha y aportantes 320
Figura 7-37. a) Incremento de concentración de plomo en la laguna en los puntos cercanos a la disposición de material y cercanos al rebose de la laguna, b) Extracción secuencial (Tessier) del material plomizo dispuesto QCaba-05 321
Figura 7-38. a) Vista panorámica del material de coloración plomiza acumulado en la orilla de la laguna Caballococha; b) material acumulado contiguo a punto QCaba-05, y c) resuspensión del material acumulado en la orilla de la laguna Caballococha..... 322
Figura 7-39. Resultados del estudio «Levantamiento Batimétrico del Embalse Caballococha» realizado por CMR S.A. 324
Figura 7-40. Distribución de la riqueza y densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Caballococha..... 325
Figura 7-41. Distribución de los piezómetros y su clasificación hidroquímica en los sectores de Caballococha y Nieve Ucro..... 326
Figura 7-42. Representación esquemática del perfil geológico NW-SE con las líneas tomografía eléctrica LTR-8..... 326
Figura 7-43. Incremento de las concentraciones de plomo y arsénico en la laguna Nieve Ucro para la estación PMW-02 y PMW-09 328
Figura 7-44. Concentración e índice de geoacumulación de plomo en sedimento de la laguna Nieve Ucro y Laguna 3..... 329
Figura 7-45. Perfil medio del sedimento en el punto LNieU-SED-01-B, medio (con un espesor de 8 cm aprox.) 330
Figura 7-46. Difractograma de los sedimentos en las lagunas a) Nieve Ucro, b) Siete Caballeros y c) Caballococha 331
Figura 7-47. a) Dique de contención en la laguna Caballococha, y ubicación del API Nieve Ucro ubicado en superficie seca en b) mayo 2017, c) mayo 2018 y d) setiembre 2018..... 332
Figura 7-48. Concentración de a) arsénico, b) cromo y c) plomo en el API Nieve Ucro, y en el sedimento de la laguna Siete Caballeros 333
Figura 7-49. Isovalores de concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) cromo y d) plomo en el API Nieve Ucro y sedimento de las lagunas Caballococha y Siete Caballeros, e) y f) relación de plomo y cromo en la fracción sólida y disuelta en el agua de la laguna Nieve Ucro y área de concentraciones de f) arsénico,

g) cadmio, h) cromo y i) plomo que excedieron ECA para suelo de uso extractivo 2013 335
Figura 7-50. Piezómetro PZ-104 ubicado aguas abajo del depósito de relaves Nieve Ucro I y II 337
Figura 7-51. Distribución de los piezómetros y su clasificación hidroquímica en los sectores de Caballococha y Nieve Ucro 1,2 y 3 339
Figura 7-52. Representación esquemática del perfil geológico NW-SE con las líneas tomografía eléctrica a) LTR-7, b) LTR-8 y c) LTR-9 340
Figura 7-53. a) Desmonte Tinquicocha sin cobertura vegetal, próximo al punto API_TINQ_7 y b) Cauce de escorrentía entre el desmonte Tinquicocha y la laguna Tinquicocha. 341
Figura 7-54. Representación esquemática del perfil de tomografía LTR-10 con la litología, surgencia b) Vista panorámica del punto FTinqco-04 (2017), c) y e) Surgencia FTinqco-04 (2017 y 2018), d) y f) Recorrido de la surgencia FTinqco-04 hacia a laguna Tinquicocha (2017 y 2018)..... 342
Figura 7-55. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) cromo y d) plomo en el suelo del API Tinquicocha, dividido en puntos de muestreo cercanos y alejados a depósito de desmonte Tinquicocha. 345
Figura 7-56. a), b), c) Isovalores de las concentraciones de metales totales del arsénico, cadmio, cromo y plomo del API_TINQ y la concentración de metales en la Laguna Tinquicocha y c) Área de suelo afectado por plomo 346
Figura 7-57. Análisis de extracciones secuenciales de las muestras compuestas API_TINQ_34 y API_TINQ_38..... 347
Figura 7-58. e), f), g), h) Isovalores con las concentraciones de aluminio, hierro, manganeso y calcio con el área representada por las muestras compuestas API_TINQ_34 y API_TINQ_38 e i) Área de afectado por plomo en el API Tinquicocha.... 349
Figura 7-59. a) Estación Hidrobiológica- Laguna Tinquicocha (E-9) y descarga de la bocamina Tinquicocha (E-4), sobre el depósito de desmonte Tinquicocha se observa la construcción del sedimentador y b) Delta formado por el efluente de la bocamina Tinquicocha (E-4), se observa sedimentos depositados en la orilla de la laguna (fuente: EIA Caballococha)..... 350
Figura 7-60. Esquema de puntos de muestreo en el ámbito de la laguna Tinquicocha.. 351
Figura 7-61. a) Bocamina Tinquicocha. b) Salida de agua por zona de purga del sedimentador Tinquicocha, se observa lodo de color plomizo..... 352
Figura 7-62. Muestreo de lodo de color plomizo en el punto FTinqco-03 en el a) 2017 y b) 2018, se encuentra sedimentado en la base del canal. 352
Figura 7-63. Concentración de metales en agua a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto. 353
Figura 7-64. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Tinquicocha. 354
Figura 7-65. a) Sedimento en el punto LTinq-SED-20, b) Sedimento en el punto LTinq-SED-02 y c) y d) Concentración e índice de geoacumulación de cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc en sedimento de la laguna Tinquicocha. 355
Figura 7-66. Concentraciones a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto, entre el 2017 y 2018 356
Figura 7-67. Distribución de puntos de muestreo de agua en la zona 3 357
Figura 7-68. Reacción del suelo orgánico en el API Rupahuay y porcentaje de materia orgánica..... 358
Figura 7-69. Concentración de arsénico, cadmio, plomo, pH y materia orgánica..... 360
Figura 7-70. a), b), c) y d) Análisis de extracciones secuenciales de las muestras compuestas del API Rupahuay y e) Distribución de muestras compuestas API_RUPA_100, API_RUPA_101, API_RUPA_102 en el API Rupahuay.. 361

Figura 7-71. a), b), c), e) y f) Vistas del depósito de desmonte Shucshapá, sin canales para el manejo de aguas de escorrentía, d) Vista de la base de depósito de desmontes Shucshapá. 363
Figura 7-72. Vistas fotográficas obtenida de la Resolución Directoral N.° 699-2017-OEFA-DFSAI, relacionado a la disposición de material de desmonte del depósito de desmonte Shucshapá sobre el pastizal (página 21 de 40). 363
Figura 7-73. a) Calicata donde ese observa el material plomizo no orgánico de 10 a 15 cm sobre el suelo orgánico en el punto API_RUPA_36, b) Calicata donde se observa el perfil orgánico característico del Histosol y c) Análisis mineralógico comparativo del material plomizo y suelo orgánico en el API Rupahuay. .. 364
Figura 7-74. Comparación de los perfiles de tomografía eléctrica con la litología de la zona de Shucshapá a) LTR-1, b) LTR-2 y c) LTR-3 365
Figura 7-74. Dirección de flujo del agua superficial y subterránea en el sector Shucshapá 366
Figura 7-76. Perfil esquemático de litología y perfiles de tomografía eléctrica 367
Figura 7-77. Distribución de puntos de muestreo en el ámbito de las lagunas Yanacocha y Rupahuay a) con la LGA para clase VI y b) Con el ECA para agua 2017.. 368
Figura 7-78. a) y b) Vistas fotográficas del punto EFRupa-02, c) y d) vistas fotográficas del punto de vertimiento DRupa-01 que descarga por debajo del espejo de agua de la quebrada S/N. 370
Figura 7-79. Concentraciones de metales en agua a) plomo, b) zinc, c) cadmio disuelto y en sedimento d) arsénico, cobre, plomo y zinc en los puntos aguas arriba (QRupa-03) y aguas abajo (QRupa-04) del vertimiento 370
Figura 7-80. a) Densidad, Riqueza y diversidad de las comunidades de perifiton en quebradas tributarias a la laguna Rupahuay 371
Figura 7-81. Concentración de metales en la laguna Rupahuay: a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto 372
Figura 7-82. Concentración de a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto; en la laguna Rupahuay realizados en los años 2017 y 2018 373
Figura 7-83. Análisis mineralógico del a) sedimento (LRupa-SED-14) de la laguna, b) lodos de la poza de sacado de la planta de tratamiento Shucshapá (C-R4), c) material del depósito de desmoente Shucshpá (C-R1) y d) Concentración de arsénico, cobre, plomo y zinc en el los puntos LRupa-SED-14, C-R4 y C-R1. 374
Figura 7-84. a) Concentraciones de plomo y zinc y b) índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Rupahuay 375
Figura 7-85. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Rupahuay 376
Figura 7-86. Distribución de puntos de muestreo en el ámbito del río Quichas 377
Figura 7-87. Concentración de metales totales en el rio Quichas y tributarios: a) plomo total, b) zinc total 377
Figura 7-88. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Quichas y sus tributarios 378
Figura 7-89. Esquema de puntos de muestreo en el ámbito de la laguna Rumbrococha379
Figura 7-90. Concentración de metales totales en el río Quichas, tributarios y la laguna Rumbrococha: a) plomo total y b) zinc total 380
Figura 7-91. Concentración de plomo total en los muestreos realizados en 2017 y 2018. 381
Figura 7-92. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) plomo y d) zinc en el sedimento de la laguna Rumbrocha. 382

Figura 7-93. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en las quebradas asociada a la laguna Rumbrococha 383
Figura 7-94. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en las quebradas asociadas a la laguna Rumbrococha 383

1. INTRODUCCIÓN

La unidad minera Raura (en adelante, UM Raura) operada por Compañía Minera Raura S.A. (en adelante, CMR S.A.), se ubica en las microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha, Tinquicocha y Rupahuay, pertenecientes a la intercuenca Alto Marañón V y a la cuenca Huaura. Geopolíticamente está ubicada en los distritos San Miguel de Cauri y Oyón, provincias Lauricocha y Oyón, departamentos Huánuco y Lima. La UM Raura realiza la explotación del mineral mediante labores subterráneas y se obtiene concentrados de cobre, plomo y zinc.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, OEFA) determinó que una de las evaluaciones de calidad ambiental a ser ejecutada por la Dirección de Evaluación Ambiental, sería en el área de influencia de la UM Raura, perteneciente a la CMR S.A., ya que las actividades mineras desarrolladas en la zona, podrían estar deteriorando el ecosistema; según el Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (en adelante, Sinada) del OEFA, atendió siete denuncias ambientales[1] relacionadas a la afectación de los componentes ambientales: agua (derrame de aguas con residuos tóxicos provenientes de las actividades mineras hacia la laguna Rupahuay y presunta contaminación ambiental que estaría afectando los suelos, ríos y lagunas).

En el Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, Planefa) 2017 del OEFA, se determinó priorizar la evaluación ambiental en el área de influencia de la UM Raura a fin de «Determinar los factores externos que podrían estar influenciando en los diferentes componentes ambientales del área de influencia, realizando un análisis que permita determinar si existe relación de causalidad entre el estado de los componentes ambientales y las actividades mineras»; sin embargo, debido a la magnitud del área de estudio primero se realizó la evaluación ambiental en doce lagunas y sus principales tributarios[2].

Con la finalidad de evaluar la calidad ambiental e identificar posibles fuentes de alteración en el área de influencia de la UM Raura, así como, contribuir a la solución de la problemática socioambiental de la zona (relacionadas a las denuncias ambientales registradas) y en cumplimiento del Planefa 2018, el presente informe contiene los resultados, análisis y conclusiones obtenidas de la evaluación ambiental de la calidad de agua, sedimento, suelo, comunidades hidrobiológicas, la caracterización geológica y de componentes mineros, así como la prospección geofísica; esta información constituirá un soporte técnico para el inicio de las acciones de supervisión y fiscalización ambiental de acuerdo con las funciones del OEFA.

[1] Registro con código: SC-0147-2018, SC-0563-2017, SC-0297-2016, SC-0179-2016, SC-0662-2011, SC-0541-2011 y SC-0321-2010.

[2] Informe de evaluación ambiental en docne lagunas y sus principales tributarios, ubicados en la subcuenca Lauricocha y la parte alta de la cuenca Huaura, durante el año 2017, aprobado mediante informe N.° 100-2017-EOFA/DE-SDLB-CEAME, con fecha 21 de diciembre de 2017.

2. ANTECEDENTES

Para la identificación de la problemática socioambiental en el área de influencia de la UM Raura, se procedió a identificar las actividades extractivas y productivas desarrolladas en las microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha, Tinquicocha y Rupahuay, y se realizó una recopilación, revisión, análisis y síntesis de la información ambiental existente de la unidad minera en mención y su área de influencia.

2.1 Actividades extractivas o productivas identificadas

La UM Raura se dedica a la explotación y beneficio de minerales polimetálicos y obtención de concentrados de cobre, plomo y zinc, con bajos contenidos de plata. Tiene una planta concentradora con una capacidad autorizada de 2500 t/día[3], y el sistema operativo de la unidad comprende tres procesos: el geológico, el de minado y el de beneficio. La producción del mineral es realizada mediante métodos de minado subterráneo, y el beneficio se lleva a cabo mediante el método de flotación selectiva o diferencial para la obtención de concentrados de cobre, plomo y zinc; este proceso genera residuos como relaves[4].

Durante la década de los sesenta, los relaves eran almacenados en los depósitos Nieve Ucro I y Caballococha; donde se depositó relaves en el depósito de Nieve Ucro I, ubicado a 300 m de distancia al oeste de depósito Nieve Ucro II, ahora se encuentra en abandono luego de haber sido estabilizado y revegetado. La laguna Caballococha, ubicada al pie de la concentradora, fue utilizada como depósito de relaves entre 1960 y 1996, luego estos relaves fueron removidos de la laguna y utilizados como relleno en las labores subterráneas, así como también fueron depositados en la relavera Nieve Ucro II, donde desde diciembre 1996 se viene disponiendo los relaves en dicho depósito[5].

Desde el 2000, en previsión a la colmatación del área destinada a la disposición de relaves en la relavera Nieve Ucro II, la CMR S.A. solicitó a Golder Associates Perú S.A., la elaboración de un estudio de alternativas para la determinación de un depósito de relaves, el desarrollo de la ingeniería de detalle y Estudio de Impacto Ambiental (en adelante, EIA) para la opción seleccionada. El estudio de alternativas consideró seis áreas para la disposición de relaves, tres de los cuales fueron lagunas de origen glaciar y tres áreas secas, concluyendo que la laguna Caballococha es la mejor opción para la disposición de relaves y se procedió con el diseño de proyecto «Disposición Subacuática de Relaves en la laguna Caballococha», siendo aprobado el EIA[6] que contempló la disposición subacuática de relaves mineros hasta el 2015. Actualmente, los relaves son dispuestos en el depósito de relaves Nieve Ucro II. En la Figura 2-1, se representa el diagrama de flujo del proceso productivo-extractivo de la UM Raura.

[3] Extraído de la Autorización de ampliación de capacidad de la Planta de Beneficio «Concentradora Raura», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 520-2014-DGM/V, con fecha 12 de noviembre de 2014.

[4] Extraído del Programa de adecuación y manejo ambiental de la unidad minera Raura - PAMA, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 271-1997-EM/DGM, con fecha 1 de agosto de 1997.

[5] Extraído de Actualización del Plan de Cierre de la unidad minera Raura, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AMM, con fecha 9 de julio de 2013.

[6] Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAAM, con fecha 28 de abril de 2003.

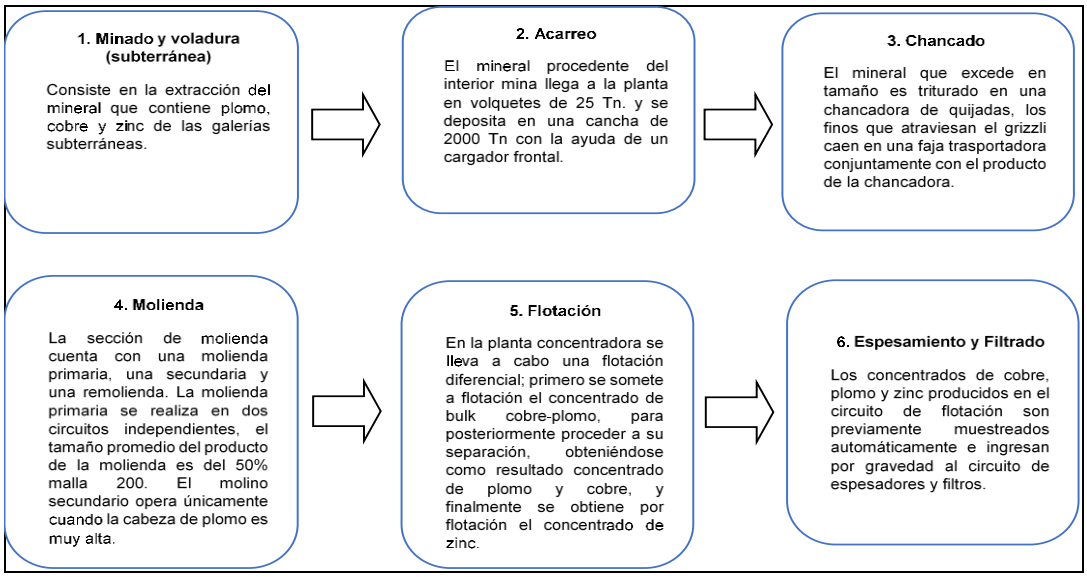


Figura 2-1. Diagrama de flujo del proceso productivo-extractivo de la UM Raura
Fuente: Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) de la unidad minera Raura (1997)

2.2 Recopilación, revisión y análisis de la información

Se realizó la revisión de información ambiental sustraída de los instrumentos de gestión ambiental (en adelante, IGA) aprobados por la autoridad competente del sector y de otras instituciones; además de la información generada por otras áreas del OEFA, como:

- Informes de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA
- Procedimientos administrativos sancionadores de la Dirección de Fiscalización y Aplicación de Incentivos del OEFA
- Denuncias ambientales registradas en el Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales del OEFA

2.2.1 Instrumentos de gestión ambiental

La UM Raura viene operando aproximadamente desde 1960, cuenta con instrumentos de gestión ambiental aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y otros documentos vinculados, los cuales se detallan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Instrumentos de gestión ambiental y otros documentos vinculados de la UM Raura de CMR S.A.

N°	Título del documento	Número de resolución/informe	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
1	Sexto Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura, presentado por Compañía Minera Raura S.A.	Resolución Directoral N.° 073-2018-SENACE-JEF/DEAR	30 de mayo de 2018	Servicio Nacional de Certificación Ambiental para as Inversiones Sostenibles
2	Informe de Identificación de Sitios Contaminados de la Unidad Minera Raura, presentado por Compañía Minera Raura S.A.	Resolución Directoral N.° 051-2018-MEM-DGAAM	26 de marzo de 2018	Ministerio de Energía y Minas
3	Quinto Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura, presentado por Compañía Minera Raura S.A.	Resolución Directoral N.° 310-2017-SENACE/DCA	16 de octubre de 2017	Servicio Nacional de Certificación Ambiental para

N°	Título del documento	Número de resolución/informe	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
				las Inversiones Sostenibles
4	Segunda modificación al plan de cierre de minas de la unidad minera Raura	Resolución Directoral N.° 128-2017-MEM-DGAAM	27 de abril de 2017	Ministerio de Energía y Minas
5	Cuarto Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura, presentado por Compañía Minera Raura S.A.	Resolución Directoral N.° 080-2017-SENACE/DCA	24 de marzo de 2017	Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles
6	Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura, presentado por Compañía Minera Raura S.A.	Resolución Directoral N.° 035-2016-SENACE/DCA	28 de junio de 2016	
7	Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Raura para la «Modificación de componentes principales y auxiliares» de la unidad minera Raura	Resolución Directoral N.° 157-2015-MEM-DGAAM	1 de abril de 2015	Ministerio de Energía y Minas
8	Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Raura «Modificación de Infraestructura, Sistemas y Tratamiento de Agua y Transporte de Relaves»	Resolución Directoral N.° 060-2015-MEM-DGAAM	29 de enero de 2015	
9	Autorización de ampliación de capacidad de la Planta de Beneficio «Concentradora Raura»	Resolución Directoral N.° 520-2014-DGM/V	12 de noviembre de 2014	
10	Primera Modificación de Plan de Cierre de la unidad minera Raura (Expediente N.° 2425862)	Resolución Directoral N.° 523-2014-MEM/AMM	17 de octubre de 2014	
11	Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto de Exploración Santa Rosa y Virgen de las Nieves -DIA	Resolución Directoral N.° 336-2013-MEM/AAM	10 de setiembre de 2013	
12	Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para el Recrecimiento del Depósito de Relaves Nieve Ucro II	Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM	21 de agosto de 2013	
13	Actualización del Plan de Cierre de la unidad minera Raura (Informe N° 956-2013/MEM-AAM/RPP/MPC/JRST)	Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AMM	9 de julio de 2013	
14	Autorización de vertimiento industrial del Sistema de Disposición Subacuática de Relaves para la Unidad Minera Raura	Resolución Directoral N.° 131-2012-ANA-DGCRH	28 de setiembre de 2012	Autoridad Nacional del Agua
15	Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A.	Resolución Directoral N.° 312-2008-MEM/AMM	17 de diciembre de 2008	Ministerio de Energía y Minas
16	Licencia de Uso de Agua con fines Mineros, otorgado en vías de regularización, a favor de la compañía Minera Raura S.A. proveniente de las lagunas Caballococha, Santa Ana Alta, Niñococha, Niño Perdido y los nevados Virgen de las Nieves y Brazini	Resolución de Intendencia N.° 860-2008-INRENA-IRH	29 de setiembre de 2008	Instituto Nacional de Recursos Naturales
17	Segunda ampliación de área de la concesión de beneficio «Concentradora Raura» de 90,5 hectáreas de extensión a Compañía Minera Raura S.A., para la disposición Subacuática de Relaves en la Laguna Caballococha	Resolución Directoral N.° 175-2005-MEM/DGA	6 de junio de 2005	Ministerio de Energía y Minas
18	Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha	Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAAM	28 de abril de 2003	

N°	Título del documento	Número de resolución/informe	Fecha de aprobación	Organismo que aprobó
19	Modificación del PAMA, en relación al monto de inversión y el periodo de ejecución que se ampliará hasta el 31 de julio de 2002	Resolución Directoral N.° 077-2002-EM/DGAAM	5 de marzo de 2002	Ministerio de Energía y Minas
20	Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la Unidad de Producción Raura	Resolución Directoral N.° 271-97-EM/DGM	1 de agosto de 1997	
21	Ampliación del área de la concesión de beneficio “Concentradora Raura” de CIA. Minera Raura S.A. para depósito de relaves denominado “Relavera N° 2” de 9 has. de extensión	Resolución Directoral N.° 266-1997-EM-DGM	21 de julio de 1997	
22	Estudio de Impacto Ambiental para la construcción del depósito de relaves Nieve Acro II	Informe N.° 407-95-EM-DGM/DPDM	22 de setiembre de 1995	

A continuación, se presenta un resumen de los compromisos ambientales y resultados relevantes obtenidos de los componentes ambientales agua superficial y efluentes mineros, de los IGA de la UM Raura.

Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la Unidad de Producción «Raura», Resolución Directoral N.° 271-97-EM/DGM

Este instrumento de gestión ambiental fue aprobado el 1 de agosto de 1997, y los objetivos fueron: i) evaluar la situación de los componentes ambientales que puedan estar siendo afectados por la actividad minero-metalúrgica, ii) la identificación de las posibles fuentes y causas del deterioro ambiental, entre otros; en dicho documento se identifican fuentes generadoras de impacto ambiental, y se presentan los resultados del componente ambiental agua superficial y efluentes evaluados (Tabla 2-2 y 2-3).

Tabla 2-2. Impactos ambientales identificados en el PAMA de la UM Raura de CMR S.A.

N.°	Impactos ambientales identificados
1	Drenaje de agua de mina: volúmenes de agua de mina procedentes de bocaminas.
2	Aguas servidas: se originan en oficinas y campamentos Raurapata, Raura y Vista Alegre.
3	Relaves: originados en la planta concentradora como consecuencia del procesamiento de los minerales.
4	Depósito de desmonte: se originan de las labores de mina interior, así como del desbroce de los tajos Primavera y Niño Perdido (en cierre progresivo).
5	Polvos, ruidos y gases: interior mina y planta concentradora son generadores de polvo, ruido y gases propios de la operación. Asimismo, en las carreteras y relaveras se originan polvos por la acción del viento y por el tránsito vehicular.

Tabla 2-3. Resultados de agua superficial y efluentes, evaluados en el PAMA de la UM Raura de CMR S.A.

Cuerpo de agua asociado y efluentes	Fecha		Parámetros								
			pH	CE (µS/cm)	TSS (mg/L)	SO_4^{-2} (mg/L)	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
Efluente: drenaje de la bocamina Tinquicocha (E-4)	1994	Jun	9,6	1008	NE	NE	0,036	0,03	0,03	0,03	0,02
		Set	8,3	1106	2125	NE	0,027	0,03	0,13	0,05	0,08
		Dic	7,6	494	NE	NE	0,014	0,03	0,06	0,11	0,47
	1995	May	7,2	585	NE	383	0,032	0,03	3,10	0,37	0,87
		Jun	6,9	835	180	380	0,005	0,03	1,57	0,06	0,56
		Jul	7,3	863	NE	261	0,017	0,03	0,03	0,03	0,11
		Set	7,8	475	304	NE	0,017	0,03	0,13	0,03	0,12
	1995	Oct	NE	NE	1272	NE	0,028	0,03	0,35	0,04	0,14
		Nov	7,7	637	162	NE	0,061	0,06	1,59	0,62	0,82

Cuerpo de agua asociado y efluentes	Fecha		Parámetros								
			pH	CE (µS/cm)	TSS (mg/L)	SO_4^{-2} (mg/L)	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
Efluente: drenaje de la bocamina Tinquicocha (E-4)	1996	Ene	8,8	NE	437	318	0,018	0,03	0,03	0,03	0,56
		Feb	8,4	NE	629	315	0,031	0,03	0,03	0,03	0,24
		Mar	8,1	NE	409	312	0,012	0,03	0,03	0,03	2,02
		Abr	NE	NE	446	NE	0,04	0,14	2,37	0,82	2,8
		May	NE	NE	56	NE	NE	0,03	0,19	NE	NE
Efluente: relaves de la planta concentradora (E-7)	1995	Jul	NE	NE	25300	322	0,009	0,03	0,03	0,03	0,02
		Set	11,3	1799	18436	NE	0,032	0,03	0,38	0,32	0,4
		Oct	NE	2200	25336	NE	0,004	0,03	0,26	0,49	0,12
		Nov	11,7	NE	78000	NE	0,014	0,03	0,18	0,31	0,27
	1996	Ene	11,5	NE	97600	419	0,007	0,03	0,03	0,26	0,66
		Feb	11,6	NE	44677	365	0,081	0,03	0,03	0,07	0,08
		Mar	11,5	NE	93200	492	0,008	0,03	0,03	0,03	0,07
		Abr	NE	NE	81352	NE	0,12	0,13	0,20	0,07	0,12
		May	NE	NE	180645	NE	NE	0,06	0,13	0,31	NE
Efluente: drenaje de la bocamina Hidro (E-9)	1996	Ene	8	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
		Feb	8	NE	4	286	0,011	0,03	0,03	0,03	2,04
		Mar	8,1	NE	8	306	0,006	0,03	0,03	0,03	5,5
		Abr	NE	NE	NE	NE	0,01	0,04	0,54	0,27	3,54
		May	NE	NE	1	NE	NE	0,02	0,17	NE	2,03
Efluente: rebose de los espesadores (E-10)	1996	Ene	8,2	NE	81	NE	NE	NE	NE	NE	NE
		Feb	8,1	NE	236	240	0,01	0,03	0,03	0,22	0,82
		Mar	8,1	NE	266	182	0,005	0,03	0,03	0,54	0,35
		Abr	NE	NE	12	NE	0,05	0,03	0,24	1,63	0,73
		May	NE	NE	141	NE	NE	0,03	0,19	0,89	0,75
Agua superficial: descarga de la laguna Niñococha (E-1)	1994	Jun	8,8	100,9	NE	NE	0,005	0,03	0,09	0,03	0,05
		Set	7,6	96,2	76	NE	0,007	0,03	0,13	0,03	0,01
		Nov	7,7	74,2	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
		Dic	7,5	51,2	NE	NE	0,03	0,03	0,17	0,03	0,05
	1995	Ene	7,4	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
		Feb	7,5	120,4	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
		Mar	7,3	131,1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
		Abr	7,7	78,5	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
		May	7,4	65,9	40	39	0,005	0,03	0,37	0,04	0,01
Agua superficial: descarga de la laguna Niño Perdido (E-6)	1995	Set	8,5	372	8	NE	0,005	0,03	0,09	0,03	0,04
		Oct	NE	NE	100	NE	0,009	0,03	0,14	0,03	0,01
		Nov	8	128	5	NE	0,013	0,03	0,38	0,06	0,23
	1996	Ene	8,2	NE	1	83	0,011	0,03	0,03	0,03	0,06
		Feb	8,1	NE	35	85	0,011	0,03	0,56	0,05	0,22
		Mar	8,1	NE	14	74	0,008	0,03	0,18	0,04	0,26
		Abr	NE	NE	NE	NE	0,02	0,01	0,83	0,06	0,86
		May	NE	NE	1	NE	NE	0,05	0,24	NE	NE
Agua superficial: descarga de la laguna Santa	1994	Jun	NE	378	NE	NE	0,005	0,03	0,03	0,03	0,04
		Set	NE	372	NE	NE	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01
		Nov	7,7	135	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Cuerpo de agua asociado y efluentes	Fecha		Parámetros								
			pH	CE (µS/cm)	TSS (mg/L)	SO_4^{-2} (mg/L)	As (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
Ana (E-2)		Dic	9,1	120,7	NE	NE	0,005	0,03	0,07	0,04	0,02
	1995	May	7,5	180,6	80	82	0,005	0,03	0,07	0,03	0,01
		Jun	8,3	219	21	79	0,005	0,03	0,16	0,03	0,01
		Jul	8,5	207,7	20	66	0,005	0,03	0,03	0,03	0,01
		Set	9	162	24	NE	0,005	0,03	0,04	0,03	0,03
		Oct	NE	NE	40	NE	0,006	0,03	0,34	0,03	0,01
		Nov	7,5	184	1	NE	0,011	0,03	0,14	0,06	0,1
	1996	Ene	8,3	NE	1	49	0,009	0,03	0,03	0,03	0,01
		Feb	9,1	NE	6	66	0,017	0,03	0,06	0,03	0,06
		Mar	8,3	NE	9	88	0,005	0,03	0,08	0,03	0,34
		Abr	NE	NE	NE	NE	0,01	0,01	0,18	0,02	0,52
		May	NE	NE	0,05	NE	NE	0,09	0,15	0,01	NE
Agua superficial: descarga de la laguna Caballococha (E-3)	1994	Jun		1060	NE	NE	0,005	0,13	0,03	0,03	0,01
		Set	10,6	1168	NE	NE	0,002	0,03	0,05	0,03	0,01
		Dic	10,3	641	NE	NE	0,005	0,05	0,1	0,06	0,04
	1995	May	7,4	495	64	302	0,005	0,03	0,11	0,03	0,01
		Jun	10	876	34	302	0,005	0,03	0,03	0,03	0,01
		Jul	10,1	842	1	317	0,005	0,03	0,03	0,03	0,01
		Set	10,5	919	10	NE	0,005	0,03	0,03	0,03	0,01
		Oct	NE	NE	1	NE	0,008	0,03	0,03	0,03	0,01
		Nov	10,1	865	1	NE	0,01	0,03	0,03	0,04	0,05
	1996	Ene	9,8	NE	1	281	0,006	0,03	0,03	0,03	0,01
		Feb	10	NE	1	292	0,01	0,03	0,07	0,03	0,04
		Mar	10,1	NE	6	300	0,005	0,03	0,03	0,03	0,04
		Abr	NE	NE	NE	NE	0,01	0,01	0,21	0,07	0,06
Agua superficial: descarga de la laguna Tinquicocha (E-5)	1994	Jun	8,1	510	NE	NE	0,025	0,03	0,03	0,03	0,1
		Set	8,4	645	NE	NE	0,033	0,03	0,05	0,03	0,07
		Dic	8	485	NE	NE	0,021	0,03	0,06	0,05	0,13
	1995	May	7,4	508	40	257	0,016	0,03	0,03	0,03	0,04
		Jun	7,1	740	48	250	0,005	0,03	0,03	0,03	0,12
		Jul	7,5	393,4	NE	344	0,019	0,03	0,38	0,08	0,26
		Set	8,2	669	39	NE	0,013	0,03	0,03	0,03	0,14
		Oct	NE	NE	26	NE	0,02	0,03	0,08	0,03	0,11
		Nov	8,1	636	5	NE	0,022	0,04	0,2	0,04	0,22
		Dic	NE	NE	1	NE	0,022	NE	0,05	0,03	0,22
	1996	Ene	8,3	NE	1	248	0,046	0,03	0,03	0,03	0,12
		Feb	8,1	NE	1	249	0,04	0,03	0,03	0,03	0,15
		Mar	8,1	NE	8	257	0,017	0,03	0,03	0,03	0,17
		Abr	NE	NE	NE	NE	0,02	0,01	0,13	0,04	0,22

TSS: Sólidos totales suspendidos, pH: Potencial de hidrógeno, CE: Conductividad eléctrica, SO4-2: Sulfatos, NE: No evaluado

Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves «Nieve Ucro II», Resolución Directoral N.º 312-2013-MEM/AAM

El proyecto se encuentra ubicado geográficamente en el distrito San Miguel de Cauri, provincia Lauricocha, departamento Huánuco; el mismo que tiene como finalidad contar con las infraestructuras mineras necesarias para la disposición segura de los relaves generados en la Planta de Beneficio «Concentradora Raura», lo cual permitirá garantizar la continuidad de la operación de la UM Raura. A continuación, se presentan los resultados de los parámetros evaluados en cuerpos de agua superficial en lagunas (PMW-02 y PMW-09), detallados en la línea de base (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. Resultados de agua superficial en lagunas Nieve Ucro y 3, evaluados en el EIA del proyecto de recrecimiento del depósito de relaves «Nieve Acro II»

Cuerpo de agua	Fecha	Parámetros	
		As (mg/L)	Pb (mg/L)
Laguna Nieve Ucro (PMW-02)	Mayo 2011	0,0084	0,0199
	Agosto 2011	0,008	0,0086
Laguna 3 (PMW-09)	Mayo 2011	0,0133	0,0016
	Agosto 2011	0,0372	0,0013

2.2.2 Acciones realizadas en el marco de la función evaluadora

Informe N.° 395-2012-OEFA/DE

La Dirección de Evaluación Ambiental[7] elaboró el Informe N.° 395-2012-OEFA/DE, «Evaluación de resultados de la Evaluación Ambiental realizada a la unidad minera Raura S.A.», donde se realizó la evaluación de la calidad de agua, sedimento, suelo y aire que podrían verse influenciados por actividades de la UM Raura y cuya fiscalización son de competencia directa del OEFA. Los monitoreos fueron realizados del 25 al 30 de junio 2012.

De acuerdo con los resultados del informe, el agua para consumo muestreado de manera referencial en la pileta del Centro Poblado Nueva Raura (contiguo a la laguna Caballococha) presentó valores de pH, arsénico y plomo que incumplieron los valores Límites Máximos Permisibles (en adelante, LMP) establecidos para la calidad del agua para consumo humano[8] (Decreto Supremo N.° 031-2010-SA), además en los puntos de muestreo ubicados en la laguna Caballococha (RCH-8A) y vertedero de concreto-zona de rebose de la laguna Caballococha (RCH-8) se registraron concentraciones de plomo que cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas (en adelante, LGA) para clase III (establecido en su IGA[9]); sin embargo, al compararlos con los valores límites establecidos en la LGA para clase VI, incumplen con esos valores. Cabe precisar que, la laguna Caballococha se conecta a través de un vertedero de concreto–zona de rebose, con la laguna Tinquicocha.

En la laguna Tinquicocha se registraron concentraciones de plomo (RCH-1) y zinc (RCH-1, RCH-2/E-5, RE-4A, RE-5) que incumplieron los valores límites establecidos

7 Según el Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), aprobado mediante Decreto Supremo N.° 013-2017-MINAM, antes nombrado como Dirección de Evaluación.

8 Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 031-2010-SA, con fecha 24 de setiembre de 2010.

9 Ley General de Aguas N.° 17752 para clase III, que presentan los mismos valores de los Límites de sustancias potencialmente peligrosas establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA.

en la LGA para clase VI; y el compromiso asumido por la CMR S.A.[10], para controlar los valores de zinc total en dicha laguna, los que deberán mantenerse por debajo de 0,13 mg/L.

En la laguna Rupahuay (E-RL) y zona de mezcla con la descarga de la quebrada Rupahuay y el vertimiento (E-RLA) se registraron valores de pH, arsénico, plomo, mercurio y zinc que incumplieron los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua en la Categoría 4: «Conservación del ambiente acuático», subcategoría: Lagunas y lagos (Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM); la aplicación del marco normativo en concordancia a la autorización de vertimiento[11] emitida por la Autoridad Nacional del Agua. Además, el punto de muestreo E-20B (efluente del filtro de percolación de los depósitos de lodos Shucshapá) presentó una concentración de sólidos suspendidos totales (TSS) de 10699 mg/L, que superó su Nivel Máximo Permisible (en adelante, NMP)[12].

Los sedimentos ubicados en el canal de rebose de la laguna Santa Ana, altura del puente de la garita (SD-01) y la laguna Tinquicocha, presentaron concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo, mercurio y zinc, que superaron los valores de la ISQG (valores guía provisional de calidad de sedimento) de la CEQG (estándares de la guía de calidad ambiental de Canadá).

Informe N.° 579-2012-OEFA/DE

La Dirección de Evaluación elaboró el Informe N.º 579-2012-OEFA/DE, «Evaluación de resultados de la Evaluación Ambiental realizada a la Compañía Minera Raura S.A.», donde se realizó la evaluación de la calidad de agua que podría verse influenciado por actividades de la UM Raura y cuya fiscalización son de competencia directa del OEFA. Los monitoreos fueron realizados del 10 al 14 de octubre de 2012.

De acuerdo con los resultados del informe, los parámetros de arsénico (RE-5) y zinc (RCH-1 y RE-1) ubicados en la laguna Tinquicocha incumplieron los valores límites establecidos en la LGA para clase VI; y el compromiso asumido por la CMR S.A.[13], para controlar los valores de zinc total en dicha laguna, los que deberán mantenerse por debajo de 0,13 mg/L. Además, el efluente doméstico del filtro A (E-16A) presentó concentraciones de solidos suspendidos totales (TSS) y plomo, que superaron los NMP (R.M. N.° 011-96-EM/VMM).

2.2.3 Procedimientos administrativos sancionadores de la Dirección de Fiscalización y Aplicación de Incentivos (DFAI)[14] del OEFA

Resolución Directoral N.° 0669-2017-OEFA/DFSAI

En la Resolución Directoral N.° 0699-2017-OEFA/DFSAI, la Dirección de Fiscalización y Aplicación de Incentivos (en adelante, DFAI) del OEFA, declara responsabilidad administrativa por parte de Compañía Minera Raura S.A., luego de iniciar un procedimiento administrativo sancionador (en adelante, PAS), como consecuencia de

10 «Estudio de impacto ambiental del depósito de relaves Caballococha», aprobado mediante la Resolucion Diretrial N.° 207-2003-EM/DGAAM el 28 de abril de 2003.

11 Aprobado mediante la Resolucion Directoral N.° 0027-2011-ANA-DGCRH, el 21 de enero de 2011.

12 Niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos, aprobado mediante Resolución Ministerial N.° 011-96-EM/VMM, con fecha 12 de enero de 1996.

13 «Estudio de impacto ambiental del depósito de relaves Caballococha», aprobado mediante la Resolucion Diretrial N.° 207-2003-EM/DGAAM el 28 de abril de 2003.

14 Según Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), aprobado mediante Decreto Supremo N.º 013-2017-MINAM, antes nombrado como Dirección de Fiscalización, Sanción y Aplicación de Incentivos (DFSAI).

los hallazgos encontrados en la supervisión especial realizada del 20 al 23 de mayo de 2013. La responsabilidad administrativa fue declarada por la siguiente conducta infractora: los efluentes en los puntos E-9A, E-16A y E-14/15, bocamina Hidro y desagüe del filtro Hidro-A que descargan la laguna Caballococha, y tanque séptico que descarga a la laguna Santa Ana respectivamente, no cumplen con la normatividad (R.M. N.° 011-96-EM/VMM) para los parámetros zinc (E-9A) y sólidos suspendidos totales (E-16A y E-14/15).

Es importante mencionar que, durante la mencionada supervisión, también se observó otros hallazgos consignados como hechos imputados en la presente resolución, los que fueron levantados por el administrado. El hecho imputado N.° 5, señala que el agua de la bocamina Catuva Nivel 630 entra en contacto con el agua natural de la laguna Niño Perdido y la mezcla de ambas descargas a la laguna Santa Ana, observándose en el cauce sedimentos y escombros (rocas, tubos, cilindros, calaminas oxidadas), respecto a este hecho imputado el administrado procedió con la limpieza de residuos del cauce y construyó pozas de sedimentación para controlar el arrastre de sólidos del agua de la bocamina Cativa. Además, el hecho imputado N.° 6 está relacionado a que el administrado no habría realizado un manejo sanitario ni ambientalmente adecuado de los residuos, al haberse constatado la disposición de material de desmonte del botadero Shucshapá sobre el pastizal; al respecto el administrado realizó la limpieza del área del pastizal que se encontraba con rocas y construyó un pircado al pie del talud del botadero para evitar impactos de la zona del pastizal. En relación a esos dos últimos hechos mencionados en la resolución, se concluye que la Compañía Minera Raura S.A. subsanó la conducta infractora de manera voluntaria, lo que procedió con el archivo del expediente emitido por la Dirección de Supervisión.

Resolución Directoral N.° 1113-2017-OEFA/DFSAI

En la Resolución Directoral N.° 1113-2017-OEFA/DFSAI, la DFAI del OEFA, declara responsabilidad administrativa por parte de Compañía Minera Raura S.A., luego de iniciar un PAS, como consecuencia del hallazgo encontrado en la supervisión documental realizada en diciembre 2015. La responsabilidad administrativa fue declarada por la implementación de los siguientes componentes: (i) labores subterráneas en los niveles superior e inferior, (ii) chimeneas de ventilación, (iii) labores superficiales, (iv) canteras de material de préstamo, (v) grifo de abastecimiento de combustible «almacén», (vi) grifo de abastecimiento de combustible «Catuva», (vii) sistema de abastecimiento de energía, (viii) campamento Shucshapá e instalaciones asociadas, e (ix) instalaciones auxiliares; incumpliendo lo establecido en su IGA.

2.2.4 Denuncias ambientales registradas en el Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (Sinada) del OEFA

El Sinada cuenta con siete denuncias ambientales relacionadas a la UM Raura, ubicada en el departamento Huánuco, provincia Lauricocha, distrito San Miguel de Cauri, registradas desde 2010 hasta 2018. En la Tabla 2-5, se describe las denuncias ambientales mencionadas que se empleó como fuente de referencia para la determinación de componentes ambientales de interés.

Tabla 2-5. Denuncias ambientales atendidas por el Sinada desde 2010 hasta 2018 relacionadas a la UM Raura de CMR S.A.

Código Sinada	Descripción de hechos	Departamento	Provincia	Distrito
SC-0147-2018	[SIC] «Presunta contaminación ambiental ocasionada por actividades de la Compañía Minera Raura S.A., a la calidad del agua de la laguna Caballococha. Asimismo, se visualiza que los residuos líquidos son vertidos a la laguna emanando olores desagradables, a la fecha no existen peces en Caballococha».	Huánuco	Lauricocha	San Miguel de Cauri
SC-0563-2017	[SIC] «Derrame de efluentes mineros ocasionado, presuntamente, por la compañía minera Raura. Miembros de la comunidad campesina de quichas informaron que encontraron el río Quichas con turbulencia inusual, y en la desembocadura de la laguna Rupahuay se encontraron la presencia de lodo de color amarillento; además de otros impactos generados por las operaciones de la Compañía Minera. Asimismo, los efluentes producidos por la actividad de la minera, presuntamente, vienen tributando en la cuenca del pacífico, lo que ocasiona impactos negativos a la vida, salud y territorio de la Comunidad Campesina de Quichas».	Lima	Oyón	Oyón
SC-0297-2016	[SIC] «Con fecha 6 de mayo en la zona de Shuschapa y Yanco se detecta gran derrame de aguas con residuos tóxicos provenientes de los desechos de la actividad minera, la misma que habiendo colmatado la laguna Rupaway siguiendo su curso aguas abajo afectando casi 300 hectáreas aprox».	Lima	Oyón	Oyón
SC-0179-2016	[SIC] «Presunta contaminación ambiental ocasionada por el desarrollo de actividades mineras de las empresas denunciadas, las cuales estarían afectando seriamente los suelos, ríos, lagunas y el ambiente en general, generando el malestar de la población de cinco provincias alto andinas».	Huánuco	Lauricocha	San Miguel de Cauri
SC-0662-2011	[SIC] "Impacto ambiental al agua y suelos que viene generado la actividad minera de hace 50 años por parte de la Compañía Minera Raura S.A, en la localidad de Lauricocha en el departamento de Huánuco, el caso es que el presidente del gobierno regional de huánuco, quien hace la denuncia ante el ministro del ambiente, señala que en el distrito de Cauri - provincia de Lauricocha las áreas afectadas tienen poblaciones cuyos organismos están dañados con plomo, zinc y cromo, producto de la actividad minera, siendo estas poblaciones en el distrito de Oyón-Lima las siguientes: Quichas, Ucruschaca, Pomamayo y Cashaucro, además Jesús, San Miguel de Cauri, Yachasmarca, Gashapampa, Antacolpa, Lauricocha y comunidades campesinas, como Yachas y Lauricocha. Entre las lagunas tenemos: Nieve Acro, Santa Ana, Caballococha, Tinquicocha, Puyhuancocha, Chuspicocha, Patarcocha, Taulicocha, Lauricocha por todo lo anteriormente manifestado señor ministro solicitamos brindarnos su atención mediante la intervención del Gobierno Nacional, a través de su despacho y del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA; así mismo a través del OSINERMING; a los efectos que intensifiquen la focalización y correcta aplicación del Plan de Adecuación y Manejo Ambiental - PAMA; y se actúe de manera decidida para evitar los conflictos sociales producidos por la actividad minera; con lo cual se estaría contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la población y a promover su desarrollo sostenible."med" luis r." picon quedo».	Huánuco	Lauricocha	San Miguel de Cauri

Código Sinada	Descripción de hechos	Departamento	Provincia	Distrito
SC-0541-2011	[SIC] «impacto ambiental al agua y suelos generado por la actividad minera de hace 50 años por parte de la compañía minera raura, en la localidad de lauricocha en huánuco. el caso es que, a través del presidente de la comisión de energía y minas del congreso, quien hace suya la denuncia le presentan el documento por parte de los directivos de lauricocha - presidencia de la asociación de residente de la provincia de lauricocha-huanuco. el hecho es que solicitan inmediata intervención y suspensión de actividades productivas a la cía minera raura por la contaminación efectuada en los 50 años que allí trabajan. señalan que supuestamente están ilegalmente posicionados en las tierras comunales de lauricocha con documentos fraudulentos y los estudios e.i.a y autorizaciones del uso de aguas residuales vencidas y además depositando sus relaves en la cebecera de la cuenca de lauricocha - laguna de caballo cocha.adjuntan el resultado del análisis de un laboratorio del instituto nacional de salud, efectuado a niños y adultos con residuos de plomo en la sangre y otros elementos tóxicos, como cadmio en la orina, según reportan. informan que los directivos del comité de lucha han sido denunciados y perseguidos por el ministerio público y juzgado mixto de lauricocha.de no ser atendidos tomarán medidas radicales en defensa de la vida y del medio ambiente».	Huánuco	Lauricocha	San Miguel de Cauri
SC-0321-2010	[SIC] «Contaminacion ambiental de todos los recursos naturales, en forma especial del agua y del medio ambiente, por estar ubicado su planta concentradora en cabecera de las nacientes del rio lauricocha, y botar sus relaves directamente a la laguna caballococha, durante 50 años de operacion minera, esta situcion acontece gracias al patrocinio de los funcionarios del estado (mem-digesa y otros). durante el período que ha durado la mesa de dialogo 2009-2010, los funcionarios del estado no dijeron nada, pese de constatar que sus instrumentos técnicos ya estan vencidos y que fraudulentan, ente fueron aprobados en años anteriores. tal como pudo advertir el funcionario del oefa que asistió a la mesa de diálogo del dia 27 de agosto del presente año. las actitudes negativas de los funcionarios del estado, hacen pues que la comunidad tome las medidas de lucha para hacer prevalecer sus derechos. esperamos su inmediata intervencion y su actuacion imparcial».	Huánuco	Lauricocha	San Miguel de Cauri

Fuente: Extraído de la base de datos del Sinada, marzo 2018

Por otro lado, los oficios recopilados por el OEFA, los cuales fueron emitidos por la Presidencia de Consejo de Ministros y Ministerio Público, se presentan en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6. Otras denuncias ambientales

Número de registro	Descripción de hechos	Departamento	Provincia	Distrito
2017-E01-048420	Denuncia de derrame de efluentes mineros de las operaciones mineras de la compañía de minas Raura S.A. Con referencia al OFICIO N.° 038-2017-PCM/DVGT/SGSD/SSGC.	Lima	Oyón	Oyón
2014-E01-004721	Solicita dos participantes para la participación en la inspección en el distrito de San Miguel de Cauri, Lauricocha, Huánuco jueves 13 y viernes 14 de febrero de 2014. Con referencia al OFICIO N.° 087-2014-MP/FN/FEMA/HCO.	Huánuco	Lauricocha	San Miguel de Cauri

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad ambiental e identificar las posibles fuentes de alteración en el área de influencia de la unidad minera Raura.

3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del agua superficial y sedimento, en las microcuencas de las lagunas Santa Ana[15], Caballococha y Tinquicocha, y Rupahuay.
- Identificar posibles filtraciones de los depósitos de desmontes Shucshapá, Niñococha, Niño Perdido y Tinquicocha.
- Evaluar los efluentes mineros y caracterizar las aguas residuales industriales en las microcuencas de las lagunas Rupahuay, y Caballococha y Tinquicocha; además, de caracterizar las aguas residuales industriales en la microcuenca de la laguna Santa Ana.
- Evaluar las aguas residuales domésticas en las microcuencas de las lagunas Santa Ana y Caballococha.
- Evaluar la calidad del agua subterránea en piezómetros adyacentes a los depósitos de desmonte Shucshapá y Niño Perdido, y a los depósitos de relave Nieve Ucro I, Caballococha y Nieve Ucro II.
- Evaluar la calidad del suelo en las microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha, Tinquicocha y Rupahuay.
- Evaluar el estado de las comunidades hidrobiológicas en las microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha y Tinquicocha, y Rupahuay.
- Caracterizar los depósitos de relave Nieve Acro I y Nieve Ucro II, los depósitos de desmonte Shucshapá, Niñococha, Niño Perdido, Tinquicocha, y el material de desmonte adyacente al tajo Primavera y depósito de desmonte Niñococha.
- Realizar la caracterización geológica en las microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha y Tinquicocha, y Rupahuay.

[15] Para el presente estudio, se evaluó la laguna Santa Ana que corresponde a la laguna Santa Ana Baja, según se establece en el Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Raura para la «Modificación de componentes principales y auxiliares»; mientras que, la laguna Santa Ana Alta no se evaluó.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La UM Raura se encuentra ubicada entre las microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha, Tinquicocha, Rupahuay, entre otras, pertenecientes a la intercuenca del río Marañón V y a la cuenca del río Huaura. La unidad minera se encuentra establecida en los distritos San Miguel de Cauri y Oyón, provincias Lauricocha y Oyón, departamentos Huánuco y Lima.

Así, en la presente evaluación, el área de estudio comprende las microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha, Tinquicocha y Rupahuay, las cuales incluyen el área de influencia directa de la UM Raura. Por lo que, el área de estudio se dividió en tres zonas: zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana), zona 2 (microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha) y zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay) (Figura 4-1).

Cabe resaltar que, en la evaluación 2017[16], se evaluaron las lagunas Patarcocha y Lauricocha, además de las mencionadas anteriormente; sin embargo, estas lagunas no se consideraron para la presente evaluación, debido a que, los parámetros evaluados en las aguas de las lagunas cumplieron con los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA) y a su vez cumplieron con los valores de los ECA para agua Categoría 4 (2017). Respecto a la evaluación de sedimentos, se registraron concentraciones puntuales de plomo y zinc en las lagunas Patarcocha (LPata-SED-05) y Lauricocha (LLaur-SED-07); por lo que para determinar su procedencia se requieren mayores estudios.

Para una mejor visualización de la ubicación del área de influencia directa de la UM Raura, con la distribución de sus zonas de estudio, ver Anexo 1.1.

16 «Informe de evaluación ambiental en doce lagunas y sus principales tributarios, ubicados en la subcuenca Lauricocha y la parte alta de la cuenca Huaura, durante el año 2017», aprobado mediante INFORME N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME, con fecha 21 de diciembre de 2017.

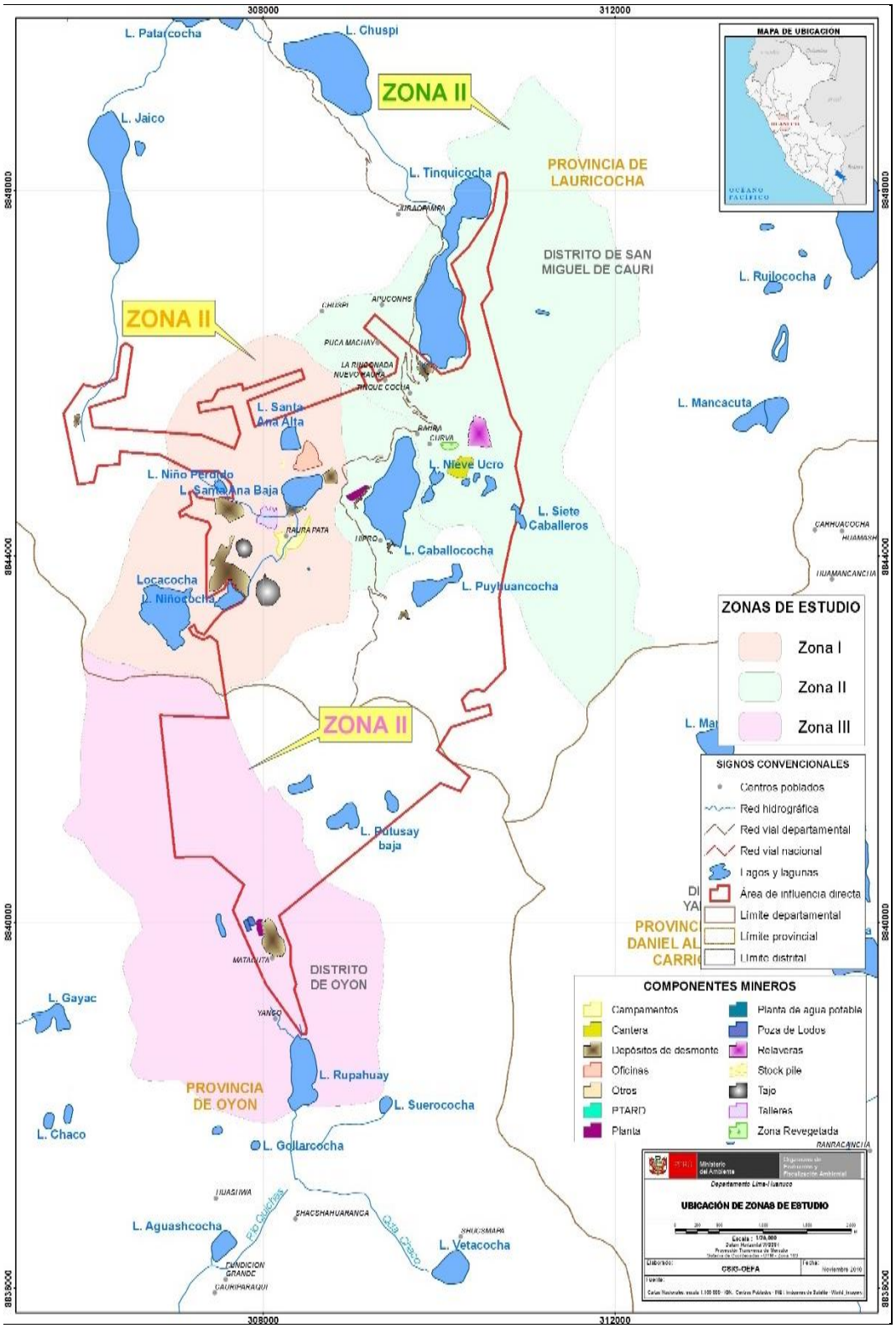


Figura 4-1. Ubicación del área de influencia directa de la UM Raura, con la distribución de sus zonas de estudio (microcuencas de las lagunas Santa Ana, Caballococha y Tinquicocha, y Rupahuay)

5. METODOLOGÍA

Las metodologías empleadas para el desarrollo de la presente evaluación ambiental en el área de influencia de la UM Raura (en adelante, evaluación), para cada uno de los componentes ambientales y estudios especializados, se detallan a continuación en función a los objetivos específicos.

5.1 Agua

Para determinar la calidad de agua en el área de influencia de la UM Raura (en adelante, área de estudio), se consideró puntos de muestreo de agua superficial, agua subterránea (piezómetros), surgencia[17], agua residual industrial, agua residual doméstica y efluentes mineros. Para efectos de este informe se considera:

- Agua subterránea: Agua que se encuentra o corre por los acuíferos, que se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y hacia lugares de menor elevación[18]. La matriz de agua subterránea evaluada se realizó en los piezómetros.

- Agua residual industrial: Agua residual originada como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, que incluye las provenientes de la actividad minera, agrícola, pesquera, agroindustrial, entre otras[19].

5.1.1 Guías utilizadas para la evaluación

En la evaluación se emplearon guías de referencia nacionales e internacionales para el muestreo de agua superficial (Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Guías de referencia para el muestreo de agua superficial y subterránea, surgencia, efluente minero, y agua residual industrial empleadas en la evaluación

Matriz	Referencia	Sección/ Capítulo	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Agua superficial	Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	Sección 6	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA	2016
Agua residual industrial y efluente minero	Protocolo de monitoreo de calidad de agua	Capítulos 2.0 y 4.0	Perú	Ministerio de Energía y Minas (Minem)	Resolución Directoral N.° 004-94-EM/DGAA	1994
Agua subterránea	Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados muestreo de aguas subterráneas	Parte 2	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	No aplica	2016

17 Según Dávila (2011) denomina el término surgencia como: «Salida de agua hacia el exterior, proveniente de cierta profundidad o del interior de la corteza terrestre. Puede tratarse de fuentes, geiseres o de circulación en rocas calcáreas».

18 «Glosario de Términos sobre Recursos Hídricos», aprobado mediante Resolución Jefatural N.° 180-2016-ANA, con fecha 7 de julio de 2016.

19 Glosario de términos del «Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales» (ANA, 2016, p. 82).

Matriz	Referencia	Sección/ Capítulo	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Agua subterránea	*National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (NFM). Book 9*	Capítulos del A1 al A6	Estados Unidos	Servicio Geológico de los Estados Unidos (en inglés, *U.S. Geological Survey*)	No aplica	2015
Medición de caudal	Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales	Sección 6.12	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA	2016
	Manual de hidrometría	Todo el manual	Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)	No aplica	2016
	Guía de prácticas hidrológicas	Capítulo 11	Países que integran la OMM	Organización Metereológica Mundial (OMM)	No aplica	2011

5.1.2 Ubicación de puntos

Los puntos de muestreo fueron ubicados considerando los que están establecidos en los IGA del administrado, aguas arriba y aguas abajo de los vertimientos, aguas arriba y aguas abajo de los principales componentes mineros, así como en las nacientes de los cuerpos hídricos y efluentes mineros; y, para las aguas residuales industriales y domésticas provenientes de las actividades mineras de la UM Raura, se consideró los puntos de control autorizados por la Autoridad Nacional del Agua (Tabla 5-2). El respectivo mapa de ubicación de puntos de muestreo en mención, se encuentra en el Anexo 1.3.

Para la presente evaluación se realizó el muestreo en las lagunas en tres niveles en la columna de agua: superficial; medio (T), esta coincide con el límite de la zona fótica y afótica; y fondo (F). Cabe mencionar que, las muestras del nivel de fondo fueron tomadas a 0,50 m de altura sobre el sedimento.

Tabla 5-2. Ubicación de los puntos de muestreo de cuerpos lénticos (lagunas), cuerpos lóticos (ríos y quebradas), surgencia, agua residual industrial, agua residual doméstica, efluente minero y agua subterránea

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Cuerpos lénticos							
1	LLoca-01	20/09/2018	16:05	306960	8843059	4874	Laguna Locacocha (en dirección sureste)
2	LLoca-02	20/09/2018	15:50	307033	8843186	4874	
3	LLoca-04	20/09/2018	15:30	307130	8843281	4874	
4	LLoca-10	20/09/2018	12:50	307060	8843561	4874	Laguna Locacocha (en dirección norte)
5	LLoca-10-T	20/09/2018	12:50	307060	8843561	4874	
6	LLoca-10-F	20/09/2018	12:50	307060	8843561	4874	
7	LRumb-01	17/09/2018	09:15	305969	8833449	4155	Laguna Rumbrococha (en dirección noreste)

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Cuerpos lénticos							
8	LRumb-03	17/09/2018	09:35	305858	8833399	4155	Laguna Rumbrococha (en dirección suroeste)
9	LRumb-05	17/09/2018	09:50	305905	8833349	4155	Laguna Rumbrococha (en dirección este)
10	LRumb-06	17/09/2018	10:05	305904	8833251	4155	
11	LRupa-01	16/09/2018	12:55	308358	8838659	4270	Laguna Rupahuay (en dirección noroeste)
12	LRupa-01-F	16/09/2018	12:55	308358	8838659	4270	
13	LRupa-03	16/09/2018	11:35	308442	8838553	4270	
14	LRupa-03-T	16/09/2018	11:35	308442	8838553	4270	
15	LRupa-03-F	16/09/2018	11:35	308442	8838553	4270	
16	LRupa-05	16/09/2018	10:05	308544	8838454	4270	Laguna Rupahuay (en dirección noreste)
17	LRupa-05-F	16/09/2018	10:05	308544	8838454	4270	
18	LRupa-08	16/09/2018	09:35	308549	8838255	4270	Laguna Rupahuay (en dirección sureste)
19	LRupa-09	15/09/2018	15:49	308453	8838155	4270	Laguna Rupahuay (en dirección suroeste)
20	LRupa-09-F	15/09/2018	15:49	308453	8838155	4270	
21	LRupa-12	15/09/2018	12:55	308402	8837985	4270	
22	LNiñC-01	19/09/2018	12:05	307546	8843444	4807	Laguna Niñococha (en dirección suroeste)
23	LNiñC-02	19/09/2018	12:25	307646	8843493	4807	
24	LNiñC-03	19/09/2018	12:50	307746	8843543	4807	Laguna Niñococha (en dirección noreste)
25	LNiñC-03-F	20/09/2018	08:45	307746	8843543	4807	
26	LNiñC-05	20/09/2018	09:15	307646	8843593	4807	
27	LNiñC-05-F	19/09/2018	09:15	307646	8843493	4807	
28	LSanB-02	21/09/2018	12:00	308232	8844742	4634	Laguna Santa Ana Baja (en dirección noroeste)
29	LSanB-02-T	21/09/2018	12:00	308232	8844742	4634	
30	LSanB-02-F	21/09/2018	12:00	308232	8844742	4634	
31	LSanB-03	21/09/2018	10:40	308471	8844552	4634	Laguna Santa Ana Baja (en dirección sureste)
32	LSanB-03-T	21/09/2018	10:40	308471	8844552	4634	
33	LSanB-03-F	21/09/2018	10:40	308471	8844552	4634	
34	LSanB-07	21/09/2018	12:45	308573	8844847	4634	Laguna Santa Ana Baja (en dirección noreste)
35	LNiñP-01	18/09/2018	09:30	307455	8844786	4750	Laguna Niño Perdido (en dirección norte)
36	LNiñP-02	18/09/2018	09:15	307527	8844824	4750	
37	LNiñP-02-F	18/09/2018	09:15	307527	8844824	4750	
38	LNiñP-03	18/09/2018	09:50	307561	8844722	4750	Laguna Niño Perdido (en dirección sur)
39	LNiñP-04	19/09/2018	09:00	307500	8844737	4750	
40	LCaba-01	26/09/2018	10:15	309553	8844119	4580	Laguna Caballococha (en dirección sur)
41	LCaba-02	26/09/2018	10:35	309424	8844212	4580	
42	LCaba-02-F	26/09/2018	10:35	309424	8844212	4580	

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Cuerpos lénticos							
43	LCaba-03	26/09/2018	11:30	309546	8844332	4580	Laguna Caballococha (en dirección sur)
44	LCaba-04	27/09/2018	08:40	309298	8844337	4580	
45	LCaba-04-T	27/09/2018	08:40	309298	8844337	4580	
46	LCaba-04-F	27/09/2018	08:40	309298	8844337	4580	
47	LCaba-07	27/09/2018	09:20	309286	8844590	4580	Laguna Caballococha (en dirección sur)
48	LCaba-07-T	27/09/2018	09:20	309286	8844590	4580	
49	LCaba-07-F	27/09/2018	09:20	309286	8844590	4580	
50	LCaba-08	27/09/2018	10:05	309652	8844711	4580	Laguna Caballococha (en dirección este)
51	LCaba-08-T	27/09/2018	10:05	309652	8844711	4580	
52	LCaba-08-F	27/09/2018	10:05	309652	8844711	4580	
53	LCaba-12	27/09/2018	11:40	309640	8844957	4580	Laguna Caballococha (en dirección norte)
54	LCaba-12-T	27/09/2018	11:40	309640	8844957	4580	
55	LCaba-12-F	27/09/2018	11:40	309640	8844957	4580	
56	LCaba-14	27/09/2018	12:10	309631	8845201	4580	
57	LCaba-14-T	27/09/2018	12:10	309631	8845201	4580	
58	LCaba-14-F	27/09/2018	12:10	309631	8845201	4580	
59	LNieU-01	22/09/2018	10:00	309826	8844619	4558	Laguna Nieve Ucro – Zona Iª, próximo al dique de contención de la laguna Caballococha
60	LNieU-04	22/09/2018	10:20	309902	8844711	4558	
61	LNieU-06	22/09/2018	11:30	309942	8844919	4558	Laguna Nieve Ucro – Zona IIª, próximo a roca fracturada entre lagunas Nieve Acro y Caballococha
62	LNieU-07	22/09/2018	10:55	309984	8844885	4569	
63	LNieU-08	22/09/2018	12:10	310271	8844825	4558	Laguna 3[20]
64	L7Caba-01	25/09/2018	10:35	310925	8844281	4730	Laguna Siete Caballeros (en dirección sur), próximo a deshielo de nevado Siete caballeros
65	L7Caba-02	25/09/2018	11:05	311004	8844357	4676	
66	L7Caba-03	25/09/2018	11:40	310869	8844471	4653	Laguna Siete Caballeros (en dirección norte), próximo al rebose
67	L7Caba-04	25/09/2018	12:10	310846	8844567	4646	
68	LTinq-01	28/09/2018	12:10	309967	8846074	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección sur)
69	LTinq-02	28/09/2018	11:30	309923	8846189	4356	
70	LTinq-02-T	28/09/2018	11:30	309923	8846189	4356	
71	LTinq-02-F	28/09/2018	11:30	309923	8846189	4356	
72	LTinq-09	28/09/2018	12:20	310190	8846566	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección sureste)
73	LTinq-09-T	28/09/2018	12:20	310190	8846566	4356	
74	LTinq-09-F	28/09/2018	12:20	310190	8846566	4356	
75	LTinq-10	28/09/2018	11:50	309811	8846700	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección noroeste)

[20] Si bien, en las hojas de campo este punto se consignó como laguna Nieve Ucro - Zona III, de la revisión de la «Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves-Nieve Ucro II», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM, con fecha 21 de agosto de 2013, se advierte que el cuerpo de agua donde se tomó la muestra corresponde a la Laguna 3.

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
76	LTinq-13	28/09/2018	12:05	310180	8846820	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección sureste)
77	LTinq-16	28/09/2018	11:35	310035	8847198	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección norte)
Cuerpos lénticos							
78	LTinq-18	28/09/2018	11:00	310142	8847659	4356	Laguna Tinquicocha, luego de la zona de estrangulamiento
79	LTinq-19	28/09/2018	09:55	310318	8847942	4356	
80	LTinq-19-T	28/09/2018	09:55	310318	8847942	4356	
81	LTinq-19-F	28/09/2018	09:55	310318	8847942	4356	
82	LSN-01	21/09/2018	15:05	307361	8844322	4849	Laguna S/N, ubicado en la parte alta de la laguna Niño Perdido
83	LYana-01	16/09/2018	14:30	307517	8840061	4351	Laguna Yanacocha
Cuerpos lóticos							
84	QLRumb-01	13/09/2018	11:40	305969	8833119	4147	Salida de la laguna Rumbrococha (embalse), aproximadamente a 20m de la compuerta
85	QLRumb-02	13/09/2018	10:40	305883	8833791	4158	Entrada a la laguna Rumbrococha (embalse), aproximadamente a 200m
86	QLRumb-03	13/09/2018	08:50	305741	8834101	4158	Quebrada S/N 7, desviada de la laguna Surasaca
87	QLRumb-04	13/09/2018	09:40	306275	8834502	4164	Río Quichas antes de la confluencia con la quebrada sin nombre 7
88	QRupa-01	15/09/2018	15:25	308244	8838830	4272	Quebrada Yanco tributario a la laguna Rupahuay por la margen derecha
89	QRupa-02	15/09/2018	16:30	308374	8837873	4271	Descarga de la laguna Rupahuay, naciente del rio Quichas
90	QRupa-03	15/09/2018	12:50	308427	8838845	4284	Quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay a la margen izquierda, antes de vertimiento del efluente minero
91	QRupa-04	15/09/2018	10:50	308449	8838775	4280	Quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay a la margen izquierda, después del vertimiento del efluente minero
92	QRupa-05	12/09/2018	13:10	308294	8837046	4263	Río Quichas luego de la confluencia con la quebrada Chaco
93	QRupa-06	12/09/2018	10:40	308344	8837510	4276	Quebrada S/N 6 de ingreso al río Quichas (proveniente de cantera)
94	QRupa-08	12/09/2018	11:40	308327	8837408	4264	Río Quichas, a 60m aguas abajo de la confluencia con la Quebrada S/N 6
95	QVeta-01	12/09/2018	12:20	308429	8837169	4268	Quebrada Chaco antes de la confluencia con el río Quichas
96	QLSuer-02	12/09/2018	09:20	309384	8837894	4443	Salida de la laguna Suerococha,

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
							aproximadamente a 15m de la compuerta
97	DRupa-01	15/09/2018	13:30	308443	8838791	4276	Unión de la descarga del efluente minero con la quebrada S/N
Cuerpos lóticos							
98	QNiñC-01	19/09/2018	09:00	307587	8843699	4727	Canal de concreto, ubicado en la parte central del depósito de desmonte Niñococha
99	QNiñC-03	20/09/2018	10:20	307866	8843816	4794	Canal de concreto proveniente del sector norte del depósito de desmonte Niñococha
100	QNiñC-04	18/09/2018	14:30	307485	8843370	4813	Quebrada S/N 5 que ingresa a la laguna Niñococha, proveniente de sector donde se ubica la laguna Locacocha
101	QNiñC-05	20/09/2018	11:10	308145	8843946	4766	Quebrada S/N 1, aguas abajo del empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido
102	QSanAB-01	21/09/2018	10:30	308368	8844460	4649	Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana Baja, proveniente de zona donde se ubica la laguna Niñococha (Quebrada S/N 1)
103	QSanAB-02	21/09/2018	09:30	308289	8844499	4640	Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana Baja, proveniente de zona donde se ubica la laguna Perdido (Quebrada S/N 10)
104	QNiñP-02	18/09/2018	09:40	307421	8844768	4744	Ingreso de la laguna Niño Perdido (quebrada S/N 8)
105	QL7Caba-01	25/09/2018	10:35	310978	8844141	4642	Quebrada S/N 2, proveniente de deshielo de nevado Siete Caballeros que tributa a la laguna Siete Caballeros
106	QL7Caba-02	22/09/2018	13:25	310828	8844554	4643	Salida de la laguna Siete Caballeros
107	QCaba-01	26/09/2018	09:40	309598	8844188	4583	Ingreso a la laguna Caballococha, proveniente de sector donde se ubica el cementerio Hidro
108	QLTinq-01	27/09/2018	12:00	310252	8846914	4362	Quebrada S/N 3 que tributa a laguna Tinquicocha, proveniente de deshielo
109	QLTinq-02	27/09/2018	12:50	310317	8846639	4393	Quebrada S/N 4 que tributa a laguna Tinquicocha, proveniente de deshielo
110	QLSN-01	19/09/2018	11:45	307383	8844382	4846	Salida de la laguna S/N, ubicado en la parte alta del botadero Niño Perdido y laguna Niño Perdido (naciente de quebrada S/N 1)
Surgencia							

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
111	FRupa-02	16/09/2018	12:40	308202	8839607	4304	Surgencia de agua ubicada en la parte baja del depósito de desmonte Shucshapá
112	FNiñC-1	19/09/2018	09:45	307586	8843699	4727	Surgencia cerca a canal de concreto del botadero Niñococha que descarga en la laguna Niñococha
Surgencia							
113	FNiñC-09	24/09/2018	15:45	307598	8844008	4785	Surgencia en la parte baja del depósito de desmonte Niñococha que ingresa a canal de concreto (Sector norte del depósito de desmonte Niñococha)
114	FNiñP-1	18/09/2018	10:50	307596	8844628	4762	Surgencia ubicada en cota inferior del depósito de desmonte Niño Perdido
115	FNiñP-2	18/09/2018	13:40	307448	8844639	4754	Surgencia al margen izquierdo, ubicado en cota inferior del depósito de desmonte Niño Perdido
116	FNiñP-3	19/09/2018	10:40	307782	8844529	4744	Flujo de agua que descarga a una poza ubicado en cota inferior al depósito de desmonte Niño Perdido
117	FSanAB-03	24/09/2018	10:55	308271	8844831	4691	Flujo de agua proveniente de sector donde se ubica la poza de recirculación (Esperanza, Flor de loto y Gayco)
118	FSanAB-01	21/09/2018	12:00	308376	8844285	4664	Surgencia al margen izquierdo de quebrada S/N 1, en cota inferior del depósito de desmonte Raura y Stockpile
119	QCaba-03	27/09/2018	09:30	309170	8844642	4590	Surgencia de agua que ingresa a la laguna Caballococha, proveniente del sector donde se ubica la zanja de infiltración - planta concentradora
120	FNievU2-01	24/09/2018	11:10	310652	8845120	4624	Surgencia de agua ubicado en la cota superior a la presa de relaves Nieve Ucro II
121	FTinqco-04	27/09/2018	14:45	309879	8846101	4375	Surgencia de agua ubicada en la cota inferior al depósito de desmonte Tinquicocha, que descarga a la laguna Tinquicocha
Agua residual industrial							
122	ARRupa-1	16/09/2018	10:30	307828	8840007	4328	Agua residual industrial que ingresa a la poza de secado
123	AMRupa-1	16/09/2018	09:20	308003	8840047	4327	Agua de mina proveniente de bocamina Shucshapá
124	POZA-TP	20/09/2018	12:00	308003	8843899	4792	Empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido
125	Poza-MC	24/09/2018	14:50	308276	8844465	4635	Poza de recirculación Catuva

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
126	AMTinq-1	28/09/2018	10:00	309756	8845985	4425	Salida de bocamina Tinquicocha
127	EFRupa-1	16/09/2018	11:10	307976	8839897	4308	Rebose de Sedimentador Shucshapá
128	FRupa-01	16/09/2018	12:00	308190	8839628	4292	Drenaje del depósito de desmonte Shucshapá (Filtro de percolación)
129	FTinqco-06	28/09/2018	09:05	309814	8846026	4389	Salida de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha
Efluente minero							
130	EFRupa-02	15/09/2018	12:00	308365	8838961	4292	Efluente de tubería enterrada antes de su vertimiento en la laguna Rupahuay
131	FTinqco-03	27/09/2018	14:00	309899	8846137	4375	Descarga del sedimentador Tinquicocha
132	V-1	27/06/2018	11:43	308351	8844490	4336	Vertimiento de agua residual doméstica en la quebrada S/N tributaria a la laguna Santa Ana Baja
133	EFCaba-01[21]	26/09/2018	10:20	309547	8844096	4 588	Descarga de agua proveniente del canal de concreto tapado, que ingresa a la laguna Caballococha
Agua subterránea							
134	AS-02	19/06/2018	11:11	309759	8844599	4576	Piezómetro ubicado en la laguna Caballococha, altura del vertedero N.° 01
135	AS-03	19/06/2018	12:00	309915	8844765	4576	Piezómetro ubicado en la laguna Caballococha, altura del vertedero N.° 01
136	PZ-03	20/06/2018	10:15	310291	8844837	4571	Piezómetro ubicado en la cresta del dique de la presa de relaves Nieve Acro II lado norte
137	AS-04	20/06/2018	11:00	310029	8845023	4554	Piezómetro ubicado al lado norte de la laguna Nieve Acro
138	AS-05	20/06/2018	11:40	310197	8845367	4549	Piezómetro ubicado al inicio de la quebrada Tinquicocha
139	PZ-01	22/06/2018	09:09	310299	8845405	4585	Piezómetro ubicado en la parte superior de la presa de relaves Nieve Acro al centro de dicha presa
140	PZ-04.1	22/06/2018	10:30	310187	8845315	4552	Piezómetro ubicado en la parte inferior del dique de contención de la presa de relaves Nieve Acro II
141	PZ-104	22/06/2018	11:43	310169	8845237	4552	Piezómetro ubicado en la parte inferior del dique de contención de la presa de relaves Nieve Acro II
142	PZ-06	22/06/2018	14:30	309884	8844830	4385	Piezómetro ubicado en la margen derecha del dique de contención de la presa de relaves Nieve Acro II

[21] Cabe precisar que en las hojas de campo se describió el punto EFCaba-01 como “agua residual doméstica” en función a las características organolépticas, sin embargo, del análisis de la información, este corresponde a una descarga de agua residual hacia la laguna Caballococha.

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
143	AS-01	22/06/2018	15:40	309756	8844099	4624	Piezómetro ubicado en la parte superior de la laguna Puyhuancocha
144	PZ-NP-01	23/06/2018	08:50	307690	8844589	4754	Piezómetro ubicado en la parte superior de la laguna Niño Perdido
145	PE-03	23/06/2018	10:45	307933	8839892	4294	Piezómetro ubicado en la parte inferior de la poza de sedimentación, en la zona de Shucshapá
146	PE-06	23/06/2018	11:40	308077	8839408	4278	Piezómetro ubicado en la parte baja de la zona de Shucshapá
147	PR-105	23/06/2018	12:25	307995	8839655	4285	Piezómetro ubicado al pie del depósito de desmonte Shucshapá
Agua subterránea							
148	PR-101	23/06/2018	13:50	308128	8839649	4297	Piezómetro ubicado en el primer banco del depósito de desmonte Shucshapá
149	PR-104	23/06/2018	14:30	308070	8839795	4299	Piezómetro ubicado en el segundo banco del depósito de desmonte Shucshapá

a: Las zonas I y II corresponden a la laguna Nieve Ucro.

5.1.3 Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados se seleccionaron en función de la actividad minera del administrado, y los contemplados en los Estándares de Calidad Ambiental para agua de la normativa vigente. En los puntos de muestreo según corresponda, se registraron *in situ*: temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno (pH), potencial de oxidación-reducción (Eh), conductividad eléctrica y caudal.

En la Tabla 5-3 se muestra los parámetros evaluados, y métodos de análisis considerados por el laboratorio acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal).

Tabla 5-3. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para agua en la evaluación

N.°	Parámetro evaluado	Método de análisis/descripción	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Bicarbonato	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B. 22nd/Alkalinity: Titration Method	ALS LS PERÚ S.A.C.
2	Carbonato		
3	Cloruros	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado). 2015/Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography	
4	Sulfatos		
5	Sólidos totales suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012/Solids: Suspended Solids Dried at 180 °C	
6	Nitrógeno Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 N C, 23rd. Ed 2017, Volumétrica	
7	Cianuro total	ISO 14403-2 (Validado), First edition, 2012/Water quality-Determination of total cyanide and free cyanide using flow analysis (FIA and CFA)	
8	Demanda química de oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22nd Ed. 2012/Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method	

N.°	Parámetro evaluado	Método de análisis/descripción	Laboratorio de ensayo acreditado
9	Metales totales por ICP-MS	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007/Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry	
10	Metales disueltos por ICP-MS		

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio ALS PERÚ S.A.C.

5.1.4 Equipos utilizados

Los equipos utilizados para la medición de parámetros *in situ*, la medición de caudal y el posicionamiento de los puntos de muestreo, se detallan en el reporte de campo N.° 036-2018-STEC (Anexo 2.1).

5.1.5 Aseguramiento de la calidad

Para el aseguramiento de la calidad del proceso de muestreo de agua se realizaron los controles detallados en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4. Controles realizados en el muestreo de agua para la evaluación

Tipo de control	Contaminación evaluada
5 blancos de campo	Contaminación en alguna parte del monitoreo
3 blancos viajeros	Contaminación durante el transporte
9 duplicados	Precisión y repetitividad de los procedimientos de recolección

Los resultados de los parámetros de control de calidad de agua se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, el cual corresponde al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

5.1.6 Criterios de comparación

La clasificación de los cuerpos de agua en las lagunas evaluadas, de acuerdo a sus usos, se realizó tomando en consideración lo establecido en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA), y la tercera disposición complementaria transitoria[22] del Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, para el caso de las quebradas y ríos evaluados. En la Tabla 5-5 se presentan las normativas con sus clases o categorías de comparación, utilizadas para la evaluación de la calidad del agua en el área de estudio.

Tabla 5-5. Estándares de comparación para la evaluación de calidad del agua en el área de estudio

Matriz	Normativa de comparación	Modo	Zonas/depósitos de desmonte o relaves	Clase/categoría
Agua superficial	Resolución Jefatural N.° 291-2009-ANA	IGA aprobados mediante Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM, Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAAM y Resolución Directoral N.° 271-97-EM/DGM	Zonas 1, 2 y 3	Clases III y VI
	Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM		Zona 2	Categoría 4

22 «***Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados***
En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.»

Matriz	Normativa de comparación	Modo	Zonas/depósitos de desmonte o relaves	Clase/categoría
	Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM	Referencial (normativa vigente)	Zonas 1, 2 y 3	Categorías 3 y 4
Agua subterránea (piezómetros)	Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM	IGA aprobado mediante Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM	Depósitos de desmonte Shucshapá y Niño Perdido, y a los depósitos de relave Nieve Ucro I, Caballococha y Nieve Ucro II	Categoría 3
	Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM	Referencial (normativa vigente)		Categoría 3
Efluente minero	Resolución Ministerial N.° 011-96-EM/VMM	IGA aprobado mediante Resolución Directoral N.° 271-97-EM/DGM	Zonas 2 y 3	No aplica
	Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM	Referencial (normativa vigente)		No aplica
Agua residual doméstica	Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM	Referencial (normativa vigente)	Zonas 1 y 2	No aplica

5.2 Sedimento

Para determinar la calidad del sedimento se consideró puntos de muestreo que se encontraron asociados a cuerpos de agua ubicados en el área de estudio.

5.2.1 Guías utilizadas para la evaluación

En la evaluación se emplearon guías de referencia internacionales para el muestreo de sedimento (Tabla 5-6).

Tabla 5-6. Guías de referencia para el muestreo de sedimento empleadas en la evaluación

Referencia	Sección	País	Autoridad emisora	Año
Manuel técnico. Métodos de recolección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos	2, 3.2.2, 4.4.2-4, 7	Estados Unidos	Agencia para la Protección Ambiental (EPA)	2001
Muestreo de sedimentos	2, 3, 4, 5, 7.1-2, 9, 11			2016

5.2.2 Ubicación de puntos

Los puntos de muestreo fueron ubicados considerando los puntos establecidos en los IGA del administrado, aguas arriba y aguas abajo de los vertimientos, aguas arriba y aguas abajo de los principales componentes mineros, así como en las nacientes de los cuerpos hídricos (Tabla 5-7). El respectivo mapa de ubicación de puntos de muestreo en mención, se encuentra en el Anexo 1.3.

Tabla 5-7. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Cuerpos lénticos							
1	LLoca-SED-01	20/09/2018	10:00	306960	8843059	4864	Laguna Locacocha (en dirección sureste)

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
2	LLoca-SED-10	20/09/2018	11:15	307060	8843561	4864	Laguna Locacocha (en dirección norte)
3	LLoca-SED-11-A	20/09/2018	12:00	307153	8843280	4874	Laguna Locacocha (en dirección sureste)
4	LLoca-SED-11-B	20/09/2018	12:00	307153	8843280	4874	
5	LLoca-SED-12	20/09/2018	13:05	307057	8843072	4874	
6	LRumb-SED-07-A	17/09/2018	12:00	305893	8833446	4159	Laguna Rumbrococha (en dirección norte)
7	LRumb-SED-07-B	17/09/2018	12:00	305893	8833446	4159	
8	LRumb-SED-07-C	17/09/2018	12:00	305893	8833446	4159	
9	LRupa-SED-13-A	15/09/2018	11:35	308339	8838741	4299	Laguna Rupahuay (en dirección noroeste)
10	LRupa-SED-13-B	15/09/2018	11:35	308339	8838741	4299	
11	LRupa-SED-12	15/09/2018	13:30	308402	8837985	4297	Laguna Rupahuay (en dirección suroeste)
12	LRupa-SED-08	15/09/2018	14:00	308549	8838255	4297	Laguna Rupahuay (en dirección sureste)
Cuerpos lénticos							
13	LRupa-SED-14	15/09/2018	15:45	308397	8838701	4297	Laguna Rupahuay (en dirección noroeste) en la zona de descarga de la quebrada S/N
14	LNiñC-SED-07	19/09/2018	09:25	307615	8843673	4794	Laguna Niñococha (en dirección norte)
15	LNiñC-SED-01	19/09/2018	10:10	307546	8843444	4794	Laguna Niñococha (en dirección suroeste)
16	LSanB-SED-09	21/09/2018	10:15	308610	8844779	4560	Laguna Santa Ana Baja (en dirección noreste)
17	LSanB-SED-08	21/09/2018	10:45	308372	8844572	4560	Laguna Santa Ana Baja (en dirección suroeste)
18	LNiñP-SED-05	18/09/2018	10:00	307457	8844765	4842	Laguna Niño Perdido (en dirección sureste)
19	LNiñP-SED-06	18/09/2018	11:00	307555	8844705	4842	
20	LNiñP-SED-04	18/09/2018	13:55	307500	8844737	4842	Laguna Niño Perdido (en dirección suroeste)
21	LCaba-SED-02	26/09/2018	09:45	309424	8844212	4605	Laguna Caballococha (en dirección sur)
22	LCaba-SED-04	26/09/2018	10:25	309298	8844337	4605	

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
23	LCaba-SED-15	26/09/2018	11:30	309267	8844712	4605	Laguna Caballococha (en dirección oeste), próximo a la zona donde se ubica la planta concentradora
24	LCaba-SED-14	27/09/2018	09:00	309631	8845201	4605	Laguna Caballococha (en dirección norte)
25	LNieU-SED-04	22/09/2018	10:00	309902	8844619	4569	Laguna Nieve Ucro – Zona I, próximo al dique de contención de la laguna Caballococha
26	LNieU-SED-01-A	22/09/2018	10:25	309826	8844619	4569	
27	LNieU-SED-01-B	22/09/2018	10:25	309826	8844619	4569	
28	LNieU-SED-01-C	22/09/2018	10:25	309826	8844619	4569	
29	LNieU-SED-07	22/09/2018	12:15	300924	8844885	4569	Laguna Nieve Ucro – Zona II, próximo a roca fracturada entre lagunas Nieve Ucro y Caballococha
30	LNieU-SED-08	22/09/2018	14:40	310271	8844825	4557	Laguna 3[23]
Cuerpos lénticos							
31	L7Caba-SED-01	25/09/2018	10:45	310924	8844229	4730	Laguna Siete Caballeros (en dirección sur), próximo a deshielo de nevado Siete Caballeros
32	L7Caba-SED-02	25/09/2018	11:10	310977	8844304	4731	
33	L7Caba-SED-03	25/09/2018	11:40	310846	8844515	4731	Laguna Siete Caballeros (en dirección norte), próximo al rebose
34	LTinq-SED-20	28/09/2018	12:55	310014	8846070	4365	Laguna Tinquicocha (en dirección sur)
35	LTinq-SED-02	28/09/2018	13:15	309923	8846189	4365	
36	LYana-SED-01	16/09/2018	14:30	307517	8840061	4351	Laguna Yanacocha (en dirección norte)
37	LYana-SED-02	17/09/2018	09:30	307470	8840023	4336	
38	LYana-SED-03	17/09/2018	09:45	307508	8839894	4336	Laguna Yanacocha (en dirección suroeste)
Cuerpos lóticos							
39	QLSuer-02	12/09/2018	09:20	309384	8837894	4443	Salida de la laguna Suerococha, aproximadamente a 15m de la compuerta (naciente de quebrada S/N 6)

[23] Si bien en las hojas de campo este punto se describió como laguna Nieve Ucro - Zona III, de la revisión de la «Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves-Nieve Ucro II», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM, del 21 de agosto de 2013, se advierte que el cuerpo de agua donde se tomó la muestra corresponde a la Laguna 3.

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
40	QRupa-06	12/09/2018	10:40	308344	8837510	4276	Quebrada S/N 6 de ingreso al río Quichas (proveniente de cantera)
41	QRupa-08	12/09/2018	11:40	308327	8837408	4264	Río Quichas, a 60m aguas abajo de la confluencia con la Quebrada S/N 6
42	QVeta-01	12/09/2018	12:20	308429	8837169	4268	Quebrada Chaco antes de la confluencia con el río Quichas
43	QRupa-05	12/09/2018	13:10	308294	8837046	4263	Río Quichas luego de la confluencia con la quebrada Chaco
44	QLRumb-02	13/09/2018	10:40	305883	8833791	4158	Entrada a la laguna Rumbrococha (embalse), aproximadamente a 200m
45	QLRumb-03	13/09/2018	08:50	305741	8834101	4158	Quebrada S/N 7, desviada de la laguna Surasaca
46	QLRumb-04	13/09/2018	09:40	306275	8834502	4164	Río Quichas antes de la confluencia con la quebrada sin nombre 7
47	QLRumb-01	13/09/2018	11:40	305969	8833119	4147	Salida de la laguna Rumbrococha (embalse), aproximadamente a 20m de la compuerta
Cuerpos lóticos							
48	QRupa-04	15/09/2018	10:50	308449	8838775	4280	Quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay a la margen izquierda, después del vertimiento del efluente minero
49	QRupa-03	15/09/2018	12:50	308427	8838845	4284	Quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay a la margen izquierda, antes de vertimiento del efluente minero
50	QNiñC-04	18/09/2018	14:30	307485	8843370	4813	Quebrada S/N 5 que ingresa a la laguna Niñococha, proveniente de sector donde se ubica la laguna Locacocha

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
51	QLSN-01	19/09/2018	11:45	307383	8844382	4846	Salida de la laguna S/N, ubicado en la parte alta del botadero Niño Perdido y laguna Niño Perdido (Quebrada S/N 9)
52	QSanAB-01	21/09/2018	10:30	308368	8844460	4649	Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana Baja, proveniente de zona donde se ubica la laguna Niñococha (Quebrada S/N 1)
53	QSanAB-02	21/09/2018	09:30	308289	8844499	4640	Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana Baja, proveniente de zona donde se ubica la laguna Perdido (Quebrada S/N 10)
54	QL7Caba-02	22/09/2018	13:25	310828	8844554	4643	Salida de la laguna Siete Caballeros
55	QCaba-05	27/09/2018	08:50	309126	8844519	4590	Quebrada S/N 11, que conecta la laguna Caballococha, aproximadamente a 50m (ausencia de agua)
Lodos							
56	Poza-MC	24/09/2018	14:50	308276	8844465	4635	Poza de recirculación Catuva
57	Poza-MC-A	24/09/2018	15:20	308282	8844473	4638	Tubo enterrado entre poza de recirculación Catuva y flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana Baja (ausencia de agua)
58	FTinqCo-03	27/09/2018	14:00	309899	8846137	4375	Rebose de Sedimentador Shucshapá
59	AMTinq-1	28/09/2018	10:00	309756	8845985	4425	Salida de bocamina Tinquicocha
60	FTinqCo-06	28/09/2018	09:05	309814	8846026	4389	Descarga de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha.

5.2.3 Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados se seleccionaron en función de la actividad minera del administrado. En la Tabla 5-8 se muestra los parámetros evaluados, y métodos de análisis considerados por el laboratorio acreditado ante el Instituto Nacional de Calidad (Inacal).

Tabla 5-8. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para sedimento en la evaluación

N.°	Parámetro evaluado*	Método de análisis/descripción	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Metales totales por ICP-MS	EPA 3050 B: 1996 / EPA 6010 B: 1996 EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	ALS LS PERÚ S.A.C.
2	Extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier	PE-4421/Espect ICP-OES	AGQ PERÚ S.A.C
3	pH	PEC-001/Potenciometría pH	
4	Análisis granulométrico	PE-4039/Gravimétrico	
5	Lixiviación SPLP (Metales)	PE-4412/ ICP-OES	
6	Análisis mineralógico	BIZ-ME-02/ Análisis mineralógico por DRX (con énfasis en arcillas)	BIZALAB S.A.C.

Fuente: Informes de ensayo de los laboratorios ALS LS PERÚ S.A.C., AGQ PERÚ S.A.C. y BIZALAB S.A.C.
*: cabe precisar que para la matriz lodos se consideraron los mismos parámetros.

5.2.4 Aseguramiento de la calidad

Para el aseguramiento de calidad del proceso de muestreo de sedimento se realizó el control para 1 duplicado en campo.

Los resultados de los parámetros de control de calidad de sedimento se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, el cual corresponde al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

5.2.5 Criterios de comparación

Los resultados metales totales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc) del muestreo de sedimento fueron comparados referencialmente con los valores de los estándares de la Guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos de aguas continentales (CEQG-SQG)[24], debido a que no se cuenta con una normativa nacional, que define dos valores límites.

Valor guía provisional de calidad de sedimento *(Interim Sediment Quality Guideline* - ISQG): representa el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos.

Nivel de efecto probable (*Probable Effect Level* -PEL): representa el nivel de concentración química más bajo que –usualmente o siempre– está asociado a efectos biológicos adversos.

[24] Canadian Council of Ministers of the Environment (2002). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment. Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos de aguas continentales).

5.2.6 Procesamiento de datos

En adición a la comparación de los resultados de sedimento con la guía referencial correspondiente, se emplearon los resultados del nivel de fondo geoquímico (obtenidos de los resultados de sedimento de los cuerpos de agua superficial que no tienen influencia de la actividad minera) para hallar un índice de evaluación de contaminación: el índice de geoacumulación (Igeo). Originalmente usado para la evaluación de sedimento; se ha aplicado también con éxito para la medición de la contaminación en suelos (Cabrera *et al*., 1999; Grzebisz *et al.,* 2002; Yaqin *et al.,* 2008). Dicho índice se calcula utilizando la siguiente ecuación (Müller, 1969):

$$I_{\text{geo}} = \log_2\left(\frac{C_n}{1{,}5B_n}\right)$$

Donde:

C_n: es la concentración del metal en la muestra (mg/kg),
B_n: es el valor de fondo geoquímico (mg/kg). La constante 1,5 permite analizar las fluctuaciones naturales en el contenido de una sustancia dada en el medio ambiente y detectar pequeñas influencias antropogénicas.

De acuerdo con Müller (1969), las relaciones correspondientes entre los valores del índice de geoacumulación (Igeo) y los niveles de contaminación son reportadas en la Tabla 5-9.

Tabla 5-9. Relaciones entre los valores del índice de geoacumulación (I_{geo}) y los niveles de contaminación

Calidad de sedimento	Índice de geoacumulación (I_{geo})
No contaminado	$I_{geo} < 0$
No contaminado a moderadamente contaminado	$0 < I_{geo} \leq 1$
Moderadamente contaminado	$1 < I_{geo} \leq 2$
Moderadamente a fuertemente contaminado	$2 < I_{geo} \leq 3$
Fuertemente contaminado	$3 < I_{geo} \leq 4$
Fuerte a extremadamente contaminado	$4 < I_{geo} \leq 5$
Extremadamente contaminado	$I_{geo} > 5$

Fuente: Müller, 1969.

Para la determinación del valor del nivel de fondo geoquímico del sedimento en el área de estudio, se muestrearon puntos que no tienen influencia por actividades mineras, en primer lugar en la microcuenca Santa Ana (zona 1), correspondientes a la laguna Locacocha (LLoca-SED-01, LLoca-SED-10, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B y LLoca-SED-12) y las quebradas S/N 9 y S/N 5 (QLSN-01 y QNiñC-04); en segundo lugar en las microcuencas Caballococha y Tinquicocha (zona 2), correspondientes a la laguna Siete Caballeros (L7Caba-SED-01, L7Caba-SED-02 y L7Caba-SED-03) y a la quebrada S/N 2; y, en último lugar, en la microcuenca laguna Rupahuay (zona 3), correspondiente a la laguna Yanacocha (LYana-SED-01, LYana-SED-02 y LYana-SED-03) y las quebradas Chaco, S/N 6 y S/N 7; en donde en todos los casos se tomó el promedio aritmético de las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc.

Por otro lado, para la caracterización del sedimento se realizó una descripción de cada una de sus muestras, en base a los resultados para los ensayos de granulometría, pH y análisis mineralógico. Además, se realizó la evaluación de metales solubles según la metodología de extracción secuencial de Tessier, el cual considera en su técnica original los siguientes elementos: cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y

manganeso[25], este análisis permitió caracterizar la potencial movilidad y biodisponibilidad[26] de ciertos elementos presentes en el componente minero, además aporta información sobre los procesos que han actuado para la liberación de dichos elementos al ambiente. Asimismo, la prueba SPLP (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*) o conocida también como prueba de lixiviación, permitió determinar la movilidad de analitos inorgánicos presentes en cada una de las muestras del sedimento.

Por último, para el caso de las muestras de lodos, se caracterizaron los valores obtenidos de pH, concentraciones registradas de metales y aquellas obtenidas mediante el SPLP.

5.3 Suelo

Para la evaluación de calidad de suelo se realizó un muestreo de identificación en 7 áreas de potencial interés (API), y adicionalmente se tomaron 3 muestras puntuales asociados a los ductos de ventilación de interior mina.

5.3.1 Guías utilizadas para la evaluación

Para la evaluación de la calidad de suelo se ha tomado en consideración las referencias que se detallan en la Tabla 5-10.

Tabla 5-10. Guías de referencia para el muestreo de suelo empleadas en la evaluación

Referencia	Sección/parte	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía para muestreo de suelos	Secciones 1.3, 5. y anexo N.° 2	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	R.M. N.º 085-2014-MINAM	2014
Guía para la elaboración de Planes de descontaminación de suelos	Sección 1			R.M. N.º 085-2014-MINAM	2014
Manual de lineamientos y procedimientos para la elaboración y evaluación de «Informes de Identificación de Sitios Contaminados»	Parte A del manual			No aplica	2015

5.3.2 Ubicación de puntos

Para la ubicación de los puntos de muestreo se realizó una revisión de información histórica y una inspección realizada en la visita de reconocimiento; planteando así un muestreo sistemático estratificado y a criterio del evaluador, de acuerdo con las guías de referencia empleadas. En el planteamiento se consideraron los factores de formación de suelo y su interacción con la actividad minera. Dichos factores fueron material parental, la presencia de afloramientos rocosos, el relieve del suelo (zonas escarpadas), materia orgánica u otro factor que pueda afectar el muestreo.

La determinación de las **áreas de potencial interés** (en adelante, **API**), tuvo como factor principal la evidencia de huellas de derrames (por ejemplo, escorrentías de agua

[25] Tessier A., Campbell P. y Bisson M. (1979). Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. Analytcal Chemistry, Vol. 51, Nro. 7. Revisado el 17 de junio de 2016.

[26] De acuerdo a la metodología de extracción secuencial de Tessier, y para el presente informe, se hizo mención a las fracciones 1, 2, 3, 4 y 5, los cuales en los informes de ensayo de laboratorio se reportan como extraciones 1, 2, 3, 4 y 5, corresponden a lo mismo.

ácida y disposición de material de préstamo), que descargan sobre el suelo, así como la disposición de material de desmonte (provenientes de tajos y PTAR) sobre el suelo, asociados a los principales componentes mineros (tajos, depósitos de desmonte y depósitos de relave) que se identificaron durante la evaluación, teniendo en cuenta los mecanismos de transporte y exposición de contaminantes desde una fuente potencial hasta los posibles receptores.

La determinación de los puntos de muestreo de suelo en las API y las muestras puntuales en los ductos de ventilación, fue realizada en base a la revisión de información histórica de los IGA, la inspección realizada en la visita de reconocimiento y el levantamiento técnico del sitio previo al muestreo, con la finalidad de evaluar la influencia que pueden tener los principales componentes mineros (depósitos de relave Nieve Ucro I, Caballococha y Nieve Ucro II; depósitos de desmonte Niño Perdido, Tinquicocha y Shucshapá; tajos Primavera y Niño Perdido; bocaminas Shucshapá y Tinquicocha), y su relación con los componentes ambientales agua y sedimento (Tabla 5-11). El respectivo mapa de ubicación de puntos de muestreo en mención, se encuentra en el Anexo 1.3.

Tabla 5-11. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo en las API identificadas

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana)							
API Niño Perdido 1							
1	API_NNP_1	23/06/2018	14:53	307569	8844664	4741	Ubicado a 24 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
2	API_NNP_2	23/06/2018	13:50	307529	8844664	4736	Ubicado a 24 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
3	API_NNP_3	23/06/2018	13:39	307489	8844664	4740	Ubicado a 24 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
4	API_NNP_4	23/06/2018	12:25	307449	8844664	4758	Ubicado en la parte baja del botadero Niño Perdido
5	API_NNP_5	23/06/2018	12:08	307409	8844664	4759	Ubicado en la parte alta de la mencionada laguna
6	API_NNP_6	23/06/2018	14:41	307569	8844624	4745	Ubicado a 1 m aproximadamente del botadero Niño Perdido
7	API_NNP_7	23/06/2018	10:00	307449	8844824	4729	Ubicado a 8 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
8	API_NNP_8	23/06/2018	10:18	307409	8844824	4719	Ubicado a 40 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
9	API_NNP_10	23/06/2018	15:17	307584	8844777	4736	Ubicado a 7 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
10	API_NINP_11	23/06/2018	10:47	307435	8844784	4726	Ubicado a 11 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
11	API_NINP_12	23/06/2018	10:34	307409	8844784	4738	Ubicado a 50 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
12	API_NINP_14	23/06/2018	15:07	307594	8844746	4738	Ubicado a 7 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
13	API_NINP_15	23/06/2018	11:22	307448	8844744	4733	Ubicado en la parte baja del botadero Niño Perdido a 20 aproximadamente de la mencionada laguna
14	API_NINP_16	23/06/2018	11:02	307409	8844744	4728	Ubicado a 40 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
15	API_NINP_17	23/06/2018	15:26	307609	8844704	4753	Ubicado a 20 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
16	API_NINP_18	23/06/2018	14:15	307569	8844704	4731	Ubicado a 6 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
API Niño Perdido 1							
17	API_NINP_19	23/06/2018	14:03	307529	8844704	4728	Ubicado a 5 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
18	API_NINP_20	23/06/2018	13:31	307489	8844704	4731	Ubicado a 20 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
19	API_NINP_21	23/06/2018	12:41	307449	8844704	4745	Ubicado a 30 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
20	API_NINP_22	23/06/2018	11:45	307409	8844704	4763	Ubicado en la parte alta de la mencionada laguna
21	API_NINP_23	23/06/2018	15:37	307609	8844664	4745	Ubicado a 45 m aproximadamente de la laguna Niño Perdido
22	API_NINP_24	23/06/2018	15:44	307608	8844624	4749	Ubicado en la parte baja del botadero Niño Perdido a 1 m aproximadamente de la mencionada laguna
API Niño Perdido 2							
23	API_NNP2_1	25/06/2018	08:37	307800	8844449	4743	Ubicado al sureste del talud remediado en la zona de Niño Perdido a 50 m aproximadamente del acceso principal
24	API_NNP2_2	25/06/2018	08:50	307800	8844479	4742	Ubicado a 28 m aproximadamente al noroeste del API_NINP2_1
25	API_NNP2_3	25/06/2018	09:00	307830	8844479	4741	Ubicado a 80 m aproximadamente del acceso principal, al este del API_NINP2_2

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
26	API_NNP2_4	25/06/2018	09:15	307860	8844479	4744	Ubicado a 40 m al este del talud remediado en la zona de Niño Perdido
27	API_NNP2_5	25/06/2018	09:25	307800	8844509	4743	Ubicado a 30 m al noroeste del API_NINP2_2
28	API_NNP2_6	25/06/2018	09:35	307830	8844509	4732	Ubicado a 28 m al noroeste del API_NINP2_7
29	API_NNP2_7	25/06/2018	09:40	307860	8844509	4728	Ubicado a 25 m al este del talud remediado en la zona de Niño Perdido
30	API_NNP2_8	25/06/2018	09:55	307770	8844539	4733	Ubicado a 35 m al noroeste del API_NINP2_5
31	API_NNP2_9	25/06/2018	10:05	307800	8844539	4731	Ubicado a 32 m al noroeste del API_NINP2_8
32	API_NNP2_10	25/06/2018	10:20	307830	8844539	4733	Ubicado a 20 m al este del talud remediado en la zona de Niño Perdido
33	API_NNP2_11	25/06/2018	10:35	307770	8844569	4724	Ubicado a 18 m al noroeste de la cresta del botadero de Niño Perdido
34	API_NNP2_12	25/06/2018	10:50	307800	8844569	4729	Ubicado a 18 m al este del talud remediado en la zona de Niño Perdido
API Niño Perdido 2							
35	API_TP_1	09/11/2018	10:40	308089	8844085	4772	Ubicado a 340 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección este
36	API_TP_2	09/11/2018	11:00	308116	8844044	4769	Ubicado a 340 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección este
API Primavera							
37	API_TP_3	09/11/2018	11:25	308150	8844000	4754	Ubicado a 390 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección sureste
38	API_TP_4	10/11/2018	15:00	308190	8843957	4756	Ubicado a 380 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste a 2m de canal
39	API_TP_5	09/11/2018	12:00	308043	8844049	4791	Ubicado a 300 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección este
40	API_TP_6	10/11/2018	14:10	308069	8844011	4777	Ubicado a 250 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección este
41	API_TP_7	10/11/2018	14:30	308101	8843967	4785	Ubicado a 370 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste
42	API_TP_8	10/11/2018	14:40	308129	8843921	4772	Ubicado a 350 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste a 2m de quebrada S/N

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
43	API_TP_9	10/11/2018	11:20	308156	8843876	4805	Ubicado a 320 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste
44	API_TP_10	09/11/2018	13:45	308003	8844018	4799	Ubicado a 250 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección este
45	API_TP_11	09/11/2018	14:00	308028	8843982	4784	Ubicado a 280 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección sureste a 1m de acceso vehicular
46	API_TP_12	10/11/2018	12:55	308059	8843942	4783	Ubicado a 340 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste
47	API_TP_13	10/11/2018	12:40	308086	8843898	4773	Ubicado a 310 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste
48	API_TP_14	10/11/2018	11:10	308114	8843849	4809	Ubicado a 280 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste
API Primavera							
49	API_TP_15	10/11/2018	08:05	307955	8843988	4793	Ubicado a 180 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección este a 2 m de acceso vehicular
50	API_TP_16	10/11/2018	08:15	307934	8843962	4791	Ubicado a 5 m aproximadamente de cerco perimétrico del tajo Niño Perdido
51	API_TP_17	10/11/2018	11:45	308012	8843913	4785	Ubicado a 200 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección sureste
52	API_TP_18	08/11/2018	16:18	308041	8843873	4792	Ubicado a 240 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección sureste
53	API_TP_19	10/11/2018	11:00	308073	8843824	4809	Ubicado a 250 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste
54	API_TP_20	10/11/2018	08:30	307924	8843909	4795	Ubicado a 5 m aproximadamente de cerco perimétrico del tajo Niño Perdido
55	API_TP_21	10/11/2018	12:00	307960	8843890	4784	Ubicado a 3 m aproximadamente de canal que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana
56	API_TP_22	10/11/2018	12:10	307988	8843850	4785	Ubicado a 200 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección sureste

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
57	API_TP_23	10/11/2018	10:40	308040	8843828	4789	Ubicado a 230 m aproximadamente del tajo Primavera en dirección noreste, en el límite del material de relleno
58	API_TP_24	10/11/2018	08:45	307871	8843860	4794	Ubicado a 1 m aproximadamente de cerco perimétrico del tajo Niño Perdido
59	API_TP_25	10/11/2018	12:25	307949	8843829	4789	Ubicado a 180 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección sureste y a 10m de helipuerto
60	API_TP_27	10/11/2018	10:20	308003	8843789	4790	Ubicado a 8 m aproximadamente de entrada al tajo Primavera
61	API_TP_28	10/11/2018	09:00	307845	8843823	4792	Ubicado a 20m aproximadamente del pie del botadero Niñococha
62	API_TP_29	10/11/2018	09:30	307904	8843844	4792	Ubicado a 150 m aproximadamente del tajo Niño Perdido en dirección sur
API Primavera							
63	API_TP_30	10/11/2018	09:10	307877	8843782	4797	Ubicado a 5 m aproximadamente de canal que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana
64	API_TP_31	10/11/2018	09:50	307883	8843766	4797	Ubicado a 2 m aproximadamente de canal que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana
65	API_TP_32	10/11/2018	10:05	307930	8843754	4792	Ubicado a 1 m aproximadamente de cerco perimétrico del tajo Primavera
Zona 2 (microcuencas de la laguna Santa Ana)							
API Caballococha							
66	API_CABA_1	22/06/2018	09:16	309760	8844638	4583	Ubicado en el cauce de la quebrada que conecta al rebose, de la laguna Caballococha y la laguna Nieve Ucro
67	API_CABA_2	22/06/2018	10:10	309759	8844617	4583	Ubicado al margen derecho del cauce de la quebrada que conecta al rebose de la laguna Caballococha y la laguna Nieve Ucro
68	API_CABA_4	22/06/2018	11:00	309738	8844618	4586	Ubicado al margen derecho de la quebrada que conecta al rebose de la laguna Caballococha y la laguna Nieve Ucro

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
69	API_CABA_5	22/06/2018	09:40	309770	8844626	4579	Ubicado en el cauce de la quebrada que conecta al rebose de la laguna Caballococha y la laguna Nieve Ucro
70	API_CABA_6	22/06/2018	14:30	309772	8844647	4576	Ubicado sobre colina, al margen izquierdo de la quebrada S/N 1
71	API_CABA_7	22/06/2018	12:44	309782	8844636	4579	Ubicado sobre de colina, al margen izquierdo de la quebrada S/N 1
72	API_CABA_8	22/06/2018	15:05	309751	8844678	4584	Ubicado en el cauce de la quebrada, aproximadamente a 14 m del dique de contención
73	API_CABA_9	22/06/2018	14:05	309749	8844628	4578	Ubicado al margen derecho de quebrada S/N 1
74	API_CABA_10	22/06/2018	12:11	309751	8844649	4578	Ubicado en el cauce de la quebrada que conecta al rebose, de la laguna Caballococha y la laguna Nieve Ucro
75	API_CABA_11	22/06/2018	12:24	309741	8844661	4585	Ubicado a 8 m del rebose de la laguna Caballococha
76	API_CABA_12	22/06/2018	11:12	309728	8844630	4587	Ubicado al margen derecho del dique de contención de la laguna Caballococha.
API Caballococha							
77	API_CABA_13	22/06/2018	14:43	309762	8844659	4579	Ubicado al margen derecho de quebrada S/N 1
78	API_CABA_14	22/06/2018	10:30	309747	8844607	4588	Ubicado al margen derecho de quebrada S/N 1
79	API_CABA_15	22/06/2018	11:25	309729	8844651	4581	Ubicado al costado del dique de contención de la laguna Caballococha
80	API_CABA_16	22/06/2018	11:50	309739	8844640	4578	Ubicado al margen derecho de la quebrada S/N que conecta el rebose la de laguna Caballococha y la laguna Nieve Ucro
81	API_CABA_17	22/06/2018	13:00	309785	8844651	4578	Ubicado a 4 m de fractura geológica
API Tinquicocha							
82	API_TINQ_1	25/06/2018	11:00	309942	8846066	4362	Ubicado en la parte baja de botadero Tinquicocha
83	API_TINQ_2	25/06/2018	10:50	309965	8846066	4347	Ubicado a 1 m aproximadamente de la quebrada tributario a la laguna Tinquicocha
84	API_TINQ_3A	25/06/2018	09:05	310001	8846046	4365	Ubicado a 5 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
85	API_TINQ_3B	25/06/2018	09:55	310001	8846046	4365	Ubicado a 5 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
86	API_TINQ_3C	25/06/2018	10:05	310001	8846046	4365	Ubicado a 5 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
87	API_TINQ_4	25/06/2018	11:35	309847	8846104	4363	Ubicado a 10 m aproximadamente del depósito de desmonte Tinquicocha
88	API_TINQ_5	25/06/2018	11:20	309888	8846091	4361	Ubicado a 4 m aproximadamente del depósito de desmonte Tinquicocha
89	API_TINQ_6	25/06/2018	14:30	309928	8846091	4352	Ubicado a 16 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
90	API_TINQ_7	25/06/2018	11:45	309808	8846131	4368	Ubicado a 3 m aproximadamente del depósito de desmonte Tinquicocha
91	API_TINQ_8	25/06/2018	14:15	309848	8846131	4359	Ubicado a 30 m aproximadamente del depósito de desmonte Tinquicocha en dirección noreste
92	API_TINQ_9	25/06/2018	15:55	309888	8846131	4360	Ubicado a 30 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
93	API_TINQ_10	24/06/2018	14:40	309728	8846171	4381	Ubicado a 60 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
API Tinquicocha							
94	API_TINQ_11	24/06/2018	14:20	309752	8846163	4377	Ubicado a 50 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
95	API_TINQ_12	25/06/2018	12:20	309808	8846171	4360	Ubicado a 20 m aproximadamente del depósito de desmonte Tinquicocha en dirección noreste
96	API_TINQ_13	25/06/2018	14:00	309844	8846157	4364	Ubicado a 2 m aproximadamente del cerco perimétrico de alambre
97	API_TINQ_14A	25/06/2018	15:05	309888	8846171	4358	Ubicado a 9 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
98	API_TINQ_14B	25/06/2018	15:20	309888	8846171	4358	Ubicado a 9 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
99	API_TINQ_16	24/06/2018	13:25	309768	8846211	4376	Ubicado sobre ladera pedregosa a 20 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
100	API_TINQ_17	25/06/2018	12:45	309799	8846200	4362	Ubicado a 5 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
101	API_TINQ_18	25/06/2018	13:00	309837	8846195	4358	Ubicado a 1 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
102	API_TINQ_20	24/06/2018	11:10	309688	8846251	4390	Ubicado a 120 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
103	API_TINQ_21	24/06/2018	10:45	309728	8846251	4357	Ubicado a 90 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
104	API_TINQ_22	24/06/2018	13:00	309768	8846251	4360	Ubicado a 10 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
105	API_TINQ_24	24/06/2018	10:35	309728	8846291	4366	Ubicado a 90 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
106	API_TINQ_25	24/06/2018	12:45	309768	8846291	4359	Ubicado a 9 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
107	API_TINQ_26	24/06/2018	11:25	309688	8846331	4388	Ubicado a 95 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
108	API_TINQ_27	24/06/2018	10:20	309728	8846331	4370	Ubicado a 70 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
109	API_TINQ_28	24/06/2018	12:28	309768	8846331	4363	Ubicado a 10 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
110	API_TINQ_29	24/06/2018	11:40	309688	8846371	4386	Ubicado a 95 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
111	API_TINQ_30	24/06/2018	10:05	309728	8846371	4371	Ubicado a 50 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
112	API_TINQ_31	24/06/2018	12:10	309768	8846371	4362	Ubicado a 12 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
API Tinquicocha							
113	API_TINQ_32	24/06/2018	09:45	309728	8846411	4371	Ubicado a 70 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
114	API_TINQ_33	24/06/2018	12:00	309768	8846411	4366	Ubicado a 15 m aproximadamente de la laguna Tinquicocha
API Nieve Ucro							
115	API_NIEV_1	28/06/2018	11:11	310074	8844794	4566	Ubicado sobre ladera entre la Zona II y Zona III de la laguna Nieve Ucro
116	API_NIEV_2	28/06/2018	11:30	310109	8844794	4566	Ubicado sobre ladera entre la Zona II y Zona III de la laguna Nieve Ucro
117	API_NIEV_3	28/06/2018	11:42	310144	8844794	4565	Ubicado sobre ladera entre la Zona II y Zona III de la laguna Nieve Ucro
118	API_NIEV_4	28/06/2018	11:51	310179	8844794	4565	Ubicado sobre ladera entre la Zona II y Zona III de la laguna Nieve Ucro
119	API_NIEV_5	28/06/2018	12:03	310214	8844794	4561	Ubicado a 40 m al oeste de la laguna Nieve Ucro en la Zona III sobre fondo lacustre por debajo de zona de inundación
120	API_NIEV_6	28/06/2018	12:19	310249	8844794	4559	Ubicado a 10 m de la laguna Nieve Ucro en la Zona III sobre fondo lacustre
121	API_NIEV_7	28/06/2018	14:31	310074	8844829	4563	Ubicado a 2 m del acceso a la carretera entre la Zona II y

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
							la Zona III, sobre fondo lacustre
122	API_NIEV_8	28/06/2018	14:21	310109	8844829	4560	Ubicado a 15 m del acceso a la carretera entre la Zona II y la Zona III, sobre fondo lacustre
123	API_NIEV_9	28/06/2018	14:12	310144	8844829	4558	Ubicado entre el cauce de la Zona II y la Zona III a 120 m al oeste de la laguna Nieve Ucro Zona III, sobre fondo lacustre
124	API_NIEV_10	28/06/2018	14:00	310179	8844829	4560	Ubicado entre el cauce de la Zona III y la Zona II a 80 m al oeste de la laguna Nieve Ucro Zona III, sobre fondo lacustre
125	API_NIEV_11	28/06/2018	12:57	310214	8844829	4560	Ubicado a la margen izquierda de la quebrada que ingresa a la laguna Nieve Ucro y a 45 m al oeste de esta laguna en la Zona III, sobre fondo lacustre
126	API_NIEV_12	28/06/2018	12:45	310249	8844829	4559	Ubicado a 15 m al oeste de la laguna Nieve Ucro en la Zona III, sobre fondo lacustre
127	API_NIEV_13	28/06/2018	14:42	310074	8844864	4561	Ubicado en la Zona II de la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
API Nieve Ucro							
128	API_NIEV_14	28/06/2018	14:58	310109	8844864	4566	Ubicado entre el cauce de la Zona II y la Zona III a 50 m al este de la laguna Nieve Ucro Zona II, sobre fondo lacustre
129	API_NIEV_15	28/06/2018	15:06	310144	8844864	4562	Ubicado entre el cauce de la Zona II y la Zona III de la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
130	API_NIEV_16	28/06/2018	15:23	310179	8844864	4564	Ubicado al pie de una ladera, entre el cauce de la Zona II y la Zona III de la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
131	API_NIEV_17	28/06/2018	15:35	310214	8844864	4565	Ubicado al pie de una ladera, entre el cauce de la Zona II y la Zona III de la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
132	API_NIEV_18	29/06/2018	10:01	310074	8844899	4563	Ubicado en la Zona II de la laguna Nieve Ucro a la izquierda de la carretera, sobre fondo lacustre
133	API_NIEV_19	28/06/2018	16:16	310109	8844899	4566	Ubicado a 50 m al este de la Zona II en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
134	API_NIEV_20	28/06/2018	16:04	310144	8844899	4566	Ubicado entre el cauce de la Zona II y la Zona III de la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
135	API_NIEV_21	28/06/2018	15:49	310179	8844899	4569	Ubicado sobre ladera, entre el cauce de la Zona II y la Zona III de la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
136	API_NIEV_22	29/06/2018	10:14	310074	8844934	4562	Ubicado a 25 m al noreste de la Zona II en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
137	API_NIEV_23	29/06/2018	09:41	310109	8844934	4560	Ubicado a 60 m al noreste de la Zona II en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
138	API_NIEV_24	29/06/2018	10:33	310028	8844936	4563	Ubicado en la Zona II de la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
139	API_NIEV_25	29/06/2018	10:55	310029	8844972	4554	Ubicado a 40 m al norte de la Zona II en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
140	API_NIEV_26	29/06/2018	11:11	309967	8844967	4560	Ubicado a 45 m al norte de la Zona II en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
141	API_NIEV_27	29/06/2018	11:37	309996	8845010	4565	Ubicado a 80 m al norte de la Zona II en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
142	API_NIEV_28	29/06/2018	08:45	310365	8844843	4567	Ubicado en el cauce de la quebrada que une la Zona III de la laguna Nieve Ucro y la laguna 7
API Nieve Ucro							
143	API_NIEV_29	29/06/2018	09:19	310303	8844849	4561	Ubicado a 5 m al norte de la Zona III en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
144	API_NIEV_30	29/06/2018	09:00	310394	8844896	4577	Ubicado a 70 m al noreste de la Zona III en la laguna Nieve Ucro, sobre fondo lacustre
Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay)							
API Rupahuay							
145	API_RUPA_1	26/06/2018	09:38	308210	8839405	4284	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
146	API_RUPA_3	26/06/2018	15:20	308305	8839082	4289	Ubicado en la zona revegetada a 15 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1
147	API_RUPA_4	27/06/2018	12:15	307759	8839814	4310	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
148	API_RUPA_5	26/06/2018	16:40	308110	8839623	4286	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
149	API_RUPA_6	26/06/2018	14:40	308071	8839517	4289	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
150	API_RUPA_7	27/06/2018	10:50	307865	8839775	4297	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
151	API_RUPA_8	26/06/2018	12:35	308089	8839168	4291	Ubicado a 5 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 2

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
152	API_RUPA_9	26/06/2018	09:57	308137	8839371	4282	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
153	API_RUPA_10	27/06/2018	10:05	308432	8838892	4272	Ubicado a 25 m al oeste de la carretera y 30 m a la margen izquierda te de la quebrada S/N 1
154	API_RUPA_11	26/06/2018	11:30	307958	8839378	4292	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
155	API_RUPA_12	26/06/2018	11:10	308054	8839068	4287	Ubicado a 50 m a la margen derecha de la quebrada S/N 2 y al pie de una ladera
156	API_RUPA_13	27/06/2018	13:50	307859	8839596	4284	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
157	API_RUPA_14	27/06/2018	11:30	308394	8838973	4273	Ubicado a 15 m al oeste de la carretera y 15 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 1
158	API_RUPA_15	27/06/2018	11:05	307832	8839847	4301	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
159	API_RUPA_16	27/06/2018	09:45	307932	8839629	4294	Ubicado al oeste del depósito de desmonte Shucshapá
160	API_RUPA_18	27/06/2018	10:35	307938	8839808	4303	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
161	API_RUPA_19	27/06/2018	14:15	307804	8839519	4291	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
162	API_RUPA_20	26/06/2018	09:15	308244	8839327	4287	Ubicado a 40 m al oeste de la carretera y 45 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 1
API Rupahuay							
163	API_RUPA_21	26/06/2018	16:15	308073	8839590	4297	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
164	API_RUPA_24	26/06/2018	14:40	308343	8839113	4272	Ubicado a 15 m al oeste de la carretera y 30 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 1
165	API_RUPA_25	27/06/2018	12:30	308313	8838693	4279	Ubicado a 30 m al norte de la laguna Rupahuay y al pie de una ladera
166	API_RUPA_29	27/06/2018	14:55	308264	8838901	4274	Ubicado a 30 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 2
167	API_RUPA_30	27/06/2018	10:20	307971	8839735	4292	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
168	API_RUPA_31	27/06/2018	11:55	307759	8839907	4313	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
169	API_RUPA_32	27/06/2018	14:40	308320	8838833	4274	Ubicado a 120 m al norte de la laguna Rupahuay
170	API_RUPA_33	26/06/2018	14:20	308144	8839550	4276	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
171	API_RUPA_35	27/06/2018	14:35	307820	8839490	4288	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
172	API_RUPA_36	27/06/2018	10:55	308365	8838947	4276	Ubicado al pie de una ladera rocosa, a 15 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
173	API_RUPA_38	27/06/2018	15:25	308158	8838941	4289	Ubicado a 40 m a la margen derecha de la quebrada S/N 2 y al pie de una ladera
174	API_RUPA_40	27/06/2018	12:45	308226	8838802	4275	Ubicado a 35 m a la margen derecha de la quebrada S/N 2 y al pie de una ladera
175	API_RUPA_42	27/06/2018	15:10	308231	8838974	4280	Ubicado a 5 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 2
176	API_RUPA_43	27/06/2018	12:10	308258	8838723	4272	Ubicado a 100 m al norte de la laguna Rupahuay y al pie de una ladera
177	API_RUPA_44	26/06/2018	10:12	308065	8839338	4287	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
178	API_RUPA_45	27/06/2018	14:30	308343	8838795	4263	Ubicado a 60 m al norte de la laguna Rupahuay
179	API_RUPA_47	27/06/2018	10:20	308405	8838879	4274	Ubicado al pie de una ladera rocosa, a 5 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1
180	API_RUPA_48	27/06/2018	08:45	308497	8838739	4283	Ubicado a 25 m al oeste de la carretera y 3 m de la laguna Rupahuay
181	API_RUPA_50	26/06/2018	13:55	308276	8839259	4274	Ubicado a 25 m al oeste de la carretera y 50 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 1
182	API_RUPA_52	26/06/2018	11:45	308032	8839411	4289	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
183	API_RUPA_53	26/06/2018	15:05	308329	8839023	4289	Ubicado en la zona revegetada a 20 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1
API Rupahuay							
184	API_RUPA_54	26/06/2018	10:40	307979	8839213	4287	Ubicado a 50 m a la margen derecha de la quebrada S/N 2 y al pie de una ladera
185	API_RUPA_55	27/06/2018	13:30	307826	8839669	4288	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
186	API_RUPA_56	26/06/2018	15:30	308254	8839157	4285	Ubicado en la zona revegetada a 20 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1
187	API_RUPA_57	26/06/2018	13:10	308218	8839227	4287	Ubicado en la zona revegetada a 15 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1
188	API_RUPA_58	26/06/2018	15:15	307998	8839484	4293	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
189	API_RUPA_59	27/06/2018	08:50	308059	8839651	4308	Ubicado al oeste del depósito de desmonte Shucshapá
190	API_RUPA_60	27/06/2018	13:10	308191	8838868	4271	Ubicado a 30 m a la margen derecha de la quebrada S/N 2 y al pie de una ladera
191	API_RUPA_61	27/06/2018	11:45	307652	8839937	4335	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
192	API_RUPA_63	27/06/2018	09:15	308403	8838789	4280	Ubicado a 30 m al norte de la laguna Rupahuay

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
193	API_RUPA_64	26/06/2018	11:10	307886	8839344	4282	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
194	API_RUPA_65	27/06/2018	12:35	307792	8839760	4309	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
195	API_RUPA_66	26/06/2018	11:40	308155	8839031	4285	Ubicado a 30 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 2
196	API_RUPA_67	26/06/2018	15:45	308253	8839085	4285	Ubicado a 60 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1
197	API_RUPA_68	26/06/2018	10:52	307919	8839272	4287	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
198	API_RUPA_69	26/06/2018	10:31	307992	8839305	4285	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
199	API_RUPA_71	26/06/2018	14:55	308370	8839027	4280	Ubicado a 20 m al oeste de la carretera y 15 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 1
200	API_RUPA_73	26/06/2018	15:30	307925	8839450	4291	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
201	API_RUPA_74A	26/06/2018	09:30	308205	8839298	4288	Ubicado a 2 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1 y a 350 m al sur del depósito de desmonte Shucshapá
202	API_RUPA_74B	26/06/2018	09:40	308205	8839298	4288	Ubicado a 2 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1 y a 350 m al sur del depósito de desmonte Shucshapá
API Rupahuay							
203	API_RUPA_75	27/06/2018	10:05	307898	8839702	4295	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
204	API_RUPA_76	26/06/2018	11:25	308094	8838993	4284	Ubicado a 40 m a la margen derecha de la quebrada S/N 2 y al pie de una ladera
205	API_RUPA_77	27/06/2018	08:35	308005	8839662	4309	Ubicado al oeste del depósito de desmonte Shucshapá
206	API_RUPA_78	27/06/2018	09:40	308457	8838812	4276	Ubicado a 35 m al oeste de la carretera y 25 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 1
207	API_RUPA_79	27/06/2018	11:25	307728	8839976	4320	Ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
208	API_RUPA_80	27/06/2018	09:15	307965	8839556	4299	Ubicado al oeste del depósito de desmonte Shucshapá
209	API_RUPA_81	26/06/2018	12:25	308104	8839444	4291	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
210	API_RUPA_82	26/06/2018	10:10	308171	8839295	4281	Ubicado en la zona revegetada a 40 m a la margen derecha de la quebrada S/N 1
211	API_RUPA_83	26/06/2018	15:45	307853	8839417	4296	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
212	API_RUPA_84	27/06/2018	14:50	307892	8839523	4295	Ubicado al suroeste del depósito de desmonte Shucshapá
213	API_RUPA_85	26/06/2018	12:10	308152	8839114	4272	Ubicado a 50 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 2
214	API_RUPA_86	26/06/2018	10:20	308052	8839254	4279	Ubicado a 50 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 2
215	API_RUPA_87	26/06/2018	10:55	308017	8839143	4290	Ubicado a 70 m a la margen derecha de la quebrada S/N 2 y al pie de una ladera
216	API_RUPA_88	26/06/2018	14:15	308316	8839187	4272	Ubicado a 20 m al oeste de la carretera y 50 m a la margen izquierda de la quebrada S/N 1
217	API_RUPA_89	26/06/2018	12:50	308173	8839479	4290	Ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá
Muestreos puntuales (especial) – Ductos de ventilación							
218	SVT1	29/06/2018	13:33	308549	8842558	4843	Ubicado a 20 m al noreste de la ventilación del Troncal 1
219	STV0	29/06/2018	13:50	308662	8842460	4838	Ubicado a 130 m al sureste de la ventilación del Troncal 1
220	S-1	29/06/2018	14:09	308709	8842733	4805	Ubicado a 20 m al suroeste de la ventilación del Troncal 2

En las API mencionadas en la Tabla 5-11, a excepción del API Primavera, se tomaron muestras compuestas para los parámetros cromo hexavalente, análisis mineralógico, materia orgánica, pH y análisis granulométrico; para la conformación de la composición se seleccionaron suelos con similares características organolépticas, tipo de suelo y su relación con los componentes ambientales agua y sedimento (Tabla 5-12).

Tabla 5-12. Ubicación de muestras compuestas y submuestras tomados en las API evaluadas

N.°	Código OEFA		Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)
	Muestra	Submuestras			Este (m)	Norte (m)	
API Caballococha							
1	API_CABA_18	API_CABA_4	22/06/2018	16:00	309738	8844618	4586
		API_CABA_12			309728	8844630	4587
		API_CABA_14			309747	8844607	4588
2	API_CABA_19	API_CABA_1	22/06/2018	16:10	309760	8844638	4583
		API_CABA_2			309759	8844617	4583
		API_CABA_5			309770	8844626	4579
		API_CABA_9			309749	8844628	4578
		API_CABA_10			309751	8844649	4578
		API_CABA_11			309741	8844661	4585
		API_CABA_15			309729	8844651	4581
		API_CABA_16			309739	8844640	4578
3	API_CABA_20	API_CABA_ 6	22/06/2018	16:20	309772	8844647	4576
		API_CABA_ 7			309782	8844636	4579
		API_CABA_8			309751	8844678	4584

N.°	Código OEFA		Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)
	Muestra	Submuestras			Este (m)	Norte (m)	
		API_CABA_13			309762	8844659	4579
		API_CABA_17			309785	8844651	4578
4	API_CABA_21	API_CABA_4	22/06/2018	16:30	309738	8844618	4586
		API_CABA_6			309772	8844647	4576
		API_CABA_7			309782	8844636	4579
		API_CABA_8			309751	8844678	4584
		API_CABA_12			309728	8844630	4587
		API_CABA_13			309762	8844659	4579
		API_CABA_14			309747	8844607	4588
		API_CABA_17			309785	8844651	4578
API Niño Perdido 1							
5	API_NINP_25	API_NINP_1	23/06/2018	16:10	307569	8844664	4741
		API_NINP_2			307529	8844664	4736
		API_NINP_3			307489	8844664	4740
		API_NINP_4			307449	8844664	4758
		API_NINP_6			307569	8844624	4745
		API_NINP_18			307569	8844704	4731
		API_NINP_19			307529	8844704	4728
		API_NINP_20			307489	8844704	4731
		API_NINP_21			307449	8844704	4745
		API_NINP_24			307608	8844624	4749
6	API_NINP_26	API_NINP_5	23/06/2018	16:22	307409	8844664	4759
		API_NINP_7			307449	8844824	4729
		API_NINP_8			307409	8844824	4719
		API_NINP_10			307584	8844777	4736
		API_NINP_11			307435	8844784	4726
		API_NINP_12			307409	8844784	4738
		API_NINP_14			307594	8844746	4738
		API_NINP_15			307448	8844744	4733
		API_NINP_16			307409	8844744	4728
		API_NINP_17			307609	8844704	4753
		API_NINP_22			307409	8844704	4763
		API_NINP_23			307609	8844664	4745
API Niño Perdido 2							
7	API_NINP2_13	API_NNP2_1	25/06/2018	11:10	307800	8844449	4743
		API_NNP2_2			307800	8844479	4742
		API_NNP2_3			307830	8844479	4741
		API_NNP2_4			307860	8844479	4744
		API_NNP2_5			307800	8844509	4743
		API_NNP2_6			307830	8844509	4732
		API_NNP2_7			307860	8844509	4728
		API_NNP2_8			307770	8844539	4733
		API_NNP2_9			307800	8844539	4731
		API_NNP2_10			307830	8844539	4733
		API_NNP2_11			307770	8844569	4724
		API_NNP2_12			307800	8844569	4729
API Rupahuay							
8	API_RUPA_90	API_RUPA_83	27/06/2018	17:35	307853	8839417	4296
		API_RUPA_64			307886	8839344	4282

N.°	Código OEFA		Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)
	Muestra	Submuestras			Este (m)	Norte (m)	
		API_RUPA_68			307919	8839272	4287
9	API_RUPA_91	API_RUPA_54	27/06/2018	17:40	307979	8839213	4287
		API_RUPA_87			308017	8839143	4290
		API_RUPA_12			308054	8839068	4287
		API_RUPA_76			308094	8838993	4284
10	API_RUPA_92	API_RUPA_25	27/06/2018	17:42	308313	8838693	4279
		API_RUPA_43			308258	8838723	4272
		API_RUPA_40			308226	8838802	4275
		API_RUPA_60			308191	8838868	4271
11	API_RUPA_93	API_RUPA_38	27/06/2018	17:44	308158	8838941	4289
		API_RUPA_66			308155	8839031	4285
		API_RUPA_85			308152	8839114	4272
		API_RUPA_8			308089	8839168	4291
12	API_RUPA_94	API_RUPA_84	27/06/2018	17:46	307892	8839523	4295
		API_RUPA_13			307859	8839596	4284
		API_RUPA_55			307826	8839669	4288
		API_RUPA_65			307792	8839760	4309
13	API_RUPA_95	API_RUPA_45	27/06/2018	17:50	308343	8838795	4263
		API_RUPA_32			308320	8838833	4274
		API_RUPA_29			308264	8838901	4274
		API_RUPA_42			308231	8838974	4280
14	API_RUPA_96	API_RUPA_80	27/06/2018	17:52	307965	8839556	4299
		API_RUPA_58			307998	8839484	4293
		API_RUPA_16			307932	8839629	4294
		API_RUPA_75			307898	8839702	4295
15	API_RUPA_97	API_RUPA_47	27/06/2018	17:54	308405	8838879	4274
		API_RUPA_36			308365	8838947	4276
		API_RUPA_53			308329	8839023	4289
		API_RUPA_3			308305	8839082	4289
API Rupahuay							
16	API_RUPA_98	API_RUPA_48	27/06/2018	17:56	308497	8838739	4283
		API_RUPA_78			308457	8838812	4276
		API_RUPA_10			308432	8838892	4272
		API_RUPA_14			308394	8838973	4273
17	API_RUPA_99	API_RUPA_33	27/06/2018	17:58	308144	8839550	4276
		API_RUPA_89			308173	8839479	4290
		API_RUPA_1			308210	8839405	4284
18	API_RUPA_100	API_RUPA_48	27/06/2018	18:00	308497	8838739	4283
		API_RUPA_78			308457	8838812	4276
		API_RUPA_10			308432	8838892	4272
		API_RUPA_14			308394	8838973	4273
		API_RUPA_71			308370	8839027	4280
19	API_RUPA_101	API_RUPA_50	27/06/2018	18:05	308276	8839259	4274
		API_RUPA_20			308244	8839327	4287
		API_RUPA_1			308210	8839405	4284
		API_RUPA_89			308173	8839479	4290
		API_RUPA_33			308144	8839550	4276

N.°	Código OEFA		Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)
	Muestra	Submuestras			Este (m)	Norte (m)	
20	API_RUPA_102	API_RUPA_63	27/06/2018	18:10	308403	8838789	4280
		API_RUPA_47			308405	8838879	4274
		API_RUPA_36			308365	8838947	4276
		API_RUPA_53			308329	8839023	4289
		API_RUPA_3			308305	8839082	4289
21	API_RUPA_103	API_RUPA_25	27/06/2018	18:15	308313	8838693	4279
		API_RUPA_43			308258	8838723	4272
		API_RUPA_40			308226	8838802	4275
		API_RUPA_60			308191	8838868	4271
		API_RUPA_38			308158	8838941	4289
22	API_RUPA_104	API_RUPA_79	27/06/2018	18:20	307728	8839976	4320
		API_RUPA_31			307759	8839907	4313
		API_RUPA_65			307792	8839760	4309
		API_RUPA_55			307826	8839669	4288
API Nieve Ucro							
23	API_NIEV_31	API_NIEV_28	29/06/2018	12:05	310365	8844843	4567
		API_NIEV_29			310303	8844849	4561
		API_NIEV_30			310394	8844896	4577
24	API_NIEV_32	API_NIEV_1	29/06/2018	12:15	310074	8844794	4566
		API_NIEV_2			310109	8844794	4566
		API_NIEV_3			310144	8844794	4565
		API_NIEV_4			310179	8844794	4565
25	API_NIEV_33	API_NIEV_14	29/06/2018	12:25	310109	8844864	4566
		API_NIEV_15			310144	8844864	4562
		API_NIEV_18			310074	8844899	4563
		API_NIEV_19			310109	8844899	4566
		API_NIEV_20			310144	8844899	4566
		API_NIEV_22			310074	8844934	4562
		API_NIEV_23			310109	8844934	4560
		API_NIEV_24			310028	8844936	4563
		API_NIEV_25			310029	8844972	4554
		API_NIEV_26			309967	8844967	4560
		API_NIEV_27			309996	8845010	4565
API Tinquicocha							
26	API_TINQ_34	API_TINQ_28	24/06/2018	15:10	309768	8846331	4363
		API_TINQ_25			309768	8846291	4359
		API_TINQ_22			309768	8846251	4360
27	API_TINQ_35	API_TINQ_32	24/06/2018	15:25	309728	8846411	4371
		API_TINQ_30			309728	8846371	4371
		API_TINQ_27			309728	8846331	4370
		API_TINQ_24			309728	8846291	4366
		API_TINQ_20			309688	8846251	4390
		API_TINQ_26			309688	8846331	4388
		API_TINQ_29			309688	8846371	4386
		API_TINQ_33			309768	8846411	4366
		API_TINQ_31			309768	8846371	4362
		API_TINQ_16			309768	8846211	4376

N.°	Código OEFA		Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)
	Muestra	Submuestras			Este (m)	Norte (m)	
		API_TINQ_11			309752	8846163	4377
28	API_TINQ_38	API_TINQ_1	25/06/2018	16:30	309942	8846066	4362
		API_TINQ_2			309965	8846066	4347
		API_TINQ_4			309847	8846104	4363
		API_TINQ_5			309888	8846091	4361
		API_TINQ_6			309928	8846091	4352
		API_TINQ_7			309808	8846131	4368
		API_TINQ_8			309848	8846131	4359
29	API_TINQ_36	API_TINQ_9	25/06/2018	16:40	309888	8846131	4360
		API_TINQ_14A			309888	8846171	4358

5.3.3 Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados se seleccionaron en función de la actividad minera del administrado, y los contemplados en los Estándares de Calidad Ambiental para suelo de la normativa vigente (Tabla 5-13).

Tabla 5-13. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para suelo en la evaluación

N.°	Parámetro evaluado	Método de análisis/descripción	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Metales totales por ICP-OES	EPA 3050 B: 1996/EPA 6010 B: 1996/Acid Digestion of Sediments, Sludges and soils-Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Espectrometry	ALS LS PERÚ S.A.C.
2	Cianuro libre	EPA 9013-A, 2004 / SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN- F, 22nd Ed 2012	
3	Cromo Hexavalente	EPA 3060 Revision1 December 1996/EPA 7199 Revisión 0 December 1996. (Validado).2017	
4	Análisis granulométrico	PEC-018/Densitometría	
5	pH	PEC-001/Potenciometría pH	
6	Extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier	PE-4421/Espect ICP-OES	
7	Materia orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000; ítem 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado). 2017/Calculado	SGS del Perú S.A.C.
8	Análisis mineralógico	BIZ-ME-02/ Análisis mineralógico por DRX (con énfasis en arcillas)	BIZALAB S.A.C.

Fuente: Informes de ensayo de los laboratorios ALS PERÚ S.A.C., SGS del Perú S.A.C. y BIZALAB S.A.C.

5.3.4 Equipos utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos y herramientas que se detallan en el reporte de campo N.° 036-2018-STEC (Anexo 2.1).

5.3.5 Aseguramiento de la calidad

Para el aseguramiento de calidad del proceso de muestreo de suelo se realizó el control para 15 duplicados en campo.

Los resultados de los parámetros de control de calidad de suelo se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, el cual corresponde al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

5.3.6 Criterios de comparación

En la Tabla 5-14 se presenta las normativas de comparación, utilizadas para la evaluación de la calidad de suelo en el área de estudio.

Tabla 5-14. Estándares de comparación para la evaluación de calidad de suelo en el área de estudio

Normativa de comparación	Modo	Zonas	Uso
Decreto Supremo N.° 002-2013-MINAM	IGA aprobado mediante Resolución Directoral N.° 051-2018-MEM-DGAAM	1, 2 y 3	Industrial/extractivo
Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM	Referencial (normativa vigente)		Industrial/extractivo

5.4 Comunidades hidrobiológicas

Las comunidades hidrobiológicas (plancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces) están directamente relacionadas con las características fisicoquímicas del agua superficial o sedimento, dependiendo de su hábitat; para determinar el estado de las comunidades hidrobiológicas de macroinvertebrados bentónicos y perifiton se consideraron puntos de muestreo en los principales cuerpos de agua y sus sustratos (sedimento).

5.4.1 Guías utilizadas para la evaluación

La metodología aplicada en la evaluación de las comunidades hidrobiológicas del plancton (fitoplancton y zooplancton), perifiton (microalgas y microorganismos), macroinvertebrados bentónicos y peces se detalla en la Tabla 5-15.

Tabla 5-15. Guías de referencia para el muestreo de comunidades hidrobiológicas empleadas en la evaluación

Referencia	Sección	País	Institución	Año
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú	3.1.2, 3.1.5, 4.1.2, 5.1.2, 6.1.2, 6.1.3.1	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	2014

En la mencionada guía se establecen los criterios técnicos y lineamientos generales a aplicarse, como la logística mínima necesaria, establecimiento de los puntos de muestreo, preparación de materiales, equipos en indumentaria de protección, procedimiento para la toma de muestras, preservación, almacenamiento, conservación y transporte de muestras, entre otros.

5.4.2 Ubicación de puntos

Se estableció un total de 118 puntos de muestreo para la evaluación de las comunidades hidrobiológicas. Los puntos de muestreo fueron establecidos en ambientes lénticos, lóticos, surgencias, agua residual doméstica e industrial, estos se ubicaron aguas arriba y aguas abajo de los vertimientos, aguas arriba y aguas abajo de los principales componentes mineros, en las nacientes de los cuerpos

hídricos, además se consideraron factores como caudal del río, características del microhábitat de las 12 lagunas evaluadas y sus principales tributarios.

De acuerdo a lo señalado, se evaluaron 76 puntos de muestreo correspondientes a ambientes lénticos (lagunas) distribuidos en 12 lagunas, cuya ubicación y descripción se detalla en la Tabla 5-16. En estas lagunas se evaluaron las comunidades hidrobiológicas del fitoplancton y zooplancton, cabe mencionar que se colectaron muestras a la zona fótica, intermedia y zona afótica. El respectivo mapa de ubicación de puntos de muestreo en mención, se encuentra en el Anexo 1.3.

Tabla 5-16. Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas en los cuerpos lénticos (lagunas) en el área de estudio

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Zona 1: Microcuenca de la laguna Santa Ana							
1	LLoca-HB-01	20/09/2018	16:05	306960	8843059	4874	Laguna Locacocha (en dirección sureste)
2	LLoca-HB-02	20/09/2018	15:50	307033	8843186	4874	
3	LLoca-HB-04	20/09/2018	15:30	307130	8843281	4874	
4	LLoca-HB-10	20/09/2018	12:50	307060	8843561	4874	Laguna Locacocha (en dirección norte)
5	LLoca-HB-10-T	20/09/2018	12:50	307060	8843561	4874	
6	LLoca-HB-10-F	20/09/2018	12:50	307060	8843561	4874	
7	LSN-HB-01	21/09/2018	15:05	307361	8844322	4849	Laguna sin nombre
8	LNiñC-HB-01	19/09/2018	12:05	307546	8843444	4807	Laguna Niñococha (en dirección suroeste)
9	LNiñC-HB-02	19/09/2018	12:25	307646	8843493	4807	
10	LNiñC-HB-03	19/09/2018	12:50	307746	8843543	4807	Laguna Niñococha (en dirección noreste)
11	LNiñC-HB-03-F	20/09/2018	08:45	307746	8843543	4807	
12	LNiñC-HB-05	20/09/2018	09:15	307646	8843593	4807	
13	LNiñC-HB-05-F	20/09/2018	09:15	307646	8843593	4807	
14	LNiñP-HB-01	18/09/2018	09:30	307455	8844786	4750	Laguna Niño Perdido (en dirección norte)
15	LNiñP-HB-02	19/09/2018	09:15	307527	8844824	4750	
16	LNiñP-HB-02-F	19/09/2018	09:15	307527	8844824	4750	
17	LNiñP-HB-03	19/09/2018	09:50	307561	8844722	4750	Laguna Niño Perdido (en dirección sur)
18	LNiñP-HB-04	19/09/2018	09:00	307500	8844737	4750	
Zona 1: Microcuenca de la laguna Santa Ana							
19	LSanB-HB-02	21/09/2018	12:00	308232	8844742	4634	Laguna Santa Ana Baja (en dirección noroeste)
20	LSanB-HB-02-T	21/09/2018	12:00	308232	8844742	4634	
21	LSanB-HB-02-F	21/09/2018	12:00	308232	8844742	4634	
22	LSanB-HB-03	21/09/2018	10:40	308471	8844552	4634	Laguna Santa Ana Baja (en dirección sureste)
23	LSanB-03-T	21/09/2018	10:40	308471	8844552	4634	
24	LSanB-HB-03-F	21/09/2018	10:40	308471	8844552	4634	
25	LSanB-HB-07	21/09/2018	12:45	308573	8844847	4634	Laguna Santa Ana Baja (en dirección noreste)
26	L7Caba-HB-01	25/09/2018	10:35	310925	8844281	4730	Laguna Siete Caballeros (en dirección sur), próximo a deshielo de nevado Siete Caballeros
27	L7Caba-HB-02	25/09/2018	11:05	311004	8844357	4676	
Zona 2: Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha							
28	L7Caba-HB-03	25/09/2018	11:40	310869	8844471	4653	Laguna Siete Caballeros (en dirección norte), próximo al rebose
29	L7Caba-HB-04	25/09/2018	12:10	310846	8844567	4646	
30	LCaba-HB-01	26/09/2018	10:15	309553	8844119	4580	Laguna Caballococha (en dirección sur)
31	LCaba-HB-02	26/09/2018	10:35	309424	8844212	4580	
32	LCaba-HB-02-F	26/09/2018	10:35	309424	8844212	4580	

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
33	LCaba-HB-03	26/09/2018	11:30	309546	8844332	4580	
34	LCaba-HB-04	27/09/2018	08:40	309298	8844337	4580	
35	LCaba-HB-04-F	27/09/2018	08:40	309298	8844337	4580	
36	LCaba-HB-07	27/09/2018	09:20	309286	8844590	4580	Laguna Caballococha (en dirección suroeste)
37	LCaba-HB-07-F	27/09/2018	09:20	309286	8844590	4580	
38	LCaba-HB-08	27/09/2018	10:05	309652	8844711	4580	Laguna Caballococha (en dirección este)
39	LCaba-HB-08-F	27/09/2018	10:05	309652	8844711	4580	
40	LCaba-HB-12	27/09/2018	11:40	309640	8844957	4580	Laguna Caballococha (en dirección norte)
41	LCaba-HB-12-F	27/09/2018	11:40	309640	8844957	4580	
42	LCaba-HB-14	27/09/2018	12:10	309631	8845201	4580	
43	LCaba-HB-14-F	27/09/2018	12:10	309631	8845201	4580	
44	LNievU-HB-01	22/09/2018	10:00	309826	8844619	4558	Laguna Nieve Ucro – Zona I, próximo al dique de contención de la laguna Caballococha
45	LNievU-HB-04	22/09/2018	10:20	309902	8844711	4558	
46	LNievU-HB-06	22/09/2018	11:30	309942	8844919	4558	Laguna Nieve Ucro – Zona II, próximo a roca fracturada entre lagunas Nieve Ucro y Caballococha
47	LNievU-HB-07	22/09/2018	10:55	309984	8844885	4558	
48	LNievU-HB-08	22/09/2018	12:10	310271	8844825	4558	Laguna 3
49	LTinq-HB-01	28/09/2018	12:10	309967	8846074	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección sur)
50	LTinq-HB-02	28/09/2018	11:30	309923	8846189	4356	
51	LTinq-HB-02-F	28/09/2018	11:30	309923	8846189	4356	
52	LTinq-HB-09	28/09/2018	12:20	310190	8846566	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección sureste)
53	LTinq-HB-09-F	28/09/2018	12:20	310190	8846566	4356	
54	LTinq-HB-10	28/09/2018	11:50	309811	8846700	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección noroeste)
55	LTinq-HB-13	28/09/2018	12:05	310180	8846820	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección sureste)
Zona 2: Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha							
56	LTinq-HB-16	28/09/2018	11:35	310035	8847198	4356	Laguna Tinquicocha (en dirección norte)
57	LTinq-HB-18	28/09/2018	11:00	310142	8847659	4356	Laguna Tinquicocha, luego de la zona de estrangulamiento
58	LTinq-HB-19	28/09/2018	09:55	310318	8847942	4356	
59	LTinq-HB-19-F	28/09/2018	09:55	310318	8847942	4356	
Zona 3: Microcuenca de la laguna Rupahuay							
60	LYana-HB-01	17/09/2018	09:30	307517	8840061	4351	Laguna Yanacocha (en dirección norte)
61	LYana-HB-03	17/09/2018	09:45	307508	8839894	4336	Laguna Yanacocha (en dirección suroeste)
62	LRupa-HB-01	16/09/2018	12:55	308358	8838659	4270	Laguna Rupahuay (en dirección noroeste)
63	LRupa-HB-01-F	16/09/2018	12:55	308358	8838659	4270	
64	LRupa-HB-03	16/09/2018	11:35	308442	8838553	4270	
65	LRupa-HB-03-T	16/09/2018	11:35	308442	8838553	4270	
66	LRupa-HB-03-F	16/09/2018	11:35	308442	8838553	4270	
67	LRupa-HB-05	16/09/2018	10:05	308544	8838454	4270	Laguna Rupahuay (en dirección noreste)
68	LRupa-HB-05-F	16/09/2018	10:05	308544	8838454	4270	
69	LRupa-HB-08	16/09/2018	09:35	308549	8838255	4270	Laguna Rupahuay (en dirección sureste)
70	LRupa-HB-09	15/09/2018	15:49	308453	8838155	4270	Laguna Rupahuay (en dirección suroeste)
71	LRupa-HB-09-F	15/09/2018	15:49	308453	8838155	4270	
72	LRupa-HB-12	15/09/2018	12:55	308402	8837985	4270	

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
73	LRumb-HB-01	17/09/2018	09:15	305805	8833449	4155	Laguna Rumbrococha (en dirección noreste)
74	LRumb-HB-03	17/09/2018	09:35	305858	8833399	4155	Laguna Rumbrococha (en dirección suroeste)
75	LRumb-HB-05	17/09/2018	09:50	305905	8833349	4155	Laguna Rumbrococha (en dirección este)
76	LRumb-HB-06	17/09/2018	10:05	305904	8833251	4155	

Se establecieron en total 26 puntos de muestreo en los principales tributarios (ambientes lóticos) en los cuales se evaluaron las comunidades hidrobiológicas del perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados bentónicos, cuya ubicación y descripción se detallan en la Tabla 5-17. El respectivo mapa de ubicación de puntos de muestreo en mención, se encuentra en el Anexo 1.3.

Tabla 5-17. Ubicación de los puntos de muestreo para comunidades hidrobiológicas en los cuerpos lóticos (tributarios) en el área de estudio

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Zona 1: Microcuenca de la laguna Santa Ana							
1	QLSN-HB-01	19/09/2018	11:45	307383	8844382	4846	Salida de la laguna S/N, ubicado en la parte alta del botadero Niño Perdido y laguna Niño Perdido (Quebrada S/N 9)
2	QNiñC-HB-01*	19/09/2018	09:00	307587	8843699	4727	Canal de concreto, ubicado en la parte central del botadero Niñococha
3	QNiñC-HB-04	18/09/2018	14:30	307485	8843370	4813	Quebrada S/N 5 que ingresa a la laguna Niñococha, proveniente de sector donde se ubica la laguna Locacocha (Canal de cemento)
Zona 1: Microcuenca de la laguna Santa Ana							
4	QNiñC-HB-05	20/09/2018	11:10	308145	8843946	4766	Quebrada S/N 1, aguas abajo del empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido (Canal de cemento)
5	QNiñP-HB-02	18/09/2018	09:40	307421	8844768	4744	Ingreso de la laguna Niño Perdido, formado por deshielo de glaciar (Quebrada S/N 8)
6	QSanAB-HB-01	21/09/2018	10:30	308368	8844460	4649	Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana Baja, proveniente de zona donde se ubica la laguna Niño Perdido (Quebrada S/N 10)
7	QSanAB-HB-02	21/09/2018	09:30	308289	8844499	4640	Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana Baja, proveniente de zona donde se ubica la laguna Niñococha
Zona 2: Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha							

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
8	QL7Caba-HB-01	25/09/2018	10:35	310978	8844141	4642	Quebrada S/N 2, proveniente de deshielo de nevado Siete Caballeros que tributa a la laguna Siete Caballeros
9	QL7Caba-HB-02	22/09/2018	13:25	310828	8844554	4643	Salida de la laguna Siete Caballeros
10	QCaba-HB-01	26/09/2018	09:40	309598	8844188	4583	Ingreso a la laguna Caballococha, proveniente de sector donde se ubica el cementerio Hidro (Quebrada S/N 11)
11	QLTinq-HB-01*	27/09/2018	12:00	310252	8846914	4362	Quebrada S/N 3 que tributa a laguna Tinquicocha, proveniente de deshielo
12	QLTinq-HB-02	27/09/2018	12:50	310317	8846639	4393	Quebrada S/N 4 que tributa a laguna Tinquicocha, proveniente de deshielo
Zona 3: Microcuenca de la laguna Rupahuay							
13	QRupa-HB-01*	15/09/2018	15:25	308244	8838830	4272	Quebrada Yanco tributario a la laguna Rupahuay por la margen derecha
14	QRupa-HB-03	15/09/2018	12:50	308427	8838845	4284	Quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay a la margen izquierda, antes de vertimiento del efluente minero
15	DRupa-HB-01*	15/09/2018	13:30	308443	8838791	4276	Unión de la descarga del efluente minero con la quebrada S/N
16	QRupa-HB-04*	15/09/2018	10:50	308449	8838775	4280	Quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay a la margen izquierda, después del vertimiento del efluente minero
Zona 3: Microcuenca de la laguna Rupahuay							
17	QRupa-HB-02	15/09/2018	16:30	308374	8837873	4271	Descarga de la laguna Rupahuay, naciente del rio Quichas
18	QLSuer-HB-02	12/09/2018	09:20	309384	8837894	4443	Salida de la laguna Suerococha, aproximadamente a 15m de la compuerta (naciente de quebrada S/N 6)
19	QRupa-HB-06	12/09/2018	10:40	308344	8837510	4276	Quebrada S/N 6 de ingreso al río Quichas (proveniente de cantera)
20	QRupa-HB-08	12/09/2018	11:40	308327	8837408	4264	Río Quichas, a 60m aguas abajo de la confluencia con la Quebrada S/N 6
21	QVeta-HB-01	12/09/2018	12:20	308429	8837169	4268	Quebrada Chaco antes de la confluencia con el río Quichas
22	QRupa-HB-05	12/09/2018	13:10	308294	8837046	4263	Río Quichas luego de la confluencia con la quebrada Chaco

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
23	QLRumb-HB-04	13/09/2018	09:40	306275	8834502	4164	Río Quichas antes de la confluencia con la quebrada sin nombre 7.
24	QLRumb-HB-03	13/09/2018	08:50	305741	8834101	4158	Quebrada S/N 7, desviada de la laguna Surasaca.
25	QLRumb-HB-02	13/09/2018	10:40	305863	8833791	4158	Entrada a la laguna Rumbrococha (embalse), aproximadamente a 200 m
26	QLRumb-HB-01	13/09/2018	11:40	305969	8833119	4150	Salida de la laguna Rumbrococha (embalse), aproximadamente a 2 0m de la compuerta.

*: Puntos de muestreo donde solo se colectó la comunidad de perifiton.

Se evaluaron 7 puntos de muestreo en surgencias, 2 puntos de agua residual industrial y 2 puntos de efluentes mineros, en los cuales se colectó la comunidad hidrobiológica del perifiton (microalgas y microorganismos), cuya ubicación y descripción se detalla en la Tabla 5-18. El respectivo mapa de ubicación de puntos de muestreo en mención, se encuentra en el Anexo 1.3.

Tabla 5-18. Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas en surgencias, agua residual industrial y efluentes mineros en el área de estudio

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Surgencia							
1	FNiñP-HB-1	18/09/2018	10:50	307596	8844628	4762	Surgencia ubicada en la cota inferior de botadero Niño Perdido
2	FNiñP-HB-2	18/09/2018	13:40	307448	8844639	4754	Surgencia al margen izquierdo, ubicado en la cota inferior del botadero Niño Perdido
3	FNiñC-HB-1	19/09/2018	09:45	307586	8843699	4727	Surgencia cerca a canal de concreto del botadero Niñococha que descarga en la laguna Niñococha
Surgencia							
4	FSanAB-HB-01	21/09/2018	12:00	308376	8844285	4664	Surgencia al margen izquierdo de quebrada S/N 1, en la cota inferior del botadero Raura y Stockpile
5	QCaba-HB-03	27/09/2018	09:30	309170	8844642	4590	Surgencia de agua que ingresa a la laguna Caballococha, proveniente sector donde se ubica la zanja de insurgencia - Planta concentradora
6	FTinqco-HB-04	27/09/2018	14:45	309879	8846101	4375	Surgencia de agua ubicada en la cota inferior al botadero Tinquicocha, que descarga a la laguna Tinquicocha
7	FRupa-HB-02	16/09/2018	12:40	308202	8839607	4304	Surgencia de agua ubicada en la cota inferior de trocha carrozable (naciente de quebrada S/N)

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Agua residual industrial							
8	AMRupa-HB-1	16/09/2018	09:20	308003	8840047	4327	Agua residual industrial que ingresa a la poza de secado - Shucshapá
9	AMTinq-HB-1	28/09/2018	10:00	309756	8845985	4425	Salida de bocamina Tinquicocha
Efluente minero							
10	FRupa-HB-01	16/09/2018	12:00	308190	8839628	4292	Drenaje del depósito de desmonte Shucshapá (Filtro de percolación)
11	FTinqco-HB-03	27/09/2018	14:00	309899	8846137	4375	Descarga del sedimentador Tinquicocha

Finalmente, se evaluaron 5 puntos de muestreo para la colecta de peces en ambientes lénticos (lagunas). Entre las artes de pesca empleadas tenemos la búsqueda con red de mano o cal cal y el uso de redes de espera. A todos los peces colectados se les realizaron mediciones morfométricas *in situ*, considerándose la toma de longitud total (LT), longitud estándar (LE) y peso total (PT). En la Tabla 5-19, se presenta la ubicación y descripción de los puntos de pesca por tipo de ambiente evaluado. El respectivo mapa de ubicación de puntos de muestreo en mención, se encuentra en el Anexo 1.3.

Tabla 5-19. Ubicación de los puntos de muestreo de peces en cuerpos lenticos (lagunas) en el área de estudio

N.°	Punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
1	LSN-RCC-01	21/09/2018	15:05	307389	8844318	4849	Punto de colecta de peces en la laguna S/N
2	LCaba-RCC-02	26/09/2018	09:00	309479	8844135	4580	Punto de colecta de peces en la laguna Caballococha
3	LRupa-RE-01	16/09/2018	09:00	308325	8838 679	4270	Punto de colecta de peces en la entrada a la laguna Rupahuay
4	LRupa-RE-02	16/09/2018	09:00	308382	8837972	4270	
5	LYana-RE-01	17/09/2018	09:00	307517	8840061	4351	Punto de colecta de peces en la salida de la laguna Yanacocha
6	LTinq-RE-01	28/09/2018	11:00	309847	8846209	4356	Punto de colecta de peces en la laguna Tinquicocha

Los códigos que contienen el sufijo «RCC» correspondieron a la colecta de peces con red de mano o cal cal, y los que contienen el sufijo «RE» a colecta de peces con red de espera.

Teniendo en consideración la colecta de peces en los puntos de muestreo descritos en la Tabla 5-20, se tomaron 11 muestras para el análisis de bioacumulación de metales totales en tejidos de músculo e hígado, distribuidas en las lagunas Rupahuay, Yanacocha y Tinquicocha. Gran parte de las muestras correspondieron a «truchas» *Oncorhynchus mykiss* y solo las muestras provenientes de la laguna Tinquicocha correspondieron a «*chalhuas*» *Orestias sp*.

Tabla 5-20. Ubicación de las muestras de tejidos de peces para el análisis de bioacumulación de metales totales de las lagunas en el área de estudio

N.°	Código de la muestra de tejido*	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción del origen de la muestra
		Fecha	Hora	Este	Norte		
1	LRupa-TH-01S	16/09/2018	09:00	308325	8838679	4270	Laguna Rupahuay
2	LRupa-TH-02S	16/09/2018	09:00	308382	8837972	4270	
3	LRupa-TM-01S	16/09/2018	09:00	308325	8838679	4270	
4	LRupa-TM-02S	16/09/2018	09:00	308382	8837972	4270	
5	LRupa-TM-03S	16/09/2018	09:00	308382	8837972	4270	
6	LRupa-TM-04S	16/09/2018	09:00	308382	8837972	4270	
7	LYana-TM-01S	17/09/2018	09:00	307517	8840061	4351	Laguna Yanacocha
8	LYana-TH-01S	17/09/2018	09:00	307517	8840061	4351	
9	LTinq-TM-01	28/09/2018	11:00	309847	8846209	4356	Laguna Tinquicocha
10	LTinq-TM-02	28/09/2018	11:00	309847	8846209	4356	
11	LTinq-TM-03	28/09/2018	11:00	309847	8846209	4356	

*: Los códigos que contienen el sufijo «TM» correspondieron a muestras para análisis en tejido muscular, y los que contienen el sufijo «TH» correspondieron a muestras para análisis en tejido hígado. Así mismo aquellos que finalizaron en el sufijo «S» correspondieron a individuos silvestres.

5.4.3 Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados se seleccionaron en función de la actividad minera del administrado. En la Tabla 5-21 se detalla los parámetros evaluados, y métodos de análisis de las muestras de comunidades hidrobiológicas.

Tabla 5-21. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para comunidades hidrobiológicas en la evaluación

N.°	Parámetro evaluado	Método de análisis de referencia	Técnica empleada	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Fitoplancton	SMEWW- APHA, AWWA, WEF. 23 rd edition. SM 10 200 F	Identificación taxonómica y análisis cuantitativo	OEFA*
2	Zooplancton	SMEWW- APHA, AWWA WEF: SM 10 200 C 23 rd Edition 2017 y SM 10 200 G		OEFA*
3	Perifiton	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 300 C, 22nd Ed. 2012		OEFA*
4	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10 500 C, 22nd Ed. 2012		NSF Envirolab S.A.C
5	Peces	SMEWW 10600-D		OEFA*
6	Metales totales en músculo de peces (+Hg)	EPA 200.3. Rev.1 April 1991 and EPA 6020 A Rev.1 February 2007	Espectrometría ICP- MS	ALS LS PERÚ S.A.C.

Fuente: Informes de ensayo de los laboratorios NSF Envirolab S.A.C. y ALS LS PERÚ S.A.C.
* Las muestras fueron evaluadas por especialistas taxónomos de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA

5.4.4 Equipos utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos y herramientas que se detallan en el reporte de campo N.° 036-2018-STEC (Anexo 2.1).

5.4.5 Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la colecta de las comunidades hidrobiológicas y su posterior análisis se basó en las indicaciones descritas en la publicación «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú», en las secciones 3.3 plancton, 4.3 perifiton, 5.3 macroinvertebrados bentónicos y 6.3 peces.

5.4.6 Criterios de comparación

En lo que respecta a la identificación taxonómica y análisis cuantitativo de muestras de las comunidades hidrobiológicas no existen estándares de comparación nacionales.

Los resultados de los análisis de metales en tejidos de músculo e hígado de peces reportados por el laboratorio fueron comparados con los contenidos máximos permitidos de metales pesados en productos pesqueros y acuícolas de consumo humano directo señalados en el manual «Indicadores sanitarios y de inocuidad para los productos pesqueros y acuícolas para mercado nacional y de exportación» del Sanipes[27]. Dicho manual, referencia a los metales pesados de interés para alimentos en la salud humana como cadmio, mercurio y plomo.

5.4.7 Procesamiento de datos

Para el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación hidrobiológica, se procedió a caracterizar las comunidades del fitoplancton, zooplancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

5.4.7.1 Composición, riqueza y abundancia

Se representó la clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia y especie) de las comunidades de perifiton (microalgas y microorganismos), de macroinvertebrados bentónicos y de peces evaluados en los ambientes lénticos y lóticos correspondientes al área de estudio. Esta clasificación taxonómica se encuentra en el Anexo 2 del presente informe.

La evaluación de la riqueza y densidad (abundancia) de las comunidades de perifiton (microalgas y microorganismos) se desarrollaron en base a la categoría taxonómica phylum. La evaluación de la riqueza y la abundancia de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y de peces se desarrollaron en base a la categoría taxonómica de orden.

Es necesario indicar que los resultados de abundancia se analizaron en base a la densidad de la muestra, representándose los resultados para perifiton (microalgas y microorganismos) en organismos/cm^2, para macroinvertebrados bentónicos en organismos/0,27 m^2 y para peces en base al número de individuos.

5.4.7.2 Diversidad alfa

La diversidad alfa está relacionada al número de especies de un grupo indicador que se encuentra en un determinado punto o área que puede variar mucho de un lugar a otro, aún dentro de un mismo tipo de comunidad y en un mismo ecosistema (Moreno y Halffter, 2000).

a. Números de Hill (diversidad verdadera)

Para la evaluación de diversidad de especies (diversidad alfa) se utilizaron los índices de diversidad verdadera (Números de Hill) en base al número de especies de cada punto de muestreo para cada comunidad hidrobiológica.

[27] Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (SANIPES) - Ministerio de la Producción (PRODUCE). Resolución de Dirección Ejecutiva N.° 057-2016-SANIPES-DE, publicado en el Diario El Peruano, con fecha 27 de junio de 2016.

Para ello se usó la variable N1 como la modificación del índice Shannon-Weaver (H') (Jost, 2006), cuya fórmula se indica en la ecuación 5.1.

$$N1 = exp(H`) \quad (5.1)$$

Donde:

H´ = Índice de Shannon Wiener

El índice de dominancia de Simpson, es uno de los parámetros que nos permiten medir la diversidad de organismos. Este índice es inverso al concepto de equidad de la comunidad, ya que toma en cuenta las especies con mayor importancia sin considerar al resto de especies, siendo menos sensible con la riqueza de especies (Krebs, 1978; Magurran, 1991; Feinsinger, 2003). La fórmula para determinar el índice de Simpson se señala en la ecuación 5.2.

$$\lambda = \sum pi^2 \quad (5.2)$$

Donde:

D = Índice de dominancia de Simpson
pi = abundancia proporcional de la iésima especie; representa la probabilidad de que un individuo de la especie i esté presente en la muestra, siendo entonces la sumatoria de pi igual a 1

Además, se desarrolló el índice de equidad de Pielou, el cual mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Pielou, 1975; Peet, 1974). Su fórmula es la que se muestra en la ecuación 5.3.

$$J' = \frac{H\prime}{H'max} \quad (5.3)$$

Donde:

J' = Índice de equidad de Pielou
H' = Índice de diversidad de Shannon-Wiener
H' max = Ln(S)
S = número de especies.

b. Diversidad beta

Para la evaluación de diversidad beta se utilizó el coeficiente de similitud de Bray Curtis en base a la similitud de especies entre puntos de muestreo para cada comunidad hidrobiológica.

Para determinar el índice de Bray Curtis se empleó la fórmula que se indica en la ecuación 5.4:

$$IBC = 1 - \frac{(\Sigma \text{ xi} - \text{yi})}{(\Sigma \text{ xi} + \text{yi})} \quad (5.4)$$

Donde:

IBC = índice de Bray Curtis
xi = abundancia o densidad de especies i en un conjunto
yi = abundancia o densidad de especies i en el otro conjunto.

Para facilitar el análisis de los valores de similitud de manera visual, se procedió a la elaboración de dendogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal y Michener, 1958; Crisci y López, 1983) utilizando el programa estadístico PAST (Hammer *et al*., 2001). Esta gráfica resume la similitud de las especies entre dos puntos de monitoreo.

c. Relación de las comunidades hidrobiológicas con variables no biológicas mediante la aplicación de análisis estadísticos multivariados

- **Análisis de componentes principales (ACP)**

Para determinar el gradiente de presiones que afecta a la comunidad perifiton y macroinvertebrados bentónicos, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) utilizando la totalidad de variables ambientales medidas en los puntos de muestreo utilizando el software Paleontological Data Analysis PAST, versión 3.15.

Estas variables correspondieron a los parámetros, tomados *in situ*; como son, temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica, parámetros fisicoquímicos; así como también las concentraciones de los metales considerados en los ECA para agua Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. Subcategoría E1: Lagunas y lagos; en su condición de disuelta, para los puntos ríos, quebradas y surgencias.

- **Análisis de correspondencia canónica (ACC)**

Para determinar la relación entre las variables ambientales (agua) y la comunidad hidrobiológica del perifiton y macroinvertebrados, se realizó el análisis de correspondencia canónica (ACC) utilizando el software Paleontological Data Analysis PAST v3.15. Dicho análisis aportará información importante sobre el porcentaje de variabilidad de la comunidad perifiton y macroinvertebrados que puede ser explicado por el efecto de las variables ambientales.

Para el análisis fueron seleccionadas aquellas especies que presentaron los mayores valores de abundancia relativa (A.R.) y una frecuencia relativa (F.R.) en relación con el total de puntos evaluados en los cuerpos de agua evaluados en cada microcuenca, para luego transformar su densidad a log (x + 1). Mientras que, las variables ambientales correspondieron a los parámetros de campo y metales totales del primer del ACP el cual explicó la mayor variabilidad de datos.

d. Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua

La calidad ecológica en los distintos sectores evaluados se realizó a través del protocolo de calidad ecológica de ríos altoandinos simplificado (CERA-S) que permite obtener la calidad biológica de ríos altoandinos.

El protocolo CERA-S da como resultado el estado ecológico de los ríos mediante la combinación de la valoración hidromorfológica (Tabla 5-22) y la calidad biológica (macroinvertebrados bentónicos). La base del protocolo es la valoración de la calidad biológica del río y las características de su entorno y su representación mediante una combinación sencilla de colores que permite, a quien no tiene una formación científica especializada, observar rápidamente cual es el estado de salud de un río (Encalada *et al.,* 2011).

Tabla 5-22. Características y puntuaciones hidromorfológica según el protocolo CERA-S

Características y puntuaciones hidromorfológica				
Características			Presencia o tipo	Puntuación
Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera	Vegetación de ribera	Paramo o Puna	Presencia de Paramo Herbáceo	5
			Presencia de Paramo mixto	5
			Presencia de Paramo Frailejones	5
			Presencia de Páramo degradado (Hierbas cortas y pisadas)	2
			Presencia de tierra baldía o cangahua	0
		Bosque	Bosque de Polylepis	5
			Bosque mixto	5
			Plantaciones de eucaliptos y pinos	3
			Matorral arbustos	3
			Presencia de cultivos o pastos	1
			Tierra baldía o cagahua	0
Continuidad de la ribera			Continuo	5
			Manchas grandes	3
			Vegetaciones aisladas	1
Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacentes			Paisaje compuesto de vegetación (páramo o bosque) en más de un 75%	5
			Paisaje compuesto de bosques con cultivos inferior a 50%	3
			Paisajes con cultivos con más del 50%	1
			Vegetación próxima a elementos de urbanismo que ocupan menos del 50%	2
			Vegetación próxima a elementos de urbanismo que ocupan más del 50%	0
Presencia de basura y escombros			Riberas sin basura ni escombros	5
			Ribera con basura y/o escombros escasos	2
			Ribera con basura y/o escombros abundantes	0
Naturalidad del canal fluvial			Canal natural sin alteraciones antropológica	5
			Canal modificado por terrazas sin una estructura sólida o cemento	3
			Canal con estructuras rígidas parciales	1
			Canal totalmente modificado por estructuras rígidas	0
Composición del sustrato*			Bloques	1
			Piedras	1
			Cantos	1
			Grava	1
			Arena	1
			Arcilla y lodo	1
Regímenes de la velocidad y profundidad del rio**			Rápido-somero	1
			Rápido-profundo	1
			Lento-somero	1
			Lento-profundo	1
Elemento de heterogeneidad			Hojarasca	1
			Troncos y ramas	1
			Diques naturales	1
			Raíces sumergidas	1
			Vegetaciones acuáticas sumergidas (musgos y plantas)	1
			Vegetaciones acuáticas sumergidas (algas)	1

*Se suman cada tipo de sustrato.
**Se suma cada tipo y si están las 4 opciones se suma 1 adicional.

El criterio de elección del puntaje respectivo para cada característica es detallado en el Anexo 6. Una vez obtenidas las puntuaciones para cada característica hidromorfológica se procedió obtener una sumatoria de todas ellas, con la finalidad de

tener un solo valor por punto de muestreo. Finalmente, para obtener el respectivo valor de calidad hidromorfológica, dichos valores fueron comparados con la siguiente escala (Tabla 5-23).

Tabla 5-23. Calidad hidromorfológica acuerdo a la puntuación del protocolo CERA-S

Puntuación hidromorfológica	Estado ecológico
35 – 40	Excelente
28 – 35	Buena
20 – 28	Moderada
11 – 20	Mala
0 – 10	Pésima

Fuente: Ríos-Touma *et al*., 2014

La calidad biológica del agua se estimó a través del Índice Biótico Andino (*Andean Biotic Index* [ABI]) (Ríos-Touma *et al*., 2014), el cual fue desarrollado para evaluar la calidad de agua de ríos alto andinos ubicados a más de 2000 m de altitud. Este índice estima la calidad del agua atribuyendo a cada familia taxonómica presente de los macroinvertebrados bentónicos en una muestra un valor de intolerancia (0-10). Cabe indicar que, el índice ABI, forma parte de un protocolo de evaluación de la Calidad Ecológica de los Ríos Andinos (CERA) (Acosta *et al*., 2009) (Tabla 5-24).

Tabla 5-24. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI

Orden / Clase	Familia	Puntaje	Orden / Clase	Familia	Puntaje
Turbellaria	*	5	Trichoptera	Polycentropodidae	8
Hirudinea	*	3		Xiphocentronidae	8
Oligochaeta	*	1		Glossosomatidae	7
Gasteropoda	Ancylidae	6		Limnephilidae	7
	Hydrobiidae	3		Hydroptilidae	6
	Limnaeidae	3		Hydropsychidae	5
	Physidae	3	Lepidoptera	Pyralidae	4
	Planorbidae	3	Coleoptera	Dryopidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Elmidae	5
Amphipoda	Hyalellidae	6		Hydraenidae	5
Hydracarina		4		Lampyridae	5
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10		Psephenidae	5
	Oligoneuridae	10		Ptilodactylidae	5
	Leptohyphidae	7		Scirtidae(helodidae)	5
	Baetidae	4		Gyrinidae	3
Odonata	Polythoridae	10		Dytiscidae	3
	Calopterygidae	8		Hydrophilidae	3
	Gomphidae	8		Staphylinidae	3
	Aeshnidae	6	Diptera	Blepharoceridae	10
	Coenagrionidae	6		Athericidae	10
	Libellulidae	6		Simuliidae	5
Plecoptera	Perlidae	10		Tipulidae	5
	Gripopterygidae	10		Ceratopogonidae	4
Heteroptera	Corixidae	5		Dixidae	4
	Gerridae	5		Dolichopodidae	4
	Naucoridae	5		Empididae	4
	Notonectidae	5		Limoniidae	4
	Veliidae	5		Stratiomyidae	4
	Belostomatidae	4		Tabanidae	4
Trichoptera	Anomalopsychidae	10		Psychodidae	3
	Calamoceratidae	10		Chironomidae	2
	Helicopsychidae	10		Culicidae	2
	Odontoceridae	10		Ephydridae	2
	Hydrobiosidae	8		Muscidae	2
	Leptoceridae	8		Syrphidae	1
	Philopotamidae	8			

Fuente: Acosta *et al.*, 2009

Luego los valores de intolerancia hallados por todas las familias presentes en la muestra son sumados y se obtiene un valor final que es comparado con las puntuaciones de la Tabla 5-25. El valor asignado a cada familia es directamente proporcional a su intolerancia (Anexo 6).

Tabla 5-25. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI

Clase	Puntuaciones	Calidad Biológica
1	> 74	Excelente
2	45 – 74	Buena
3	27 – 44	Moderada
4	11 – 26	Mala
5	< 11	Pésima

Fuente: Ríos-Touma *et al.*, 2014

La calidad ecológica se obtuvo combinando las valoraciones de calidad hidromorfológica y calidad biológica. Por ejemplo: si el resultado de combinar las dos evaluaciones es azul, entonces la calidad ecológica del río es excelente; si es verde, es buena; si es amarilla, es moderada; si es naranja, es mala; y por último si es roja, es pésima. Otras combinaciones también son posibles (Tabla 5-26).

Tabla 5-26. Escala de calidad ecológica de un río

		Calidad biológica				
		Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
Calidad hidromorfológica	Excelente	Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Buena	Buena	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Moderada	Buena	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Mala	Mala	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Pésima	Moderada	Mala	Mala	Pésima	Pésima

Fuente: Ríos-Touma *et al.*, 2014

Adicionalmente, para estimar el grado de perturbación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, se recategorizarán las especies registradas a grupos bioindicadores, definidos referencialmente a partir de la clasificación de familias del índice ABI (Acosta *et al*., 2009), considerando tres grupos: el primero corresponde a las especies que se agrupan dentro de familias sensibles, que presentan un alto nivel de sensibilidad según las categorías del ABI (entre 8 y 10); el segundo grupo corresponde a las especies que se agrupan dentro de familias facultativas, que según las condiciones pueden tener un grado intermedio de sensibilidad/tolerancia (entre 4 y 7); finalmente, el tercer grupo comprende a las especies que se agrupan dentro de familias tolerantes, que presentan un bajo nivel de sensibilidad (entre 1 y 3).

e. Condición de las poblaciones de peces

Con los datos obtenidos de peso y longitud de los peces capturados, se analizó la relación longitud - peso mediante regresión lineal (Da Costa y Gerson, 2003), a través de la fórmula que se indica en la ecuación 5.5:

$$W = a\, L^b \qquad (5.5)$$

Donde:

W = peso total del pez (g)

L = longitud del pez (cm),
b = coeficiente de regresión o alometría
a = constante de regresión.

Considerando que el coeficiente de regresión b proporciona información acerca del tipo de crecimiento que exhibe la especie. Debido a que la longitud es una magnitud lineal y el peso es igual al cubo de la talla, si un individuo mantiene su forma al crecer, entonces el crecimiento es isométrico (b = 3). Cuando b > 3, los individuos de mayor talla han incrementado su peso en mayor proporción que su longitud, presentando crecimiento alométrico positivo. En cambio, cuando b < 3, los individuos incrementan preferencialmente su longitud relativa más que su peso (Ricker, 1975; Bagenal & Tesch, 1978). Se consideraron especies de crecimiento isométrico las que fluctuaron dentro de los valores b = 2,5 y b = 3,5 (Froese, 2006). Todos los resultados se trabajaron en base a datos de la longitud estándar (LE) (Cifuentes *et al*., 2012).

Además, se estimó el factor de condición por individuo mediante el índice de Fulton (K) (Ricker, 1975; Cifuentes *et al*., 2012), a través de la ecuación 5.6:

$$K = \frac{W.100}{L^3} \quad (5.6)$$

Donde:

K = factor de condición
W = peso total del pez (g)
L = longitud del pez (cm).

El factor de condición es utilizado para comparar la "condición" o "bienestar" de un pez o población, basándose en que los peces de mayor peso, a una determinada longitud, presentan una mejor condición (Froese, 2006). No obstante, la interpretación de los índices de condición debe hacerse cuidadosamente pues pueden depender de varios factores (Froese, 2006; McPherson *et al*., 2011) como son la disponibilidad de alimento (Rennie y Verdon, 2008) o estacionalidad (Blackwell *et al*., 2000; Trudel *et al*., 2005), incluyendo su interrelación (Rennie y Verdon, 2008). Todos los resultados se trabajaron en base a datos de la longitud estándar (LE) (Cifuentes *et al*., 2012).

5.5 Caracterización hidroquímica

La evaluación de los aspectos químicos del agua y los tipos de reacciones que ocurren en este medio consideró la totalidad de los resultados de agua superficial (lagunas, ríos, quebradas y surgencias), aguas residuales doméstica e industrial, agua subterránea (piezómetros), efluentes mineros y, ubicados en el área de estudio. Custodio y Llamas (1996) consideran que los análisis de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y parámetros de campo como la conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno, son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de los acuíferos y sistemas hidrológicos.

5.5.1 Ubicación de puntos

Los puntos de muestreo considerados en esta sección corresponden a los de agua superficial (lagunas, ríos, quebradas y surgencias), aguas residuales industrial y doméstica, efluente minero y agua subterránea evaluados durante setiembre 2018 (Tabla 5-2).

5.5.2 Parámetros de análisis

Se consideraron los resultados de los parámetros que se muestran a continuación:

- Parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, carbonatos y bicarbonatos.
- Parámetros Inorgánicos: sulfatos y cloruros.
- Metales disueltos: aluminio (Al), calcio (Ca), hierro (Fe), potasio (K), sodio (Na).

5.5.3 Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera:

5.5.3.1 Control de la calidad

Se realizó el control de calidad de los resultados reportados por el laboratorio mediante el balance iónico (ecuación 5-7), que consistió en el análisis del equilibrio porcentual de cargas en las muestras. El balance iónico está comprendido entre -20 % y +20 %, donde los valores que superan este rango no deberían ser considerados.

$$BI = 100 * \frac{\sum Cationes - \sum Aniones}{\sum Cationes + \sum Aniones} \quad (5\text{-}7)$$

Adicionalmente, Custodio y Llamas (1996) proponen los valores de error aceptables en función a los valores de conductividad eléctrica (Tabla 5-27).

Tabla 5-27. Valores de error aceptable en función de la conductividad eléctrica

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

5.5.3.2 Diagramas hidroquímicos

El análisis de resultados comprendió la elaboración de diagramas hidroquímicos, como los de Piper y Stiff, que permitieron caracterizar las aguas en función a su concentración de sales, predominancia de cationes y aniones (tipo de agua) e interacción con la roca.

El procesamiento de los diagramas hidroquímicos se realizaron mediante el uso de los softwares libres Aqion versión 6.2.6 y Diagrammes.

a. Diagrama de Piper

En este diagrama se incluye aniones y cationes en forma simultánea, además, las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio, 1976).

Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} y K^{+}. Los vértices del triángulo de aniones son SO_4^{-2}, Cl^{-} y $HCO3^{-}$. Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. En cada triángulo se

reúnen solo tres aniones y cationes. A cada vértice le corresponde el 100 % de un anión o catión (Figura 5-1).

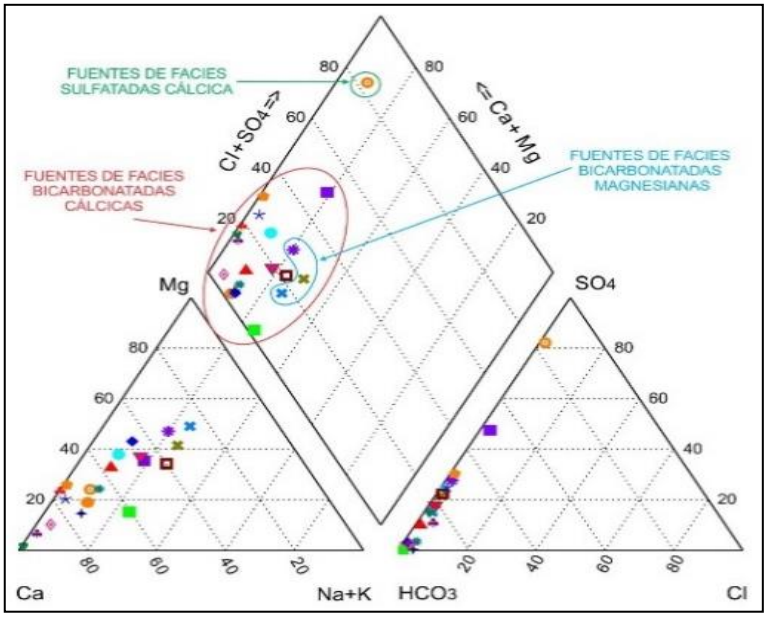


Figura 5-1. Diagrama de Piper
Fuente: U.S. EPA Washintog, D.C., 2002

b. Diagrama de Stiff

Este diagrama corresponde a gráficas poligonales, compuesta por tres ejes horizontales, constituidos por un catión y un anión distribuidos de forma paralela. Todos los cationes se disponen al lado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L.

Dos características sobresalen en este tipo de diagrama: por un lado, permitió visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, en forma simultánea, permitió dar idea del grado de mineralización del agua (ancho de la figura). En la Figura 5-2 se muestran algunas apreciaciones de este diagrama que caracterizan varios tipos de aguas.

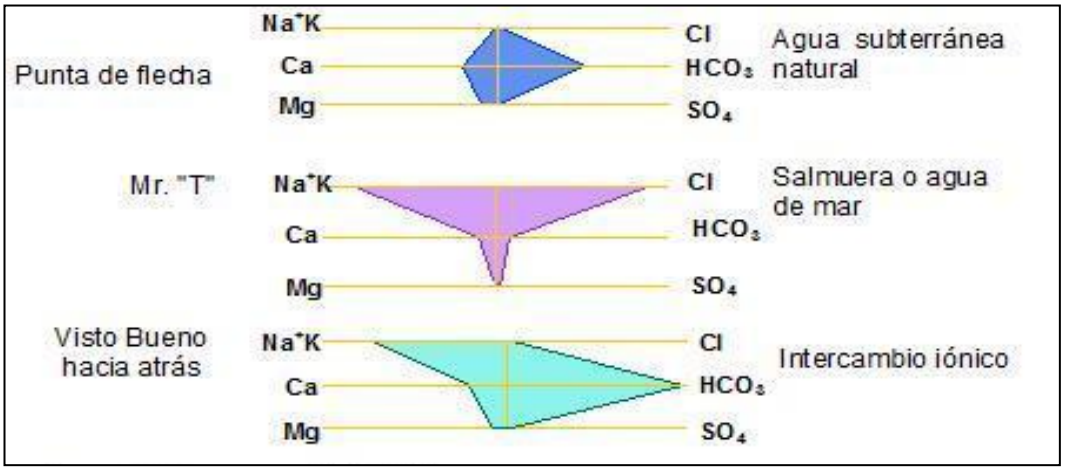


Figura 5-2. Diagramas de Stiff
Fuente: U.S. EPA Washington, D.C., 2002.

c. Índices hidrogeoquímicos

En este Ítem se integró los aspectos hidroquímicos con los geoquímicos, a través de indicadores que se obtienen del análisis de las aguas y su interacción con su medio circundante. El agua subterránea y el agua superficial están influenciados con el medio que lo rodea, en consecuencia, influye sobre la relación de iones disueltos.

El procesamiento de los índices hidrogeoquímicos se realizaron mediante el uso de los softwares libres Aqion versión 6.2.6 y Diagrammes.

- **Diagrama de Ficklin**

El diagrama de Ficklin *et al*. (1992) y Plumlee *et al*. (1999), se basa en la relación del pH y la sumatoria de los metales base (Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni) contenidos en el agua. Es preciso señalar que este diagrama no considera a las concentraciones de manganeso, aluminio y hierro, debido a que estos elementos presentan comportamiento geoquímico muy diferente (Favas *et al*., 2016) (Figura 5-3).

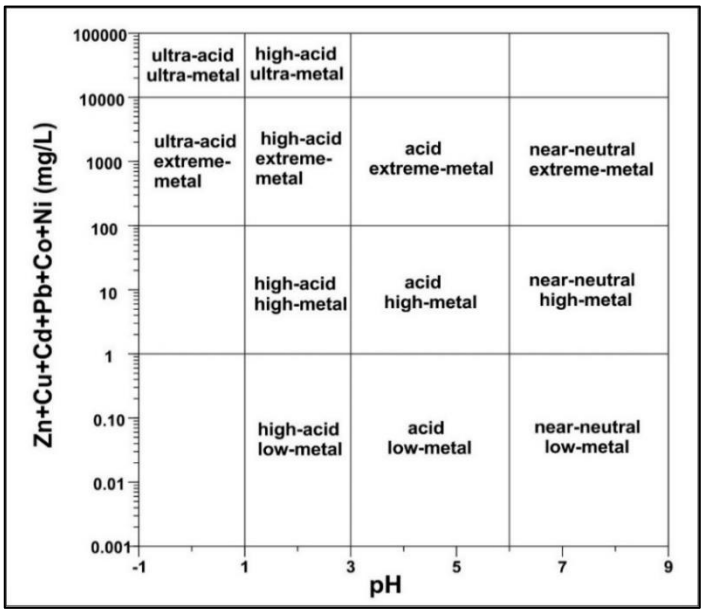


Figura 5-3. Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin)

5.6 Caracterización de componentes mineros

La caracterización de componentes mineros permitió conocer la concentración de metales, los materiales potenciales generadores de acidez, los procesos de lixiviación y la biodisponibilidad de metales a partir de los componentes mineros emplazados en el área de estudio: depósitos de relaves Nieve Ucro I, Caballococha y Nieve Ucro II, depósitos de desmontes Niñococha, Niño Perdido, Shucshapá, y material de desmonte frente al tajo Primavera.

5.6.1 Guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5-28 se detalla la guía de referencia para la caracterización de componentes mineros (depósitos de relaves y desmonte), identificados como fuentes potenciales de contaminación.

Tabla 5-28. Guía de referencia para la caracterización de componentes mineros empleada en la evaluación

Referencia	Capítulo	País	Institución	Año
Guía Metodológica para Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras	Capítulo 5	Chile	Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin)	2015

5.6.2 Ubicación de puntos

La ubicación de los puntos de caracterización de componentes mineros se determinó según los lineamientos de la guía antes mencionada, y su influencia en los componentes ambientales: agua, suelo y sedimento (Tabla 5-29).

Cabe precisar que, la profundidad de muestreo en los depósitos de desmonte varió de 0,30 a 1,30 m; respecto al muestreo en los depósitos de relaves y poza de lodos fluctuaron de 0 a 0,30 m de profundidad.

Tabla 5-29. Ubicación de los puntos de muestreo de caracterización de componentes mineros

N.°	Punto de muestreo		Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
	Muestra	Submuestra	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
1	C-NV1*	No aplica	24/06/2018	09:50	310296	8845211	4600	Punto de muestreo puntual ubicado al extremo norte del depósito de relaves Nieve Ucro II
2	C-NV2*	No aplica	24/06/2018	10:35	310458	8845599	4604	Punto de muestreo puntual ubicado en el extremo sur del depósito de relaves Nieve Ucro II
3	C-NP1	C-NP1	24/06/2018	14:10	307510	8844573	4756	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Niño Perdido y extremo suroeste de la laguna Niño Perdido
		C-NP1A			307470	8844573	4755	
		C-NP1B			307522	8844623	4755	
		C-NP1C			307550	8844573	4770	
		C-NP1D			307504	8844524	4775	
4	C-NP2	C-NP2	24/06/2018	16:35	307649	8844531	4764	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Niño Perdido y extremo sureste de la laguna Niño Perdido
		C-NP2A			307713	8844525	4760	
		C-NP2B			307685	8844577	4757	
		C-NP2C			307616	8844522	4768	
		C-NP2D			307649	8844483	4771	
5	C-T1	C-T1	25/06/2018	15:40	309895	8846045	4367	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Tinquicocha y sur de la laguna Tinquicocha
		C-T1A			309919	8846026	4367	
		C-T1B			309914	8846068	4362	
		C-T1C			309873	8846066	4366	
		C-T1D			309873	8846024	4373	
6	C-R1	C-R1	26/06/2018	11:10	308159	8839728	4320	Punto de muestreo compuesto ubicado al sur del depósito de desmonte Shucshapá y norte de la laguna Rupahuay
		C-R1A			308187	8839755	4325	
		C-R1B			308189	8839692	4319	
		C-R1C			308135	8839705	4314	
		C-R1D			308129	8839762	4317	
7	C-R2	C-R2	26/06/2018	14:30	308112	8839930	4327	Punto de muestreo compuesto ubicado al norte del depósito de desmonte Shucshapá y laguna Rupahuay
		C-R2A			308136	8839959	4337	
		C-R2B			308145	8839885	4325	
		C-R2C			308086	8839910	4315	
		C-R2D			308079	8839979	4328	

N.°	Punto de muestreo		Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
	Muestra	Submuestra	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
8	C-R3	C-R3	26/06/2018	13:40	308028	8839849	4320	Punto de muestreo compuesto ubicado en la poza de lodos 1 y a 40 metros al oeste del depósito de desmonte Shucshapá
		C-R3A			308005	8839965	4318	
		C-R3B			308016	8839938	4320	
		C-R3C			308022	8839907	4320	
		C-R3D			308028	8839887	4320	
9	C-R4	C-R4	26/06/2018	16:35	307860	8840016	4319	Punto de muestreo compuesto ubicado en la poza de lodos 2 y a 100 metros al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá
		C-R4A			307834	8840044	4318	
		C-R4B			307859	8839969	4322	
		C-R4C			307896	8839983	4318	
		C-R4D			307865	8840054	4318	
10	C-T2	C-T2	27/06/2018	10:40	309784	8846115	4318	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Tinquicocha y suroeste de la laguna Tinquicocha
		C-T2A			309781	8846098	4320	
		C-T2B			309771	8846124	4325	
		C-T2C			309793	8846127	4330	
		C-T2D			309799	8846107	4331	
11	C-SA1	C-SA1	27/06/2018	12:50	308330	8844484	4338	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Santa Ana Baja y sur de la laguna Santa Ana
		C- SA1A			308336	8844454	4339	
		C- SA1B			308303	8844481	4640	
		C- SA1C			308323	8844517	4338	
		C- SA1D			308363	8844494	4339	
		C- SA1E			308261	8844536	4642	
12	C-NC1	C-NC1	28/06/2018	15:15	307795	8843574	4814	Punto de muestreo compuesto, distribuido al noreste de la laguna Niñococha y al este del depósito de desmonte Niñococha
		C-NC1A			307820	8843613	4812	
		C-NC1B			307834	8843705	4808	
		C-NC1C			307852	8843770	4808	
		C-NC1D			307876	8843780	4774	
13	C-NV3	C-NV3	28/06/2018	12:15	310100	8845194	4564	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de relaves Nieve Ucro I y suroeste del depósito de relaves Nieve Ucro II
		C-NV3A			310120	8845193	4565	
		C-NV3B			310100	8845214	4563	
		C-NV3C			310076	8845195	4561	
		C-NV3D			310100	8845175	4560	
14	C-SA2	C-SA2	28/06/2018	10:10	308329	8844272	4689	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Santa Ana Baja y a 200 metros hacia el sur de la laguna Santa Ana Baja
		C- SA2A			308291	8844200	4753	
		C- SA2B			308292	8844259	4710	
		C- SA2C			308343	8844311	4655	
		C- SA2D			308373	8844240	4684	
15	C-NC2	C- NC2	28/06/2018	12:00	308234	8844076	4717	Punto de muestreo compuesto, distribuido al noreste de la laguna Niñococha y sur de la laguna Santa Ana Baja (noreste del depósito de desmonte Niñococha)
		C- NC2A			307960	8843880	4784	
		C- NC2B			307995	8843935	4787	
		C- NC2C			308051	8843932	4787	
		C- NC2D			308135	8843931	4765	
16	C-NC3	C-NC3	28/06/2018	14:55	307729	8843743	4815	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Niñococha y al noreste de la laguna Niñococha
		C-NC3A			307689	8843713	4819	
		C-NC3B			307693	8843781	4817	
		C-NC3C			307763	8843782	4818	
		C-NC3D			307773	8843712	4816	

N.°	Punto de muestreo		Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
	Muestra	Submuestra	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
17	C-NC4	C-NC4	28/06/2018	15:30	307460	8843745	4827	Punto de muestreo compuesto ubicado en el depósito de desmonte Niñococha y al noroeste de la laguna Niñococha
		C-NC4A			307440	8843710	4833	
		C-NC4B			307494	8843723	4825	
		C-NC4C			307480	8843781	4826	
		C-NC4D			307426	8843768	4830	

*: Muestra puntual

5.6.3 Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados y métodos de análisis para la caracterización de componentes mineros se detallan en la Tabla 5-30.

Tabla 5-30. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para la caracterización de componentes mineros en la evaluación

N.°	Parámetro evaluado	Método de análisis/descripción	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Metales totales por ICP-OES	EPA 3050 B: 1996/EPA 6010 B: 1996/Acid Digestion of Sediments, Sludges and soils-Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Espectrometry	ALS LS PERÚ S.A.C
2	Extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier	PE-4421/Espect ICP-OES	AGQ PERÚ S.A.C
3	SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure)	PE-4412 PE SPLP/Espect ICP-OES	
4	Análisis Granulométrico	PEC-018/Densitometría	
5	ABA (Acid Base Accounting)	PE-4408/Anal. Elemental PE-4409/Inspec Visual PE-4416/Electrometría PE-4407/Calculado PE-4402/Volumetría PE-4005/Anal. Elemental PE-4016/Anal. Elmental	
6	Análisis mineralógico	BIZ-ME-02/ Análisis mineralógico por DRX (con énfasis en arcillas)	BIZALAB S.A.C.

Fuente: Informes de ensayo de los laboratorios ALS PERÚ S.A.C., AGQ PERÚ S.A.C. y BIZALAB S.A.C.

5.6.4 Materiales utilizados

Los materiales utilizados para la caracterización de componentes mineros se indican en el reporte de campo N.° 036-2018-STEC (junio 2018), ubicado en el Anexo 2.1.

5.6.5 Procesamiento de datos

Para la caracterización de los componentes mineros se realizó una descripción de cada uno, en base al contenido de metales totales de las muestras. También se empleó la prueba estática de balance ácido-base (ABA), para determinar si las muestras eran potenciales generadores de acidez. Para ello se realiza el balance entre el potencial de acidez (PA) y el potencial de neutralización (PN), dichos términos se refieren a la producción y consumo de ácido por parte del material. El criterio de

evaluación para esta determinación fue el potencial neto de neutralización (PNN), el cual se define como la diferencia entre el PN y el PA[28].

Además del potencial neto de neutralización se utilizó un segundo criterio, como la relación entre PN/PA, donde el potencial de neutralización (PN) debe exceder al potencial de acidez (PA) por lo menos en 3 a 1, para asegurar que la muestra sea clasificada como no generadora de ácido. Los dos criterios proveen una buena indicación de la generación de drenaje ácido de mina y fueron empleados en el análisis de datos.

La evaluación de metales solubles se realizó según la metodología de extracción secuencial de Tessier, el cual considera en su técnica original los siguientes elementos: cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso[29], este análisis permitió caracterizar la potencial movilidad y biodisponibilidad de ciertos elementos presentes en el componente minero, además aporta información sobre los procesos que han actuado para la liberación de dichos elementos al ambiente.

Asimismo, la prueba SPLP (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*) o conocida también como prueba de lixiviación, permitió determinar la movilidad de analitos inorgánicos presentes en cada una de las muestras de los componentes mineros.

5.7 Caracterización geológica

La caracterización geológica en el área de estudio consistió en la descripción de las unidades litológicas, alteraciones y aspectos estructurales en las zonas de evaluación de los componentes ambientales (agua, sedimento, suelo) y principales componentes mineros (depósitos de relave y desmonte).

5.7.1 Referencias para la caracterización geológica

Los estándares y manuales tomados como referencia para la caracterización geológica corresponden a los servicios geológicos del Perú, Colombia y Estados Unidos. Las referencias mencionadas se listan en la Tabla 5-31.

Tabla 5-31. Referencias para la caracterización geológica empleadas en la evaluación

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100000	Toda la guía	Perú	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet)	2016
Basic Geological Mapping	Toda la guía	Reino Unido	Richard J. Lisle, Peter Brabham, y John Barnes	2011
Geological field tecniques	Toda la guía	Reino Unido	Angela L. Coe, Tom W. Argles, David A. Rothery y Robert A. Spicer	2010
FGDC *Digital Cartographic Standard for Geological Map Symbolization*	Toda la guía	Estados Unidos	Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, en inglés *United States Geological Survey)*	2006
Geological Structures and Maps	Toda la guía	Reino Unido	Richard J. Lisle	2004
Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos	Toda la guía	Colombia	Servicio Geológico Colombiano (Ingeominas)	2001

[28] Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de mina. (1997). Ministerio de Energía y Minas. Dirección general de asuntos ambientales.

[29] Tessier A., Campbell P. y Bisson M. (1979). Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. Analytcal Chemistry, Vol. 51, Nro. 7. Revisado el 17 de junio de 2016.

Las referencias de la geología regional corresponden a los cuadrángulos de Oyón-22J, los cuales forman parte de la carta geológica nacional (CGN) a escala 1:100000 del Ingemmet. La referencia local corresponde a los estudios realizados y mencionados en los IGA del administrado[30].

5.7.2 Ubicación de puntos

Los puntos de control geológico (en adelante, PCG) se ubicaron estratégicamente en zonas asociadas a los componentes ambientales: agua, suelo y sedimento, y componentes mineros: depósitos de desmonte, depósitos de relave (Tabla 5-32).

Tabla 5-32. Ubicación de los puntos de control geológico

Punto	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
GR-01	22/06/2018	309730	8844706	4542	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la formación Jumasha 3, ubicado al este de la laguna Caballococha y oeste de la laguna Nieve Ucro
GR-02	22/06/2018	309720	8844628	4561	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 3 con estratificación preferencial noreste- suroeste, ubicado al este de la laguna Caballococha y oeste de la laguna Nieve Ucro
GR-03	22/06/2018	309703	8844583	4571	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 3 con fracturamiento preferencial noroeste-sureste, ubicado al este de la laguna Caballococha y oeste de la laguna Nieve Ucro
GR-04	22/06/2018	309655	8844489	4574	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 3 con presencia de kastificación, ubicado al este de la laguna Caballococha y sur de la laguna Nieve Ucro
GR-05	22/06/2018	309737	8844448	4578	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 3 con fracturamiento preferencial noreste-suroeste, ubicado al este de la laguna Caballococha y sur de la laguna Nieve Ucro
GR-06	22/06/2018	309764	8844538	4601	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 3 sin planos de estratificación visible, ubicado al este de la laguna Caballococha y sur de la laguna Nieve Ucro
GR-07	22/06/2018	309785	8844649	4572	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 3 con presencia de falla noroeste - sureste, ubicado al este de la laguna Caballococha y oeste de la laguna Nieve Ucro
GR-08	22/06/2018	309858	8844747	4578	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 2 con presencia de fracturamiento noroeste - sureste, ubicado al este de la laguna Caballococha y oeste de la laguna Nieve Ucro
GR-09	22/06/2018	310183	8844446	4730	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la formación Jumasha 3 con presencia de estratificación noreste - suroeste, ubicado al este de la laguna Caballococha y oeste de la laguna Nieve Ucro
GR-10	22/06/2018	310017	8844707	4731	Contacto entre Jumasha 2 y Jumasha 3, ubicado al este de la laguna Caballococha y este de la laguna Nieve Ucro

30 «Actualización del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Raura», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 176-2013-MEM-AAM, con fecha 31 de marzo de 2013.

Punto	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
GR-11	22/06/2018	309873	8844862	4616	Afloramiento de caliza mudstone perteneciente a la Jumasha 3 con presencia de falla noroeste - sureste, ubicado al este de la laguna Caballococha y oeste de la laguna Nieve Ucro
GR-12	22/06/2018	308796	8844383	4793	Afloramiento de caliza fisible perteneciente a la formación Celendín con presencia de estratificación noreste - suroeste, ubicado al oeste de la laguna Caballococha y laguna Nieve Ucro
GR-13	22/06/2018	310186	8844814	4551	Presencia de depósitos cuaternario y morrénicos en el área de influencia de la laguna Nieve Ucro y sur del relave Nieve Ucro II
GR-14	22/06/2018	310867	8844845	4842	Afloramiento de calizas pertenecientes a la formación Jumasha 3, estratificación preferencial noroeste sureste, ubicado al este de la relavera Nieve Ucro II
GR-15	23/06/2018	307512	8844739	4800	Presencia de depósitos cuaternario morrénicos en el área de influencia de la laguna Niño Perdido y norte del depósito de desmonte Niño Perdido
GR-16	23/06/2018	307748	8844275	4850	Afloramiento de granodiorita con presencia de falla noroeste-sureste, ubicado al sur del depósito de desmonte Niño Perdido
GR-17	23/06/2018	307372	8844742	4745	Depósito coluviales compuestos constituidas por fragmentos de roca caliza, granodiorita y hornfel, ubicado en al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-18	23/06/2018	307356	8844676	4774	Afloramiento de granodiorita con presencia de óxidos de hierro en fracturas, ubicado en al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-19	23/06/2018	307293	8844807	4780	Afloramiento de granodiorita con fracturamiento preferencial noroeste sureste, ubicado en al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-20	23/06/2018	307410	8844853	4751	Afloramiento de granodiorita con presencia de falla en dirección noroeste – sureste, ubicado al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-21	23/06/2018	307336	8844791	4758	Afloramiento de granodiorita con diseminaciones de pirita, calcopirita, galena; ubicado en al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-22	23/06/2018	307328	8844862	4745	Afloramiento de granodiorita altamente fracturada y con presencia de afloramientos de agua, ubicado al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-23	23/06/2018	307762	8844764	4785	Afloramiento de granodiorita con presencia de óxidos de hierro en fracturas y alteración propilítica, ubicado al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-24	23/06/2018	307338	8844884	4784	Afloramiento de granodiorita meteorizada, con óxidos de hierro en planos de fractura y diseminación de pirita y calcopirita en la matriz, ubicado al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-25	23/06/2018	307368	8844925	4782	Afloramiento de granodiorita altamente meteorizada, con fracturamiento preferencial noroeste- sureste, ubicado al oeste de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido
GR-26	23/06/2018	307608	8844835	4775	Contacto entre granodiorita y calizas de la formación Jumasha 4, ubicado al este de laguna Niño Perdido y depósito de desmonte Niño Perdido

Punto	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
GR-27	25/06/2018	309348	8845970	4665	Afloramiento de calizas pertenecientes a la formación Celendín, ubicado al oeste del depósito de desmonte Tinquicocha y al suroeste de la laguna Tinquicocha
GR-28	25/06/2018	310111	8846058	4381	Afloramiento de calizas pertenecientes a la formación Jumasha 2, ubicado al este del depósito de desmonte Tinquicocha y al sureste de la laguna Tinquicocha
GR-29	25/06/2018	310450	8845751	4470	Afloramiento de calizas pertenecientes a la formación Jumasha 2, ubicado al este del depósito de desmonte Tinquicocha y al sur de la laguna Tinquicocha
GR-30	25/06/2018	309628	8846929	4700	Afloramiento de granodiorita pertenecientes a la formación Celendín, ubicado al oeste de la laguna Tinquicocha
GR-31	25/06/2018	310033	8845987	4385	Afloramiento de calizas packstone con fracturamiento preferente ubicado al este del depósito de desmonte Tinquicocha y al sureste de la laguna Tinquicocha
GR-32	25/06/2018	310008	8845965	4420	Afloramiento de calizas Packstone, con contenido de venillas de calcita, ubicado al este del depósito de desmonte Tinquicocha y al suroeste de la laguna Tinquicocha
GR-33	25/06/2018	309910	8845921	4480	Depósito cuaternario coluvial, constituida por fragmentos de roca mayores a 30 cm, ubicado al este del depósito de desmonte Tinquicocha y al suroeste de la laguna Tinquicocha
GR-34	25/06/2018	309999	8845949	4460	Afloramiento de granodiorita con presencia de falla en dirección preferencial noroeste sureste, ubicado al este del depósito de desmonte Tinquicocha y al suroeste de la laguna Tinquicocha
GR-35	25/06/2018	310367	8846608	4465	Afloramiento de roca caliza con contenido de calizas pertenecientes a Jumasha 2, ubicado al este de la laguna Tinquicocha
GR-36	27/06/2018	308377	8838835	4248	Afloramiento de caliza con contenido de oxidación en planos de fractura, ubicado al norte de la laguna Rupahuay
GR-37	27/06/2018	308389	8838961	4255	Afloramiento de caliza con fracturamiento preferencial noreste - suroeste con contenido de oxidación en planos de fractura, ubicado al norte de la laguna Rupahuay
GR-38	27/06/2018	308304	8839118	4251	Afloramiento de caliza bituminosa con contenido de venillas de calcita, ubicado al norte de la laguna Rupahuay
GR-39	27/06/2018	308130	8839096	4250	Afloramiento de roca caliza perteneciente a la formación Jumasha 2, ubicado al oeste de la laguna Rupahuay
GR-40	27/06/2018	308292	8839655	4258	Afloramiento de roca caliza con contenido de fósiles perteneciente a la formación Jumasha 2, ubicado al este de la laguna Rupahuay y extremo sur del depósito de desmonte Shucshapá
GR-41	27/06/2018	308057	8840096	4256	Afloramiento de caliza con contenido de venillas de calcita, ubicado al este de la laguna Rupahuay y extremo sur del depósito de desmonte Shucshapá
GR-42	27/06/2018	307773	8839981	4295	Afloramiento de granodiorita moderadamente meteorizada, con contenido de óxidos de hierro en la matriz, ubicado al oeste del depósito de desmonte Shucshapá
GR-43	27/06/2018	307828	8839861	4294	Depósito fluvial con contenido de fragmentos de roca subredondeada a redondeada, ubicado al noroeste del depósito de desmonte Shucshapá

5.7.3 Equipos y materiales utilizados

Los equipos y materiales utilizados para la caracterización geológica se detallan en el reporte de campo N.° 036-2018-STEC (Anexo 2.1).

5.7.4 Procesamiento de datos

Las mediciones y descripciones macroscópicas de afloramientos rocosos y depósitos superficiales se realizaron *in situ*, donde se tomaron datos de rumbo/azimut, buzamiento y dirección de buzamiento de estratos, fallas geológicas, diaclasas, fracturas y estructuras mineralizadas.

Los PCG y el mapa de campo fueron georreferenciados y digitalizados en el software QGIS 2.18.22 para la elaboración del mapa geológico local a escala 1:10000. Aparte de ello, se generó secciones geológicas a escala locales, con la finalidad de entender el contexto geológico del subsuelo en zonas aledañas a los componentes mineros presentes en el área de estudio.

5.8 Prospección geofísica

En la presente evaluación se optó por realizar la prospección geofísica por el método de «tomografía geoeléctrica» debido a su amplia gama de aplicaciones, sobre todo con fines medioambientales.

Denominada, también, imagen de resistividad eléctrica, la tomografía geoeléctrica es una técnica geofísica para obtener imágenes de las estructuras subsuperficiales del subsuelo a partir de medidas eléctricas efectuadas sobre la superficie o por electrodos. Mediante la tomografía geoeléctrica se obtiene un modelo en dos dimensiones (2D), el cual toma en cuenta los cambios de resistividad en las direcciones horizontal y vertical, los cuales son obtenidos a lo largo de la línea de investigación.

5.8.1 Guías utilizadas para la evaluación

Para la realización del trabajo de campo se empleó el método eléctrico de resistividades 2D, con un arreglo polo dipolo, en su modalidad de tomografía geoeléctrica. Este método se basa en la implantación de electrodos a lo largo de perfiles, con una separación que viene condicionada por el grado de resolución, la profundidad y los objetivos que se pretendan cubrir, de tal modo que, a menor separación mayor resolución, y a mayor separación mayor profundidad. En la Tabla 5-33 se presenta la referencia empleada para la ejecución de la tomografía geoeléctrica.

Tabla 5-33. Referencia para la prospección geofísica empleada en la evaluación

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Site Characterization (ASTM D6431-18)	Toda la guía	Estados Unidos	ASTM, International	2018

5.8.2 Ubicación de puntos

La prospección geofísica contempló la ejecución de 12 líneas de tomografía geoeléctrica, distribuidas al pie de los depósitos de desmonte Niñococha, Niño Perdido, Shucshapá, y a los depósitos de relaves Caballococha y Nieve Ucro II. En la Tabla 5-34 se presenta la ubicación y longitud de las líneas tomográficas.

Tabla 5-34. Ubicación y longitud de las líneas de tomografía geoeléctrica en el área de estudio

N.°	Líneas de tomografía	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84-Zona 18L				Separación de electrodos	Distancia total (m)	Descripción de la línea
			Coordenadas iniciales		Coordenadas finales				
			Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)			
1	LTR-1	15/09/2018	308106	8839856	307971	8839768	10	160	Ubicada en el depósito de desmonte Shucshapá
2	LTR-2	15/09/2018	308206	8839648	307991	8839716	15	225	
3	LTR-3	15/09/2018	308202	8839578	307982	8839662	15	240	Ubicada a 50 m aguas abajo del depósito de desmonte Shucshapá
4	LTR-4	18/09/2018	307740	8844552	307444	8844641	20	320	Ubicada a 40 metros de la laguna Niño Perdido
5	LTR-5	18/09/2018	307799	8843858	308010	8843803	15	225	Ubicadas aguas abajo de la laguna Niñococha cerca al tajo
6	LTR-6	19/09/2018	307999	8844000	308060	8843871	10	140	
7	LTR-7	19/09/2018	309810	8844871	309734	8845226	25	375	Ubicada cerca de la laguna Caballococha
8	LTR-8	20/09/2018	309757	8844581	309831	8844867	20	300	
9	LTR-9	20/09/2018	310231	8845503	310160	8845 194	20	320	Ubicada cerca de la presa de relaves Nieve Ucro II
10	LTR-10	20/09/2018	310007	8846019	309756	8846179	20	300	Ubicadas aguas abajo del depósito de desmonte Tinquicocha
11	LTR-11	20/09/2018	309726	8846413	309765	8846181	15	240	Ubicada cerca de la laguna Tinquicocha
12	LTR-12	21/09/2018	307500	8843571	307631	8843753	15	225	Ubicada cerca de la laguna Niñococha

Los esquemas de ubicación de las líneas de tomografía geoeléctrica, se pueden visualizar a mayor detalle reporte N.° RL 056-2018-STEC (Anexo 3.2).

5.8.3 Parámetros de análisis

El parámetro que se midió en campo para su posterior análisis fue la resistividad eléctrica, los datos obtenidos fueron almacenados en un equipo receptor.

5.8.4 Equipos utilizados

Los equipos utilizados para la prospección geofísica se señalan en el reporte de campo N.° 051-2018-STEC (Anexo 2.2).

5.8.5 Procesamiento de datos

El procesamiento y análisis de datos consta de dos etapas: i) base de datos y, ii) el proceso de inversión.

5.8.5.1 Base de datos

Se realiza el levantamiento topográfico con un GPS de la marca Garmin y sus datos son almacenados en su memoria interna, posteriormente son descargados y almacenados en una base de datos.

Los datos de resistividad obtenidos en campo fueron almacenados en la memoria interna del receptor, principalmente se considera lo siguiente: nombre y ubicación de cada línea, distancia entre los electrodos de medida, distancia de los electrodos de emisión de corriente, los valores de intensidad de corriente, voltaje primario (Vp), potencial natural (SP), el tiempo de dominio de las lecturas (2000 ms), la desviación estándar de los stack de lectura, la fecha y hora de lectura y los valores de resistividad aparente (Rho).

Con esta información se procede a generar los primeros resultados como pseudo-secciones de resistividad aparente, a través del cual se realiza un control de calidad de los datos observando, los errores de la desviación estándar de los datos del potencial primario en cada dipolo, cuyos valores menores al 5 % son aceptados para el procesamiento de estos.

5.8.5.2 Proceso de inversión

La base de datos previamente validada y empleada para la generación de las pseudo secciones es exportada a un formato específico de software para el proceso de inversión. Se realiza el control de calidad (QC) de los datos de campo, en el software de procesamiento e inversión.

El proceso de inversión tiene por objetivo obtener un modelo 2-D de las resistividades reales a partir de los datos de las resistividades aparentes obtenida en el terreno de estudio. Esta técnica de inversión se basa en realizar todo un proceso iterativo con el que se obtiene un modelo de resistividades reales.

En este caso se aplicó la inversión 2D mediante el software Res2DInv, que realiza de manera simultánea la inversión de los parámetros de resistividad en conjunto con la topografía. Este software emplea elementos finitos, que es método robusto para resaltar los contrastes geológicos y/o anomalías producidas por cambios en la resistividad (resaltar la geometría del cuerpo).

5.8.6 Interpretación de datos

Los perfiles de tomografía muestran la distribución de resistividades en profundidad, la interpretación de estos valores se ha realizado en base al conocimiento de resistividades características de distintos materiales, presentadas en la Tabla 5-35.

Tabla 5-35. Resistividad característica de distintos materiales

Material	Resistividad (ohm.m)
Rocas ígneas y metamórficas	
Granito	5×10^3 - 10^6
Basalto	10^3 - 10^6
Esquistos	6×10^2 - 4×10^7
Mármol	10^2 - $2{,}5\times10^8$
Cuarcita	10^2 - $2{,}5\times10^8$

Material	Resistividad (ohm.m)
Rocas sedimentarias	
Arenisca	$8 - 4\times10^{3}$
Pizarra	$20 - 2\times10^{3}$
Calizas	$50 - 4\times10^{2}$
Suelo y agua	
Arcillas	1 - 100
Aluvial	10 - 800
Agua subterránea (dulce)	10 - 100
Agua de mar	0,2
Compuestos químicos	
Hierro	$9{,}074\times10^{-8}$
Cloruro potásico 0,01M	0,708
Cloruro sódico 0,01M	0,843
Ácido acético 0,01 M	6,13
Xyleno	$6{,}998\times10^{16}$

Fuente: Loke, 1999 en Ravelo, 2007

6. RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis y los resultados obtenidos durante la evaluación ambiental en el área de influencia de la UM Raura (en adelante, evaluación); los componentes evaluados fueron: agua, sedimento, suelo, además de la evaluación de comunidades hidrobiológicas, y caracterización hidroquímica, de componente minero y geológico. El área de influencia de la UM Raura (en adelante, área de estudio), se dividió en tres zonas (1, 2 y 3), cuyo detalle de puntos de muestreo por matriz evaluada se muestra en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Distribución de puntos de muestreo de agua, sedimento y suelo en las zonas 1, 2 y 3

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 1										
Santa Ana (puntos ubicados antes de las operaciones mineras)	Laguna Locacocha	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Lloca-01, Lloca-02, Lloca-04, Lloca-10, Lloca-10-T, Lloca-10-F	LLoca-SED-01, LLoca-SED-10, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B, LLoca-SED-12	No aplica	**API Niño Perdido 1** API_NNP_1, API_NNP_2, API_NNP_3, API_NNP_4 API_NNP_5, API_NNP_6 API_NNP_7, API_NNP_8 API_NNP_10, API_NINP_11 API_NINP_12, API_NINP_14 API_NINP_15, PI_NINP_16 API_NINP_17, PI_NINP_18 API_NINP_19, PI_NINP_20 API_NINP_21, API_NINP_22, API_NINP_23, API_NINP_24
	Laguna S/N	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LSN-01	No aplica	No aplica	
	Quebrada S/N 9	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QLSN-01		No aplica	
	Quebrada S/N 5	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QNiñC-04		No aplica	
	Quebrada S/N 8	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QNiñP-02	No aplica	No aplica	

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 1										
Santa Ana (puntos ubicados en el área de operaciones mineras, parte media)	Laguna Niñococha	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-03-F, LNiñC-05, LNiñC-05-F	LNiñC-SED-07, LNiñC-SED-01	No aplica	**API Niño Perdido 2** API_NNP2_1, API_NNP2_2 API_NNP2_3, API_NNP2_4 API_NNP2_5, API_NNP2_6 API_NNP2_7, API_NNP2_8 API_NNP2_9, API_NNP2_10, API_NNP2_11, API_NNP2_12
	Laguna Niño Perdido	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LNiñP-01, LNiñP-02, LNiñP-02-F, LNiñP-03, LNiñP-04	LNiñP-SED-05, LNiñP-SED-05, LNiñP-SED-06	No aplica	
	Laguna Santa Ana*	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LSanB-02, LSanB-02-T, LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F, LSanB-07	LSanB-SED-09, LSanB-SED-08	No aplica	
	Quebrada S/N 1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QNiñC-05, QSanAB-01	QSanAB-01	No aplica	
	Quebrada S/N 9	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QNiñC-03	No aplica	No aplica	

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 1										
Santa Ana (puntos ubicados en el área de operaciones mineras, parte media)	Quebrada S/N 10	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QSanAB-02		No aplica	**API Primavera** API_TP_1, API_TP_2, API_TP_3, API_TP_4, API_TP_5, API_TP_6, API_TP_7, API_TP_8, API_TP_9, API_TP_10, API_TP_11, API_TP_12, API_TP_13, API_TP_14, API_TP_15, API_TP_16, API_TP_17, API_TP_18, API_TP_19, API_TP_20, API_TP_21, API_TP_22 API_TP_23, API_TP_24, API_TP_25, API_TP_27, API_TP_28, API_TP_29, API_TP_30, API_TP_31, API_TP_32
	Canal de coronación de botadero Niñococha	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QNiñC-01	No aplica	No aplica	
	Surgencias	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	FNiñC-1, FNiñC-09, FNiñP-1, FNiñP-2, FNiñP-3, FSanAB-03, FSanAB-01	No aplica	No aplica	No aplica	
	Empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido	No aplica	No aplica	POZA-TP	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Poza de recirculación Catuva	No aplica	No aplica	Poza-MC	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Poza-MC	
	Poza de recirculación Catuva (Tubo enterrado)	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Poza-MC-A	
	Vertimiento de agua residual doméstica en la quebrada S/N 5	No aplica	V-1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Piezómetros	PZ-NP-01	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 2										
Caballococha y Tinquicocha (puntos ubicado antes de las operaciones mineras)	Laguna Siete Caballeros	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	L7Caba-01, L7Caba-02, L7Caba-03, L7Caba-04	L7Caba-SED-01, L7Caba-SED-02, L7Caba-SED-03	No aplica	**API Caballococha** API_CABA_1, AAPI_CABA_2, API_CABA_3, API_CABA_4, API_CABA_5, API_CABA_6, API_CABA_7, API_CABA_8, API_CABA_9, API_CABA_10, API_CABA_11, API_CABA_12, API_CABA_13, API_CABA_14, API_CABA_15, API_CABA_16
	Quebrada S/N 2	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Q7Caba-01, Q7Caba-02	Q7Caba-02	No aplica	
	Quebrada S/N 3	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QLTinq-01	No aplica	No aplica	
	Quebrada S/N 4	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QLTinq-02	No aplica	No aplica	
	Surgencia	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	FNievU2-01	No aplica	No aplica	No aplica	
	Piezómetro	AS-01	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
Caballococha y Tinquicocha (puntos ubicados en el área de operaciones mineras, parte baja)	Laguna Caballococha	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LCaba-02, LCaba-02-F, LCaba-03, LCaba-04, LCaba-04-T, LCaba-04-F, LCaba-07, LCaba-07-T, LCaba-07-F, LCaba-08, LCaba-08-T, LCaba-08-F, LCaba-07-F, LCaba-12, LCaba-12-T, LCaba-12-F, LCaba-14, LCaba-14-T, LCaba-14-F	LCaba-SED-02, LCaba-SED-04, LCaba-SED-15, LCaba-SED-14	No aplica	**API Nieve Ucro** API_NIEV_1, API_NIEV_2 API_NIEV_3, API_NIEV_4 API_NIEV_5, API_NIEV_6 API_NIEV_7, API_NIEV_8 API_NIEV_9, API_NIEV_10 API_NIEV_11, API_NIEV_12 API_NIEV_13, API_NIEV_14

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 2										
Caballococha y Tinquicocha (puntos ubicados en el área de operaciones mineras, parte baja)	Laguna Nieve Ucro	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LNieU-01, LNieU-04, LNieU-06, LNieU-07, LNieU-08	LNieU-SED-04, LNieU-SED-01-A, LNieU-SED-01-B, LNieU-SED-01-C, LNieU-SED-07, LNieU-SED-08	No aplica	**API Nieve Ucro** API_NIEV_15, API_NIEV_16 API_NIEV_17, API_NIEV_18 API_NIEV_19, API_NIEV_20 API_NIEV_21, API_NIEV_22 API_NIEV_23, API_NIEV_24 API_NIEV_25, API_NIEV_26 API_NIEV_27, API_NIEV_28 API_NIEV_29, API_NIEV_30
	Laguna Tinquicocha	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LTinq-01, LTinq-02, LTinq-02-T, LTinq-02-F, LTinq-09, LTinq-09-T, LTinq-09-F, LTinq-10, LTinq-13, LTinq-16, LTinq-18, LTinq-19, LTinq-19-T, LTinq-19-F	LTinq-SED-20, LTinq-SED-02	No aplica	
	Quebrada S/N 11	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QCaba-01	QCaba-05	No aplica	**API Tinquicocha** API_TINQ_1, API_TINQ_2 API_TINQ_3A, API_TINQ_3B API_TINQ_3C, API_TINQ_4 API_TINQ_5, API_TINQ_6, API_TINQ_7, API_TINQ_8 API_TINQ_9, API_TINQ_10 API_TINQ_11, API_TINQ_12 API_TINQ_13, API_TINQ_14A API_TINQ_14B API_TINQ_16
	Quebrada S/N 12	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Surgencia	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QCaba-03, FTinqco-04	No aplica	No aplica	No aplica	
	Agua de la bocamina Tinquicocha	No aplica	No aplica	AMTinq-1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	AMTinqco-1	
	Descarga de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha	No aplica	No aplica	FTinqco-06	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	FTinqco-06	
	Descarga de canal de concreto tapado que ingresa a la laguna Caballococha	No aplica	No aplica	No aplica	EFCaba-01	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Descarga del sedimentador Tinquicocha	No aplica	No aplica	No aplica	FTinqco-03	No aplica	No aplica	FTinqco-03	FTinqco-03	

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 2										
Caballococha y Tinquicocha (puntos ubicados en el área de operaciones mineras, parte baja)	Piezómetros	AS-02, AS-03, PZ-03, AS-04, AS-05, PZ-01, PZ-04.1, PZ-104, PZ-06	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	**API Tinquicocha** API_TINQ_17, API_TINQ_18 API_TINQ_20, API_TINQ_21 API_TINQ_22, API_TINQ_24 API_TINQ_25, API_TINQ_26 API_TINQ_27, API_TINQ_28 API_TINQ_29, API_TINQ_30 API_TINQ_31, API_TINQ_32 API_TINQ_33
Zona 3										
Rupahuay (puntos ubicados antes de las operaciones mineras)	Laguna Yanacocha	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LYana-01	LYana-SED-01, LYana-SED-02, LYana-SED-03	No aplica	**API Rupahuay** API_RUPA_1, API_RUPA_3 API_RUPA_4, API_RUPA_5 API_RUPA_6, API_RUPA_7 API_RUPA_8, API_RUPA_9 API_RUPA_10, API_RUPA_11 API_RUPA_12, API_RUPA_13
	Quebrada Yanco	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QRupa-01	No aplica	No aplica	
	Quebrada Chaco	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QVeta-01	QVeta-01	No aplica	
	Quebrada S/N 6	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QLSuer-02, QRupa-06		No aplica	
	Quebrada S/N 7	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QLRumb-03		No aplica	
	Surgencia	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	FRupa-02	No aplica	No aplica	No aplica	

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 3										
Rupahuay (zona 3) Puntos ubicados en el área de operaciones mineras, parte baja	Laguna Rupahuay	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LRupa-01, LRupa-01-F, LRupa-03, LRupa-03-T, LRupa-03-F, LRupa-05, LRupa-05-F, LRupa-08, LRupa-09, LRupa-09-F, LRupa-12	LRupa-SED-13-A, LRupa-SED-13-B, LRupa-SED-14, LRupa-SED-08, LRupa-SED-12	No aplica	**API Rupahuay** API_RUPA_14, API_RUPA_15, API_RUPA_16, API_RUPA_18, API_RUPA_19, API_RUPA_20 API_RUPA_21, API_RUPA_24 API_RUPA_25, API_RUPA_29 API_RUPA_30, API_RUPA_31 API_RUPA_32, API_RUPA_33 API_RUPA_35, API_RUPA_36 API_RUPA_38, API_RUPA_40 API_RUPA_42, API_RUPA_43 API_RUPA_44, API_RUPA_45 API_RUPA_47, API_RUPA_48 API_RUPA_50, API_RUPA_52 API_RUPA_53, API_RUPA_54 API_RUPA_55, API_RUPA_56 API_RUPA_57, API_RUPA_58 API_RUPA_59, API_RUPA_60
	Laguna Rumbrococha	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	LRumb-01, LRumb-03, LRumb-05, LRumb-06	LRumb-SED-07-A, LRumb-SED-07-B, LRumb-SED-07-C	No aplica	
	Quebrada S/N	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QRupa-03, QRupa-04		No aplica	
	Rio Quíchas	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	QRupa-02, QRupa-08, QRupa-05, QLRumb-04, QLRumb-02, QLRumb-01	QRupa-05, QLRumb-04, QLRumb-02, QLRumb-01	No aplica	
	Zona de mezcla	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	Drupa-01	No aplica	No aplica	
	Agua de la bocamina Rupahuay	No aplica	No aplica	AMRupa-1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	

Microcuenca	Cuerpo de agua asociados/efluentes mineros/surgencia/ agua residual industrial/agua residual doméstica/ piezómetros y sedimento	Puntos de muestreo								
		Agua subterránea	Agua residual doméstica	Agua residual industrial	Efluente minero	Surgencia	Agua superficial	Sedimento	Lodo	Suelo
Zona 3										
Rupahuay (zona 3) Puntos ubicados en el área de operaciones mineras, parte baja	Poza de secado	No aplica	No aplica	ARRupa-1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	**API Rupahuay** API_RUPA_61, API_RUPA_63, API_RUPA_64, API_RUPA_65 API_RUPA_66, API_RUPA_67 API_RUPA_68, API_RUPA_69 API_RUPA_71, API_RUPA_73, API_RUPA_74A, API_RUPA_74B, API_RUPA_75, API_RUPA_76 API_RUPA_77, API_RUPA_78 API_RUPA_79, API_RUPA_80 API_RUPA_81, API_RUPA_82 API_RUPA_83, API_RUPA_84 API_RUPA_85, API_RUPA_86 API_RUPA_87, API_RUPA_88 API_RUPA_89
	Rebose de Sedimentador Shucshapá	No aplica	No aplica	EFRupa-1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Drenaje del depósito de desmonte Shucshapa (Filtro de percolación)	No aplica	No aplica	FRupa-01	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Efluente de tubería enterrada antes de su vertimiento en la laguna Rupahuay	No aplica	No aplica	No aplica	EFRupa-02	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	
	Piezómetros	PE-03, PE-06, PR-105, PR-101, PR-104	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	

*: Para el presente estudio, se evaluó la laguna Santa Ana que corresponde a la laguna Santa Ana Baja, según se establece en el Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Raura para la «Modificación de componentes principales y auxiliares»; mientras que, la laguna Santa Ana Alta no se evaluó.

Los resultados y análisis de la evaluación son presentados en tres partes, la primera corresponde a comparación con las normas ambientales aprobadas en el IGA del administrado, la segunda corresponde a la comparación con normas nacionales vigentes y estándares de nivel internacional, y la tercera a estudios especializados considerados en la evaluación.

6.1 Comparación con la norma expresa en los IGA aprobados

La clasificación de acuerdo a los usos de calidad de agua superficial (lagunas y quebradas) para la presente evaluación[31], se establece en la Resolución Jefatural N.° 0291-2009-ANA[32], el cual es aplicable para el administrado[33]. Los resultados de las lagunas Niñococha, Niño Perdido y Santa Ana (zona 1), y Tinquicocha (zona 2) y Rupahuay (zona 3) fueron comparados con los valores límites clase VI, aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial (en adelante, RJ 0291 Clase VI); mientras que, los resultados de las quebradas y la laguna Caballococha fueron comparados con los valores límites clase III[34], aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales (en adelante, RJ 0291 Clase III). Mientras que, los resultados de las lagunas Nieve Ucro I, II y III[35] fueron comparados con los valores de los Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, categoría 4 - lagunas y lagos (en adelante, ECA para agua Cat.4: LyL), aprobados mediante Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM.

Los resultados de agua subterránea (piezómetros ubicados cercanos a la presa de relaves Nieve Ucro I y II y laguna Caballococha) fueron comparados referencialmente con los Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, categoría 3 - riego de vegetales y bebida de animales (en adelante, ECA para agua Cat.3:RV y BA), aprobados mediante Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM.

Los resultados de calidad de suelo fueron comparados con los Estándares de calidad ambiental para suelo, para uso industrial (en adelante, ECA para suelo de uso industrial), aprobado mediante Decreto Supremo N.° 002-2013-MINAM[36].

6.1.1 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana)

6.1.1.1 Agua

a. Agua superficial

La zona 1 en la evaluación corresponde a la microcuenca de la laguna Santa Ana, en total se evaluaron 8 puntos de muestreo en quebradas: 1 (quebrada S/N) , 1

31 Los resultados obtenidos para los componentes ambientales agua y suelo, serán comparados con las normas expresas en los IGA aprobados mediante Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM, Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAAM y Resolución Directoral N.° 271-97-EM/DGM.

32 Dictan disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reusos de aguas residuales tratadas, con fecha de aprobación 1 de junio de 2009.

33 Cabe señalar que, CMR S.A. a la fecha cuenta con el Estrito bajo el registro N.° 2688687, ante el Ministerio de Energía y Minas de la «Actualización de la modificación del estudio de impacto ambiental de la unidad minera Raura - Plan Integral para la implementación de los límites máximos permisibles de descarga de efluentes minero-metalúrgicos y adecuación a los estándares de calidad ambiental para agua», con fecha 14 de marzo de 2017.

34 Conforme al «Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAAM, con fecha 28 de abril de 2003.

35 Las zonas I y II corresponden a la laguna Nieve Ucro, y la zona III corresponde a la Laguna 3; conforme a la «Modificación del Estudio de Impacto Ambental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves Nieve Ucro II», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM, con fecha 21 de agosto de 2013.

36 De acuerdo al «Informe de Identificación de Sitios Contaminados de la Unidad Minera Raura», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 051-2018-MEM-DGAAM, con fecha 26 de marzo de 2018.

(quebrada S/N 9), 1 (quebrada S/N 5), 1 (quebrada S/N 8), 2 (quebrada S/N 1), 1 (quebrada S/N 10) y 1 (canal de coronación tributario a la laguna Niñococha), y 18 puntos de muestreo en lagunas: 6 (laguna Niñococha), 5 (laguna Niño Perdido) y 7 (laguna Santa Ana). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros evaluados que fueron comparados con los valores límites establecidos mediante la Resolución Jefatural N.° 0291-2009-ANA para clase III (quebradas) y clase VI (lagunas). Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Metales**

Los resultados de metales totales en agua superficial para la zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana), se presentan en la Tabla 6-2. La concentración de níquel en los puntos de muestreo QNiñC-04 y QSanAB-01, y la concentración de plomo en el punto de muestreo QSanAB-01; incumplieron con los valores límites establecidos en la RJ 0291 Clase III (0,002 mg/L); además, la concentración de plomo en los puntos de muestreo LSanB-02, LSanB-02-T, LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F y LSanB-07 incumplieron con los valores límites establecidos en la RJ 0291 Clase VI (0,03 mg/L).

Tabla 6-2. Concentraciones de metales en el agua superficial de la zona 1 que incumplieron con los valores límites de la R.J. N.° 0291-2009-ANA Clases III y VI

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/L)					
		Arsénico	Cadmio	Cobre	Níquel	Plomo	Selenio
Quebrada S/N 5	QNiñC-04	<0,00003	<0,00001	<0,0001	0,0034	0,0008	<0,0004
Quebrada S/N 1	QSanAB-01	0,01029	0,00315	0,1117	0,0033	0,3641	0,0047
R.J. N.° 0291-2009-ANA	Clase III	0,2	0,05	0,5	0,002	0,1	0,05
Laguna Santa Ana	LSanB-02	0,00297	<0,00001	0,00882	0,0012	0,0360	<0,0004
	LSanB-02-T	0,00319	<0,00001	0,00969	0,0011	0,0377	<0,0004
	LSanB-02-F	0,00339	<0,00001	0,00796	0,0011	0,0348	0,0074
	LSanB-03	0,00329	<0,00001	0,00796	0,0011	0,0338	0,0075
	LSanB-03-T	0,00382	<0,00001	0,01045	0,0011	0,0379	0,0058
	LSanB-03-F	0,00448	<0,00001	0,02628	0,0013	0,0917	0,0060
	LSanB-07	0,00341	<0,00001	0,00838	0,0012	0,0372	0,0067
R.J. N.° 0291-2009-ANA	Clase VI	0,05	0,004	No aplica	No aplica	0,03	0,01

Incumplen los valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA Clase III o Clase VI
<: Menor al límite de detección del laboratorio

- **Oxígeno disuelto y sulfuros**

Los valores de oxígeno disuelto registrados en las quebradas y lagunas Santa Ana, Niñococha y Niño Perdido presentaron concentraciones mayores a 3 mg/L, y las concentraciones de sulfuros reportadas fueron menores al límite de detección (<0,001 mg/L), cumpliendo así con los valores límites establecidos en la RJ 0291 Clases III (quebradas) y VI (lagunas).

6.1.1.2 Suelo

La zona 1 en la evaluación corresponde a la microcuenca de la laguna Santa Ana, comprende 3 áreas de potencial interés (en adelante, API), donde en total se evaluaron 65 puntos de muestreo de suelos: 22 (API Niño Perdido 1), 12 (API Niño

Perdido 2) y 31 (API Primavera); estos puntos se encuentran ubicados en zonas aledañas al depósito de desmonte Niño Perdido.

A continuación, se presentan las concentraciones de los metales evaluados que incumplieron los valores de los ECA para suelo de uso industrial/extractivo. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Metales

Los resultados de las concentraciones de metales de arsénico, cadmio y plomo en suelos para la zona 1, se presentan en las Figuras 6-1, 6-2 y 6-3 respectivamente. Respecto a, las concentraciones de arsénico registradas en el API Primavera, el 13 % (4/31) de los puntos muestreados incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (140 mg/kg), registrándose la concentración máxima en el punto de muestreo API_TP_25 (288,3 mg/kg); mientras que, en el API Niño Perdido 1, solo el punto de muestreo API_NNP_6 (146,3[37] mg/kg) incumplió con el valor establecido en la normativa en mención.

En relación a, las concentraciones de cadmio reportadas en el API Primavera, el 10 % (3/31) de los puntos muestreados incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (22 mg/kg), donde la concentración máxima se presentó en el punto de muestreo API_TP_27 (87,9 mg/kg); en tanto que, en el API Niño Perdido 1, solo el punto de muestreo API_NNP_6 (45,2 mg/kg) incumplió con el valor establecido en la norma antes señalada.

Las mayores concentraciones de plomo se registraron en el API Primavera, el 19 % (6/31) de los puntos muestreados incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (1200 mg/kg), donde la concentración máxima se presentó en el punto API_TP_25 (11549 mg/kg); mientras que, en el API Niño Perdido 2, solo el punto de muestreo API_NNP2_10 (2586 mg/kg) incumplió con el valor establecido en la normativa antes mencionada.

Finalmente, las concentraciones de arsénico y cadmio registradas en todos los puntos muestreados del API Niño Perdido 2, y las de plomo obtenidas en la totalidad de puntos del API Niño Perdido 1; cumplieron con los valores establecidos en la norma referida.

[37] Cabe precisar que, de acuerdo al informe de ensayo del laboratorio, el valor reportado para arsénico presentó un rango de incertidumbre de ±19,6 mg/kg.

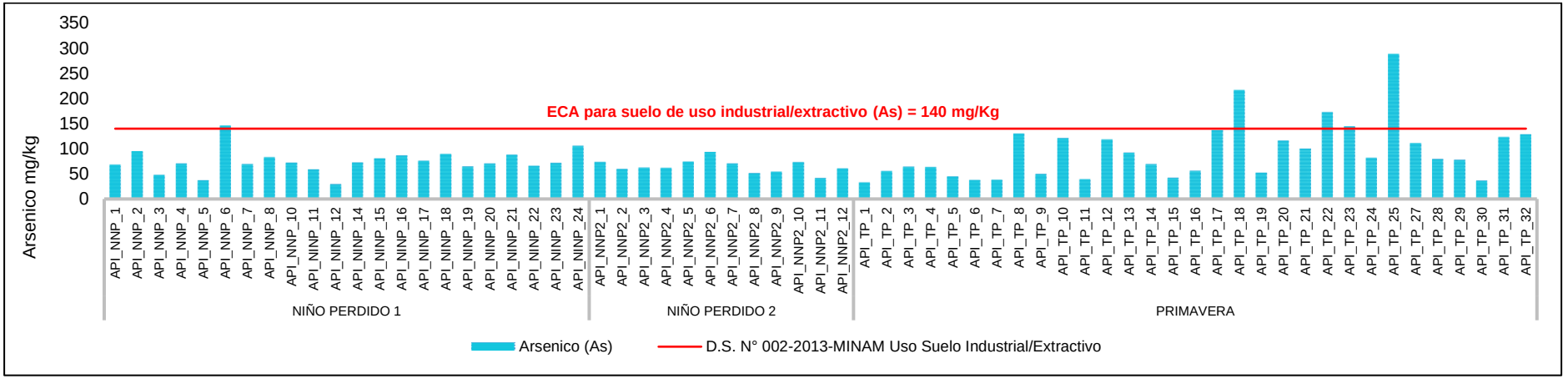


Figura 6-1. Concentraciones de arsénico en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

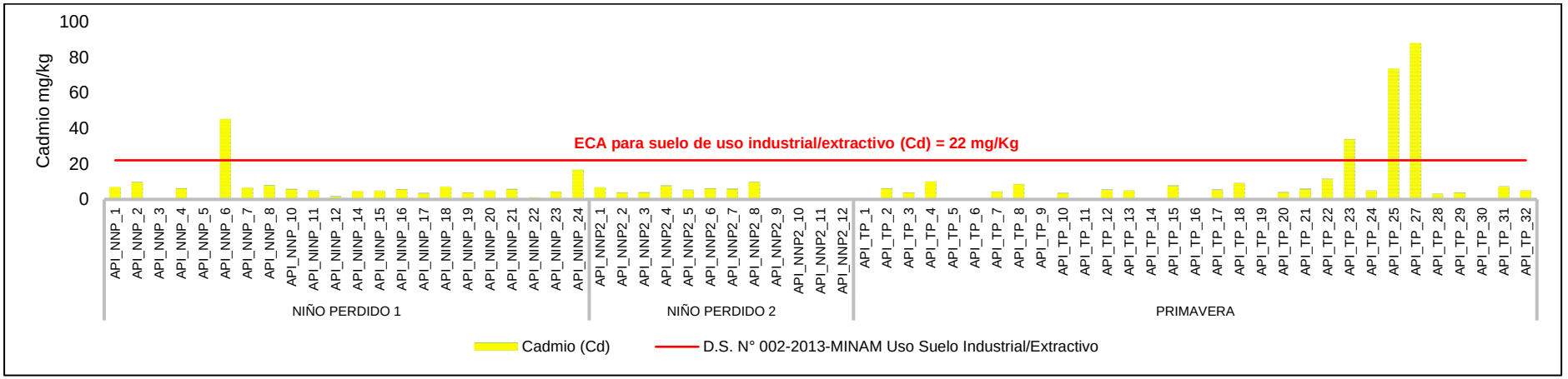


Figura 6-2. Concentraciones de cadmio en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

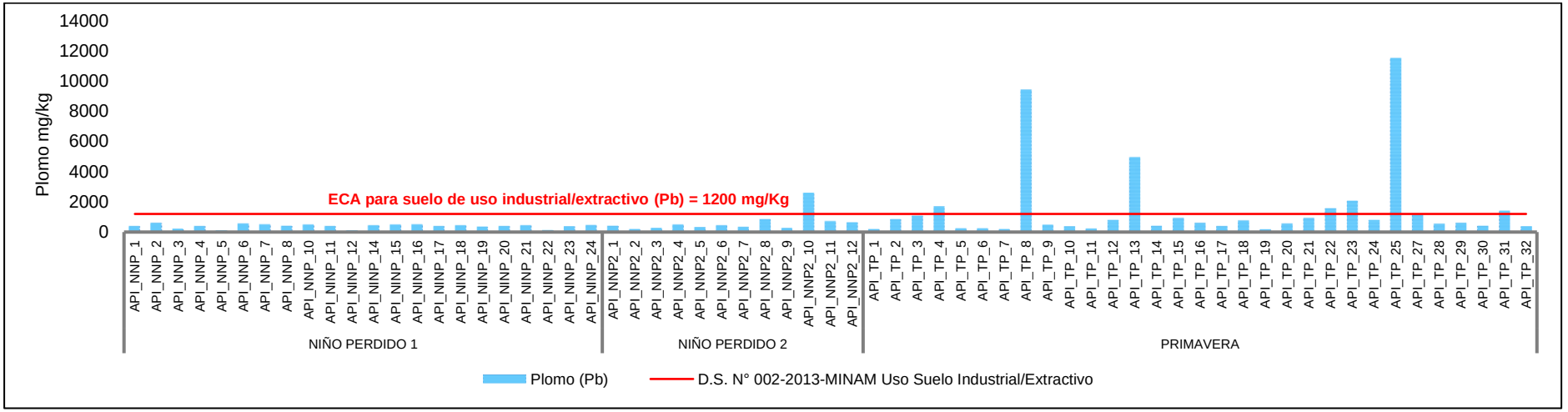


Figura 6-3. Concentraciones de plomo en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

6.1.2 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha)

6.1.2.1 Agua

a. Agua superficial

La zona 2 en la evaluación corresponde a las microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha, en total se evaluaron 3 puntos de muestreo en quebradas: 1 (ingreso a la laguna Caballlococha), 1 (quebrada S/N 3) y 1 (quebrada S/N 4), y 33 puntos de muestreo en lagunas: 19 (laguna Caballococha) y 14 (laguna Tinquicocha). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros evaluados que fueron comparados con los valores límites establecidos mediante la Resolución Jefatural N.° 0291-2009-ANA para clase III (quebradas y laguna Caballococha[38]) y clase VI (laguna Tinquicocha).

En cuanto a la evaluación de los 5 puntos de muestreo en las lagunas Nieve Ucro I, II y Laguna 3[39] (ubicadas en la microcuenca de la laguna Tinquicocha); los resultados fueron comparados con los valores de los Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, categoría 4 - lagunas y lagos, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

Los resultados del agua subterránea (piezómetros ubicados cercanos a los depósitos de desmonte Niño Perdido II) fueron comparados referencialmente con los valores de los Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM.

- **Metales**

Las concentraciones de metales totales registradas en agua superficial para la zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha), cumplieron con los valores límites establecidos en la RJ 0291 Clase III.

Los resultados de metales totales de las lagunas Nieve Ucro I, II y Laguna 3, se presentan en la Tabla 6-3. Se observa que solo las concentraciones de arsénico total registradas en los puntos de muestreo LNieU-06, LNieU-07 y LNieU-08, incumplieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4: LyL. Asimismo, los puntos en mención y los puntos LNieU-01 y LNieU-04 presentaron concentraciones de plomo total que incumplieron la norma en mención.

Tabla 6-3. Concentraciones de metales en el agua superficial de las lagunas Nieve Ucro I, II y III que incumplieron con los valores de los ECA para agua Cat.4:LyL(2008)

Cuerpos de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/L)				
		Arsénico	Bario	Cobre	Plomo	Zinc
Laguna Nieve Ucro I	LNieU-01	0,00809	0,0094	0,00784	0,0023	0,0214
	LNieU-04	0,00873	0,0093	0,00311	0,002	0,016

38 Conforme al «Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAAM, con fecha 28 de abril de 2003.

39 Las zonas I y II corresponden a la laguna Nieve Ucro, y la zona III corresponde a la Laguna 3; conforme a la «Modificación del Estudio de Impacto Ambental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves Nieve Ucro II», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM, con fecha 21 de agosto de 2013. Cabe señalar que la comparación de los resultados se ha efectuado de acuerdo a lo establecido en el IGA en mención.

Cuerpos de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/L)				
		Arsénico	Bario	Cobre	Plomo	Zinc
Laguna Nieve Ucro II	LNieU-06	0,01158	0,0091	0,01065	0,0119	0,0263
	LNieU-07	0,01988	0,0096	0,01076	0,0142	0,023
Laguna 3	LNieU-08	0,02568	0,008	0,00196	0,0031	0,0138
ECA de agua (D.S. N.° 002-2008-MINAM)	Categoría 4	0,01	0,7	0,02	0,001	0,03

Incumplen los valores establecidos en el D.S. N.° 002-2008-MINAM Cat.4: LyL.
<: Menor al límite de detección del laboratorio

- **Parámetros fisicoquímicos**

Los valores de oxígeno disuelto registrados en las quebradas y lagunas Caballococha y Tinquicocha presentaron concentraciones mayores a 3 mg/L, y las concentraciones de sulfuros reportadas fueron menores al límite de detección (<0,001 mg/L), los cuales cumplieron con los valores límites establecidos en la RJ 0291 Clase III (quebradas y laguna Caballococha) y Clase VI (laguna Tinquicocha).

En cuanto a la evaluación de las lagunas Nieve Ucro I, II y Laguna 3, presentaron valores de pH y oxígeno disuelto, y concentraciones de nitrógeno total y sólidos totales suspendidos que cumplieron con los valores establecidos en los ECA para agua Cat.4:LyL.

b. Agua subterránea

En la zona 2 se evaluó 6 puntos de muestreo en piezómetros. A continuación, se presentan los parámetros evaluados que fueron comparados referencialmente con los ECA para agua Cat.3:RV y BA. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua subterránea para la zona 2 (microcuenca de la laguna Caballococha), se presentan en la Tabla 6-4. Los valores de pH en los piezómetros variaron de 7,69 a 8,46 unidades de pH, donde solo en el punto AS-04 se registró un valor (8,46 unidades de pH) por encima del rango establecido referencialmente en los ECA para agua Cat.3:BA. Mientras que, los valores de oxígeno disuelto variaron de 2,0 mg/L a 5,09 mg/L, que se encontraron por debajo de los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:RV y BA, a excepción del valor obtenido en el punto AS-03.

Referente a las concentraciones de arsénico total registradas en los piezómetros, variaron de 0,007 a 1,940 mg/L. Solo en los puntos PZ-03 y AS-04 excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:RV y BA; y solo en el punto AS-03 se excedió el valor establecido en los ECA para agua Cat.3:RV.

Con respecto a las concentraciones de hierro total reportadas en los piezómetros, estas variaron de 0,1158 a 7,351 mg/L. Solo en los puntos AS-02, AS-03 y PZ-03 excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.3:RV y BA.

Las concentraciones de manganeso y plomo obtenidas en los piezómetros variaron de 0,00991 a 0,46422 mg/L y de 0,0023 a 0,1426 mg/L respectivamente. Solo en los puntos AS-02 y PZ-03 se reportaron concentraciones de manganeso y en el punto

AS-02 se registraron concentraciones de plomo, que en ambos casos excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:RV y BA.

Tabla 6-4. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua subterránea de la zona 1 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:RV y BA

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Metales totales (mg/L)			
				Arsénico	Hierro	Manganeso	Plomo
Agua subterránea	AS-02	8,19	2,63	0,02220	3,194	0,46422	0,1426
	AS-03	7,78	5,09	0,08221	7,351	0,11286	0,0311
	PZ-03	7,69	2,58	1,940	1,2740	0,29541	0,0054
	AS-04*	8,46	2	1,652	0,5939	0,15393	0,0023
	AS-05	7,97	3,23	0,00700	0,2345	0,01308	0,0145
	PZ-06	7,69	3,55	0,01110	0,1158	0,00991	0,0332
ECA para agua Categoría 3 (D.S. N.° 002-2008-MINAM)	RV	6,5 - 8,5	>= 4	0,05	1	0,2	0,05
	BA	6,5 - 8,4	>5	0,1	1	0,2	0,05

* En el punto AS-04 se incumple el valor superior de pH establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:BA.
Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 002-2008-MINAM Cat.3:RV.
Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 002-2008-MINAM Cat.3:RV y BA

6.1.2.2 Suelo

La zona 2 corresponde a las microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha, comprende 3 API, donde en total se evaluaron 80 puntos de muestreo de suelos: 16 (API Caballococha), 30 (API Nieve Ucro) y 33 (API Tinquicocha); estos puntos se encuentran ubicados en zonas aledañas a las lagunas Caballococha y Nieve Ucro, y al depósito de desmonte Tinquicocha.

A continuación, se presentan las concentraciones de los metales evaluados que incumplieron los valores de los ECA para suelo de uso industrial/extractivo. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Metales

Los resultados de las concentraciones de metales de arsénico, cadmio, cromo y plomo en suelos para la zona 2, se presentan en las Figuras 6-4, 6-5, 6-6 y 6-7 respectivamente. En cuanto a, las concentraciones de arsénico reportadas en el API Nieve Ucro, el 87 % (26/30) de los puntos muestreados incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (140 mg/kg), registrándose la concentración máxima en el punto API_NIEV_6 (396 mg/kg). La mayor densidad de puntos de muestreo con concentraciones de arsénico que incumplieron la normativa referida, se encontraron en el API Tinquicocha, con el 91 % (30/33) de estos, la concentración máxima se registró en el punto API_TINQ_9 (1848 mg/kg); mientras, que el menor número de puntos muestreo con concentraciones de arsénico que incumplieron la norma en mención, se presentaron en el API Caballococha con 38 % (6/16) de esos, además la concentración máxima se registró en el punto API_CABA_15 (247,9 mg/kg).

Respecto a, las concentraciones de cadmio en el API Tinquicocha, el 27 % (9/33) de puntos muestreados incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (22 mg/kg), presentándose la mayor concentración de cadmio en el punto de muestreo API_TINQ_9 (122,5 mg/kg). Además, en el API Nieve Ucro solo el punto API_NIEV_24 (22,5 mg/kg) incumplió con el valor establecido en la normativa referida.

Las mayores concentraciones de cromo se registraron en el API Nieve Ucro, el 20 % (6/30) de los puntos muestreados incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (1000 mg/kg), cuya concentración máxima se presentó en el punto API_NIEV_24 (4395 mg/kg); mientras que, en el API Tinquicocha solo el punto de muestreo API_TINQ_3B (1061 mg/kg) incumplió con el valor estipulado en la norma antes señalada.

Referente a, las mayores concentraciones de plomo, estas se registraron en el API Tinquicocha con el 45 % (15/33) de puntos muestreados, los cuales incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (1200 mg/kg); la mayor concentración se registró en el punto API_TINQ_9 (14017 mg/kg). En el API Nieve Ucro, el 20 % (6/30) de puntos de muestreo incumplieron con el valor establecido en la normativa indicada, siendo la mayor concentración de plomo obtenida en el punto API_NIEV_24 (3152 mg/kg).

Por último, las concentraciones de cadmio, cromo y plomo registradas en todos los puntos de muestreo de las API Caballococha cumplieron con los valores establecidos en la norma referida.

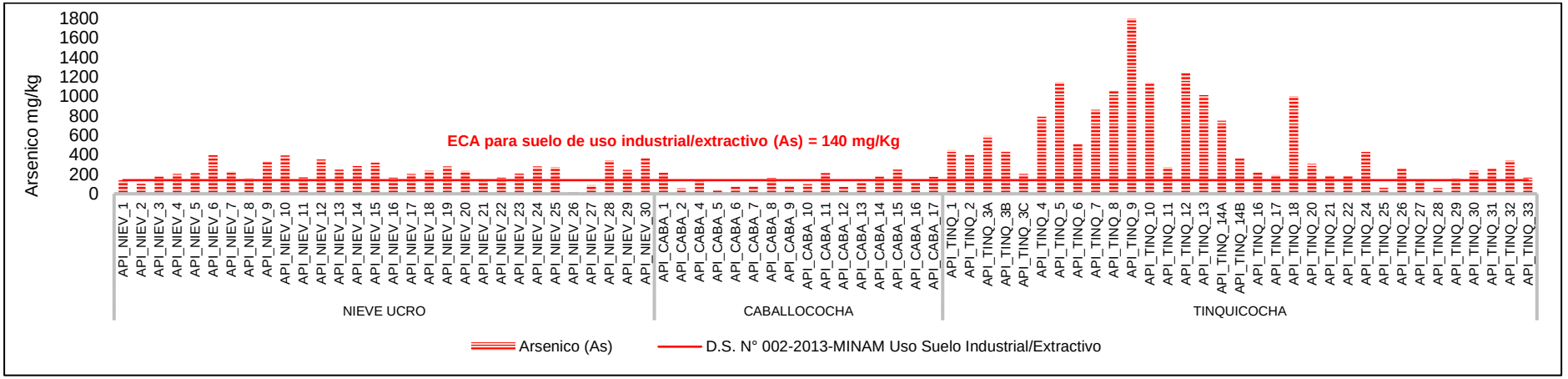


Figura 6-4. Concentraciones de arsénico en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

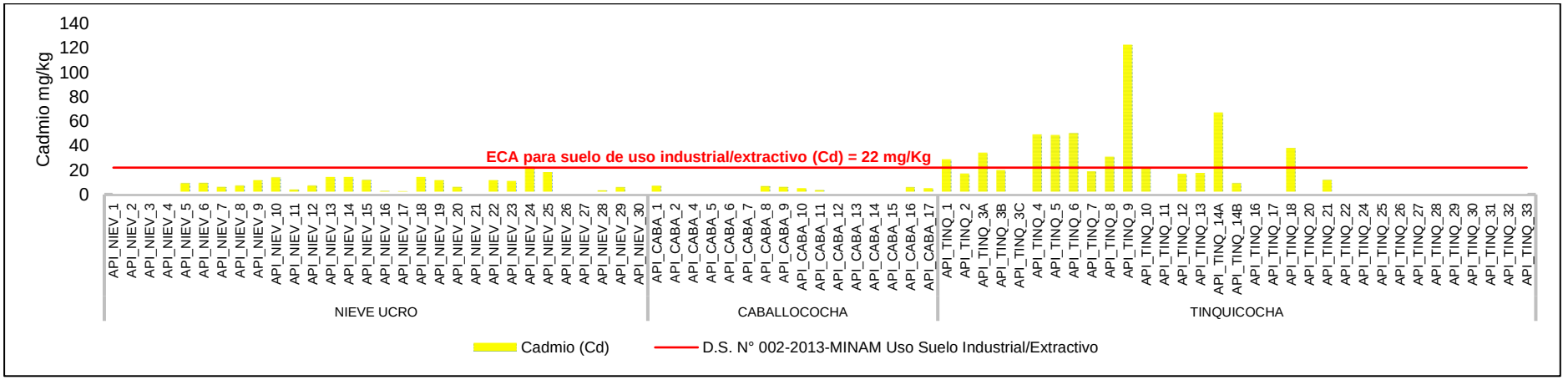


Figura 6-5. Concentraciones de cadmio en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

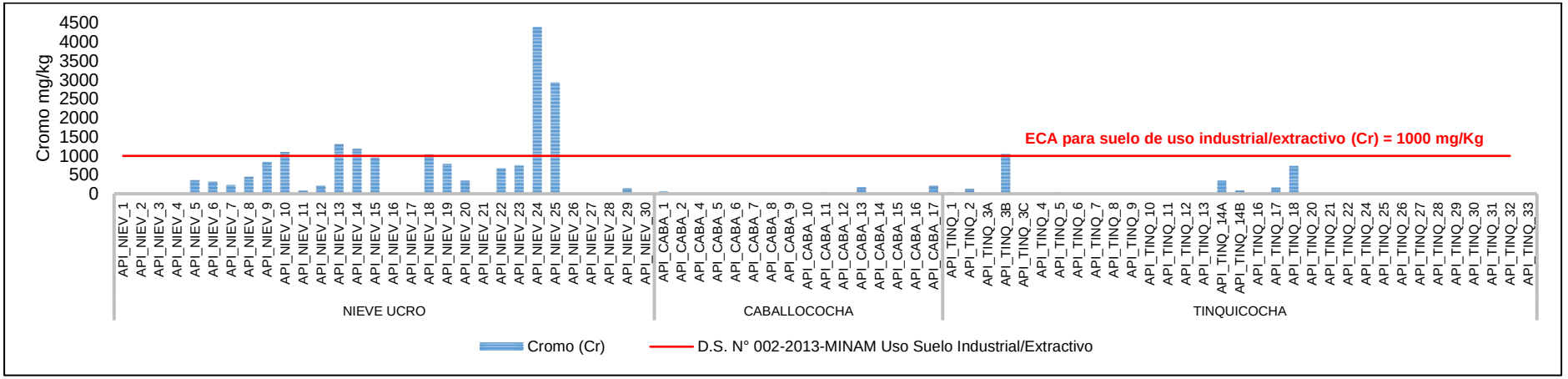


Figura 6-6. Concentraciones de cromo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

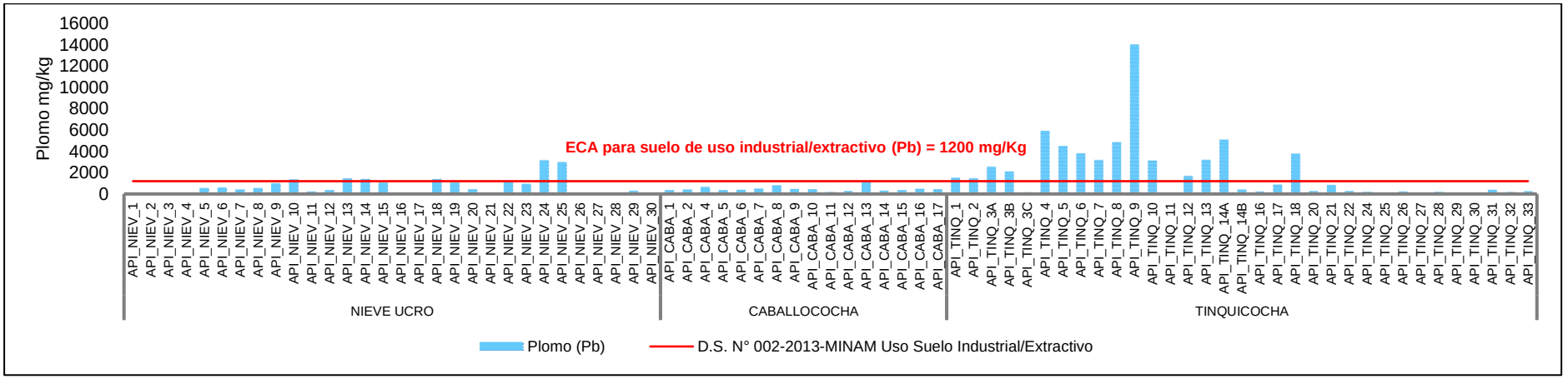


Figura 6-7. Concentraciones de plomo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

6.1.3 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay)

6.1.3.1 Agua

a. Agua superficial

La zona 3 en la evaluación corresponde a la microcuenca de la laguna Rupahuay, en total se evaluaron 4 puntos de muestreo en quebradas: 1 (ingreso de la laguna Rupahuay), 1 (quebrada S/N que ingresa después del vertimiento), 1 (quebrada S/N que ingresa antes del vertimiento) y 1 (quebrada Chaco), y 11 puntos de muestreo en la laguna Rupahuay. A continuación, se presentan los resultados de los parámetros evaluados que fueron comparados con los valores límites establecidos mediante la Resolución Jefatural N.° 0291-2009-ANA para clase III (quebradas) y clase VI (lagunas). Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Metales**

Las concentraciones de metales totales (arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo y selenio) registradas en todos los puntos de muestreo de agua superficial para la zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay), cumplieron con los valores límites establecidos en la RJ 0291 clase III y VI.

- **Oxígeno disuelto y sulfuros**

Los valores de oxígeno disuelto registrados en las quebradas y laguna Rupahuay presentaron concentraciones mayores a 3 mg/L, y las concentraciones de sulfuros reportadas fueron menores al límite de detección (<0,001 mg/L), cumpliendo así con los valores límites establecidos en la RJ 0291 Clases III (quebradas) y VI (lagunas).

6.1.3.2 Suelo

La zona 3 corresponde a la microcuenca de la laguna Rupahuay, comprende solo el API Rupahuay, donde se evaluaron 73 puntos de muestreo de suelos, estos puntos se encuentran ubicados en zonas aledañas a la planta de tratamiento de aguas residuales, y al depósito de desmonte Shucshapá.

A continuación, se presentan las concentraciones de los metales evaluados que incumplieron los valores de los ECA para suelo de uso industrial/extractivo. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Metales

Los resultados de las concentraciones de metales de arsénico, cadmio y plomo en suelos para la zona 3, se presentan en las Figuras 6-8, 6-9 y 6-10 respectivamente. En relación a, las concentraciones de arsénico registradas en el API Rupahuay, el 25 % (18/73) puntos de muestreo incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (140 mg/kg). La máxima concentración de arsénico se reportó en el punto de muestreo API_RUPA_52 (1946 mg/kg).

Solo las concentraciones de cadmio obtenidas en 6 puntos, incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (22 mg/kg), registrándose la concentración máxima en el punto API_RUPA_5 (57,1 mg/kg). Respecto a, las concentraciones de plomo registradas, solo 12 puntos de muestreo incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (1200 mg/kg), donde la concentración máxima se reportó en el punto API_RUPA_5 (8257 mg/kg).

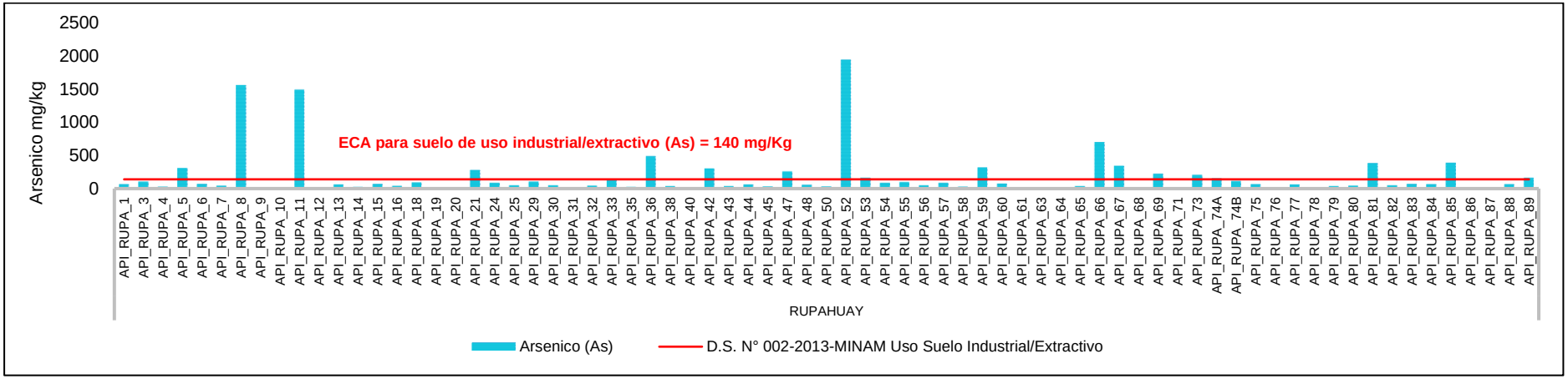


Figura 6-8. Concentraciones de arsénico en el API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

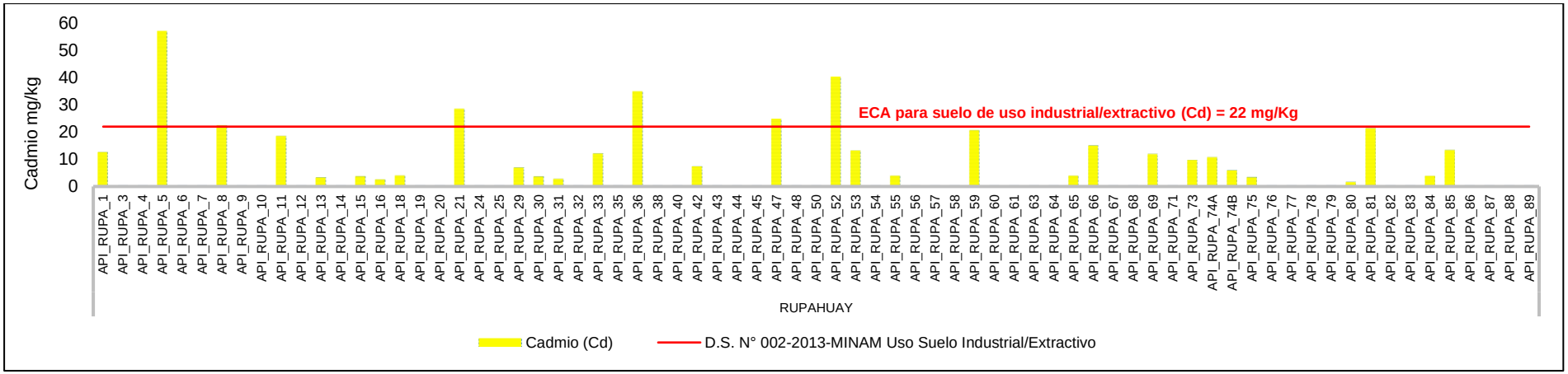


Figura 6-9. Concentraciones de cadmio en el API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

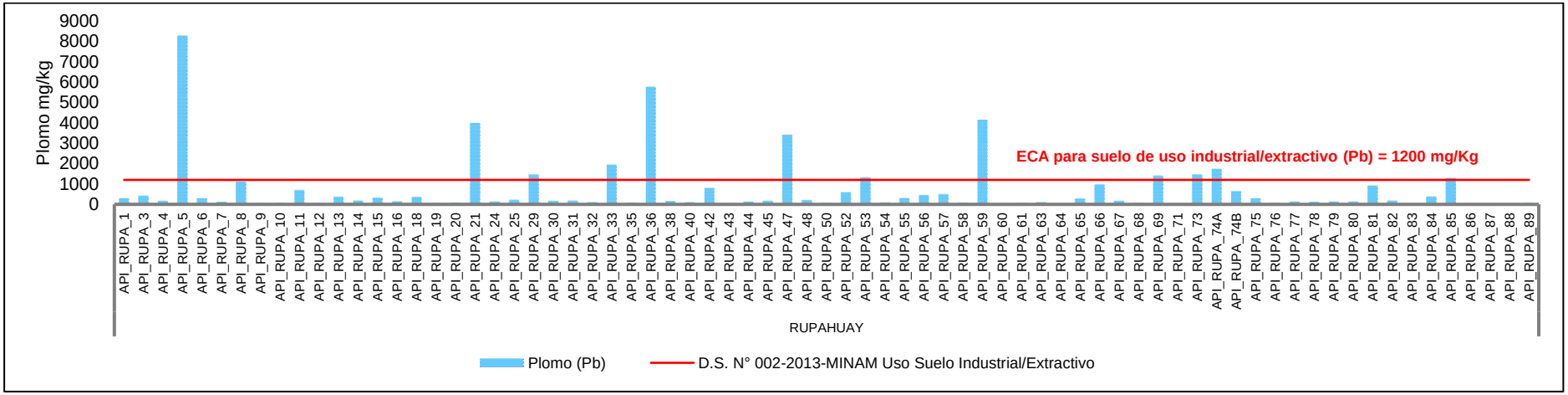


Figura 6-10. Concentraciones de plomo en el API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013)

6.1.4 Muestreo de suelo a la salida de ductos de ventilación

Se tomaron muestras de suelo en 3 puntos de muestreo especiales a la salida de los ductos de ventilación SVT1 (ubicado a 20 m al noreste de la ventilación del Troncal 1), STV0 (ubicado a 130 m al sureste de la ventilación del Troncal 1) y S-1 (ubicado a 20 m al suroeste de la ventilación del Troncal 2).

De las concentraciones de metales de arsénico registradas en los puntos en mención, solo en los puntos SVT0 y S-1 se incumplieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (140 mg/kg), reportándose la concentración máxima en el punto de muestreo S-1 (390,5 mg/kg).

6.2 Comparación con la norma nacional vigente y estándares de nivel internacional no establecida en los IGA

Los resultados de calidad de agua superficial de lagunas, fueron comparados referencialmente con los Estándares de calidad ambiental para agua[40], categoría 4 (conservación del ambiente acuático) – subcategoría E1 (lagunas y lagos) (en adelante, ECA para agua Cat.4:E1), y de quebradas fueron comparados con la misma norma y categoría antes mencionadas, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM. Cabe señalar que, se caracterizaron los resultados de los parámetros muestreados para surgencias.

Respecto a los resultados de efluentes mineros no contemplados en los IGA, estos fueron comparados de manera referencial con los límites máximos permisibles (LMP), aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM[41]; mientras que, los resultados de agua residual doméstica fueron comparados con límites máximos permisibles (LMP), aprobados mediante Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM[42].

Los resultados del agua subterránea (piezómetros ubicados cercanos a los depósitos de desmonte Niño Perdido y Shucshapá) fueron comparados referencialmente con los Estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales) – subcategoría D1 (riego de vegetales) y subcategoría D2 (bebidas de animales) (en adelante, ECA para agua Cat.3:D1 y D2), aprobados mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.

Los resultados de sedimento fueron comparados referencialmente con los valores de los estándares de la Guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos de aguas continentales (CEQG-SQG)[43], que será denominada en adelante guía canadiense.

Los resultados de calidad de suelo fueron comparados referencialmente con los Estándares de calidad ambiental para suelo, para uso industrial (en adelante, ECA para suelo industrial), aprobados mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.

---

40 Aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, del 7 de junio de 2017.

41 Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, con fecha de aprobación 20 de agosto de 2010.

42 Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, con fecha de aprobación 16 de marzo de 2010.

43 Canadian Council of Ministers of the Environment (2002). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos de aguas continentales).

6.2.1 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana)

6.2.1.1 Agua

a. Agua superficial

La zona 1 en la evaluación correspondió a la microcuenca de la laguna Santa Ana, en total se evaluaron 8 puntos de muestreo en quebradas: 2 (quebrada S/N 9), 1 (quebrada S/N 5), 1 (quebrada S/N 8), 2 (quebrada S/N 1), 1 (quebrada S/N 10) y 1 (canal de coronación tributario a la laguna Niñococha), y 25 puntos de muestreo en lagunas: 6 (laguna Locacocha), 1 (laguna S/N), 6 (laguna Niñococha), 5 (laguna Niño Perdido) y 7 (laguna Santa Ana). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros evaluados que fueron comparados referencialmente con los valores de los ECA para agua Cat.4:E1. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua superficial para la zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana), se presentan en la Tabla 6-5. Los valores de pH registrados solo en la laguna Santa Ana (LSanB-02, LSanB-02-T, LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F y LSanB-07) se encontraron por encima del rango establecido en los ECA para agua Cat.4:E1. En cuanto al parámetro oxígeno disuelto, solamente en el punto de muestreo QLSN-01 (3,74 mg/L), se registró un valor por debajo de lo establecido en la norma en mención.

Las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) reportadas en las quebradas variaron desde 3 hasta 74 mg/L, donde solo en los puntos QNiñC-03 (28 mg/L), QNiñC-05 (29 mg/L) y QSanAB-01 (74 mg/L), se excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1. Mientras que, solo la concentración de SST obtenida en la laguna Locacocha (LLoca-01) excedió el valor establecido en la norma en mención.

Respecto a las concentraciones de cobre total registradas en las lagunas y quebradas, variaron de 0,00079 mg/L (QLSN-01) a 0,15371 mg/L (QNiñC-05), donde solo en los puntos de muestreo QNiñC-03, QNiñC-05 y QSanAB-01, se excedieron los valores de los ECA para agua Cat.4:E1.

Se puede indicar que las concentraciones de plomo total obtenidas en las lagunas y quebradas variaron de 0,0015 mg/L (QNiñP-02) a 0,3641 mg/L (QSanAB-01), donde en todos los puntos de muestreo se excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1, a excepción de los puntos QNiñC-04, QNiñP-02, LLoca-01, LLoca-02, LLoca-04, LLoca-10, LSN-01, LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03 y LNiñC-05-F, cuyas concentraciones excedieron la norma en mención.

Las concentraciones de selenio total registradas en los puntos de muestreo de lagunas y quebradas, solo en los puntos QSanAB-02, LNiñC-05, LSanB-02-F, LSanB-03, LSanB-03-T, LSanB-03-F y LSanB-07 se excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1. Las mayores concentraciones se registraron en los puntos de muestreo QSanAB-02 (0,0108 mg/L) y LSanB-03 (0,0075 mg/L).

Referente a las concentraciones de zinc total reportadas en los puntos de muestreo QNiñC-01, QNiñC-03, QNiñC-05, QSanAB-01, QSanAB-02, LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-03-F, LNiñC-05, LNiñC-05-F y LSanB-03-F; estas excedieron el

valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1. Cabe precisar que, las mayores concentraciones se registraron en los puntos QSanAB-01 (0,8832 mg/L) y QNiñC-03 (0,7862 mg/L). Por último, las concentraciones de cadmio disuelto registradas solo en los puntos de muestreo QNiñC-03, QNiñC-05, QSanAB-01, QSanAB-02, LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-03-F, LNiñC-05 y LNiñC-05-F; excedieron el valor establecido en la normativa antes señalada.

Tabla 6-5. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua superficial de la zona 1 que excedieron los valores de los ECA para agua Cat.4:E1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Oxígeno disuelto (mg/L)	SST (mg/L)	Metales totales (mg/L)				Cadmio disuelto (mg/L)
					Cobre	Plomo	Selenio	Zinc	
Quebrada S/N 9	QLSN-01	7,41	3,74	3	0,00079	0,0029	<0,0004	0,0221	<0,00001
Canal de coronación del depósito de desmonte Niñococha	QNiñC-01	7,6	6,68	4	0,01688	0,008	<0,0004	0,189	<0,00001
Quebrada S/N 9	QNiñC-03	8,11	6,25	28	0,12584	0,0945	0,0041	0,7862	0,00078
Quebrada S/N 1	QNiñC-05	8,36	5,73	29	0,15371	0,0922	<0,0004	0,7667	0,00058
Quebrada S/N 1	QSanAB-01	8,25	6,78	74	0,1117	0,3641	0,0047	0,8832	0,00094
Quebrada S/N 8	QNiñP-02	8,33	6,63	<2	0,00115	0,0015	<0,0004	<0,0100	<0,00001
Quebrada S/N 10	QSanAB-02	8,28	7,09	4	0,02968	0,0208	0,0108	0,2529	0,00081
Laguna Locacocha	LLoca-01	8,24	6,92	28	0,00906	0,002	<0,0004	0,0369	<0,00001
	LLoca-10-T	7,52	6,14	NE	0,00339	0,0033	<0,0004	0,0252	<0,00001
	LLoca-10-F	7,8	6,93	NE	0,00375	0,0042	0,0026	0,0246	<0,00001
Laguna S/N	LSN-01	8,1	6,47	<2	0,00137	0,0019	<0,0004	0,0201	<0,00001
Laguna Niñococha	LNiñC-01	6,53	6,11	<2	0,0289	0,002	<0,0004	0,5197	0,00156
	LNiñC-02	6,37	6,1	<2	0,02857	0,0015	<0,0004	0,5184	0,00155
	LNiñC-03	6,33	6,11	<2	0,02981	0,0017	<0,0004	0,539	0,00171
	LNiñC-03-F	6,28	6,42	NE	0,02997	0,0104	<0,0004	0,5246	0,0018
	LNiñC-05	6,07	6,47	<2	0,03014	0,0029	0,0066	0,5324	0,00192
	LNiñC-05-F	6,16	6,51	NE	0,03033	0,0025	<0,0004	0,5204	0,00186
Laguna Niño Perdido	LNiñP-01	7,83	6,33	<2	0,00394	0,0053	<0,0004	0,0213	<0,00001
	LNiñP-02	8,11	6,5	<2	0,0041	0,0034	<0,0004	0,0202	<0,00001
	LNiñP-02-F	8,05	6,4	NE	0,00452	0,0055	<0,0004	0,0228	<0,00001
	LNiñP-03	8,05	6,58	<2	0,0038	0,0026	<0,0004	0,0228	<0,00001
	LNiñP-04	8,03	6,7	<2	0,00386	0,0031	<0,0004	0,0203	<0,00001
Laguna Santa Ana	LSanB-02	9,56	10,6	20	0,00882	0,036	<0,0004	0,0927	<0,00001
	LSanB-02-T	9,71	10,59	NE	0,00969	0,0377	<0,0004	0,1008	<0,00001
	LSanB-02-F	9,65	10,54	NE	0,00796	0,0348	0,0074	0,0856	<0,00001
	LSanB-03	9,42	9,95	22	0,00796	0,0338	0,0075	0,0844	<0,00001
	LSanB-03-T	9,47	9,63	NE	0,01045	0,0379	0,0058	0,0941	<0,00001
	LSanB-03-F	9,48	9,69	NE	0,02628	0,0917	0,006	0,1676	<0,00001
	LSanB-07	9,36	9,69	20	0,00838	0,0372	0,0067	0,09	<0,00001
D.S. N.° 004-2017-MINAM	Cat.4:E1	6,5 - 9	≥5	≤25	0,1	0,0025	0,005	0,12	0,00025

Exceden los valores establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM Cat.4:E1.
NE: No evaluado, <: Menor al límite de detección del laboratorio.

b. Surgencia

En la zona 1 se identificaron en total 7 puntos de muestreo en surgencia, ubicados en cotas inferiores a los depósitos de desmonte Niñococha (FNiñC-1 y FNiñC-09), Niño Perdido (FNiñP-1, FNiñP-2 y FNiñP-3) y Raura (FSanAB-01), y poza de sedimentación de bocamina Gayco (FSanAB-03). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros muestreados para caracterización. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en surgencias para la zona 1, se presentan en la Tabla 6-6. Los valores de pH en las surgencias variaron de 7,13 a 8,89 unidades, además los valores de oxígeno disuelto variaron de 3,66 a 6,44 mg/L. En cuanto a, los valores de conductividad eléctrica variaron de 132 a 1990 µS/cm, y las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) variaron de <2 a 425 mg/L. El máximo valor de oxígeno disuelto se presentó en el punto de muestreo FNiñP-3, ubicado en la cota inferior al depósito de desmonte Niño Perdido.

Las mayores concentraciones de cobre y plomo total se registraron en el punto de muestreo FSanAB-03 (0,28024 y 2,129 mg/L respectivamente); mientras que, en el punto FNiñC-09 se presentó las mayores concentraciones de zinc total y cadmio disuelto (12,43 y 0,00933 mg/L respectivamente). En cuanto a, selenio total, en todos los puntos de muestreo se presentó una concentración menor al límite de detección del laboratorio (<0,0004 mg/L), a excepción de punto FSanAB-01 (0,013 mg/L).

Tabla 6-6. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en las surgencias identificadas en la zona 1

Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Oxígeno disuelto (mg/L)	CE (µS/cm)	Caudal (L/s)	SST (mg/L)	Metales totales (mg/L)					Cadmio disuelto (mg/L)
						Cobre	Plomo	Selenio	Talio	Zinc	
FNiñC-1	7,13	3,66	1441	NE	10	0,00145	0,0072	<0,0004	<0,00002	1,28	0,00085
FNiñC-09	7,18	3,65	1990	0,11	61	0,00103	0,0566	<0,0004	<0,00002	12,43	0,00933
FNiñP-1	7,71	5,63	1044	NE	425	0,13994	0,3661	<0,0004	<0,00002	1,492	0,00086
FNiñP-2	7,61	5,38	1228	NE	<2	0,00492	0,0025	<0,0004	<0,00002	0,2461	<0,00001
FNiñP-3	7,82	6,44	1144	NE	<2	0,00206	0,0016	<0,0004	<0,00002	0,8527	<0,00001
FSanAB-01	7,46	3,85	1605	0,02	14	0,02413	0,0589	0,013	<0,00002	4,909	0,00862
FSanAB-03	8,89	5,54	132	NE	353	0,28024	2,129	<0,0004	0,00091	2,907	0,00043

<: Menor al límite de detección del laboratorio, NE: No evaluado

c. Efluente minero y agua residual industrial

En la zona 1 de la evaluación se identificó el punto de muestreo V-1, correspondiente a un vertimiento de agua residual doméstica (flujo descarga a la quebrada S/N 1 que tributa en la laguna Santa Ana Baja), cuyos resultados de los parámetros evaluados fueron comparados con los LMP, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM y D.S. N.° 003-2010-MINAM (de manera

supletoria[44]) para los parámetros demanda química de oxígeno y temperatura. Además, se caracterizó los resultados obtenidos en los puntos de muestreo de agua residual industrial Poza-MC (sedimentador bocamina Catuva) y POZA-TP (empozamiento de agua ácida aledaño al tajo Primavera). Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de parámetros fisicoquímicos registrados en el efluente minero para la zona 1, se presenta en la Tabla 6-7. Las características del flujo de descarga, presentó un valor de pH ácido (5,72 unidades) por debajo del rango establecido en los LMP aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM, y una concentración de demanda química de oxígeno de 1104 mgO_2/L, que excedió el valor LMP establecido en el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM (de manera supletoria) para demanda química de oxígeno y temperatura.

Tabla 6-7. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el agua residual doméstica de la zona 1 que excedieron los valores LMP del D.S. N.° 010-2010-MINAM y D.S. N° 003-2010-MINAM

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Demanda química de oxígeno (mgO_2/L)
Vertimiento de agua residual doméstica en la quebrada S/N tributaria a la laguna Santa Ana Baja	V-1	5,72*	10,1	448	0,47	1104
LMP para los efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM)		6 - 9	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
LMP para los efluentes de PTAR domésticas o municipales (D.S. N.° 003-2010-MINAM)		No aplica	<35	No aplica	No aplica	200

Exceden los valores LMP establecidos en el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM o Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM (de manera supletoria)

*: Cabe precisar que, de acuerdo a la ficha de verificación operacional del multiparámetro usado, el valor reportado para pH presentó un rango de incertidumbre de ±0,1 unidades.

En la misma zona evaluada, y con respecto a los dos puntos de muestreo de agua residual industrial evaluados (Poza-MC y POZA-TP), se puede indicar que, en el punto Poza-MC se presentó un valor de pH alcalino (8,27 unidades); mientras que, el punto POZA-TP reportó un valor de pH ácido (2,17 unidades). Las mayores concentraciones de cobre total (289,1 mg/L), selenio total (0,1852 mg/L), zinc total (154,5 mg/L) y cadmio disuelto (0,31695 mg/L) se registró en el punto POZA-TP; y la máxima concentración de plomo total (0,273 mg/L) se registró en el punto Poza-MC (Tabla 6-8).

[44] Según la Resolución N.° 006-2016-OEFA/TFA-SEM, en el ítem 59, se indica que: «Asimismo… en lo concerniente a que algunos parámetros específicos del Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM no estarían regulados en los LMP para efluentes minero-metalúrgicos, debe indicarse que los parámetros, tales como Coliformes Termontolerantes, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Temperatura no se encuentran regulados ni en la Resolución Ministerial N.° 011-96-EM/VMM ni en el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Por lo tanto, el Decreto Supremo N.° 003-2010-MINAM se aplicaría de manera supletoria para medir el grado de concentración de dichos parámetros en las descargas de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas provenientes de una PTAR doméstica.

Tabla 6-8. Valores de pH y concentraciones de metales en el agua residual industrial reportadas en la zona 1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Metales totales (mg/L)				Cadmio disuelto (mg/L)
			Cobre total	Plomo total	Selenio total	Zinc total	
Poza de recirculación Catuva	Poza-MC	8,27	0,01894	0,273	<0,0004	0,3914	0,00038
Empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido	POZA-TP	2,17	289,1	0,0339	0,1852	154,5	0,31695

<: Menor al límite de detección del laboratorio

d. Agua subterránea

La zona 1 se evaluó 1 punto de muestreo en el piezómetro PZ-NP-01, que se ubica en la cota inferior al depósito de desmontes Niño Perdido. A continuación, se presentan los parámetros evaluados que fueron comparados referencialmente con los ECA para agua Cat.3:D1 y D2. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua subterránea para la zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana), se presentan en la Tabla 6-9. El agua subterránea del piezómetro PZ-NP-01 presentó características alcalinas con valor de pH de 7,66 unidades; además, registró concentraciones de aluminio (7,228 mg/L), manganeso (0,38960 mg/L) y plomo (0,1551 mg/L), que excedieron referencialmente los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2, y registró una concentración de hierro que excedió de manera referencial el valor establecidos en los ECA para agua Cat.3:D1.

Tabla 6-9. Concentraciones de metales en el agua subterránea de la zona 1 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:D1 y D2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/L)				
		Cobre	Aluminio	Hierro	Manganeso	Plomo
Agua subterránea	PZ-NP-01	0,12465	7,228	12,59	0,38960	0,1551
ECA para agua Categoría 3 (D.S. N.° 004-2017-MINAM)	D1	0,2	5	5	0,2	0,05
	D2	0,5	5	No aplica	0,2	0,05

Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:D1.
Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:D1 y D2.

6.2.1.2 Sedimento y lodo

En esta sección se describen los resultados para los ensayos de granulometría, pH, metales totales, índice de geoacumulación, análisis mineralógico y metales obtenidas mediante el procedimiento de lixiviación por precipitación sintética (en adelante, SPLP[45]); realizados en las diferentes muestras de sedimento de la zona 1.

[45] Procedimiento de lixiviación por precipitación sintética - SPLP (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*).

En cuanto a las concentraciones de metales registradas en el sedimento de la zona 1, solo se presentan aquellas que excedieron los valores de los estándares *Interim sediment quality guidelines* (en adelante, ISQG) y *Probable effect level* (en adelante, PEL) de la guía canadiense.

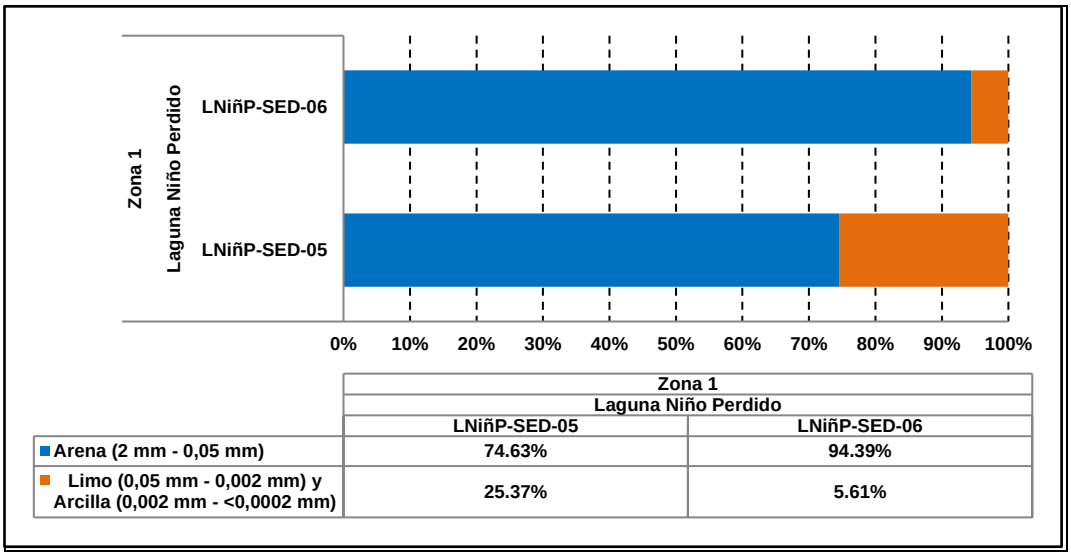
Además, los puntos considerados como lodo no se comparan en términos de calidad, por lo que, sus valores obtenidos de pH, concentraciones registradas de metales y aquellas obtenidas mediante el SPLP; se exponen de acuerdo a lo reportado por el laboratorio acreditado.

La zona 1 de la evaluación corresponde a la microcuenca de la laguna Santa Ana, en total se evaluaron 18 puntos de muestreos, de los cuales 12 corresponden a cuerpos lénticos (lagunas), 4 a cuerpos lóticos (quebradas) y 2 a lodos de las pozas de recirculación.

La distribución está definida desde las áreas que se encuentran fuera de la influencia de las operaciones mineras hasta el cuerpo receptor final (laguna Santa Ana). Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Granulometría

En la Figura 6-11, se aprecia que el sedimento evaluado en los puntos de muestreo LNiñP-SED-05 y LNiñP-SED-06 (laguna Niño Perdido), presentan como material predominante la arena (76,63 % y 94,39 % respectivamente) y en menor proporción se encontró el limo y la arcilla (25,37 % y 5,61 % respectivamente).



	Zona 1 Laguna Niño Perdido	
	LNiñP-SED-05	LNiñP-SED-06
Arena (2 mm - 0,05 mm)	74.63%	94.39%
Limo (0,05 mm - 0,002 mm) y Arcilla (0,002 mm - <0,0002 mm)	25.37%	5.61%

Figura 6-11. Granulometría del sedimento de la laguna Niño Perdido de la zona 1

b. pH y metales

Los valores de pH en las lagunas de la zona 1, presentaron un comportamiento neutro a alcalino (de 7,30 a 8,39 unidades), igualmente en la quebrada S/N 9 se registró un valor alcalino (8,18 unidades de pH); sin embargo, en el punto QNiñC-04, se registró un valor de pH ácido (5,59 unidades). Los resultados de pH se presentan en la Tabla 6-10.

En los puntos de muestreo de lodo (Poza-MC y Poza-MC-A) provenientes de las pozas de recirculación, los valores de pH registraron un promedio de 8,12 unidades. Estos puntos de muestreo se encuentran cerca a la quebrada S/N 10 (QSanAB-02), quebrada que conecta las aguas de la laguna Niño Perdido con la laguna Santa Ana, por medio de un sistema de bombeo.

Respecto a los metales, la totalidad de los puntos de muestreo registraron concentraciones de arsénico que excedieron el valor PEL de la guía canadiense (17 mg/kg PS). El valor más alto (217,5 mg/kg PS) se registró en la laguna Santa Ana, (LSanB-SED-09), que excedió en 12 veces el valor PEL de la guía canadiense. El valor más bajo se registró en la laguna Locacocha (LLoca-SED-10) con una concentración de 22,1 mg/kg PS. Los resultados de metales se muestran en la Tabla 6-10.

El 92 % (11/12) de las concentraciones de plomo y zinc registradas en los puntos de lagunas excedieron los valores PEL de la guía canadiense, registrándose el valor máximo en la laguna Santa Ana (LSanB-SED-09) que excedió en 57 y 36 veces los valores en mención (315 y 91,3 mg/kg PS respectivamente). En la mayoría de los puntos (> 83 %), las concentraciones registradas de cadmio y cobre excedieron los valores PEL de la guía canadiense. En la laguna Santa Ana (LSanB-SED-09) se registraron las máximas concentraciones de cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc (36,9; 2318; 0,29; 5241 y 11533 mg/kg PS respectivamente).

Referente a las quebradas evaluadas, las concentraciones de arsénico, cadmio y zinc reportadas en el punto QSanAB-02 excedieron los valores PEL de la guía canadiense, con 114,5, 28,4 y 7007 mg/kg PS respectivamente; asimismo, en el punto QSanAB-01, se obtuvo concentraciones de cobre (824,9 mg/kg PS) y plomo (2948 mg/kg PS), que excedieron los valores PEL de la guía referida.

De forma referencial, y para efectos de caracterización, se tomaron muestras de lodos en las pozas de recirculación antes del punto QSanAB-02, donde se registraron concentraciones altas en metales de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc. El análisis de metales totales en las muestras de lodo, indica que en el punto Poza-MC-A se presentó las mayores concentraciones de arsénico (198,8 mg/kg PS), cadmio (31,2 mg/kg PS), cobre (1093 mg/kg PS), mercurio (0,23 mg/kg PS) y zinc (8645 mg/kg PS); sin embargo, presentó valores mínimos en el cromo (7,8 mg/kg PS) y plomo (4049 mg/kg PS) respecto al otro punto de poza de recirculación (Tabla 6-10).

Tabla 6-10. Resultados de pH y metales para muestras de sedimento y lodo de la zona 1

Cuerpos de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Metales totales (mg/kg PS)					
			As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Sedimento								
Laguna Locacocha	LLoca-SED-01	7,92	136,6	6,5	641,5	0,04	380	1309
	LLoca-SED-12	7,63	135,5	6,5	751,7	0,04	435	1474
	LLoca-SED-11-A	8,12	59,7	3,6	273,1	<0,01	142	662,5
	LLoca-SED-11-B	8,10	55	3	256,5	0,01	116	503,1
	LLoca-SED-10	8,39	22,1	1,7	76,6	<0,01	52	149,8
Quebrada S/N 9	QLSN-01	8,18	70,2	4,8	94,3	0,04	761	760,1
Quebrada S/N 5	QNiñC-04	5,59	52,1	2,6	153	0,02	86	389,6
Laguna Niñococha	LNiñC-SED-01	7,75	62,8	4,5	277,8	0,01	232	929,1
	LNiñC-SED-07	7,70	78,8	9	1245	0,05	854	3062
	LNiñP-SED-05	7,89	46,2	3,7	182,6	0,03	268	726,5

Cuerpos de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Metales totales (mg/kg PS)					
			As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Sedimento								
Laguna Niño Perdido	LNiñP-SED-04	7,80	100,3	8,3	879,6	0,09	796	2287
	LNiñP-SED-06	7,73	57,5	6,4	1046	0,03	430	2035
Quebrada S/N 1	QSanAB-01	7,96	114,3	23,2	824,9	0,19	2948	6124
Quebrada S/N 10	QSanAB-02	7,86	114,5	28,4	487,2	0,18	2880	7007
Laguna Santa Ana	LSanB-SED-08	7,66	125,6	21,5	1465	0,18	2821	6255
	LSanB-SED-09	7,30	217,5	36,9	2318	0,29	5241	11533
CEQG-SQG	ISQG	No aplica	5,9	0,6	35,7	0,17	35,0	123
	PEL		17,0	3,5	197	0,486	91,3	315
Lodo								
Poza de recirculación Catuva	Poza-MC	8,29	113,1	27,1	631,8	0,21	4263	7014
Poza de recirculación Catuva (Tubo enterrado)	Poza-MC-A	7,94	198,8	31,2	1093	0,23	4049	8645

(a) *Interim sediment quality guidelines* (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos.
(b) *Probable effect level* (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que incumplen el valor de ISQG de la CEQG-SQG.
: Concentraciones que incumplen el valor de PEL de la CEQG-SQG.
<: Menor al límite de detección del laboratorio

c. Índice de geoacumulación

Se determinó el valor de fondo geoquímico (Bn) para los metales arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc, en los sedimentos evaluados en la zona 1. Para ello, se consideraron aquellos puntos que no tuvieron influencia de actividades mineras, correspondientes a la laguna Locacocha (LLoca-SED-01, LLoca-SED-10, LLoca-SED-11-A, LLoca-SED-11-B y LLoca-SED-12) y las quebradas S/N 9 y S/N 5 (QLSN-01 y QNiñC-04). En la Tabla 6-11 se presenta los valores de fondo geoquímico de la zona 1.

Tabla 6-11. Valor de fondo geoquímico (Bn) en los sedimentos evaluados en la zona 1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/kg PS)						
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
Laguna Locacocha	LLoca-SED-01	136,6	6,5	641,5	10,4	0,04	380	1 309
	LLoca-SED-12	135,5	6,5	751,7	11,6	0,04	435	1 474
	LLoca-SED-11-B	55	3	256,5	3,4	0,01	116	503,1
	LLoca-SED-10	22,1	1,7	76,6	4,7	<0.01	52	149,8
	LLoca-SED-4*	80	3,172	276	6,6	<0,03	197	932
	$Bn_{(Lénticos)}$	85,8	4,17	400,46	7,34	0,03	236,00	873,58
Quebrada S/N 9	QLSN-01	70,2	4,8	94,3	6	0,04	761	760
Quebrada S/N 5	QNiñC-04	52,1	2,6	153	7,3	0,02	86	390
	$Bn_{(Lóticos)}$	61,15	3,7	123,65	6,65	0,03	423,5	574,85

*: Información extraída del «Informe de evaluación ambiental en doce lagunas y sus principales tributarios, ubicados en la subcuenca Lauricocha y la parte alta de la cuenca Huaura, durante el año 2017», aprobado mediante INFORME N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME, con fecha 21 de diciembre de 2017.
<: Menor al límite de detección del laboratorio

En la Tabla 6-12 se presenta los Igeo en cuerpos lénticos (puntos en lagunas Niñococha, Niño Perdido y Santa Ana) y lóticos (puntos en quebradas S/N 1 y S/N 10), en donde para los metales de plomo y zinc se registraron valores de Igeo que

van de 2,99 (sedimento moderadamente a fuertemente contaminado) a 3,89 (sedimento fuertemente contaminado) y de 2,26 (sedimento moderadamente a fuertemente contaminado) a 3,14 (sedimento fuertemente contaminado), en los puntos LSanB-SED-08 y LSanB-SED-09 respectivamente.

Además, para el caso de los metales de cadmio y mercurio, y cobre se registraron valores de Igeo de 2,56 y 2,69, y 2,75 en los puntos LSanB-SED-09 y QSanAB-02 respectivamente, que corresponden a un sedimento moderadamente a fuertemente contaminado.

Tabla 6-12. Índices de geoacumulación obtenidos para la zona 1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Índice de geoacumulación (Igeo)						
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
Laguna Niñococha	LNiñC-SED-01	-1,04	-0,48	-1,11	-0,95	-2,17	-0,61	-0,50
	LNiñC-SED-07	-0,71	0,52	1,05	0,11	0,15	1,27	1,22
Laguna Niño Perdido	LNiñP-SED-05	-1,48	-0,76	-1,72	-0,70	-0,58	-0,40	-0,85
	LNiñP-SED-04	-0,36	0,41	0,55	-0,15	1,00	1,17	0,80
	LNiñP-SED-06	-1,16	0,03	0,80	-0,98	-0,58	0,28	0,64
Laguna Santa Ana	LSanB-SED-08	-0,04	1,78	1,29	-0,57	2,00	2,99	2,26
	LSanB-SED-09	0,76	2,56	1,95	0,23	2,69	3,89	3,14
Quebrada S/N 1	QSanAB-01	-0,55	-0,30	0,58	-0,81	-2,17	-1,45	0,11
Quebrada S/N 10	QSanAB-02	-0,22	0,70	2,75	0,25	0,15	0,43	1,83

No contaminado (Igeo<0)
No contaminado a moderadamente contaminado (0<Igeo<1)
Moderadamente contaminado (1<Igeo<2)
Moderadamente a fuertemente contaminado (2<Igeo<3)
Fuertemente contaminado (3<Igeo<4)

d. Análisis mineralógico

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1 %. Sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro este se incrementa a 3 %, la cuantificación de fases amorfas se evaluó a partir de 20 % de contenido en la muestra. El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

En la Tabla 6-13 se presentan los resultados del análisis mineralógico en la laguna Niño Perdido (LNiñP-SED-06), donde se tomó una muestra de sedimento, en la cual predominaron minerales cuya composición principal es la sílice (cuarzo, plagioclasa y feldespato) y carbonato de calcio en un 16 %; asimismo, la presencia de clorita y pirita estuvieron por debajo del límite de detección.

Tabla 6-13. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos X en la muestra LNiñP-SED-06

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO2	27
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	18
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	16
Calcita	CaCO3	16
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	8
Montmorillonita	(Na,Ca)0,3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2 n(H2O)	3
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	3

Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	3
Anfibol (Actinolita)	Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)2	2
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	<L.D.
Pirita	FeS2	<L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

En la laguna Santa Ana, el resultado del análisis mineralógico en el sedimento (LSanB-SED-08), presentó minerales de calcita (28 %), feldespato (18 %), cuarzo (17 %) y plagioclasa (15 %) en mayor proporción; mientras que, se registró la presencia de minerales como esfalerita, pirita y anfibol, cuyos porcentajes estuvieron por debajo del límite de detección (Tabla 6-14).

Tabla 6-14. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos X en la muestra LSanB-SED-08

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Calcita	CaCO3	28
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	18
Cuarzo	SiO2	17
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	15
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	6
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	4
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	4
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	3
Esfalerita	(Zn,Fe)S	<L.D.
Pirita	FeS2	<L.D.
Anfibol (Actinolita)	Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)2	<L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

e. SPLP

En la Tabla 6-15 se observa los resultados del análisis de lixiviación en muestras de sedimento en lagunas y muestras de lodos de la zona 1. Los valores de azufre y calcio presentaron las mayores concentraciones tanto en el punto LNiñC-SED-07 (sedimento) como en el punto Poza-MC-A (lodo).

Tabla 6-15. Resultados de SPLP de muestras de sedimento en lagunas y de lodos de la zona 1

Metales (mg/L)	Sedimento				Lodo	
	LLoca-SED-10	LNiñC-SED-07	LNiñP-SED-05	LNiñP-SED-06	Poza-MC	Poza-MC-A
Aluminio	0,423	<0,032	0,099	0,245	0,112	<0,032
Azufre	<4	37	8	18	12	180
Bario	<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	0,0162	0,023
Calcio	9,64	56,4	19,5	27,9	20,1	217
Cobre	0,0193	0,015	0,0084	0,0525	0,005	<0,0036
Estroncio	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,166	0,561
Hierro	<0,04	<0,04	<0,04	0,14	<0,04	<0,04
Litio	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	0,022
Magnesio	<0,31	0,43	0,41	0,79	0,43	1,3
Manganeso	0,003	0,033	0,042	0,375	0,049	0,263
Molibdeno	<0,012	0,015	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Plomo	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,06
Potasio	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85	2	2,1
Selenio	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
Sílice	<2,7	<2,7	5,1	3,8	3	<2,7
Sodio	<0,264	0,42	<0,264	<0,264	0,598	1,13

<: Menor al límite de detección del laboratorio

6.2.1.3 Suelo

La zona 1 corresponde a la microcuenca de la laguna Santa Ana, comprende 3 API, donde en total se evaluaron 65 puntos de muestreo de suelos: 22 (API Niño Perdido 1), 12 (API Niño Perdido 2) y 31 (API Primavera), además se evaluaron 3 muestras compuestas (API_NNP_25, API_NNP_26 y API_NNP2_13); estos puntos se encuentran ubicados en zonas aledañas al depósito de desmonte Niño Perdido.

En esta sección se describen los resultados para los ensayos de textura, granulometría, pH, materia orgánica, metales totales, prueba estática de balance ácido-base (en adelante, ABA[46]) y extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier (en adelante, extracción secuencial), realizados en las diferentes muestras de sedimento de la zona 1.

En cuanto a, las concentraciones de metales registradas en las muestras de suelos de las API Niño Perdido 1, Niño Perdido 2 y Primavera; solo se presentan aquellas que excedieron referencialmente los valores de los ECA para suelo de uso industrial/extractivo. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Textura

En el API Niño Perdido 2, se realizó el análisis textural (Figura 6-12) para la muestra compuesta API_NNP2_13, la cual presentó una textura franco arenosa en una proporción de 75 % de arena, 15 % de limo y 10 % de arcilla.

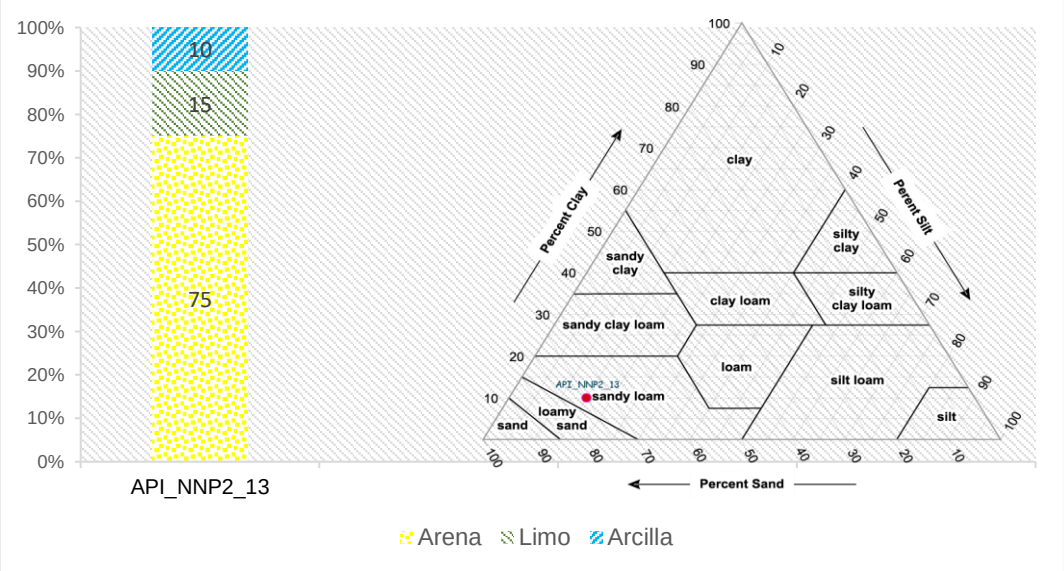


Figura 6-12. Porcentaje de arena, limo, arcilla, y triángulo textural en la muestra API_NNP2_13

b. Granulometría

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelos dada. Para el

[46] Prueba de balance ácido-base ABA (*Acid-Base Accounting*).

caso de la muestra compuesta API_NNP2_13, presentó un 35,07 % de diámetro de partícula de 150 µm (Figura 6-13).

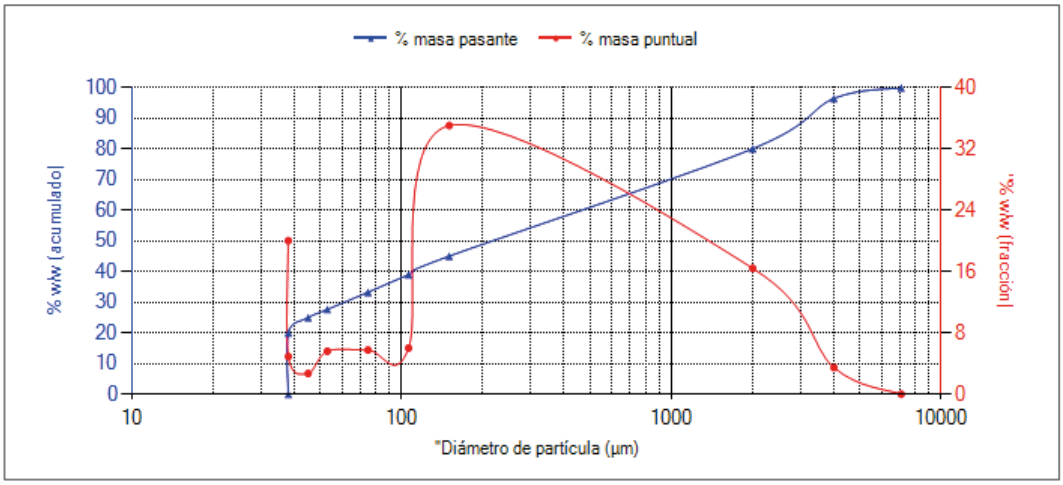


Figura 6-13. Curva granulométrica de la muestra API_NNP2_13 en el suelo del API Niño Perdido
Fuente: Informe de ensayo N.° S-18/027647 emitido por AGQ PERÚ S.A.C.

c. pH y materia orgánica

Los términos de clase de reacción se usan comúnmente para comunicar información sobre el pH del suelo, de acuerdo a las clases de reacción para las 3 muestras compuestas el suelo evaluadas en las API Niño Perdido 1 y 2, las cuales son ligeramente alcalino; asimismo, para esas mismas muestras se registran altos porcentajes de materia orgánica. Cabe resaltar que, los mayores valores de ambos parámetros mencionados se registraron en la muestra API_NNP_26 (Tabla 6-16).

Tabla 6-16. Resultados de pH y materia orgánica en las API Niño Perdido 1 y 2

Parámetros	Unidad	API Niño Perdido 1		API Niño Perdido 2
		API_NNP_25	API_NNP_26	API_NNP2_13
pH	Unidades de pH	7,46	7,79	7,63
Materia orgánica	%	7,3	7,8	5,8

Fuente: Informe de ensayo N.° SAA-18/00837 emitido por AGQ PERÚ S.A.C. e informe de ensayo N.° MA-1813640 emitido por SGS DEL PERÚ S.A.C.

d. Metales

Los resultados de las concentraciones de metales de arsénico, cadmio y plomo en suelos para la zona 1, se presentan en las Figuras 6-14, 6-15 y 6-16 respectivamente. En relación a, las concentraciones de arsénico registradas en el API Primavera, el 13 % (4/31) de los puntos muestreados excedieron referencialmente los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (140 mg/kg), donde la concentración máxima se registró en el punto de muestreo API_TP_25 (288,3 mg/kg); en tanto que, en el API Niño Perdido 1, solo el punto de muestreo API_NNP_6 (146,3 mg/kg) excedió de manera referencial el valor establecido en la normativa en mención.

Referente a, las concentraciones de cadmio reportadas en el API Primavera, el 10 % (3/31) de los puntos muestreados excedieron de manera referencial los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (22 mg/kg), donde la mayor concentración se presentó en el punto de muestreo API_TP_27 (87,9 mg/kg); mientras que, en el API

Niño Perdido 1, solo el punto de muestreo API_NNP_6 (45,2 mg/kg) excedió referencialmente el valor establecido en la normativa en mención.

Las mayores concentraciones de plomo se registraron en el API Primavera, el 42 % (13/31) de los puntos muestreados excedieron referencialmente los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (800 mg/kg), cuya concentración máxima se presentó en el punto API_TP_25 (11549 mg/kg); mientras que, en el API Niño Perdido 2, solo los puntos de muestreo API_NNP2_8 (843 mg/kg) y API_NNP2_10 (2586 mg/kg) excedieron de manera referencial los valores estipulados en la norma referida.

Por último, las concentraciones de arsénico y cadmio registradas en todos los puntos muestreados del API Niño Perdido 2, y las de plomo obtenidas en la totalidad de puntos del API Niño Perdido 1; no excedieron referencialmente los valores establecidos en la norma vigente.

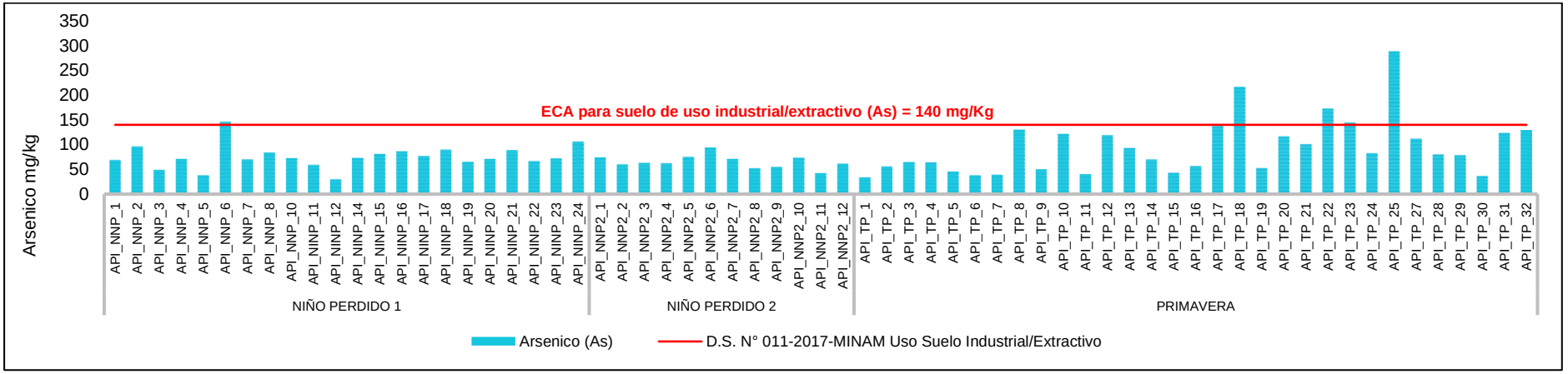


Figura 6-14. Concentraciones de arsénico en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

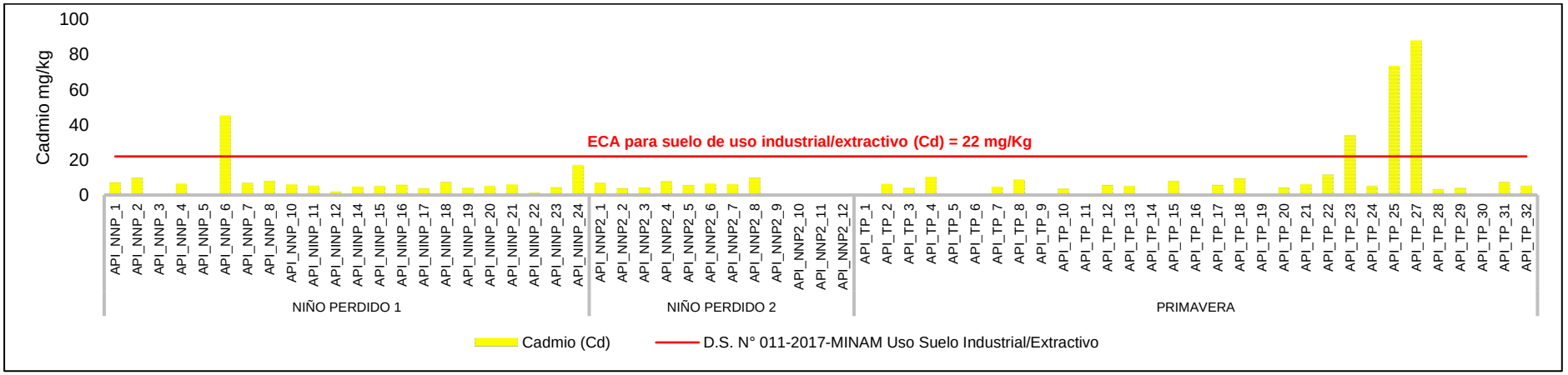


Figura 6-15. Concentraciones de cadmio en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

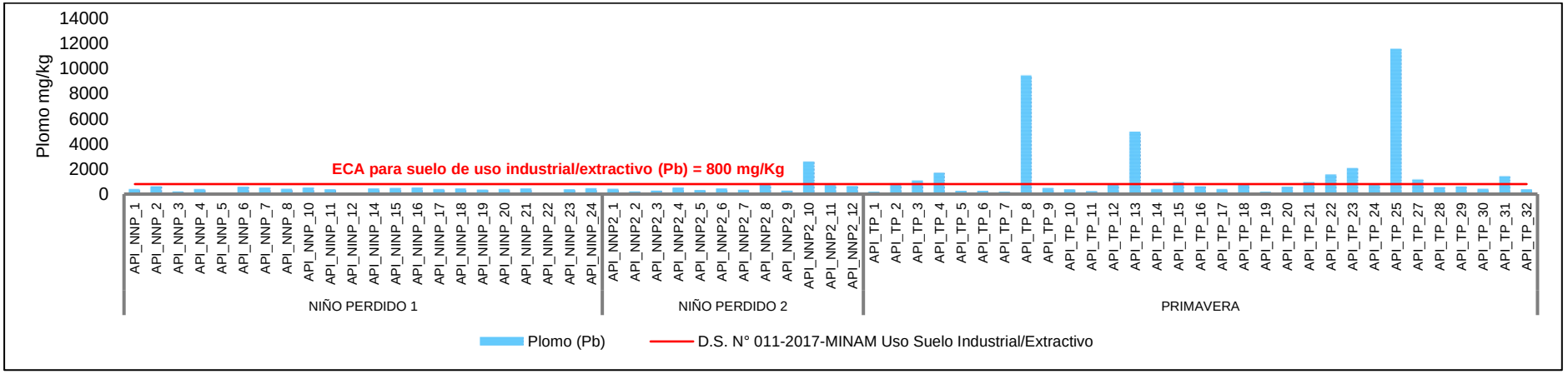


Figura 6-16. Concentraciones de plomo en las API Niño Perdido 1 y 2, y Primavera comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

e. ABA

En la Tabla 6-17, se muestran los resultados de reacción de suelo por el método de pH en pasta en las muestras de suelo del API Primavera de la zona 1, donde según el Soil Survey Manual (2017), los términos de clase de reacción se usan comúnmente para comunicar información sobre el pH del suelo. De acuerdo a las clases de reacción tenemos: ultra ácidos (API_TP_12); extremadamente ácidos (API_TP_8, API_TP_17, API_TP_20, API_TP_21, API_TP_24, API_TP_30); muy fuertemente ácido (API_TP_28, API_TP_32); fuertemente ácido (API_TP_16, API_TP_22, API_TP_23, API_TP_27, API_TP_31); moderadamente ácido (API_TP_5, API_TP_13); ligeramente ácido (API_TP_18), neutro (API_TP_1, API_TP_10, API_TP_19, API_TP_29); ligeramente alcalino (API_TP_2, API_TP_3, API_TP_4, API_TP_9, API_TP_14, API_TP_25); y moderadamente alcalino (API_TP_6, API_TP_7, API_TP_11, API_TP_15).

Referente a, los resultados de ABA para definir la generación de acidez, y considerando el primer criterio de análisis, 19 puntos de muestreo son potenciales generadores de acidez; 7 puntos de muestreo son potenciales no generadores de acidez, y 5 puntos de muestreo se encuentran en incertidumbre (Tabla 6-17).

Tabla 6-17. Resultados de prueba ABA, según el primer criterio, en muestras de suelo del API Primavera de la zona 1

Punto de muestreo	pH en pasta	Potencial de Neutralización Sobek	Potencial de Acidez Máximo (MPA)	Potencial de Neutralización Neto (NNP)	Ratio Potencial de Neutralización (RNP)	NNP-MPA	PGA/ PNGA/ Incertidumbre
API_TP_1	7,21	10,1	3,13	6,97	3,23	3,84	Incertidumbre
API_TP_2	7,36	45,7	8,75	37	5,22	28,25	PNGA
API_TP_3	7,88	134	5	129	26,80	124	PNGA
API_TP_4	7,82	83,5	141	-57,5	0,59	-198,5	PGA
API_TP_5	5,99	7,61	0,625	6,99	12,18	6,365	Incertidumbre
API_TP_6	7,94	118	1,56	116	75,64	114,44	PNGA
API_TP_7	8,08	184	7,5	177	24,53	169,5	PNGA
API_TP_8	4,34	12,5	138	-126	0,09	-264	PGA
API_TP_9	7,79	12,3	0,313	12	39,30	11,687	Incertidumbre
API_TP_10	7,02	27,3	9,06	18,2	3,01	9,14	Incertidumbre
API_TP_11	8,4	123	0,938	122	131,13	121,062	PNGA
API_TP_12	3,03	0	438	-438	0,00	-876	PGA
API_TP_13	5,66	12,8	81,3	-68,5	0,16	-149,8	PGA
API_TP_14	7,53	67,2	0,625	66,6	107,52	65,975	PNGA
API_TP_15	8,07	122	12,5	110	9,76	97,5	PNGA
API_TP_16	5,13	11,1	87,5	-76,4	0,13	-163,9	PGA
API_TP_17	3,74	1,72	531	<-500	0,00	No aplica	PGA
API_TP_18	6,12	18,9	594	<-500	0,03	No aplica	PGA
API_TP_19	6,63	0	0,625	-0,63	0,00	-1,255	Incertidumbre
API_TP_20	4,4	8,85	344	-335	0,03	-679	PGA
API_TP_21	4,1	0	172	-172	0,00	-344	PGA
API_TP_22	5,13	4,41	625	<-500	0,01	No aplica	PGA

Punto de muestreo	pH en pasta	Potencial de Neutralización Sobek	Potencial de Acidez Máximo (MPA)	Potencial de Neutralización Neto (NNP)	Ratio Potencial de Neutralización (RNP)	NNP-MPA	PGA/ PNGA/ Incertidumbre
API_TP_23	5,38	16,5	438	-422	0,04	-860	PGA
API_TP_24	4,44	4,92	150	-145	0,03	-295	PGA
API_TP_25	7,8	211	194	17	1,09	-177	PGA
API_TP_27	5,13	18,7	469	-450	0,04	-919	PGA
API_TP_28	4,86	13,1	213	-200	0,06	-413	PGA
API_TP_29	7,36	156	175	-19	0,89	-194	PGA
API_TP_30	3,72	0	125	-125	0,00	-250	PGA
API_TP_31	5,46	13,5	294	-281	0,05	-575	PGA
API_TP_32	4,48	0	313	-313	0,00	-626	PGA

Para un PNN que varía entre -20 y +20 kg CaCO3/Ton de muestra, se encuentra en un rango de «incertidumbre». Para valores mayores a +20 kg CaCO3/Ton, se considera a la muestra con «potencial no generador de ácido»; mientras que para valores menores a -20 kg CaCO3/Ton se considera con «potencial generador de ácido»

f. Extracción secuencial de metales por Tessier

La determinación de la biodisponibilidad de algunos analitos en el suelo se realizó mediante el ensayo de extracción secuencial a través de la metodología de Tessier. Se realizó la toma de 2 muestras de suelo (API_NNP2_13 y API_NNP2_25) para realizar dicho análisis. Los resultados de extracción secuencial de metales en suelo se detallan en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

De acuerdo a la Figura 6-17, correspondiente al punto API_NNP2_13, se observa que el arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo presentaron concentraciones bajas en las fracciones 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario y plomo que registraron concentraciones de 4,7 y 25,8 mg/kg respectivamente, en la fracción 2 relacionadas a la biodisponibilidad de estos metales por cambios de pH en el sistema. Además, las concentraciones de bario (3,5 mg/kg), cromo (5,2 mg/kg) y plomo (192 mg/kg) estuvieron relacionadas a la biodisponibilidad en la fracción 3; las concentraciones de arsénico, bario, cromo y plomo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con la fracción 4, y solo el cadmio se registra con igual concentración tanto en la fracción 4 como 5.

En la Figura 6-18, se muestra que el punto API_NNP2_25 registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario y plomo que registraron concentraciones de 4,3 y 5,25 mg/kg respectivamente, en la fracción 2 relacionadas a la biodisponibilidad de estos metales por cambios de pH en el sistema. Asimismo, las concentraciones de bario (5,3 mg/kg), cromo (6,5 mg/kg) y plomo (137 mg/kg) se relacionaron a la biodisponibilidad en la fracción 3; las concentraciones de arsénico, bario, cromo y plomo que se registra en la fracción 4 fueron menores en comparación con la fracción 5, y solo el cadmio se presenta con igual concentración tanto en la fracción 4 como 5.

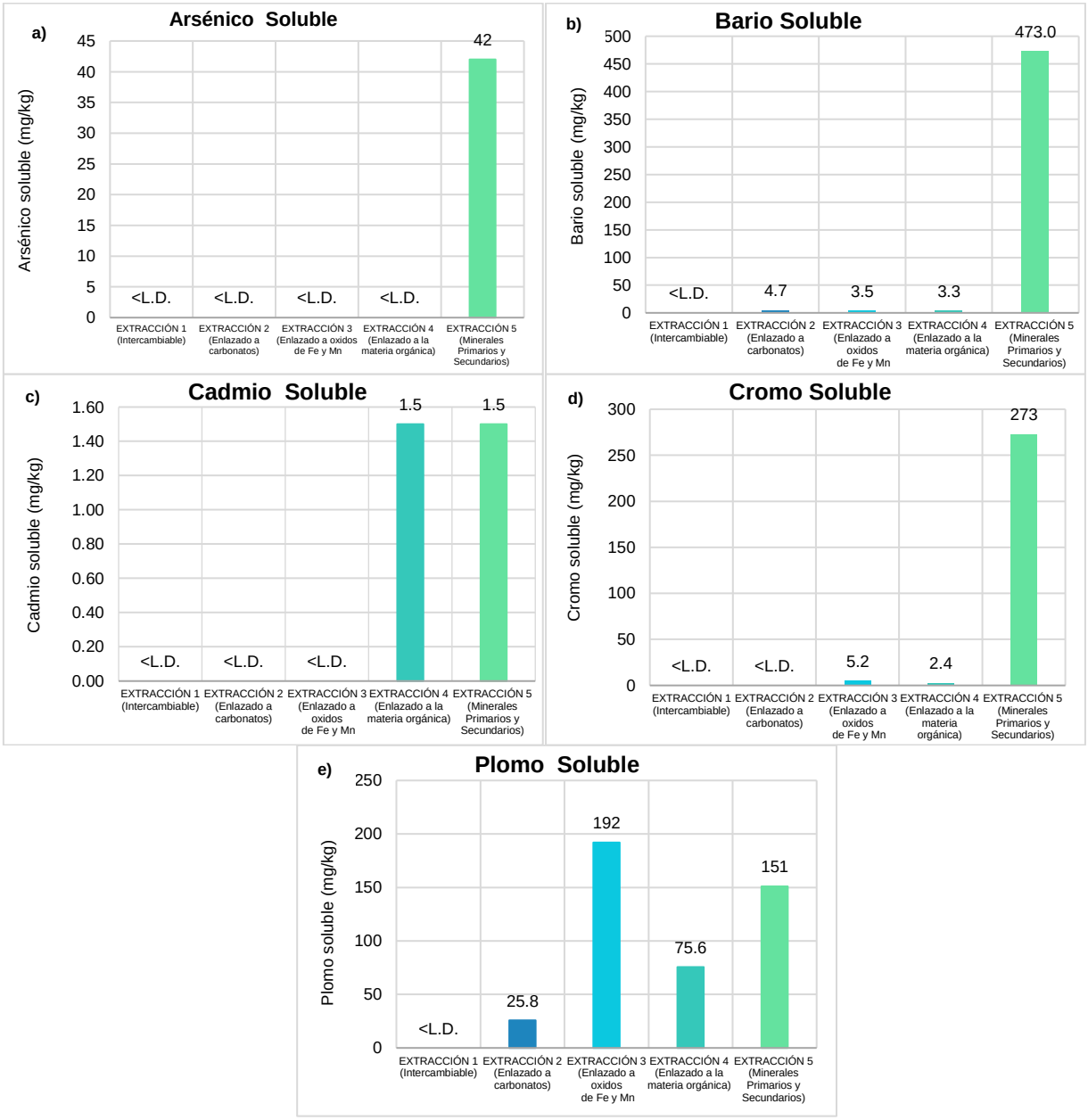


Figura 6-17. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NNP2_13 de la zona 1

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

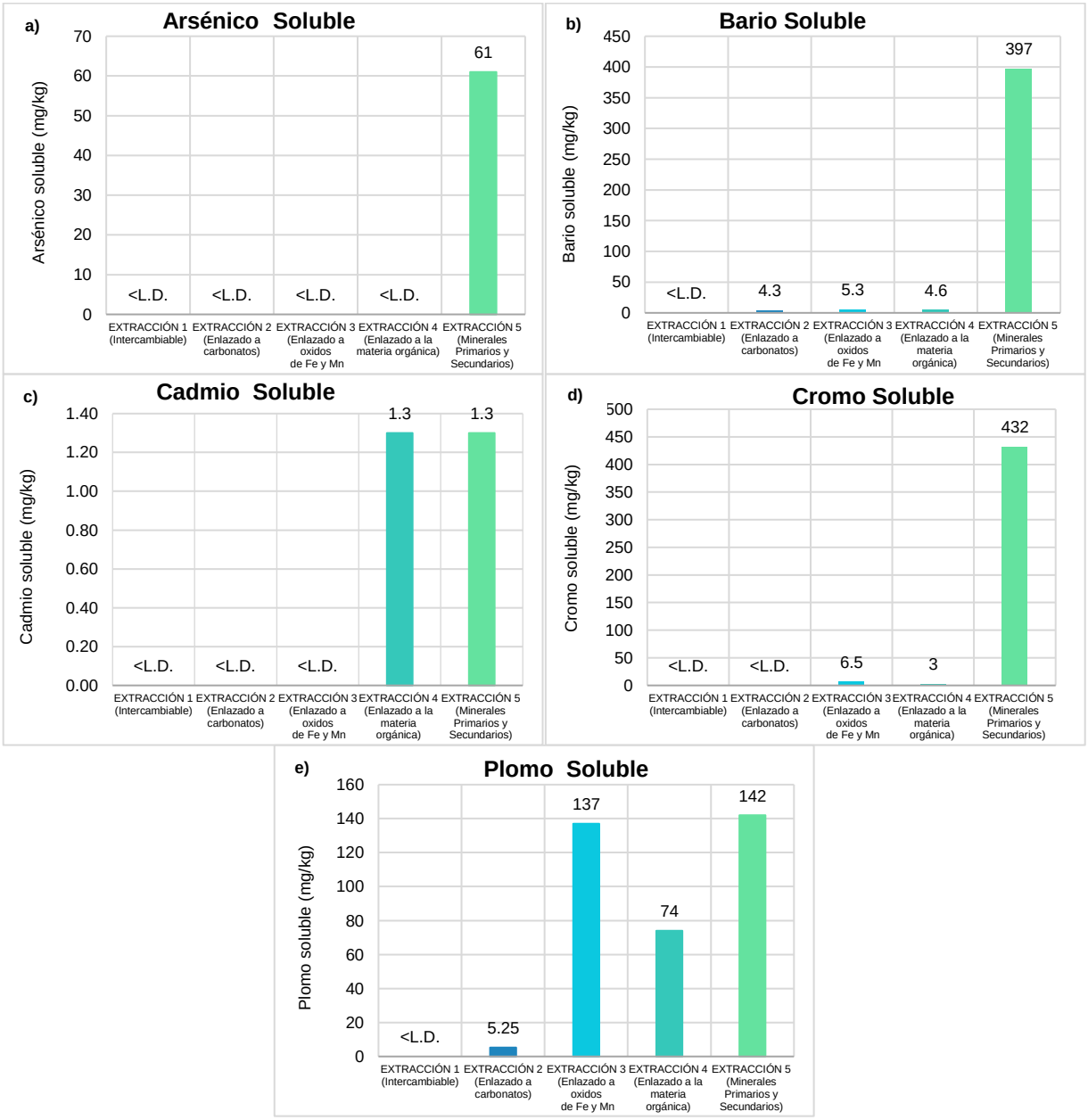


Figura 6-18. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NNP_25 de la zona 1
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

6.2.2 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha)

6.2.2.1 Agua

a. Agua superficial

La zona 2 en la evaluación correspondió a la microcuenca de la laguna Caballococha y Tinquicocha, en total se evaluaron 5 puntos de muestreo en quebradas: 1 (quebrada S/N 2) , 1 (salida de la laguna Siete Caballeros), 1 (ingreso a la laguna Caballococha), 1 (quebrada S/N 3) y 1 (quebrada S/N 4), y 42 puntos de muestreo en lagunas: 4 (laguna Siete Caballeros), 19 (laguna Caballococha), 5 (lagunas Nieve Ucro I, II y Laguna 3) y 14 (laguna Tinquicocha). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros evaluados que fueron comparados referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua superficial para la zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha), se presentan en la Tabla 6-18. En cuanto al registro de los valores de nitrógeno total en las quebradas y lagunas evaluadas, solo en el punto L7Caba-01 (0,691 mg/L) se excedió el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1.

Respecto a las concentraciones de selenio registradas en las quebradas y lagunas, solo en el punto de quebrada QL7Caba-02 y los puntos de lagunas Nieve Ucro I (LNieU-01 y LNieU-04) y Laguna 3 (LNieU-08) se excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1. Mientras que, solo en el punto de quebrada QL7Caba-02 se reportó una concentración de talio total que excedió el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1.

Las concentraciones de plomo total obtenidas en las quebradas y lagunas, excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1, a excepción de las registradas en los puntos QL7Caba-01, QL7Caba-02, QLTinq-01, QLTinq-02, L7Caba-01, L7Caba-02, L7Caba-03, L7Caba-04, LNieU-01, LNieU-04, LTinq-01, LTinq-02-F, LTinq-09, LTinq-09-F, LTinq-10, LTinq-13, LTinq-18, LTinq-19 y LTinq-19-F, que no excedieron el valor establecido en la norma en mención.

Referente a las concentraciones de zinc total y cadmio disuelto reportadas en los puntos de muestreo en quebradas y lagunas; solo en LTinq-01, LTinq-02, LTinq-02-T, LTinq-02-F, LTinq-09, LTinq-09-T, LTinq-09-F, LTinq-10, LTinq-13, LTinq-16, LTinq-18, LTinq-19, LTinq-19-T y LTinq-19-F; se excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1.

Tabla 6-18. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua superficial de la zona 2 que excedieron los valores de los ECA para agua Cat.4:E1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Nitrógeno total (mg/L)	Metales totales (mg/L)					Cadmio disuelto (mg/L)
			Cobre	Plomo	Selenio	Talio	Zinc	
Ingreso a Laguna Caballococha	QCaba-01	NE	0,00174	0,0076	<0,0004	<0,00002	0,0271	<0,00001
Laguna Siete Caballeros	L7Caba-01	0,691	0,0009	0,0019	<0,0004	<0,00002	0,0141	<0,00001
Salida de la Laguna Siete Caballeros	QL7Caba-02	<0,020	0,00047	0,0004	0,0091	0,00082	<0,0100	< 0,00001

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Nitrógeno total (mg/L)	Metales totales (mg/L)					Cadmio disuelto (mg/L)
			Cobre	Plomo	Selenio	Talio	Zinc	
Laguna Caballococha	LCaba-01	<0,020	0,00427	0,0253	<0,0004	<0,00002	0,0457	<0,00001
	LCaba-02	<0,020	0,00388	0,0259	<0,0004	<0,00002	0,0446	<0,00001
	LCaba-02-F	NE	0,00405	0,0316	<0,0004	<0,00002	0,0481	<0,00001
	LCaba-03	<0,020	0,00386	0,0278	<0,0004	<0,00002	0,0437	<0,00001
	LCaba-04	<0,020	0,00381	0,0329	<0,0004	<0,00002	0,049	<0,00001
	LCaba-04-T	NE	0,00428	0,0359	<0,0004	<0,00002	0,0528	<0,00001
	LCaba-04-F	NE	0,00424	0,0352	<0,0004	<0,00002	0,0516	<0,00001
	LCaba-07	<0,020	0,00334	0,0269	<0,0004	<0,00002	0,049	<0,00001
	LCaba-07-T	NE	0,00366	0,0285	<0,0004	<0,00002	0,053	<0,00001
	LCaba-07-F	NE	0,0041	0,0286	<0,0004	<0,00002	0,0486	<0,00001
	LCaba-08	<0,020	0,00359	0,0265	<0,0004	<0,00002	0,0459	<0,00001
	LCaba-08-T	NE	0,0052	0,0366	<0,0004	<0,00002	0,0588	<0,00001
	LCaba-08-F	NE	0,00476	0,0307	<0,0004	<0,00002	0,053	<0,00001
	LCaba-12	<0,020	0,00342	0,0238	<0,0004	<0,00002	0,0434	<0,00001
	LCaba-12-T	NE	0,00354	0,0243	<0,0004	<0,00002	0,0436	<0,00001
	LCaba-12-F	NE	0,00252	0,0181	<0,0004	<0,00002	0,0442	<0,00001
	LCaba-14	<0,020	0,00325	0,0195	<0,0004	<0,00002	0,045	<0,00001
	LCaba-14-T	NE	0,00352	0,0241	<0,0004	<0,00002	0,0455	<0,00001
	LCaba-14-F	NE	0,0034	0,0214	<0,0004	<0,00002	0,0437	<0,00001
Laguna Nieve Ucro I	LNieU-01	<0,020	0,00784	0,0023	0,0077	<0,00002	0,0214	<0,00001
	LNieU-04	<0,020	0,00311	0,002	0,0083	<0,00002	0,016	<0,00001
Laguna Nieve Ucro II	LNieU-06	<0,020	0,01065	0,0119	0,0047	<0,00002	0,0263	<0,00001
	LNieU-07	<0,020	0,01076	0,0142	0,0047	<0,00002	0,023	<0,00001
Laguna 3	LNieU-08	<0,020	0,00196	0,0031	0,0065	<0,00002	0,0138	<0,00001
Laguna Tinquicocha	LTinq-01	<0,020	0,00171	0,0019	<0,0004	<0,00002	0,3226	0,00084
	LTinq-02	<0,020	0,00168	0,0029	<0,0004	<0,00002	0,3194	0,00076
	LTinq-02-T	NE	0,00252	0,0087	<0,0004	<0,00002	0,3182	0,00063
	LTinq-02-F	NE	0,00163	0,002	<0,0004	<0,00002	0,3115	0,00064
	LTinq-09	<0,020	0,00184	0,0011	<0,0004	<0,00002	0,3312	0,00061
	LTinq-09-T	NE	0,00307	0,0133	<0,0004	<0,00002	0,3206	0,00066
	LTinq-09-F	NE	0,00184	0,0022	<0,0004	<0,00002	0,3308	0,00068
	LTinq-10	<0,020	0,0015	0,0013	<0,0004	<0,00002	0,3245	0,00063
	LTinq-13	<0,020	0,00152	0,0008	<0,0004	0,00028	0,3131	0,00075
	LTinq-16	<0,020	0,00168	0,0026	<0,0004	0,00026	0,3147	0,00068
	LTinq-18	<0,020	0,00217	0,0016	<0,0004	<0,00002	0,1606	0,00028
	LTinq-19	<0,020	0,00096	0,001	<0,0004	<0,00002	0,1632	0,0003
	LTinq-19-T	NE	0,00195	0,0066	<0,0004	<0,00002	0,1622	0,00031
	LTinq-19-F	NE	0,0012	0,0017	<0,0004	<0,00002	0,1632	0,00029
ECA para agua (D.S. N.° 004-2017-MINAM)	Cat.4:E1	0,315	0,1	0,0025	0,005	0,0008	0,12	0,00025

Exceden los valores establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM Cat.4:E1.

NE: No evaluado, <: Menor al límite de detección del laboratorio.

b. Surgencia

En la zona 2 se identificaron en total 3 puntos de muestreo en surgencia, uno que ingresa a la laguna Caballococha, proveniente del sector donde se ubica la zanja de infiltración – planta concentradora (QCaba-03), otro ubicado en la cota superior a la presa de relaves Nieve Ucro II (FNievU2-01), y el última ubicado en la cota inferior al depósito de desmonte Tinquicocha, que descarga a la laguna Tinquicocha (FTinqco-04). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros muestreados para caracterización. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en surgencias para la zona 2, se presentan en la Tabla 6-19. Los valores de pH en las surgencias variaron de 7,49 a 8,25 unidades, además los valores de oxígeno disuelto variaron de 5,62 a 6,43 mg/L. En cuanto a, los valores de conductividad eléctrica variaron de 550 a 1483 µS/cm, y las concentraciones de sólidos suspendidos totales variaron de <2 a 137 mg/L. El valor máximo de oxígeno disuelto se presentó en el punto de muestreo FNievU2-01, ubicado en la cota superior a la presa de relaves Nieve Ucro II.

Las concentraciones de cobre total, zinc total y cadmio disuelto se registraron en el punto FTinqco-04 (0,24454, 16,67 y 0,02984 mg/L respectivamente); mientras que, en los puntos Qcaba-03 y FNievU2-01 se reportaron las mayores concentraciones de plomo y talio total respectivamente. Respecto a, selenio total, en todos los puntos de muestreo se presentó una concentración menor al límite de detección del laboratorio (<0,0004 mg/L).

Tabla 6-19. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en las surgencias identificadas en la zona 2

Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Oxígeno disuelto (mg/L)	CE (µS/cm)	SST (mg/L)	Metales (mg/L)					Cadmio disuelto (mg/L)
					Cobre	Plomo	Selenio	Talio	Zinc	
QCaba-03	7,9	6,06	550	16	0,03034	0,1424	<0,0004	<0,00002	1,999	0,00553
FNievU2-01	8,25	6,43	184,5	137	0,00374	0,0045	<0,0004	0,00596	0,0239	<0,00001
FTinqco-04	7,49	5,62	1483	<2	0,24454	0,1168	<0,0004	0,00179	16,67	0,02984

<: Menor al límite de detección del laboratorio

c. Efluentes mineros y agua residual industrial

En la zona 2 de la evaluación se identificó el punto de muestreo EFCaba-01, correspondiente a una descarga con características similares a agua residual doméstica (canal de concreto tapado que ingresa a la laguna Caballococha), y el efluente de la descarga del sedimentador Tinquicocha (FTinqco-03), cuyos resultados de los parámetros evaluados fueron comparados con los LMP, aprobado mediante Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Además, se caracterizó los puntos de muestreo de agua residual industrial FTinqco-06 (descarga de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha) y AMTinq-1 (salida de bocamina Tinquicocha). Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Con respecto a, los resultados de parámetros fisicoquímicos registrados en el efluente minero (FTinqco-03) y en la descarga EFCaba-01 para la zona 2, se puede indicar que las características de flujo de los efluentes presentaron valores de pH de 8 y 8,31 unidades respectivamente, y concentraciones de sólidos totales suspendidos de 5 y 27 mg/L respectivamente; que no exceden los valores LMP aprobado mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM.

En cuanto a, las concentraciones de metales registrados en los puntos FTinqco-03 y EFCaba-01, el arsénico total presentó valores de 0,05789 y 0,00573 mg/L, el cadmio <0,00001 y 0,00114 mg/L, el cobre total 0,00229 y 0,01342 mg/L, el plomo total 0,0038 y 0,1098 mg/L, el mercurio <0,00003 y <0,00003 mg/L, el zinc total 0,147 y 0,2257 mg/L, y el hierro disuelto 0,0576 y 0,0446 mg/L respectivamente. Cabe señalar que, para el caso del punto FTinqco-03, sus concentraciones de metales en mención, no excedieron los valores LMP aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM.

En la misma zona evaluada, y con respecto a los 2 puntos de muestreo de agua residual industrial evaluados (FTinqco-06 y AMTinq-1), se puede indicar que, tanto en el punto FTinqco-06 como en el AMTinq-1 se presentaron valores de pH alcalino (7,76 y 7,9 unidades respectivamente). Los valores de sólidos suspendidos totales (SST) variaron de 2 mg/L (FTinqco-06) a 10 mg/L (AMTinq-1). Las mayores concentraciones de arsénico total (0,06372 mg/L), cobre total (0,00328 mg/L), plomo total (0,0071 mg/L) y zinc total (0,1401 mg/L) se registraron en el punto FTinqco-06; y la máxima concentración de hierro disuelto (0,0028 mg/L) se registró en el punto AMTinq-1 (Tabla 6-20).

Tabla 6-20. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua residual industrial reportadas en la zona 2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	SST (mg/L)	Metales totales (mg/L)				Hierro disuelto (mg/L)
				Arsénico total	Cobre total	Plomo total	Zinc total	
Agua residual industrial	FTinqco-06	7,76	2	0,06372	0,00328	0,0071	0,1401	<0,0004
	AMTinq-1	7,9	10	<0,000003	0,00294	0,007	0,121	0,0028

<: Menor al límite de detección del laboratorio

d. Agua subterránea

En la zona 2 se evaluó 10 puntos de muestreo en piezómetros. A continuación, se presentan los parámetros evaluados que fueron comparados referencialmente con los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua subterránea para la zona 2 (microcuenca de la laguna Caballococha), se presentan en la Tabla 6-21. Los valores de pH en los piezómetros variaron de 7,09 a 8,46 unidades, donde solo en el punto AS-04 se registró un valor (8,46 unidades) por encima del rango establecido referencialmente en los ECA para agua Cat.3:D2. Mientras que, los valores de oxígeno disuelto variaron de 2,00 mg/L a 5,09 mg/L, donde solo en el punto AS-03 se reportó un valor por encima de los valores establecidos referencialmente en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2.

Respecto a las concentraciones de sulfatos registrados en los piezómetros, estos variaron de 8,715 a 1435 mg/L, donde solo en el punto PZ-01 se obtuvo una concentración (1435 mg/L) que excedió de manera referencial el valor establecido en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2. De manera puntual, en el punto PZ-04.1, se reportó una concentración de bicarbonato que excedió referencialmente el valor establecido en los ECA para agua Cat.3:D1.

En cuanto a, las concentraciones de aluminio, cadmio y zinc obtenidas en los piezómetros evaluados, solo en el punto PZ-04.1 se registró una concentración de aluminio (7,808 mg/L) y de cadmio (0,01417 mg/L) que excedieron los valores establecidos referencialmente en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2 y Cat.3:D1 respectivamente. En cuanto a, los puntos PZ-01 y PZ-04.1, en estos se reportaron concentraciones de zinc que excedieron referencialmente el valor establecido en los ECA para agua Cat.3:D1.

Referente a las concentraciones de arsénico total registradas en los piezómetros, variaron de 0,007 a 1,940 mg/L. Solo en los puntos PZ-03, AS-04 se excedieron de manera referencial los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2; y solo en el punto PZ-04.1 se excedió referencialmente el valor establecido en los ECA para agua Cat.3:D1.

Con respecto a las concentraciones de hierro total reportadas en los piezómetros, estos variaron de 0,1158 a 15,22 mg/L. Solo en los puntos AS-03, PZ-01, PZ-04.1, PZ-104 y AS-01 se excedieron de manera referencial el valor establecido en los ECA para agua Cat.3:D1.

Las concentraciones de manganeso y plomo obtenidas en los piezómetros variaron de 0,00991 a 1,098 mg/L y de 0,0023 a 1,036 mg/L respectivamente. Solo en los puntos AS-02, PZ-03, PZ-01, PZ-04.1 y AS-01 se reportaron concentraciones de manganeso y en los puntos AS-02, PZ-01, PZ-04.1, PZ-104 y AS-01 se registraron concentraciones de plomo, que en ambos casos excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2.

Tabla 6-21. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua subterránea de la zona 2 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:D1 y D2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Metales totales (mg/L)						
						Aluminio	Arsénico	Cadmio	Hierro	Manganeso	Plomo	Zinc
Agua subterránea	AS-02	8,19	2,63	151,2	8,715	0,747	0,02220	0,00066	3,194	0,46422	0,1426	0,1919
	AS-03	7,78	5,09	155,9	74,64	0,313	0,08221	<0,00001	7,351	0,11286	0,0311	0,0524
	PZ-03	7,69	2,58	170,7	22,39	<0,002	1,940	<0,00001	1,2740	0,29541	0,0054	<0,0100
	AS-04	8,46	2,00	78,5	91,27	<0,002	1,652	<0,00001	0,5939	0,15393	0,0023	0,0277
	AS-05	7,97	3,23	191,9	120,30	0,055	0,00700	<0,00001	0,2345	0,01308	0,0145	0,0261
	PZ-01	7,09	2,44	NE	1435	1,243	0,04461	0,00383	6,226	0,33991	0,0666	7,5660
	PZ-04.1	7,55	3,77	882,8	911,4	7,808	0,13990	0,01417	15,22	1,098	1,036	3,339
	PZ-104	7,62	2,83	207,0	275,4	1,192	0,04750	0,00413	7,281	0,18622	0,0588	0,1141
	PZ-06	7,69	3,55	191,3	11,38	0,055	0,01110	<0,00001	0,1158	0,00991	0,0332	0,0412
	AS-01	7,67	2,49	NE	72,87	0,820	0,01693	<0,00001	5,662	0,20055	0,5201	0,1634
ECA para agua Categoría 3 (D.S. N.° 004-2017-MINAM)	D1	6,5 - 8,5	≥4	518	1000	5	0,1	0,01	5	0,2	0,05	2
	D2	6,5 - 8,4	≥5	No aplica	1000	5	0,2	0,05	No aplica	0,2	0,05	24

* En el punto AS-04 se incumple el valor superior de pH establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:D2.
Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:D1.
Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:D1 y D2.
NE: No evaluado, <: Menor al límite de detección del laboratorio.

6.2.2.2 Sedimento y lodo

En esta sección se describen los resultados para los ensayos de pH, metales totales, índice de geoacumulación, extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier (en adelante, extracción secuencial), análisis mineralógico y metales solubles obtenidas mediante el SPLP; realizados en las diferentes muestras de sedimento de la zona 2.

En cuanto a las concentraciones de metales registradas en el sedimento de la zona 2, solo se presentan aquellas que excedieron los valores de los estándares *Interim sediment quality guidelines* (en adelante, ISQG) y *Probable effect level* (en adelante, PEL) de la guía canadiense.

Además, los puntos considerados como lodo no se comparan en términos de calidad, por lo que, sus valores obtenidos de pH, concentraciones registradas de metales y aquellas obtenidas mediante el SPLP; se exponen de acuerdo a lo reportado por el laboratorio acreditado.

La zona 2 de la evaluación corresponde a las microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha, en total se evaluaron 20 puntos de muestreo, de los cuales 15 corresponden a cuerpos lénticos (lagunas), 2 a cuerpos lóticos (quebradas); y 3 a lodos, 1 en el rebose de sedimentador Tinquicocha, 1 en la descarga de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha y 1 en la salida de la bocamina Tinquicocha.

La distribución está definida desde las áreas que se encuentran fuera de la influencia de las operaciones mineras hasta el cuerpo receptor final (lagunas Caballococha y Tinquicocha). Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. pH y metales

Los valores de pH en las lagunas de la zona 2, presentaron un comportamiento neutro a alcalino (de 7,14 a 8,16 unidades), asimismo, en las quebradas S/N 11 y S/N 2 se registraron valores alcalinos (8,01 y 8,35 respectivamente). Los resultados de pH se presentan en la Tabla 6-22.

En los puntos de muestreo de lodo (FTinqCo-03, FTinqCo-06 y AMTinq-1), se registraron valores de pH entre 7,81 (FTinqco-03) y 8,07 (FTinqco-06) unidades. Estos puntos se encuentran cercanos a la laguna Tinquicocha.

Respecto a los metales totales, la totalidad de los puntos de muestreo registraron concentraciones de arsénico que excedieron el valor PEL de la guía canadiense (17 mg/kg PS). El valor más alto (1726 mg/kg PS) se registró en la laguna Tinquicocha (LTinq-SED-02), que supera en 100 veces más el valor PEL de la guía canadiense. El valor más bajo se registró en la laguna Siete Caballeros (L7Caba-SED-03) con una concentración de 120,9 mg/kg PS. Los resultados de metales se observan en la Tabla 6-22.

El 80 % (12/15) de las concentraciones de cadmio registradas en los puntos de las lagunas excedieron el valor PEL de la guía canadiense, registrándose el valor máximo en la laguna Tinquicocha (LTinq-SED-02) que excedió en 25 veces el valor en mención (3,5 mg/kg PS). Respecto al cobre, el 67 % (10/15) de las concentraciones reportadas, excedieron al valor PEL de la guía canadiense, reportándose el máximo valor en la

laguna Tinquicocha (LTinq-SED-02) que excedió en 20 veces el valor de referencia (197 mg/kg PS). En la mayoría de los puntos, las concentraciones registradas de plomo (> 80 %) y zinc (> 73 %) excedieron los valores PEL de la guía canadiense, siendo la laguna Caballococha (LCaba-SED-15) donde se registraron las máximas concentraciones (13270 mg/kg PS) y (21984 mg/kg) respectivamente. Las concentraciones de mercurio obtenidas en los puntos de lagunas, excedieron el valor PEL de la guía canadiense en el 47 % de estos; alcanzando un máximo de 2,88 mg/kg PS en la laguna Siete Caballeros (L7Caba-SED-01). Referente a las concentraciones de cromo registradas en los puntos, el 33 % (5/15) excedió el valor PEL de la guía canadiense (90,0 mg/kg PS), registrándose el valor máximo en la laguna Nieve Ucro (LNieU-SED-04) con 3523 mg/kg PS.

Las concentraciones de arsénico y mercurio reportadas en el punto QL7Caba-02 excedieron los valores PEL de la guía canadiense, con 243 mg/kg PS y 0,89 mg/kg PS respectivamente; asimismo, en el punto QCaba-05, cercano a la planta concentradora, se obtuvo concentraciones de arsénico (375,5 mg/kg PS), cadmio (96,2 mg/kg PS), cobre (2084 mg/kg PS), mercurio (0,62 mg/kg PS), plomo (8554 mg/kg PS) y zinc (24413 mg/kg PS), que excedieron los valores PEL de la guía en mención.

De forma referencial, se ha caracterizado las muestras de lodos de la descarga del sedimentador Tinquicocha (FTinqco-03), de la descarga de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha (FTinqco-06) y del agua de la bocamina Tinquicocha (MTinqco-1); reportándose en todos los puntos, concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc que excedieron los valores PEL de la guía canadiense; mientras que el mercurio en 2 (AMTinq-1 y FTinqco-03) de los 3 puntos excedieron el valor PEL de la referida guía.

En relación al punto LNieU-SED-01, se tomaron 3 muestras en el perfil del sedimento, la primera LNieU-SED-01-C denominada superficial (con un espesor de 15 cm aprox.); la segunda LNieU-SED-01-B, medio (con un espesor de 8 cm aprox.) y la tercera LNieU-SED-01-A, fondo (con un espesor de 4 cm aprox.).

Tabla 6-22. Resultados de pH y metales para muestras de sedimento y lodo de la zona 2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Metales totales (mg/kg PS)						
			As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
Sedimento									
Laguna Siete Caballeros	L7Caba-SED-01	7,77	168,6	<0,5	11,5	2,5	2,88	32	47,1
	L7Caba-SED-02	7,60	268,1	4,1	70,6	11,3	1,55	303	471,4
	L7Caba-SED-03	8,16	120,9	1,8	4,2	<0,9	0,8	<2	25,2
Quebrada S/N 2	QL7Caba-02	8,35	243,9	3,2	16,7	3,8	0,89	74	128
Laguna Nieve Ucro y Laguna 3	LNieU-SED-08	8,00	273,2	4,7	73,8	80,5	1,68	199	213,8
	LNieU-SED-07	7,83	123,6	2,5	18,8	23,4	0,73	32	106,2
	LNieU-SED-04	7,55	280,1	39,7	1725	3523	0,4	4386	10142
	LNieU-SED-01-A	7,14	274,6	19,7	616,9	245,7	0,18	1844	3779
	LNieU-SED-01-B	7,37	344,2	69,7	1683	488,4	0,34	3860	20496
	LNieU-SED-01-C	7,91	192,2	15,3	682,9	467,4	0,09	1994	4601
Quebrada S/N 11	QCaba-05	8,01	375,5	96,2	2084	4,9	0,62	8554	24413
Laguna Caballococha	LCaba-SED-02	7,56	256	18,7	1070	47,2	0,15	4032	4468
	LCaba-SED-04	7,58	397,2	39,4	1976	41,5	0,48	8124	10994
	LCaba-SED-15	7,45	457,7	74,9	3804	69	0,51	13270	21984
	LCaba-SED-14	7,67	275,6	24,8	728,7	28,7	0,17	3794	5387
Laguna Tinquicocha	LTinq-SED-02	7,59	1726	89,3	4051	17,1	1,73	9793	21340
	LTinq-SED-20	7,61	670,8	59,6	2436	148,9	0,45	4784	16095
CEQG-SQG	ISQG[a] (mg/kg PS)	No aplica	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35,0	123
	PEL[b] (mg/kg PS)		17,0	3,5	197	90,0	0,486	91,3	315
Lodo									
Agua de la bocamina Tinquicocha	AMTinq-1	7,92	1061	58,7	2498	14,5	1,06	6308	12821
Descarga de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha	FTinqco-06	8,07	324,5	37,3	1261	6,9	0,3	2109	9705
Descarga del sedimentador Tinquicocha	FTinqco-03	7,81	701	37,8	2 010	11,5	0,55	4004	10691

(a) *Interim sediment quality guidelines* (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos.
(b) *Probable effect level* (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que incumplen el valor de ISQG de la CEQG-SQG.
: Concentraciones que incumplen el valor de PEL de la CEQG-SQG.
<: Menor al límite de detección del laboratorio

b. Índice de geoacumulación

Para la determinación del valor de fondo geoquímico (Bn) se basó en la información obtenida de la laguna Siete Caballeros (cuerpo léntico) y de la quebrada S/N 9 (cuerpo lótico), punto QL7Caba-02, ubicado fuera de la influencia de las actividades de la UM Raura. En la Tabla 6-23 se presenta los valores de fondo geoquímico de la zona 2.

Tabla 6-23. Valor de fondo geoquímico (Bn) en los sedimentos evaluados en la zona 2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/kg PS)						
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
Laguna Siete Caballeros	L7Caba-SED-01	168,6	<0,5	11,5	2,5	2,88	32	47
	L7Caba-SED-02	268,1	4,1	70,6	11,3	1,55	303	471
	L7Caba-SED-03	120,9	1,8	4,2	<0,9	0,8	<2	25,2
	$Bn_{(Lénticos)}$	185,9	3,0	28,8	6,9	1,7	167,5	181,2
Quebrada S/N 9	QL7Caba-02	243,9	3,2	16,7	3,8	0,89	74	128
	$Bn_{(Lóticos)}$	243,9	3,2	16,7	3,8	0,89	74	128

<: Menor al límite de detección del laboratorio

En la Tabla 6-24 se presenta los Igeo en cuerpos lénticos (puntos en las lagunas Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha) y lóticos (punto en quebrada S/N 11) en donde para los metales de cobre, cromo, plomo y zinc, se registraron valores de Igeo que van de 2,00 en el punto LCaba-SED-04 (sedimento moderadamente a fuertemente contaminado) a 8,41 (sedimento extremadamente contraminado) en el punto LNieU-SED-04. Asimismo, para el metal de cadmio se han registrado niveles Igeo que van de 1,79 en el punto LNieu-SED-01-C (sedimento moderadamente contaminado) a 4,33 en el punto LTinq-SED-02 (sedimento fuertemente a extremadamente contraminado).

En la quebrada S/N 11, donde se encuentra el punto QCaba-05, los metales de cadmio, cobre, plomo y zinc, registraron valores de Igeo que van de 4,32 (sedimento fuerte a extremadamente contaminado) a 6,99 (sedimento extremadamente contaminado) para cadmio y zinc respectivamente.

Tabla 6-24. Índices de geoacumulación obtenidos para la zona 2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Índice de geoacumulación (Igeo)						
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
Laguna Nieve Ucro	LNieU-SED-08	-0,03	0,09	0,77	2,96	-0,64	-0,34	-0,35
	LNieU-SED-07	-1,17	-0,82	-1,20	1,18	-1,84	-2,97	-1,36
	LNieU-SED-04	0,01	3,17	5,32	8,41	-2,71	4,13	5,22
	LNieU-SED-01-C	-0,54	1,79	3,98	5,50	-4,86	2,99	4,08
Laguna Caballococha	LCaba-SED-02	-0,12	2,08	4,63	2,19	-4,12	4,01	4,04
	LCaba-SED-04	0,51	3,15	5,52	2,00	-2,45	5,01	5,34
	LCaba-SED-15	0,72	4,08	6,46	2,74	-2,36	5,72	6,34
	LCaba-SED-14	-0,02	2,49	4,08	1,47	-3,94	3,92	4,31
Laguna Tinquicocha	LTinq-SED-02	2,63	4,33	6,55	0,72	-0,60	5,28	6,29
	LTinq-SED-20	1,27	3,75	5,82	3,85	-2,54	4,25	5,89
Quebrada S/N 11	QCaba-05	0,04	4,32	6,38	-0,22	-1,11	6,27	6,99

- No contaminado (Igeo<0)
- No contaminado a moderadamente contaminado (0<Igeo<1)
- Moderadamente contaminado (1<Igeo<2)
- Moderadamente a fuertemente contaminado (2<Igeo<3)
- Fuertemente contaminado (3<Igeo<4)
- Fuerte a extremadamente contaminado (4<Igeo<5)
- Extremadamente contaminado (Igeo>5)

c. Extracción secuencial de metales por Tessier

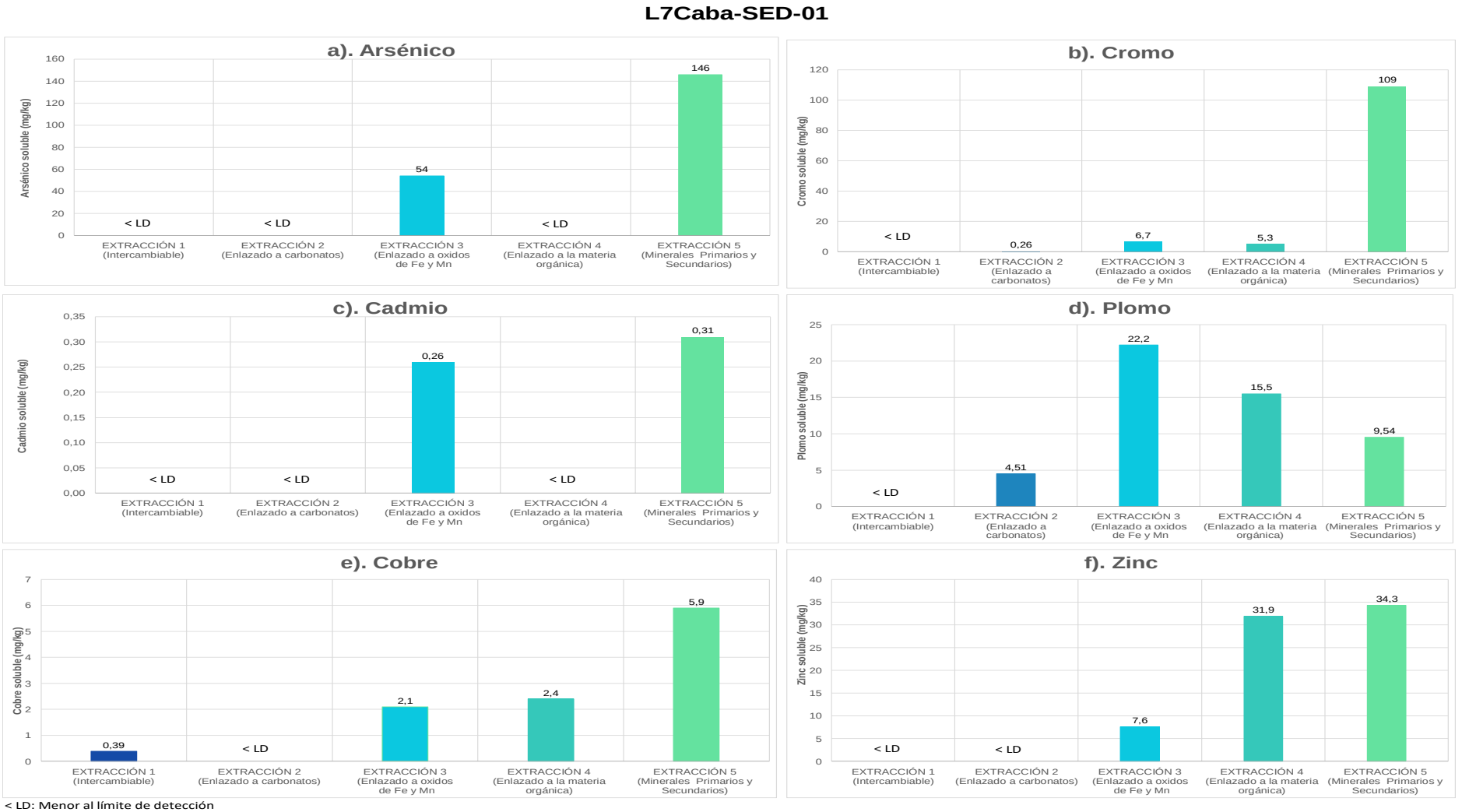
La determinación de la biodisponibilidad de algunos analitos en el sedimento se realizó mediante el ensayo de extracción secuencial a través de la metodología de Tessier. Se realizó la toma de 4 muestras de sedimento para dicho análisis, 3 muestras correspondieron a los puntos de las lagunas Siete Caballeros (L7Caba-SED-01 y L7Caba-SED-03) y Nieve Ucro III (LNieU-SED-08), y 1 muestra correspondiente al punto de quebrada S/N 11 (QCaba-05). Los resultados de extracción secuencial de metales en sedimento se detallan en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

De acuerdo a la Figura 6-19, correspondiente al punto L7Caba-SED-01, se observa que el arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc presentaron concentraciones bajas en la fracción 1 (intercambiable); mientras que, para la fracción 2 (enlazados a carbonatos), las concentraciones de cromo y plomo fueron de 0,26 y 4,51 mg/kg respectivamente, relacionadas a la biodisponibilidad de estos metales por cambios de pH en el sistema. Asimismo, para los metales cromo, plomo, zinc y cobre las mayores concentraciones están presentes en las fracciones 3, 4 y 5, a excepción de los metales arsénico y cadmio donde sus concentraciones están presentes en las fracciones 3 y 5.

En la Figura 6-20, se muestra que el punto L7Caba-SED-03 registró concentraciones bajas de arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc en la fracción 1 (intercambiable); en tanto que, la concentración de cadmio en la fracción 2 (enlazados a carbonatos) fue de 0,12 mg/kg. Además, el arsénico y plomo, reportaron las mayores concentraciones en la fracción 3; las concentraciones de cromo y zinc fueron mayores en la fracción 4; y para cadmio y cobre, sus concentraciones fueron mayores en la fracción 5.

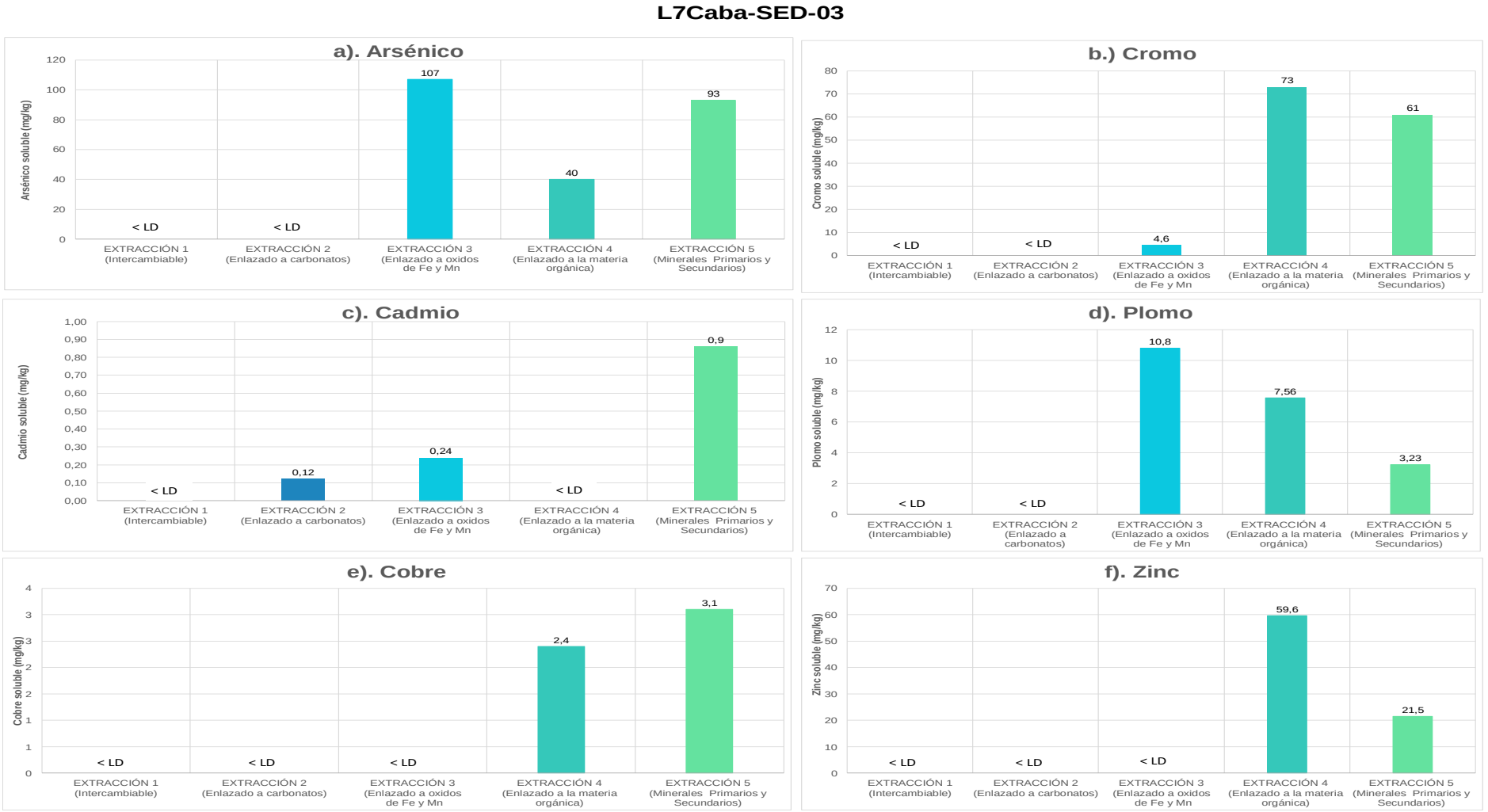
Referente a la Figura 6-21, solo en el punto de muestreo LNieU-SED-08 se registró una concentración de cobre igual a 0,39 mg/kg, encontrándose en forma intercambiable (fracción 1); y el cromo (0,64 mg/kg), cadmio (0,65 mg/kg), plomo (20,9 mg/kg) y zinc (29,6 mg/kg) se encuentran enlazados a carbonatos (fracción 2). Asimismo, el plomo reportó la mayor concentración en la fracción 3; las concentraciones de arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc están presentes en las fracciones 4 y 5; a excepción de la concentración de arsénico que no está presente en la fracción 4.

En la Figura 6-22, solo en el punto de muestreo QCaba-05 se registró una concentración de plomo igual a 8,42 mg/kg, encontrándose en la fracción 1 (intercambiable); mientras que, el cromo (0,39 mg/kg), cadmio (2,8 mg/kg), plomo (2013 mg/kg), cobre (9,9 mg/kg) y zinc (507 mg/kg) se encuentran en la fracción 2 (enlazados a carbonatos). Además, solo las concentraciones de arsénico, cromo, cadmio, plomo y zinc fueron mayores en la fracción 5 en comparación con las fracciones 3 y 4.



< LD: Menor al límite de detección

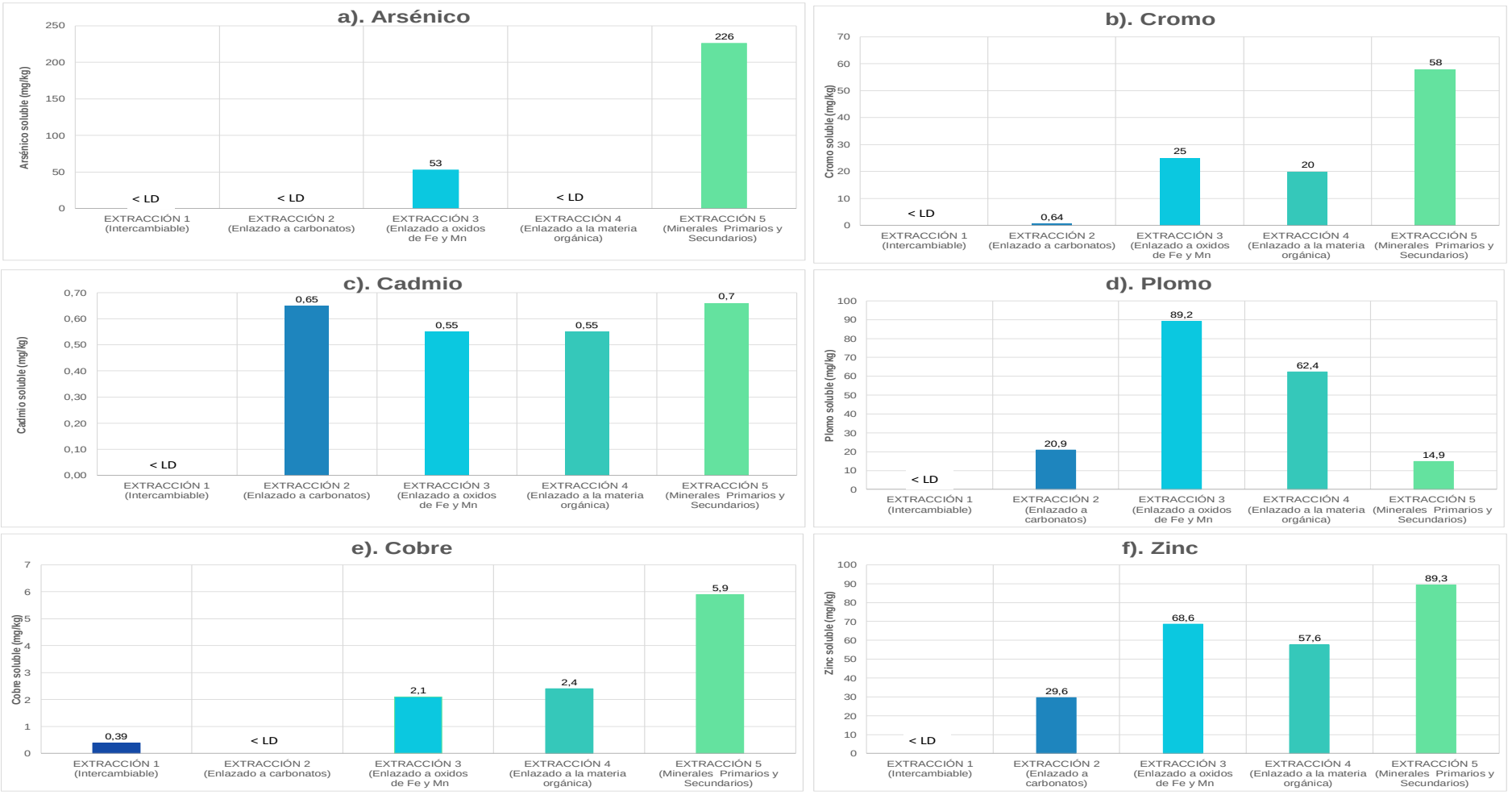
Figura 6-19. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto L7Caba-SED-01 de la zona 2



< LD: Menor al límite de detección

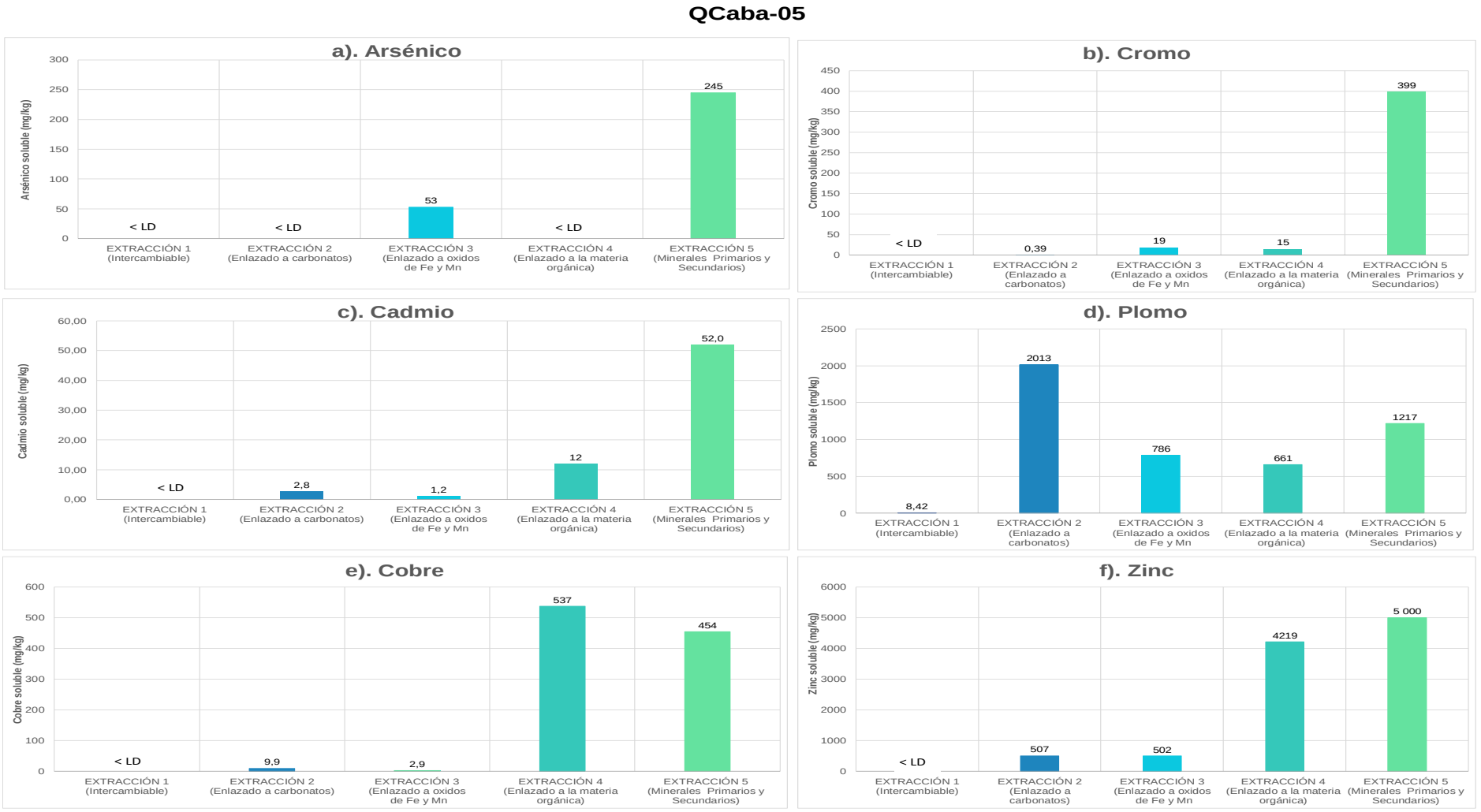
Figura 6-20. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto L7Caba-SED-03 de la zona 2

LNieU-SED-08



< LD: Menor al límite de detección

Figura 6-21. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LNieU-SED-08 de la zona 2



< LD: Menor al límite de detección

Figura 6-22. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre, y f) zinc; en el punto QCaba-05 de la zona 2

d. Análisis mineralógico

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1 %. Sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro éste se incrementa a 3 % la cuantificación de fases amorfas se evaluó a partir de 20 % de contenido en la muestra. El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

En la Tabla 6-25 se presentan los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) en la laguna Siete Caballeros (L7Caba-SED-03), donde predominaron minerales de cuarzo en un 60 %; el mineral laminar (fase probable de mica o arcilla) representa un 20 % de su presencia en el sedimento. Mientras que, se registró la presencia de minerales como clorita, caolinita y calcita, cuyos porcentajes estuvieron por debajo del límite de detección.

Tabla 6-25. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra L7Caba-SED-03

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO2	60
Mineral Laminar*	----	20
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	9
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	3
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	2
Apatito	Ca5(PO4)3(F,Cl,OH)	2
Anatasa	TiO2	<L.D.
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	<L.D.
Caolinita	Al2Si2O5(OH)4	<L.D.
Calcita	CaCO3	<L.D.

*: Mineral laminar: Fase probable de mica o arcilla, que requiere de otra técnica complementaria para ser determinada
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

En la laguna Caballococha, el resultado del análisis mineralógico en el sedimento (LCaba-SED-15), se presentaron minerales de calcita (27 %), andradita (18 %), cuarzo (13 %) y feldespato (12 %); mientras que, minerales como pirita, granate, plagioclasa, esfalerita, montmorillonita y mica registraron porcentajes menores al 12 % (Tabla 6-26).

Tabla 6-26. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra LCaba-SED-15

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Calcita	CaCO3	27
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	18
Cuarzo	SiO2	13
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	12
Pirita	FeS2	11
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	9
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	3
Esfalerita	(Zn,Fe)S	2
Montmorillonita	(Na,Ca)0,3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2 n(H2O)	2
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	<L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

En la Tabla 6-27 se presentan los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) en la laguna Nieve Ucro (LNieU-SED-01-B), donde predominaron minerales de cuarzo (18 %), feldespato (16 %) y calcita (13 %); se presentó minerales

de esfalerita y blenda en un 7 % cada uno; y minerales como clorita, pirita, mica y montmorillonita registraron porcentajes menores al 7 %.

Tabla 6-27. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra LNieU-SED-01-B

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO2	18
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	16
Calcita	CaCO3	13
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	11
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	10
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	7
Esfalerita	(Zn,Fe)S	7
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	6
Pirita	FeS2	5
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	4
Montmorillonita	(Na,Ca)0,3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2 n(H2O)	< L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

e. SPLP

Los resultados del análisis de lixiviación en muestras de sedimento en lagunas y muestras de lodos de la zona 2, presentaron las mayores concentraciones de azufre, calcio y magnesio tanto en el punto LCaba-SED-14 (sedimento) como en el punto FTinqco-03 (lodo). Asimismo, para el caso del sedimento en las lagunas evaluadas, se registraron concentraciones elevadas de azufre, boro, calcio, cobre, estroncio, molibdeno, potasio, sílice, sodio y zinc en los puntos LCaba-SED-14 y LCaba-SED-15 (Tabla 6-28).

Tabla 6-28. Resultados de SPLP de muestras de sedimento en lagunas y de lodos de la zona 2

Metales (mg/L)	Sedimento						Lodo		
	QL7Caba-02	QCaba-05	LCaba-SED-14	LCaba-SED-15	LTinq-SED-02	LTinq-SED-20	AMTinq-1	FTinqco-06	FTinqco-03
Aluminio	0,481	<0,032	<0,032	<0,032	0,133	0,106	0,085	<0,032	0,431
Azufre	<4	17	90	38	22	19	11	6	15
Bario	0,0069	0,0105	0,0086	0,0208	0,0185	<0,0012	0,008	<0,0012	0,0064
Boro	<0,05	<0,05	0,05	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Calcio	11,9	24,4	105	43,6	24,7	25,5	19	12,4	22,3
Cobre	0,007	<0,0036	0,0512	0,0525	0,0146	0,0213	0,0351	0,0433	0,0335
Estroncio	0,031	<0,004	0,467	0,187	0,064	<0,004	0,187	0,402	<0,004
Hierro	0,14	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Litio	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014	0,017	<0,014	<0,014	<0,014	<0,014
Magnesio	1,2	<0,31	2,7	0,62	0,58	0,44	<0,31	<0,31	0,45
Manganeso	0,005	0,02	0,749	0,716	1,17	0,202	0,164	0,019	0,373
Molibdeno	<0,012	<0,012	0,117	0,035	0,022	0,027	<0,012	<0,012	<0,012
Plomo	<0,02	0,06	0,02	0,17	0,05	0,04	<0,02	0,03	0,02
Potasio	1,2	<0,85	2,3	2	0,93	<0,85	<0,85	<0,85	<0,85
Sílice	5	<2,7	10	11	5,9	7,5	4,3	4,3	6,9
Sodio	<0,264	<0,264	1,73	0,983	0,291	<0,264	<0,264	<0,264	<0,264
Titanio	0,012	<0,0042	<0,0042	<0,0042	<0,0042	<0,0042	<0,0042	<0,0042	<0,0042
Zinc	<0,14	<0,14	0,17	0,2	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14	<0,14

6.2.2.3 Suelo

La zona 2 corresponde a las microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha, comprende 3 API, donde en total se evaluaron 80 puntos de muestreo de suelos: 16 (API Caballococha), 30 (API Nieve Ucro) y 33 (API Tinquicocha), además se evaluaron 11 muestras compuestas (API_CABA_18, API_CABA_19, API_CABA_20, API_CABA_21, API_NIEV_31, API_NIEV_32, API_NIEV_33, API_TINQ_28, API_TINQ_34, API_TINQ_35 y API_TINQ_36), estos puntos se encuentran ubicados en zonas aledañas a las lagunas Caballococha y Nieve Ucro, y al depósito de desmonte Tinquicocha.

En esta sección se describen los resultados para los ensayos de textura, granulometría, pH, materia orgánica, metales totales y extracción secuencial, realizados en las diferentes muestras de sedimento de la zona 2.

Referente a, las concentraciones de metales registradas en las muestras de suelos de las API Caballococha, Nieve Ucro y Tinquicocha; solo se presentan aquellas que excedieron referencialmente los valores de los ECA para suelo de uso industrial/extractivo. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Textura

En el API Caballococha, se realizó el análisis textural (Figura 6-23) para la muestra compuesta API_NNP2_19, la cual presentó una textura franco arenosa en una proporción de 60 % de arena, 30 % de limo y 10 % de arcilla. Además, en el API Nieve Ucro, la muestra compuesta API_NIEV_33 registró una textura franco arcilloso en una proporción de 35 % de arena, 30 % de limo y 35 % de arcilla. Por último, en el API Tinquicocha, la muestra compuesta API_TINQ_38 reportó una textura franco arenosa en una proporción de 70 % de arena, 15 % de limo y 15 % de arcilla.

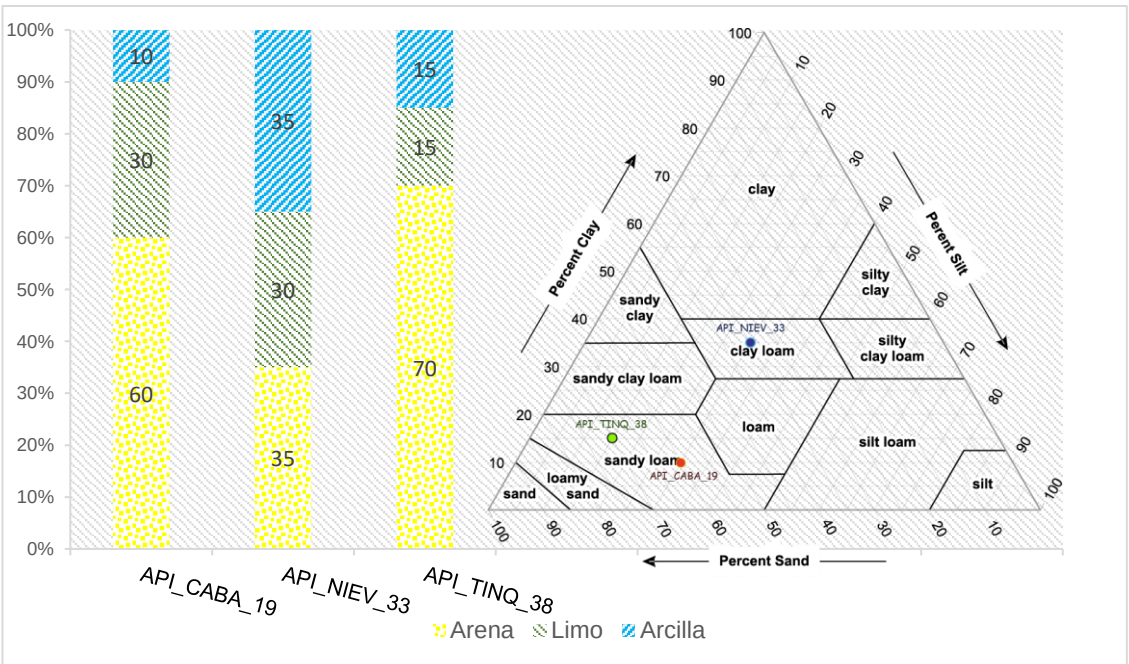


Figura 6-23. Porcentaje de arena, limo, arcilla, y triángulo textural en las muestras API_CABA_19, API_NIEV_33 y API_TINQ_38

b. Granulometría

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelos dada. La muestra compuesta API_CABA_19 presentó un 49,8 % de diámetro de partícula de 150 µm (Figura 6-24), API_NIEV_33 presentó un 40,5 % de diámetro de partícula de 150 µm (Figura 6-25), y API_TINQ_38 presentó un 44,12 % de diámetro de partícula de 150 µm (Figura 6-26).

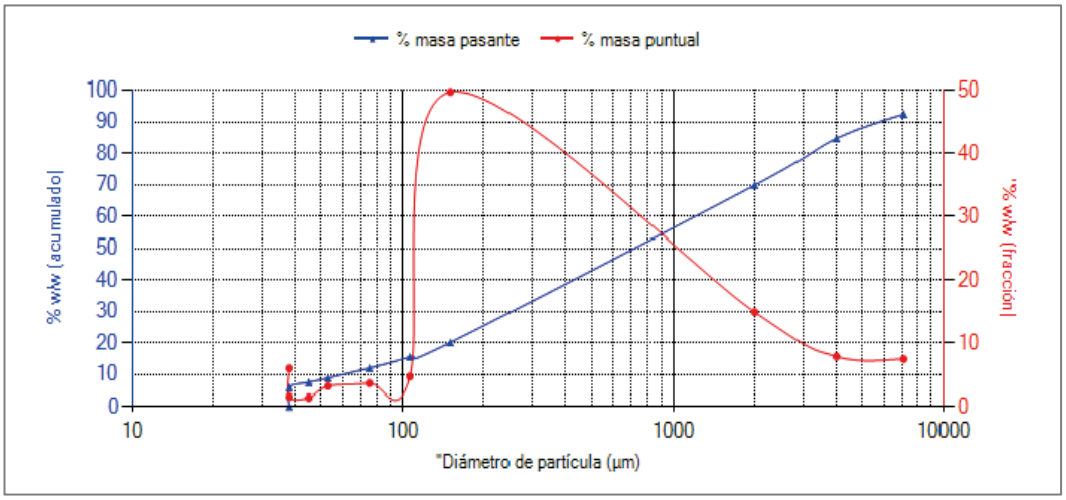


Figura 6-24. Curva granulométrica de la muestra API_CABA_19 en el suelo del API Caballococha
Fuente: Informe de ensayo N.° S-18/027646 emitido por AGQ PERÚ S.A.C.

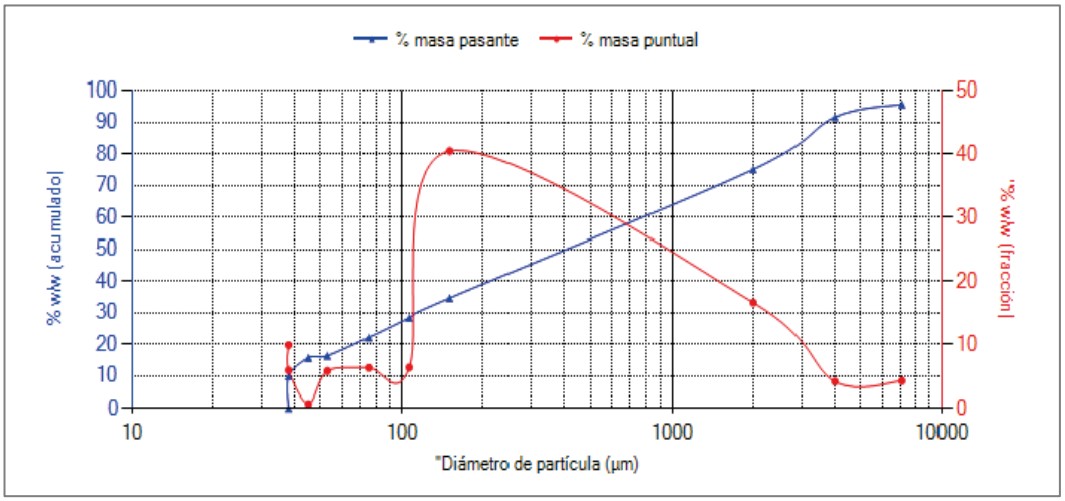


Figura 6-25. Curva granulométrica de la muestra API_NIEV_33 en el suelo del API Nieve Ucro
Fuente: Informe de ensayo N.° S-18/027648 emitido por AGQ PERÚ S.A.C.

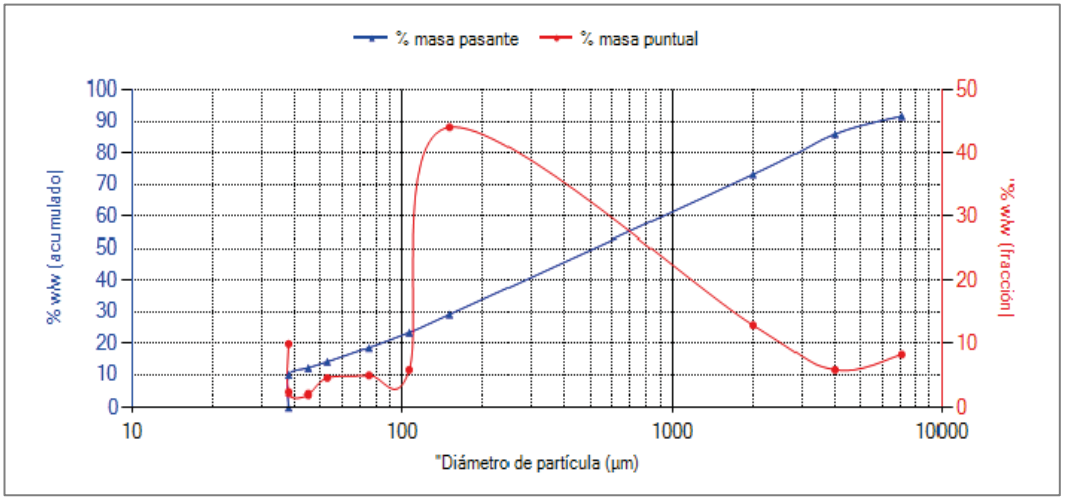


Figura 6-26. Curva granulométrica de la muestra API_TINQ_38 en el suelo del API Tinquicocha
Fuente: Informe de ensayo N.° S-18/027648 emitido por AGQ PERÚ S.A.C.

c. pH y materia orgánica

En la Tabla 6-29 se presenta los resultados de análisis de pH y materia orgánica realizada a 10 muestras compuestas de suelo que corresponden a las API Caballococha, Nieve Ucro y Tinquicocha; donde, de acuerdo a las clases de reacción para esas muestras se tiene: fuertemente ácido (API_CABA_18), moderadamente ácido (API_CABA_20, API_TINQ_34), ligeramente ácido (API_TINQ_35), neutro (API_CABA_19, API_TINQ_36), ligeramente alcalino (API_NIEV_31, API_NIEV_33, API_TINQ_38), moderadamente alcalino (API_NIEV_32). Además, se presentan porcentajes medios de materia orgánica (API_NIEV_31, API_NIEV_32, API_NIEV_33) y altos porcentajes de materia orgánica (API_CABA_18, API_NIEV_19, API_CABA_20, API_TINQ_34, API_TINQ_35, API_TINQ_38, API_TINQ_36).

Cabe señalar que, los valores de pH variaron de 5,34 (API_CABA_18) a 8,09 unidades (API_NIEV_32), y los de materia orgánica variaron de 2,7 (API_NIEV_31) a 48,3 % (API_TINQ_34).

Tabla 6-29. Resultados de pH y materia orgánica en las API Caballococha, Nieve Ucro y Tinquicocha

Punto de muestreo	Parámetros	
	pH (unidades)	Materia orgánica (%)
API_CABA_18	5,34	23
API_CABA_19	7,03	14,3
API_CABA_20	5,60	15,3
API_NIEV_31	7,79	2,7
API_NIEV_32	8,09	3,2
API_NIEV_33	7,86	4
API_TINQ_34	6,06	48,3
API_TINQ_35	6,28	13,4
API_TINQ_36	7,27	6,9
API_TINQ_38	7,44	9

Fuente: Informe de ensayo N.° SAA-18/00837 - SAA-18/00841 emitido por AGQ PERÚ S.A.C. e informe de ensayo N.° MA-1813640 emitido por SGS DEL PERÚ S.A.C.

d. Metales

Los resultados de las concentraciones de metales de arsénico, cadmio, cromo y plomo en suelos para la zona 2, se presentan en las Figuras 6-27, 6-28, 6-29 y 6-30 respectivamente. Respecto a, las concentraciones de arsénico registradas en el API Nieve Ucro, el 87 % (26/30) puntos muestreados excedieron referencialmente los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (140 mg/kg), donde la máxima concentración se reportó en el punto de muestreo API_NIEV_6 (396 mg/kg). La mayor densidad de puntos de muestreo con concentraciones de arsénico que excedieron de manera referencial la normativa referida, se encontraron en el API Tinquicocha, con el 91 % (30/33) de estos, registrándose la concentración máxima en el punto API_TINQ_9 (1848 mg/kg); mientras, que la menor densidad de puntos de muestreo con concentraciones de arsénico que excedieron referencialmente la norma en mención, se encontraron en el API Caballococha 38 % (6/16) de esos, donde la concentración máxima se obtuvo en el punto API_CABA_15 (247,9 mg/kg).

Referente a, las concentraciones de cadmio en el API Tinquicocha, el 27 % (9/33) puntos muestreados excedieron referencialmente los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (22 mg/kg), presentándose la mayor concentración de cadmio en el punto de muestreo API_TINQ_9 (122,5 mg/kg). Asimismo, en el API Nieve Ucro solo el punto API_NIEV_24 (22,5 mg/kg) excedió de manera referencial el valor establecido en la normativa referida.

Las mayores concentraciones de cromo se registran en el API Nieve Ucro, el 20 % (6/30) de los puntos muestreados excedieron de manera referencial los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (1000 mg/kg), cuya concentración máxima se presentó en el punto API_NIEV_24 (4395 mg/kg); mientras que, en el API Tinquicocha solo el punto de muestreo API_TINQ_3B (1061 mg/kg) excedió referencialmente el valor estipulado en la norma antes señalada.

En cuanto a, las concentraciones de plomo, el 37 % (11/30) de los puntos muestreados en el API Nieve Ucro, excedieron de manera referencial los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (800 mg/kg); mientras que, en el API Caballococha solo el punto de muestreo API_CABA_13 (1120 mg/kg) excedió referencialmente la normativa referida. Mientras que, la mayor concentración de plomo se registró en el punto API_TINQ_9 (14017 mg/kg), donde el 52 % (17/33) de los puntos muestreados excedieron de manera referencial la norma indicada.

Por último, las concentraciones de cadmio y cromo registradas en todos los puntos de muestreo de las API Caballococha no excedieron los valores establecidos en la norma referida.

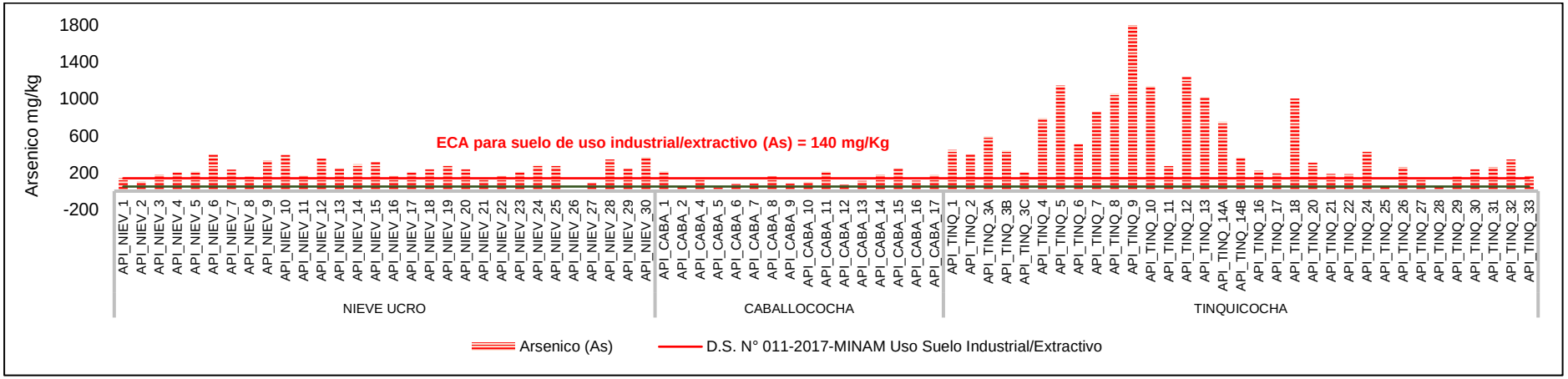


Figura 6-27. Concentraciones de arsénico en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

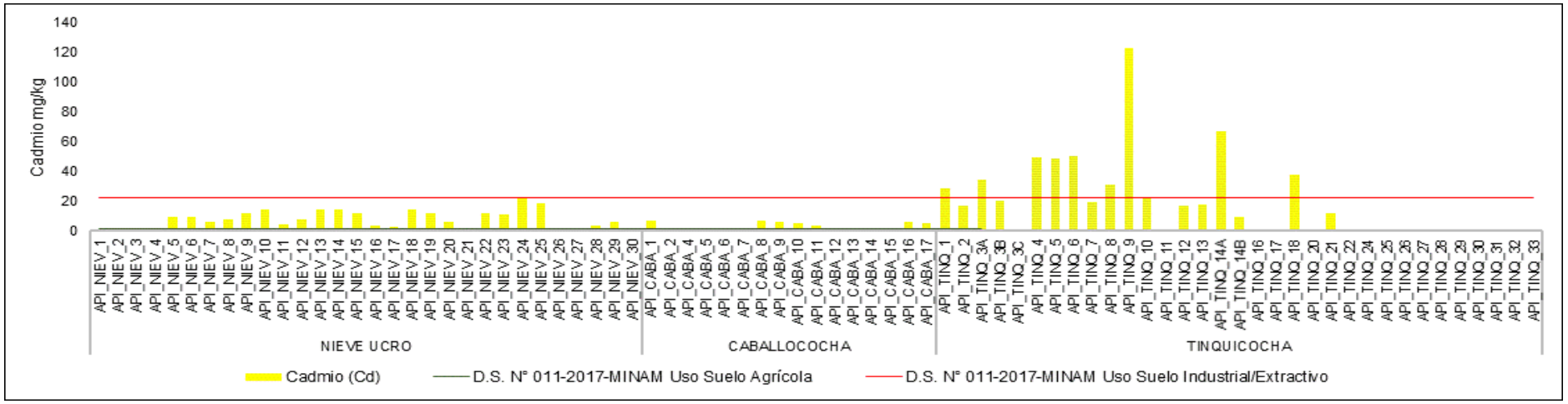


Figura 6-28. Concentraciones de cadmio en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

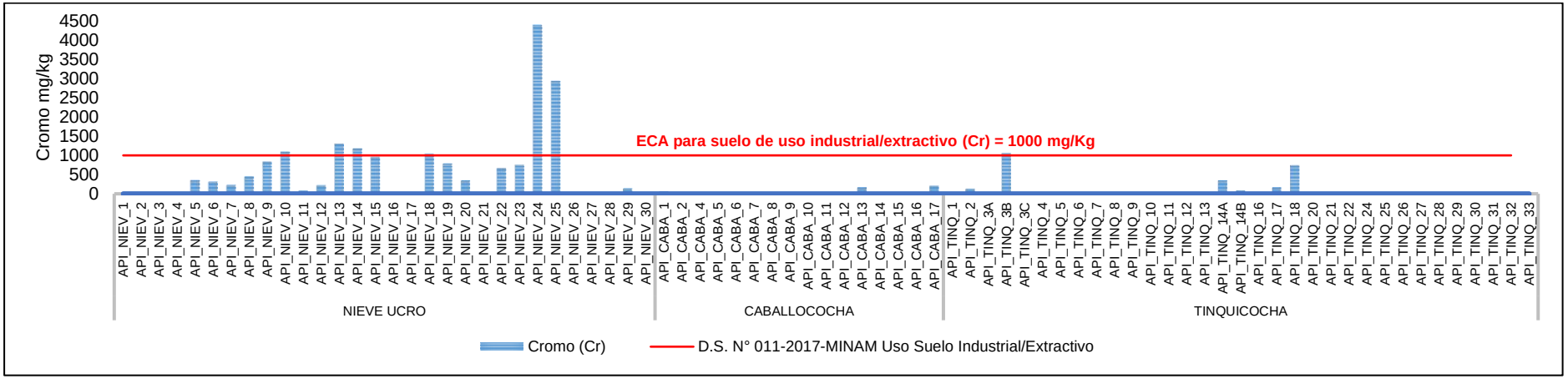


Figura 6-29. Concentraciones de cromo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

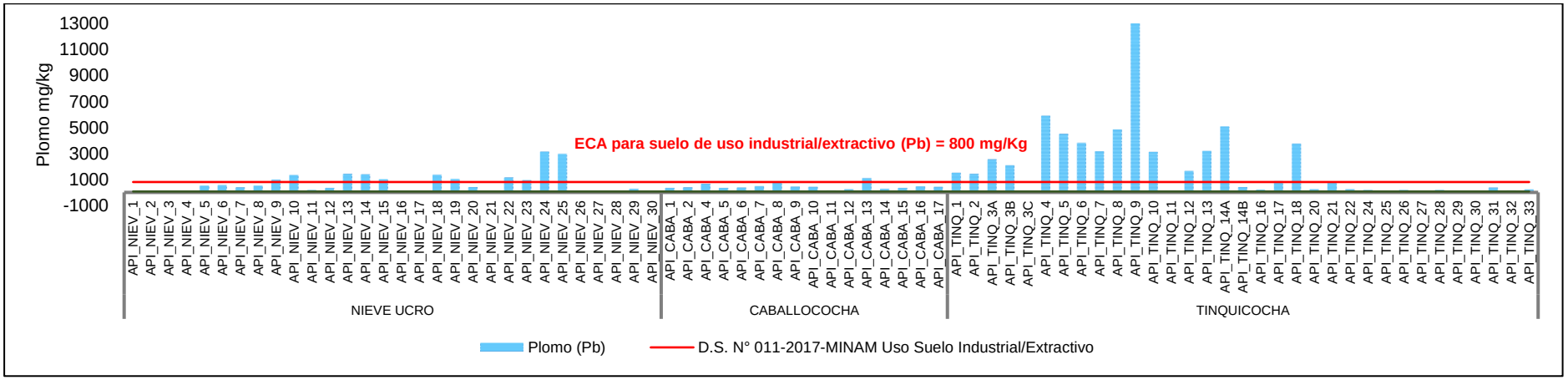


Figura 6-30. Concentraciones de plomo en las API Nieve Ucro, Caballococha y Tinquicocha comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

e. Extracción secuencial de metales por Tessier

La determinación de la biodisponibilidad de algunos analitos en el suelo se realizó mediante el ensayo de extracción secuencial a través de la metodología de Tessier. Se realizó la toma de 6 muestras de suelo (API_CABA_19, API_CABA_21, API_NIEV_31, API_NIEV_33, API_TINQ_34 y API-TINQ_38) para realizar dicho análisis. Los resultados de extracción secuencial de metales en suelo se detallan en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

De acuerdo a la Figura 6-31, correspondiente al punto API_CABA_19, se observa que el arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo presentaron concentraciones bajas en las fracciones 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario y plomo que registraron concentraciones de 5,1 y 27,9 mg/kg respectivamente, en la fracción 2 relacionadas a la biodisponibilidad de estos metales por cambios de pH en el sistema. Las concentraciones de arsénico, bario, cromo y plomo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con las fracciones 3 y 4, y solo el cadmio se registra con mayor concentración en la fracción 4 en comparación con las fracciones 3 y 5.

En la Figura 6-32, se muestra que el punto API_CABA_21 registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de cromo y plomo que registraron concentraciones de 4,2 y 35,2 mg/kg respectivamente, en la fracción 2. Las concentraciones de arsénico, bario, cromo y plomo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con las fracciones 3 y 4, y solo el cadmio se registra con mayor concentración en la fracción 4 en comparación con las fracciones 3 y 5.

Referente a la Figura 6-33, correspondiente al punto API_NIEV_31, se registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario y plomo que registraron concentraciones de 2,2 y 5,8 mg/kg respectivamente, en la fracción 2 relacionadas a la biodisponibilidad de estos metales por cambios de pH en el sistema. Las concentraciones de arsénico, bario, cadmio y cromo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con las fracciones 3 y 4, y solo el plomo se registra con mayor concentración en la fracción 3 en comparación con las fracciones 4 y 5.

En la Figura 6-34, se muestra que el punto API_NIEV_33 registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario, cromo y plomo que registraron concentraciones de 4,8, 2,1 y 31 mg/kg respectivamente, en la fracción 2. Asimismo, el plomo reportó la mayor concentración en la fracción 3; las concentraciones de arsénico, bario y cromo fueron mayores en la fracción 5 en comparación con la fracción 4; y viceversa para las concentraciones de cadmio y plomo.

Respecto a la Figura 6-35, correspondiente al punto API_TINQ_34, se registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en la fracción 1 (intercambiable), 2 (enlazados a carbonatos) y 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); a excepción de plomo que registró concentraciones de 0,755, 345 y 3,92 mg/kg respectivamente. Las concentraciones de bario, cromo y plomo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con la fracción 4, y viceversa para las concentraciones de arsénico y cadmio.

En la Figura 6-36, se muestra que el punto API_TINQ_38 registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable)

y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario, cadmio y plomo que registraron concentraciones de 4,3, 6,3 y 363 mg/kg respectivamente, en la fracción 2. Las concentraciones de arsénico, bario, cadmio y cromo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con las fracciones 3 y 4, y solo el plomo se registra con mayor concentración en la fracción 3 en comparación con las fracciones 4 y 5.

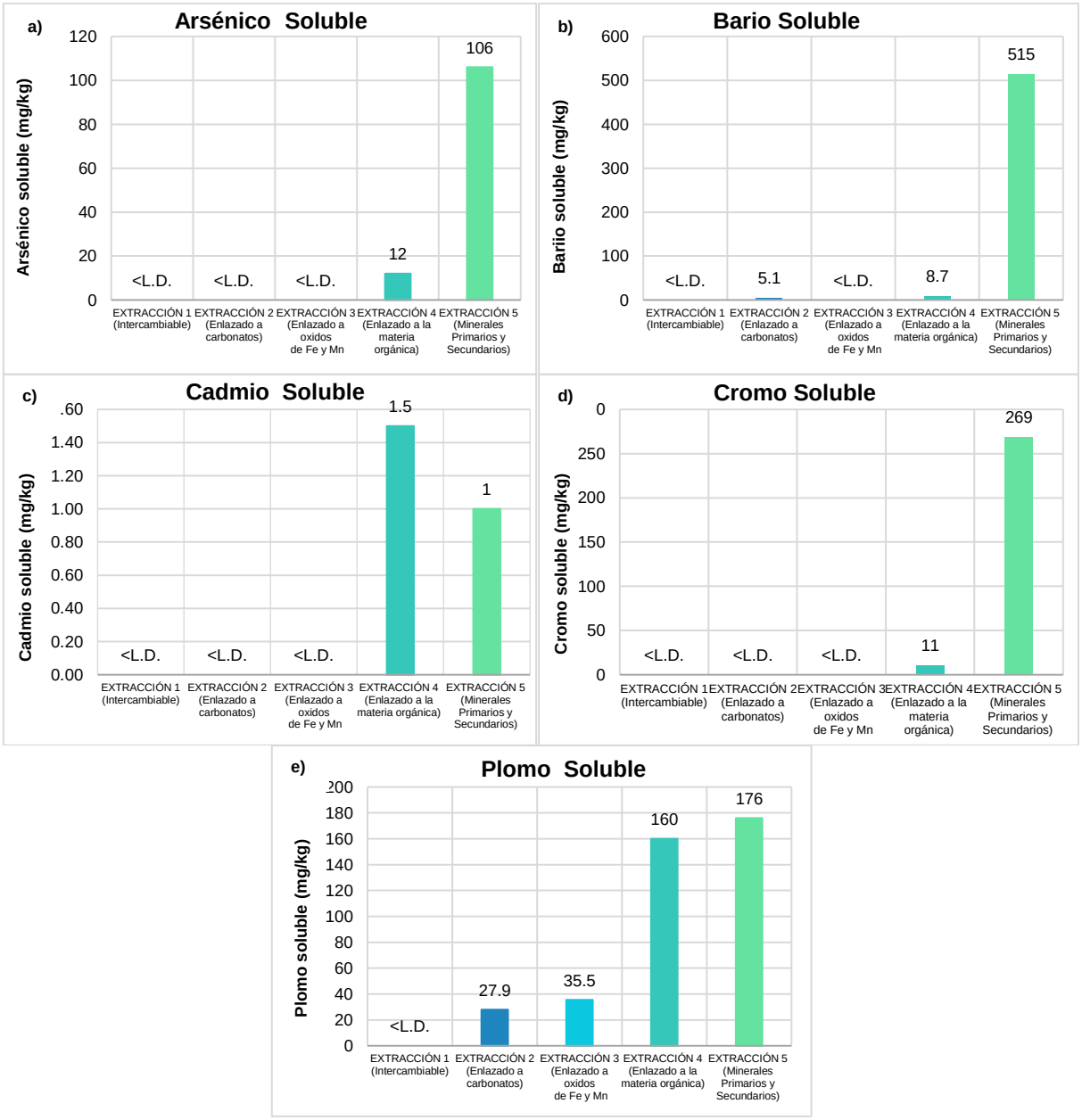


Figura 6-31. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_CABA_19 de la zona 2
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

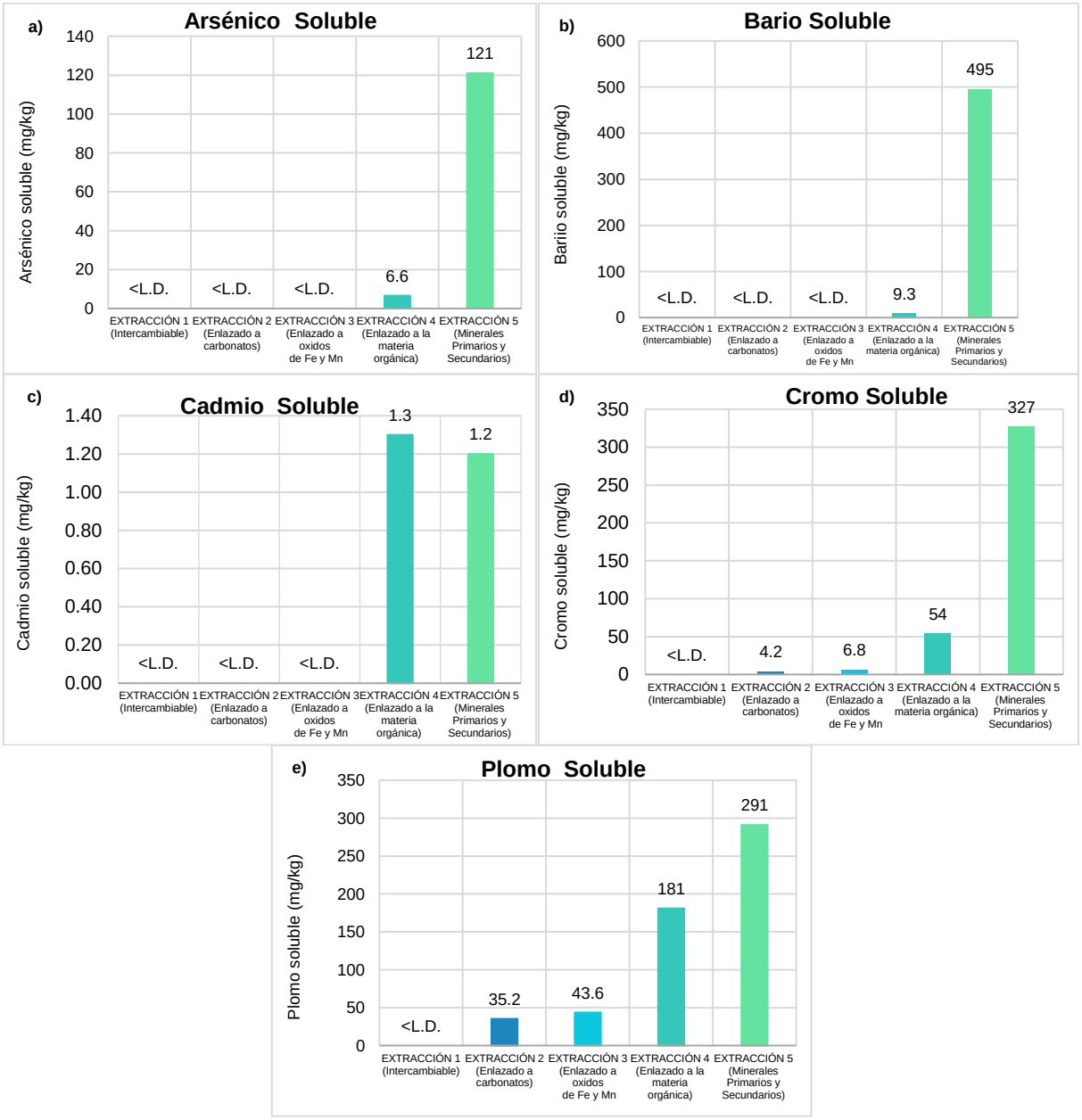


Figura 6-32. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_CABA_21 de la zona 2
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

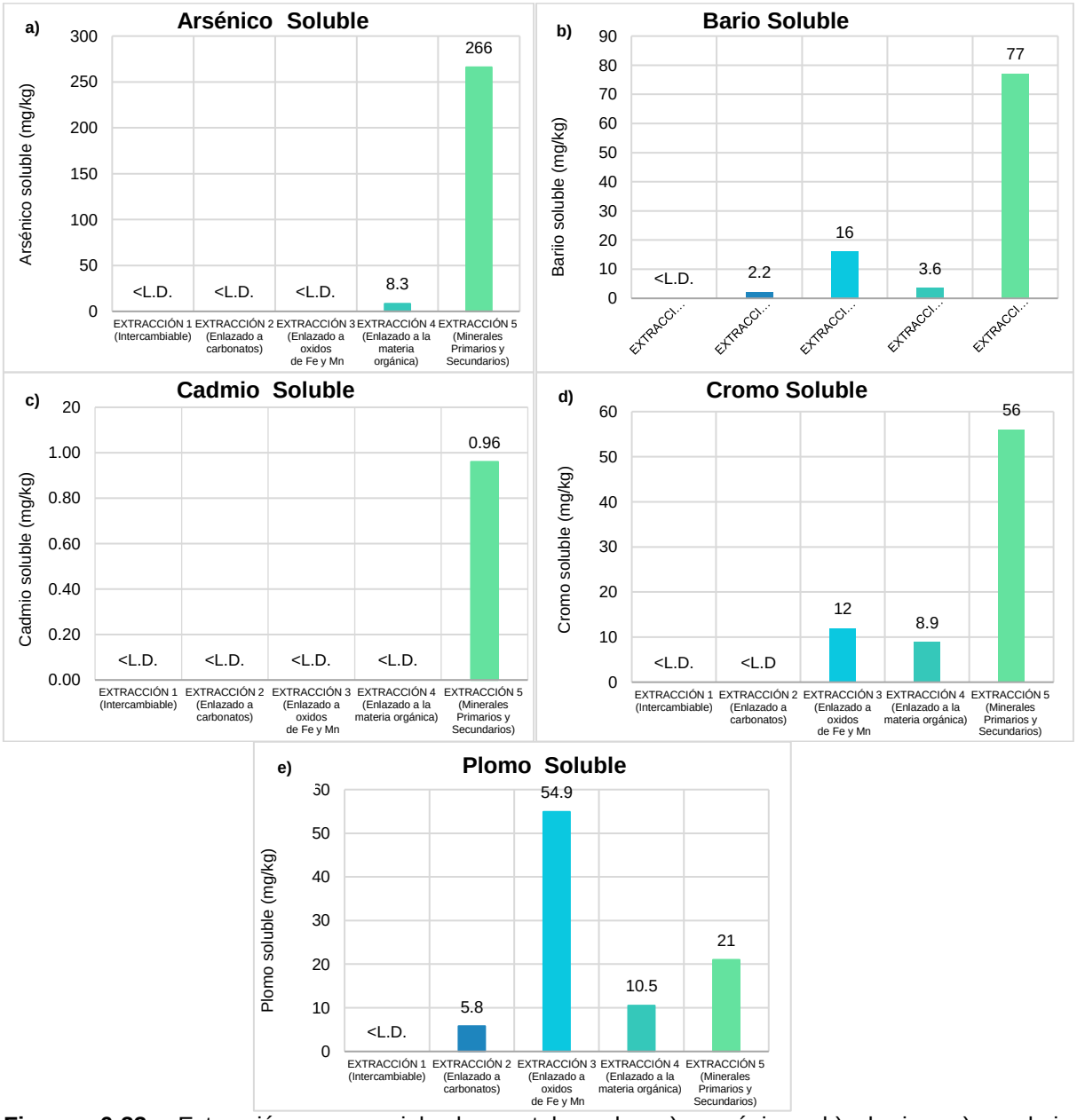


Figura 6-33. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NIEV_31 de la zona 2
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

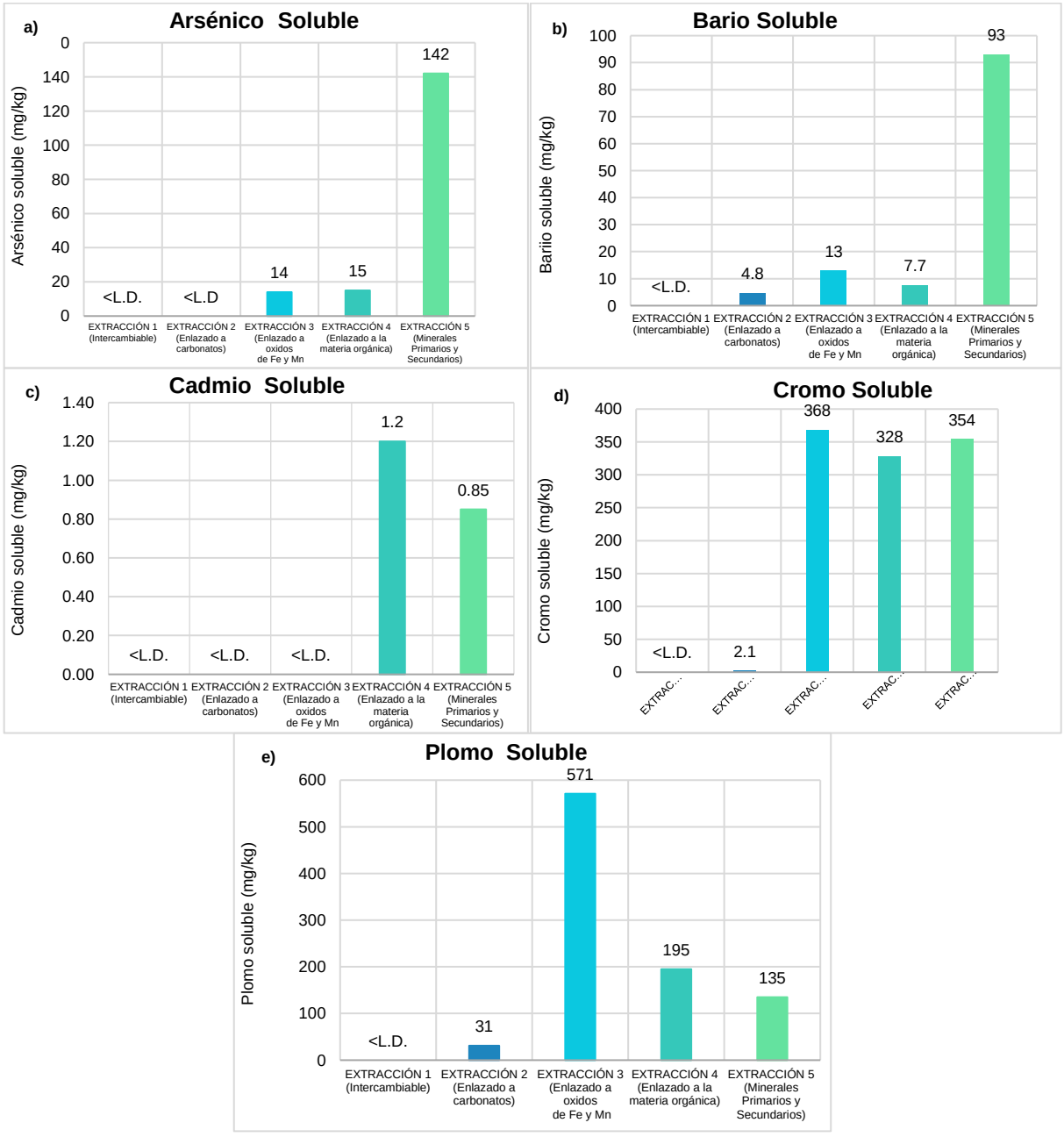


Figura 6-34. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_NIEV_33 de la zona 2
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

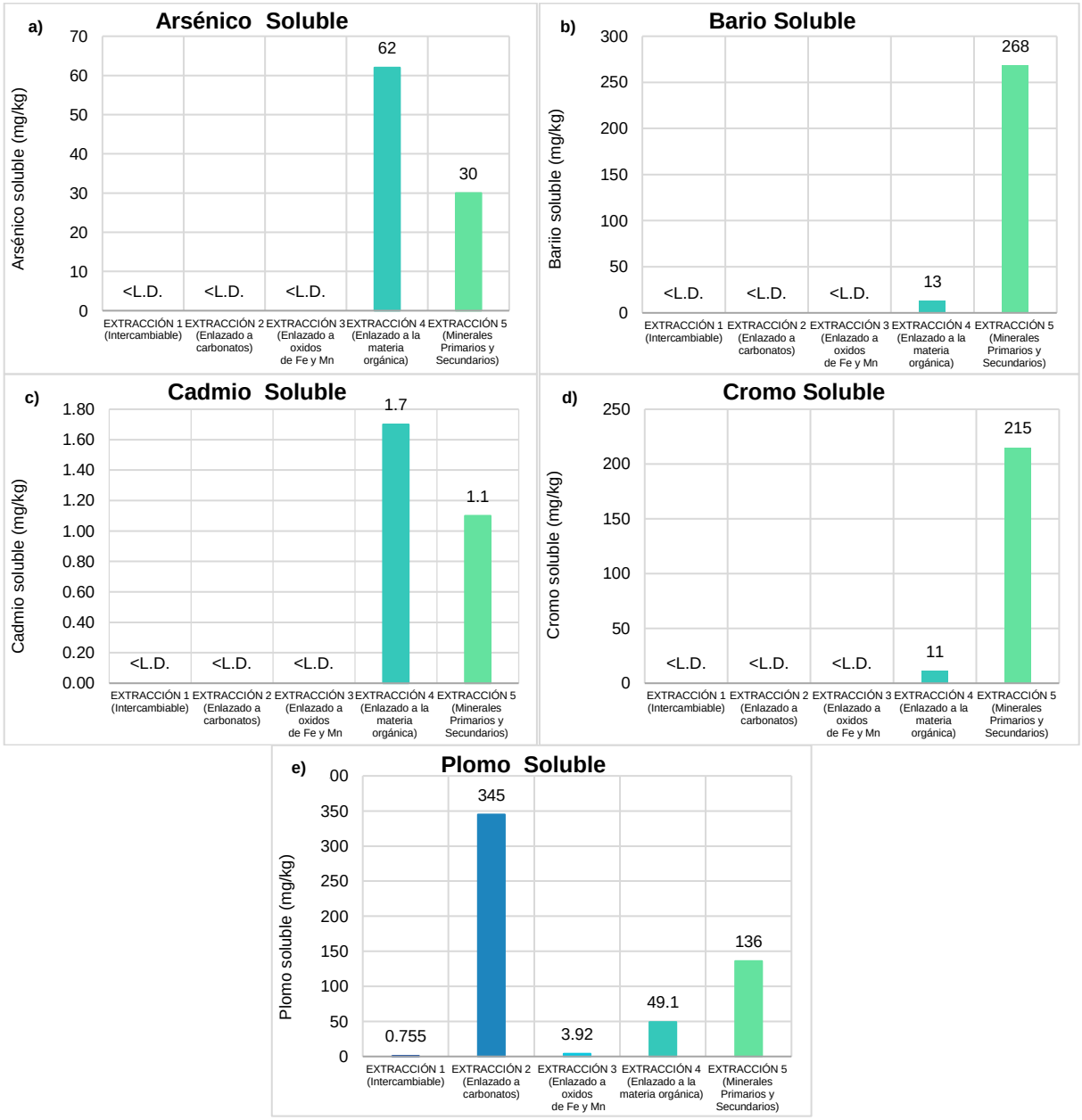


Figura 6-35. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_TINQ_34 de la zona 2
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

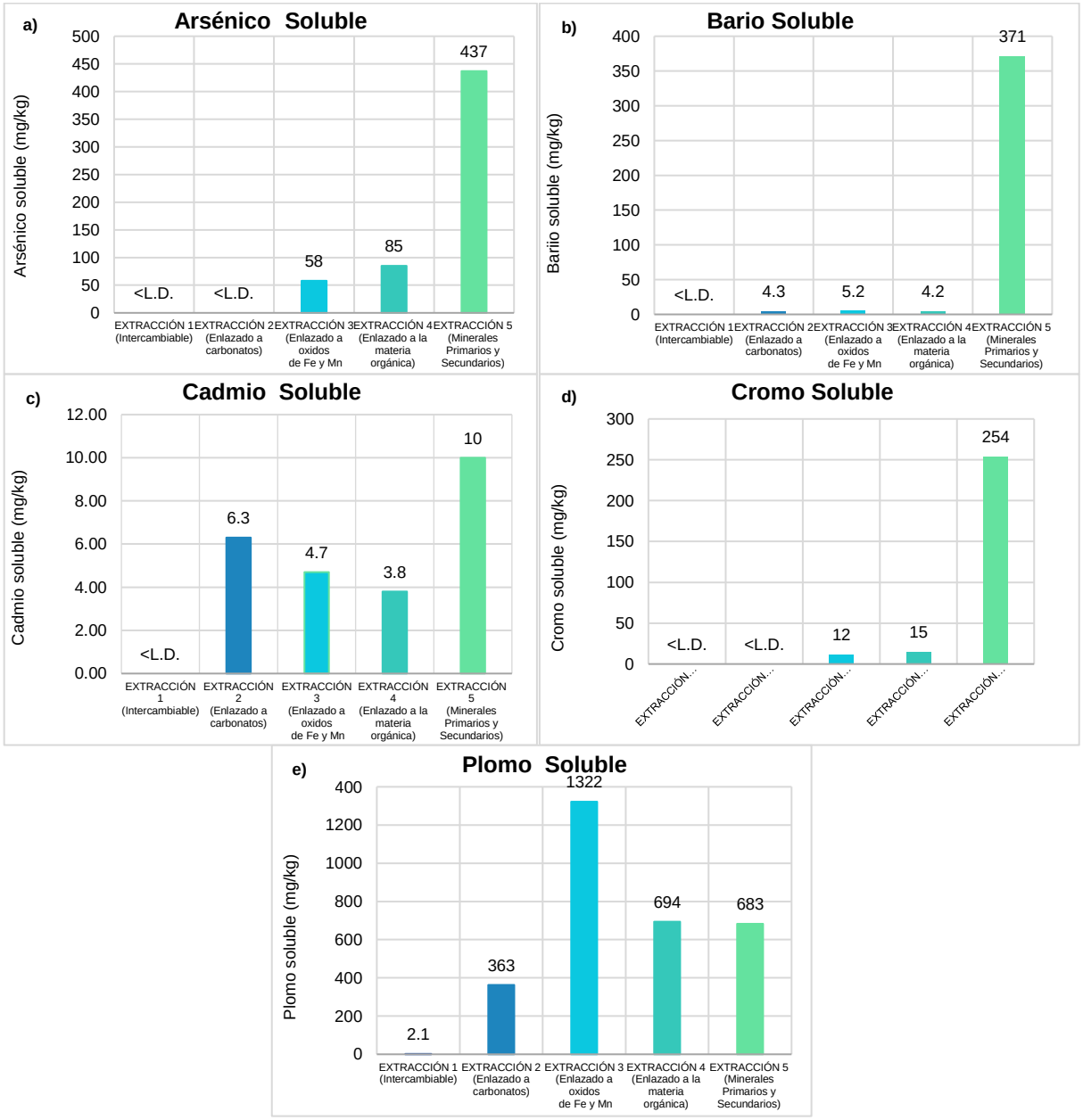


Figura 6-36. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_TINQ_38 de la zona 2
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

6.2.3 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay)

6.2.3.1 Agua

a. Agua superficial

La zona 3 en la evaluación correspondió a la microcuenca de la laguna Rupahuay, en total se evaluaron 14 puntos de muestreo en quebradas: 1 (ingreso a la laguna Rupahuay), 1 (descarga de laguna Rupahuay), 3 (quebrada S/N), 1 (salida de laguna de Suerococha), 3 (río Quichas), 1 (quebrada S/N 6), 1 (quebrada Chaco), 1 (salida de laguna Rumbrococha), 1 (entrada a la laguna Rumbrococha) y 1 (quebrada S/N 7), y 16 puntos de muestreo en lagunas: 1 (laguna Yanacocha), 11 (laguna Rupahuay) y 4 (laguna Rumbrococha). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros evaluados que fueron comparados referencialmente con los valores de los ECA para agua Cat.4:E1. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua superficial para la zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay), se presentan en la Tabla 6-30.

La mayoría de concentraciones de plomo y zinc en las quebradas, ríos y lagunas evaluadas variaron de 0,0006 a 0,0623 mg/L y de 0,0245 a 0,4102 mg/L respectivamente. Solo en los puntos QRupa-02, QRupa-04, QRupa-05, QRupa-08, DRupa-01, QLRumb-04 y en todos los puntos de la laguna Rupahuay se reportó concentraciones de plomo y zinc total, que excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat.4:E1; a excepción del punto QRupa-03, que solo excedió el valor establecido de plomo en la norma en mención.

Referente a las concentraciones de cadmio disuelto reportadas en los puntos de muestreo en quebradas, ríos y lagunas, solo en QRupa-04, DRupa-01, LRupa-01, LRupa-01-F, LRupa-03-T, LRupa-03-F, LRupa-05 y LRupa-05-F; se excedieron el valor establecido en los ECA para agua Cat.4:E1.

Tabla 6-30. Concentraciones de metales en el agua superficial de la zona 3 que excedieron los valores de los ECA para agua Cat.4:E1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/L)		Cadmio disuelto (mg/L)
		Plomo	Zinc	
Descarga de la laguna Rupahuay	QRupa-02	0,0044	0,1616	<0,00001
Quebrada S/N	QRupa-03	0,0071	0,0245	<0,00001
	QRupa-04	0,0623	0,326	0,00043
Río Quichas	QRupa-05	0,0043	0,1305	<0,00001
	QRupa-08	0,0037	0,1424	<0,00001
Quebrada S/N	DRupa-01	0,0432	0,4102	0,00049
Río Quichas	QLRumb-04	0,0028	0,1298	<0,00001
Laguna Rupahuay	LRupa-01	0,0123	0,2626	0,00038
	LRupa-01-F	0,0129	0,2694	0,00035
	LRupa-03	0,0104	0,2527	<0,00001

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/L)		Cadmio disuelto (mg/L)
		Plomo	Zinc	
	LRupa-03-T	0,0099	0,2542	0,00033
	LRupa-03-F	0,01	0,2573	0,00035
	LRupa-05	0,0098	0,2581	0,0003
	LRupa-05-F	0,0116	0,2651	0,00034
	LRupa-08	0,0078	0,252	<0,00001
	LRupa-09	0,0107	0,1821	<0,00001
	LRupa-09-F	0,008	0,1914	<0,00001
	LRupa-12	0,0048	0,1673	<0,00001
D.S. N.° 004-2017-MINAM	Cat.4:E1	0,0025	0,12	0,00025

Exceden los valores establecidos en el D.S. N.° 004-2017-MINAM Cat.4:E1.
NE: No evaluado, <: Menor al límite de detección del laboratorio.

b. Surgencia

En la zona 3 se identificó 1 punto de muestreo en surgencia, ubicado en la parte baja del depósito de desmonte Shucshapá (FRupa-02). A continuación, se presentan los resultados de los parámetros muestreados para caracterización. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales en surgencias para la zona 3, se presentan en la Tabla 6-31.

Tabla 6-31. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en las surgencias identificadas en la zona 3

Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Oxígeno disuelto (mg/L)	CE (µS/cm)	SST (mg/L)	Metales totales (mg/L)					Cadmio disuelto (mg/L)
					Cobre	Plomo	Selenio	Talio	Zinc	
FRupa-02	8,41	5,12	199,4	<2	<0,00003	0,001	<0,0004	<0,00002	< 0,010	<0,00001

<: Menor al límite de detección del laboratorio

c. Efluente minero y agua residual industrial

En la zona 3 de la evaluación se identificó 1 efluente minero, ubicado en la tubería enterrada antes de su vertimiento en la laguna Rupahuay (EFRupa-02); cuyos resultados de los parámetros evaluados fueron comparados con los LMP, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Asimismo, se caracterizó 4 puntos de muestreo de agua residual industrial, uno de la poza de secado – Shucshapá (ARRupa-1), otro proveniente de la bocamina Shucshapá (AMRupa-1), otro en rebose de sedimentador Shucshapá (EFRupa-1), y por último al pie del depósito de desmonte Shucshapá (FRupa-01). Asimismo, Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Referente a los resultados de parámetros fisicoquímicos registrados en el **efluente minero** (EFRupa-02) para la zona 2, se puede indicar que las características de su

flujo, presentó valores de pH de 8,41 unidades, y de conductividad eléctrica de 866 µS/cm.

En cuanto a las concentraciones de metales reportadas en el efluente minero EFRupa-02, estas no excedieron los valores LMP establecidos en el D.S. N.° 010-2010-MINAM.

En la misma zona evaluada, y con respecto a los 4 puntos de muestreo de **agua residual industrial** evaluado (ARRupa-1, AMRupa-1, EFRupa-1 y FRupa-01), se puede indicar que, los valores de pH alcalino variaron de 7,99 unidades (AMRupa-1) y 8,82 unidades (EFRupa-1). Los valores de sólidos suspendidos totales (SST) variaron de 2 mg/L (FRupa-1) a 20065 mg/L (ARRupa-1). Las mayores concentraciones de arsénico total (0,26751 mg/L), cobre total (0,8215 mg/L), plomo total (13,69 mg/L) y zinc total (12,43 mg/L) se registraron en el punto ARRupa-1; y en esos 4 puntos se obtuvieron una concentración hierro disuelto menor al límite de detección del laboratorio (<0,0004 mg/L), a excepción del punto FRupa-01 que reportó una concentración de 0,0496 mg/L (Tabla 6-32).

Tabla 6-32. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos y metales en el agua residual industrial reportadas en la zona 3

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	SST (mg/L)	Metales totales (mg/L)				Hierro disuelto (mg/L)
				Cobre	Plomo	Arsénico	Zinc	
Agua residual industrial	ARRupa-1	8,38	20065	0,8215	13,69	0,26751	12,43	<0,0004
	AMRupa-1	7,99	248	0,09616	2,273	0,04564	2,138	<0,0004
	EFRupa-1	8,82	3	0,00444	0,0427	0,01279	0,2352	<0,0004
	FRupa-01	7,57	2	0,0059	0,0159	0,0045	2,267	0,0496

<: Menor al límite de detección del laboratorio

d. Agua subterránea

En la zona 3 se evaluó 5 puntos de muestreo en piezómetros. A continuación, se presentan los parámetros evaluados que fueron comparados referencialmente con los valores establecidos en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

- **Parámetros fisicoquímicos y metales**

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua subterránea para la zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay), se presentan en la Tabla 6-33. Los valores de pH en los piezómetros variaron de 7,61 a 11,38 unidades, donde solo en el punto PR-105 se registró un valor (11,38 unidades) por encima de los rangos establecidos referencialmente en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2.

Respecto a las concentraciones de arsénico y manganeso obtenidas en los piezómetros evaluados, solo en el punto PR-104 se registró una concentración de manganeso (0,35970 mg/L) y de arsénico (0,13644 mg/L) que excedieron los valores establecidos referencialmente en los ECA para agua Cat.3:D1 y D2 y Cat.3:D1 respectivamente.

Tabla 6-33. Valores de pH y concentraciones de metales en el agua subterránea de la zona 1 que excedieron referencialmente los valores de los ECA para agua Cat.3:D1 y D2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Metales totales (mg/L)	
			Arsénico	Manganeso
Agua subterránea	PE-03	7,99	0,01452	0,09292
	PE-06	7,65	0,01045	0,00284
	PR-105	11,38	0,06310	0,00752
	PR-101	7,75	0,00459	0,00992
	PR-104	7,61	0,13644	0,35970
ECA para agua Categoría 3 (D.S. N.° 004-2017-MINAM)	D1	6,5 - 8,5	0,1	0,2
	D2	6,5 - 8,4	0,2	0,2

Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:D1.
Exceden los valores establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM Cat.3:D1 y D2.

6.2.3.2 Sedimento

En esta sección se describen los resultados para los ensayos de granulometría, pH, metales totales, índice de geoacumulación, extracción secuencial, análisis mineralógico y metales solubles obtenidas mediante el SPLP; realizados en las diferentes muestras de sedimento de la zona 3.

En cuanto a las concentraciones de metales registradas en el sedimento de la zona 3, solo se presentan aquellas que excedieron los valores de los estándares *Interim sediment quality guidelines* (en adelante, ISQG) y *Probable effect level* (en adelante, PEL) de la guía canadiense.

La zona 3 de la evaluación corresponde a la microcuenca de la laguna Rupahuay, en total se evaluaron 22 puntos de muestreo de sedimento, 11 en cuerpos lénticos (lagunas) y 11 en cuerpos lóticos (quebradas y ríos).

La distribución está definida desde las áreas que se encuentran fuera de la influencia de las operaciones mineras hasta el cuerpo receptor final (lagunas Yanacocha, Rupahuay y Rumbrococha). Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Granulometría

En la Figura 6-37, se aprecia que el sedimento evaluado en el punto de muestreo LRupa-SED-14 (laguna Rupahuay), presenta como material predominante la arena (91,60 %) y en menor proporción el limo y la arcilla (8,40 %).

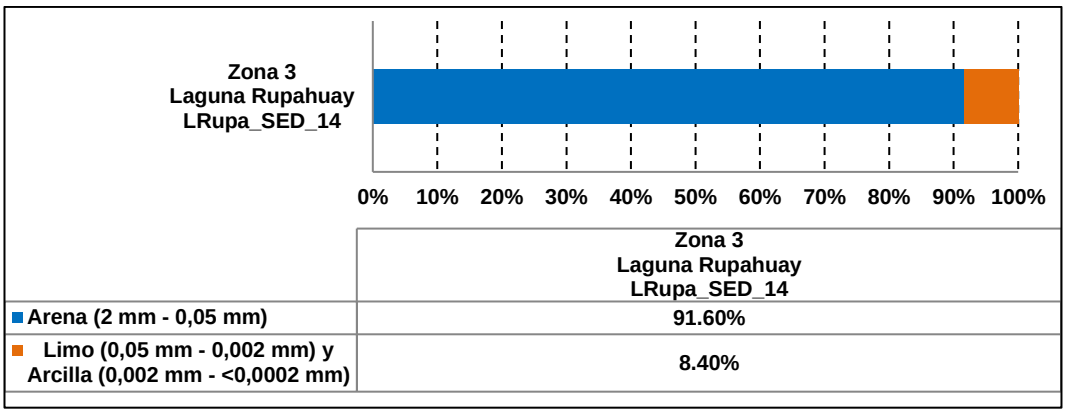


Figura 6-37. Granulometría del sedimento de la laguna Rupahuay de la zona 3

b. pH y metales

Los valores de pH en lagunas de la zona 3, presentaron un comportamiento ácido a alcalino (de 6,07 a 7,96 unidades); sin embargo, el pH del sedimento de las quebradas presentó un comportamiento alcalino entre 7,83 a 8,56 unidades (Tabla 6-34).

Respecto a los metales totales, de los 22 puntos en lagunas y quebradas, el 77 % presentaron concentraciones de arsénico que excedieron el valor PEL (17 mg/kg PS) de la guía canadiense, cuyo valor máximo se registró en el punto LYana-SED-02 con 536 mg/kg PS. El 45 %, 18 %, 64 % y 68 % registraron concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc que excedieron los valores PEL de la guía referida respectivamente.

Referente a las lagunas evaluadas, las concentraciones máximas de cobre (1333 mg/kg PS), mercurio (0,42 mg/kg), plomo (8590 mg/kg) y zinc (11956 mg/kg PS) se registraron en el punto LRupa-SED-14, ubicado en la laguna Rupahuay. En cuanto a los puntos ubicados en las quebradas evaluadas, las concentraciones máximas de arsénico (291,3 mg/kg PS), cadmio (42,2 mg/kg PS), cobre (1218 mg/kg PS), mercurio (0,3 mg/kg), plomo (7386 mg/kg PS) y zinc (11351), se reportaron en el punto QRupa-04, afluente de la laguna Rupahuay.

Tabla 6-34. Resultados de pH y metales para muestras de sedimento de la zona 3

Cuerpos de agua	Punto de muestreo	pH (Unidad de pH)	Metales totales (mg/kg PS)					
			As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Laguna Yanacocha	LYana-SED-01	7,84	45,3	2,6	13,7	0,09	28	453,2
	LYana-SED-02	6,07	536,9	30,4	33,4	0,08	325	3885
	LYana-SED-03	6,61	248,2	109,2	45,2	0,12	385	9904
Quebrada S/N	QRupa-03	7,87	123,7	11,9	1212	0,06	1194	3137
	QRupa-04	7,83	291,3	42,2	1218	0,3	7386	11351
Laguna Rupahuay	LRupa-SED-13-A	7,69	28,1	2,1	14	0,03	106	205,9
	LRupa-SED-13-B	7,63	77,7	4,1	40	0,05	346	543
	LRupa-SED-14	7,80	347,8	45	1333	0,42	8590	11956
	LRupa-SED-08	7,96	22,1	2,5	35,9	0,02	116	482,7
	LRupa-SED-12	7,55	82,1	12,5	206	0,05	711	6194
Quebrada S/N 6	QLSuer-02	8,00	<3,5	<0,5	16,7	0,03	6	77,1
	QRupa-06	8,04	29,7	2,1	15,2	0,03	10	95,2
Río Quichas	QRupa-08	7,90	41,6	4,4	44,3	0,03	124	1213
Quebrada Chaco	QVeta-01	8,23	9,8	<0,5	17	0,02	102	165
Río Quichas	QRupa-05	8,11	27,7	3,4	48	0,02	235	827,6
	QLRumb-04	8,28	18,7	2,6	18,4	0,03	80	872,2
Quebrada S/N 7	QLRumb-03	7,86	11,1	<0,5	10,3	0,06	9	76,4
Río Quichas	QLRumb-02	8,05	19,5	2,3	19,4	0,04	76	721,8
Laguna Rumbrococha	LRumb-SED-07-A	NE	71,4	4,7	27,3	0,11	96	782,2
	LRumb-SED-07-B	NE	11,3	<0,5	5,7	0,05	13	117,6
	LRumb-SED-07-C	7,72	68,5	6	78,5	0,17	560	1559
Río Quichas	QLRumb-01	8,56	9,9	<0,5	16,7	0,04	75	255,7
ISQG[a] (mg/kg PS)		No aplica	5,9	0,6	35,7	0,17	35,0	123
PEL[b] (mg/kg PS)			17,0	3,5	197	0,486	91,3	315

(a) *Interim sediment quality guidelines* (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos.
(b) *Probable effect level* (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que incumplen el valor de ISQG de la CEQG-SQG.
: Concentraciones que incumplen el valor de PEL de la CEQG-SQG.
<: Menor al límite de detección del laboratorio.

En relación al punto LRumb-SED-07, se tomaron 3 muestras en el perfil del sedimento, la primera LRumb-SED-07-C denominada superficial; la segunda LRumb-SED-07-B, medio y la tercera LRumb-SED-07-A, fondo.

c. Índice de geoacumulación

Para la determinación del valor de fondo geoquímico (Bn) se basó en la información obtenida de la laguna Yanacocha, de las quebradas S/N 6 y Chaco, y el río Quichas. En la Tabla 6-35 se presentan los valores de fondo geoquímico (Bn) de zona 3.

Tabla 6-35. Valor de fondo geoquímico (Bn) en los sedimentos evaluados en la zona 3

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Metales totales (mg/kg PS)						
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
Laguna Yanacocha	LYana-SED-01	45,3	2,6	13,7	<0,9	0,09	28	453
	LYana-SED-02	536,9	30,4	33,4	9,6	0,08	325	3885
	LYana-SED-03	248,2	109,2	45,2	10	0,12	385	9904
	$Bn_{(Lénticos)}$	276,8	47,4	30,8	9,8	0,1	246,0	4747,4
Quebrada S/N 6	QLSuer-02	<3,5	<0,5	16,7	9,8	0,03	6	77
	QRupa-06	29,7	2,1	15,2	9,1	0,03	10	95
Quebrada Chaco	QVeta-01	9,8	<0,5	17	5,2	0,02	102	165
Río Quichas	QLRumb-02	19,5	2,3	19,4	4	0,04	76	722
	$Bn_{(Lóticos)}$	19,67	2,20	17,08	7,03	0,03	48,50	264,78

<: Menor al límite de detección del laboratorio.

La laguna Rupahuay en el punto LRupa-SED-14 presentó valores de Igeo que van de 1,53 (mercurio) a 4,85 (cobre) y 4,54 (plomo) correspondientes a moderadamente contaminado y fuerte a extremadamente contaminado respectivamente (Tabla 6-36).

En lo que respecta a los cuerpos lóticos, en el punto QRupa-03 existe una variación del valor de Igeo de 1,85 (moderadamente contaminado) para el metal cadmio a 5,56 (extremadamente contaminado) para el metal cobre. Para el caso del punto QRupa-04, los valores de Igeo para todos los metales (a excepción del cromo) variaron de 2,74 (sedimento moderadamente a fuertemente contaminado) para el metal de mercurio a 6,67 (extremadamente contaminado) para el metal de plomo.

Tabla 6-36. Índices de geoacumulación obtenidos para la zona 3

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Índice de geoacumulación (Igeo)						
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
Laguna Rupahuay	LRupa-SED-13-B	-2,42	-4,12	-0,21	-1,05	-1,54	-0,09	-3,71
	LRupa-SED-14	-0,26	-0,66	4,85	-0,41	1,53	4,54	0,75
	LRupa-SED-08	-4,23	-4,83	-0,36	-4,05	-2,86	-1,67	-3,88
	LRupa-SED-12	-2,34	-2,51	2,16	-1,13	-1,54	0,95	-0,20
Laguna Rumbrococha	LRumb-SED-07-C	-2,60	-3,57	0,77	-0,30	0,23	4,01	-2,19
Quebrada S/N	QRupa-03	2,07	1,85	5,56	-0,55	0,42	4,04	2,98
	QRupa-04	3,30	3,68	5,57	0,02	2,74	6,67	4,84
Río Quichas	QRupa-08	0,50	0,42	0,79	-0,16	-0,58	0,77	1,61
	QRupa-05	-0,09	0,04	0,91	-0,79	-1,17	1,69	1,06

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Índice de geoacumulación (Igeo)						
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
	QLRumb-04	-0,66	-0,34	-0,48	-1,63	-0,58	0,14	1,13
Quebrada S/N 7	QLRumb-03	-1,41	-2,73	-1,31	-1,77	0,42	-3,01	-2,38
Río Quichas	QLRumb-01	-1,58	-2,73	-0,62	-3,55	-0,17	0,04	-0,64

- No contaminado (Igeo<0)
- No contaminado a moderadamente contaminado (0<Igeo<1)
- Moderadamente contaminado (1<Igeo<2)
- Moderadamente a fuertemente contaminado (2<Igeo<3)
- Fuertemente contaminado (3<Igeo<4)
- Fuerte a extremadamente contaminado (4<Igeo<5)
- Extremadamente contaminado (Igeo>5)

d. Extracción secuencial de metales por Tessier

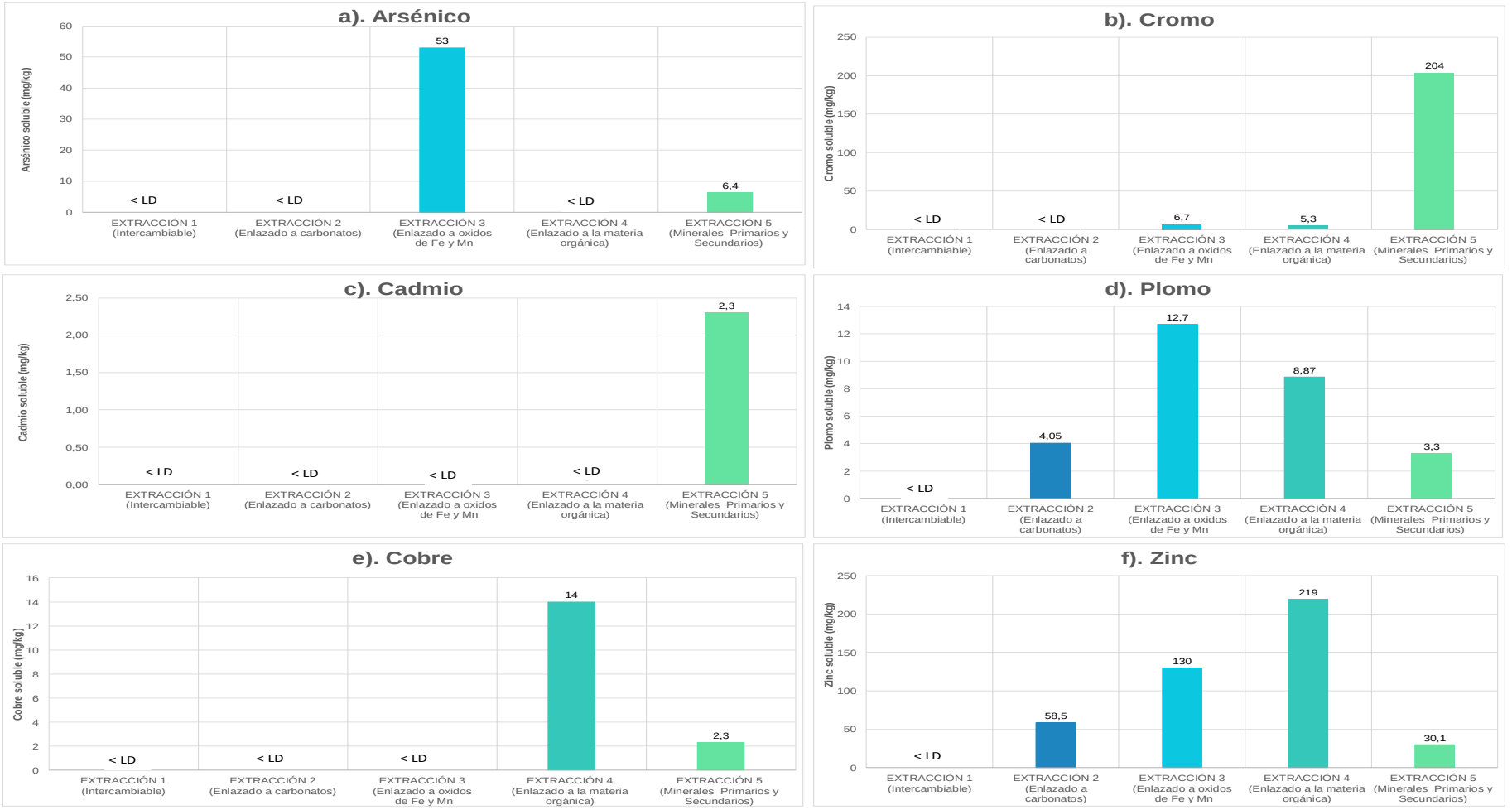
La determinación de la biodisponibilidad de algunos analitos en el sedimento se realizó mediante el ensayo de extracción secuencial a través de la metodología de Tessier. Se realizó la toma de 3 muestras de sedimento (LYana-SED-01, LYana-SED-02 y LYana-SED-03) para realizar dicho análisis. Los resultados de extracción secuencial de metales en sedimento se detallan en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

De acuerdo a la Figura 6-38, correspondiente al punto LYana-SED-01, se observa que el arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc presentaron concentraciones bajas en la fracción 1 (intercambiable); mientras que, para la fracción 2 (enlazados a carbonatos), las concentraciones de plomo y zinc, fueron de 4,05 y 58,5 mg/kg respectivamente, relacionadas a la biodisponibilidad de estos metales por cambios de pH en el sistema. Además, las concentraciones de arsénico (53 mg/kg), cromo (6,7 mg/kg), plomo (12,7 mg/kg) y zinc (130 mg/kg) estuvieron relacionadas a la biodisponibilidad en la fracción 3; las concentraciones de cobre, plomo y zinc son más estables al encontrarse en la fracción 4. El cadmio y cromo predominan en la fracción 5 con una concentración de 2,3 y 204 mg/kg respectivamente.

En la Figura 6-39, se muestra que el punto LYana-SED-02 registró concentraciones bajas de arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc en la fracción 1 (intercambiable); en tanto que, el arsénico (8,4 mg/kg), cromo (1,6 mg/kg), plomo (8,87 mg/kg) y zinc (61,9 mg/kg) se encuentran enlazados a carbonatos (fracción 2). Asimismo, el zinc reportó la mayor concentración en la fracción 3; las mayores concentraciones de plomo, cobre y zinc están presentes en la fracción 4 en comparación a la 5; y viceversa para las concentraciones de arsénico, cromo y cadmio.

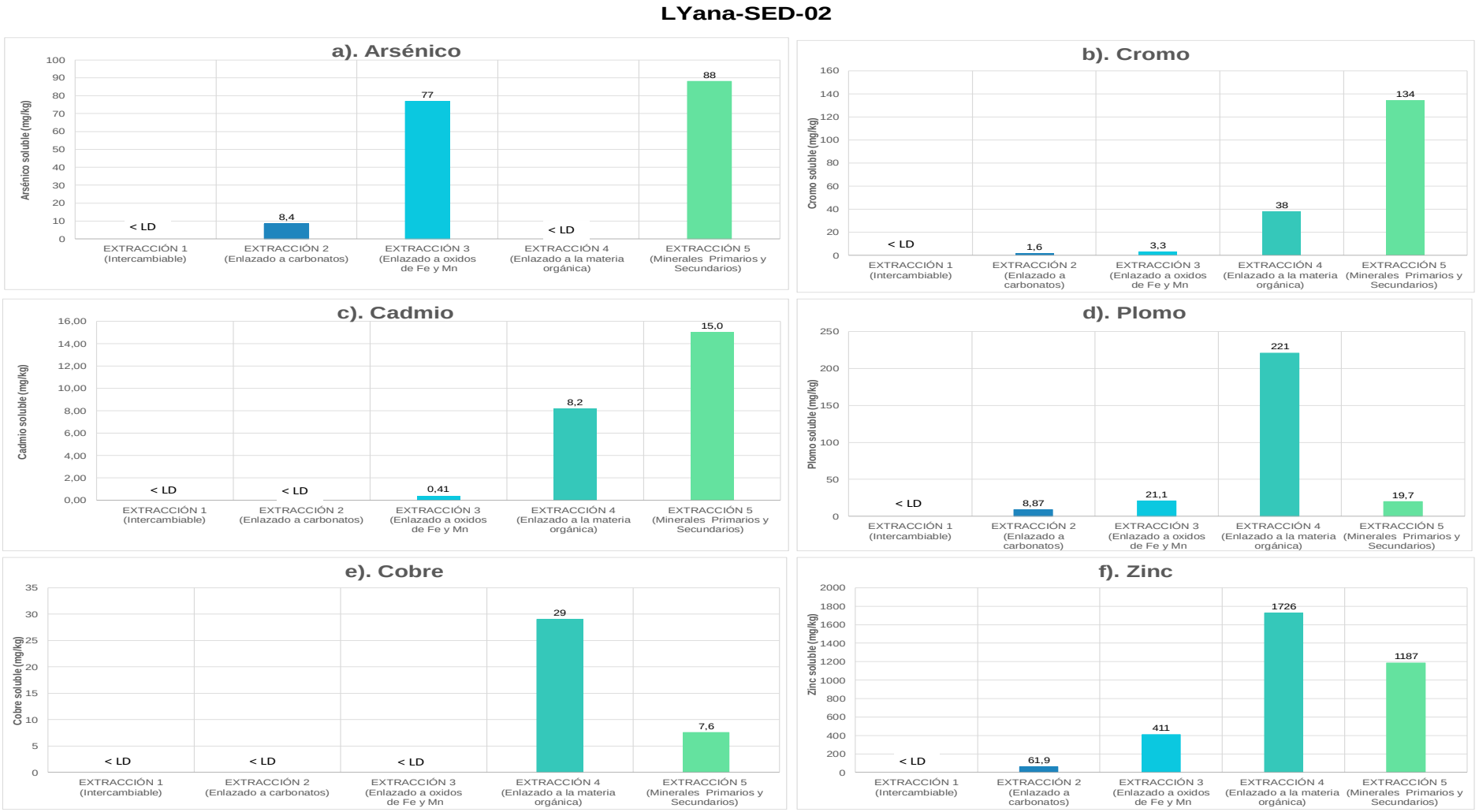
Referente a la Figura 6-40, para el punto LYana-SED-03 se observa que el arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc presentaron concentraciones bajas en la fracción 1 (intercambiable); mientras que, los metales de arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc se encuentran en la fracción 2 (enlazados a carbonatos) y 3, registrándose la mayor concentración de 59 y 146 mg/kg para zinc respectivamente. Además, las concentraciones de cadmio, plomo, cobre y zinc fueron las mayores en la fracción 4 en comparación con la 5; y viceversa para las concentraciones de arsénico y cromo.

LYana-SED-01



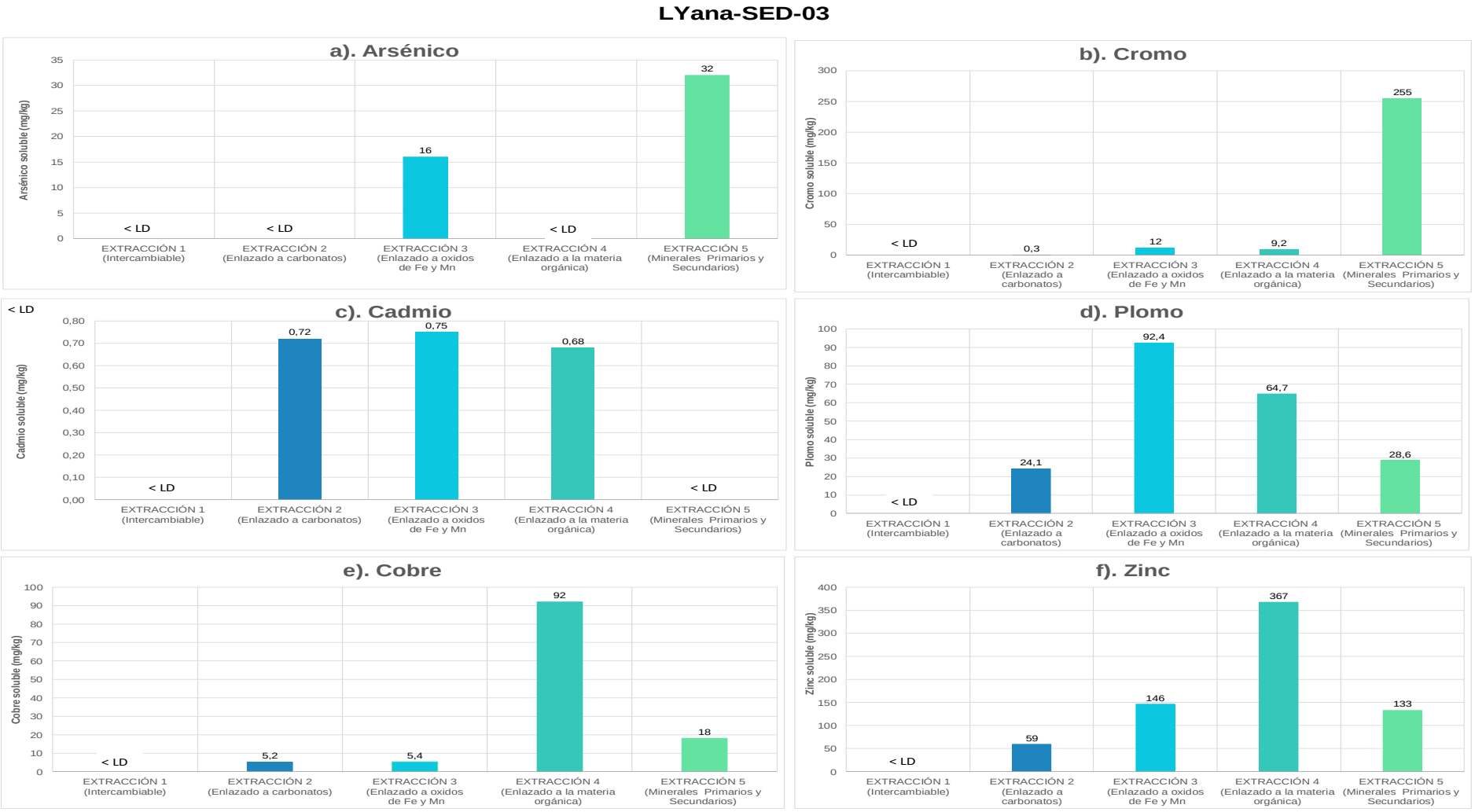
< LD: Menor al límite de detección

Figura 6-38. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LYana-SED-01 de la zona 3



< LD: Menor al límite de detección

Figura 6-39. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LYana-SED-02 de la zona 3



< LD: Menor al límite de detección

Figura 6-40. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) cromo, c) cadmio, d) plomo, e) cobre y f) zinc; en el punto LYana-SED-03 de la zona 3

e. Análisis mineralógico

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1 %. Sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro éste se incrementa a 3 % la cuantificación de fases amorfas se evaluó a partir de 20 % de contenido en la muestra. El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

En la Tabla 6-37 se presentan los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) en la laguna Rupahuay (LRupa-SED-14), donde predominaron minerales de calcita (46 %), seguido de feldespato (11 %) y cuarzo (10 %); Mientras que, se registró la presencia de minerales como galena, anatasa, anfíbol, montmorillonita y caolinita, cuyos porcentajes estuvieron por debajo del límite de detección.

Tabla 6-37. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos x en la muestra LRupa-SED-14

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Calcita	CaCO3	46
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	11
Cuarzo	SiO2	10
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	6
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	5
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	4
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	4
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	3
Pirita	FeS2	3
Esfalerita	(Zn,Fe)S	2
Galena	PbS	<L.D.
Anatasa	TiO2	<L.D.
Anfibol (Actinolita)	Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)2	<L.D.
Montmorillonita	(Na,Ca)0,3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2 n(H2O)	<L.D.
Caolinita	Al2Si2O5(OH)4	<L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

f. SPLP

Los resultados del análisis de lixiviación en muestras de sedimento en la laguna Rupahuay de la zona 2, presentaron las mayores concentraciones de azufre, calcio y sílice tanto en el punto LRupa-SED-12 como en el LRupa-SED-14 (Tabla 6-38).

Tabla 6-38. Resultados de SPLP de muestras de sedimento de la zona 3

Metales (mg/L)	LRupa-SED-12	LRupa-SED-14
Aluminio	0,083	0,274
Antimonio	0,12	<0,09
Azufre	43	23
Bario	0,0023	0,0038
Boro	0,06	<0,05
Calcio	38,6	33,5
Cobalto	0,0077	<0,0066
Cobre	< 0,0036	0,0363
Estroncio	0,224	0,057
Magnesio	1,4	1,3

Metales (mg/L)	LRupa-SED-12	LRupa-SED-14
Manganeso	0,999	0,096
Molibdeno	0,514	0,013
Níquel	0,1123	<0,0063
Potasio	1,2	<0,85
Sílice	15	7,7
Sodio	1,09	0,687

<: Menor al límite de detección del laboratorio

6.2.3.3 Suelo

La zona 3 corresponde a la microcuenca de la laguna Rupahuay, comprende 1 API Rupahuay, donde se evaluaron 89 puntos de muestreo de suelos y 15 muestras compuestas, estos puntos se encuentran ubicados en zonas aledañas a la planta de tratamiento de agua residuales y depósito de desmonte Shucshapá.

En esta sección se describen los resultados para los ensayos de textura, granulometría, pH, materia orgánica, metales totales, extracción secuencial y análisis mineralógicos, realizados en las diferentes muestras de sedimento de la zona 3.

Referente a, las concentraciones de metales registradas en las muestras de suelos del API Rupahuay, solo se presentan aquellas que excedieron referencialmente los valores de los ECA para suelo de uso industrial/extractivo. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran a detalle en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

a. Textura

La textura reportada en las muestras compuestas API_RUPA_100 y API_RUPA_102 presentan ambas una textura franca, con un porcentaje de 50 % de arena, 35 % de limo y 15 % de arcilla en la muestra API_RUPA_100 y 30 % de arena, 45 % limo y 25 % de arcilla para la muestra API_RUPA_102 (Figura 6-41).

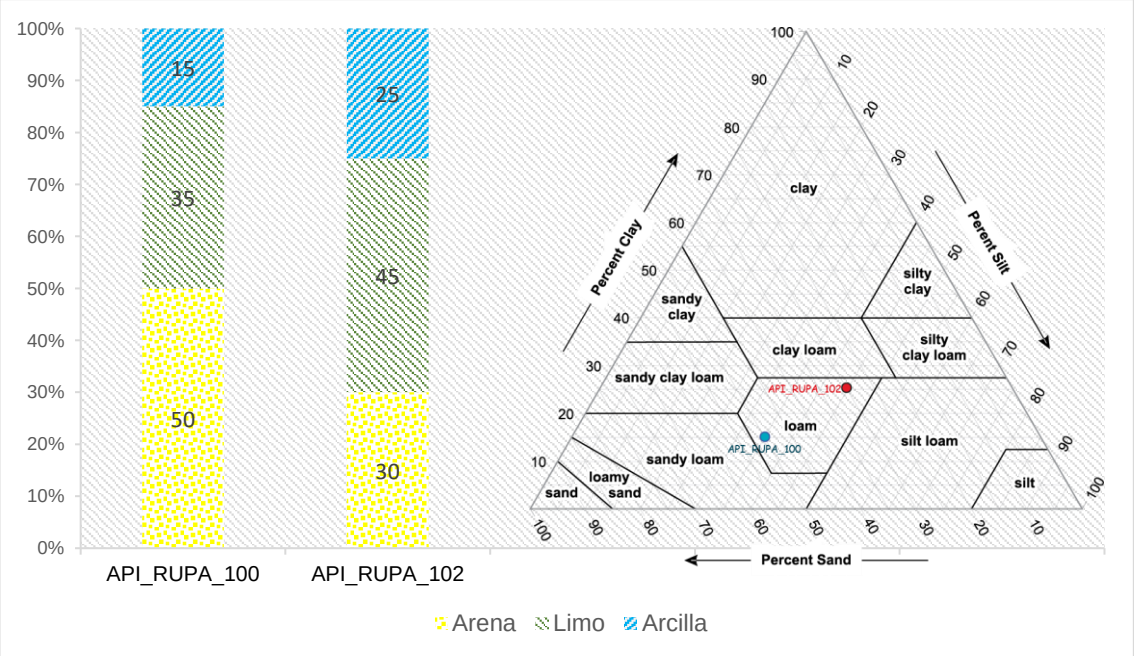


Figura 6-41. Porcentaje de arena, limo, arcilla, y triángulo textural en las muestras API_CABA_19, API_NIEV_33 y API_TINQ_38

b. Granulometría

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de granos presentes en una masa de suelos dada. La muestra compuesta API_RUPA_100 presentó un 59,92 % de diámetro de partícula de 150 µm, y API_RUPA_102 presentó un 32,15 % de diámetro de partícula de 150 µm (Figura 6-42).

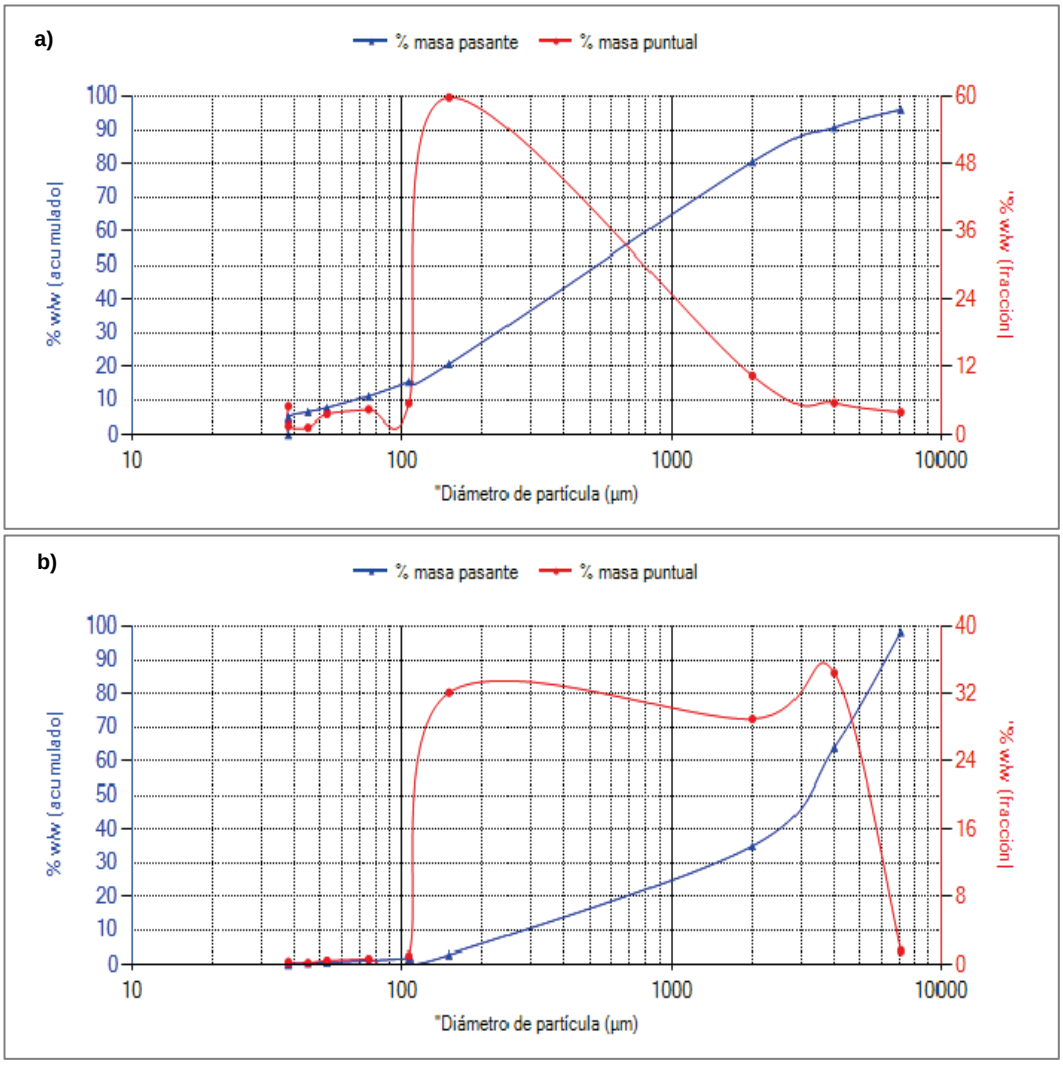


Figura 6-42. Curva granulométrica de la muestra a) API_RUPA_100 y b) API_RUPA_102, en el suelo del API Rupahuay
Fuente: Informes de ensayo N.° S-18/027735 y S-18/027736 emitidos por AGQ PERÚ S.A.C.

d. pH y materia orgánica

En la Tabla 6-39 se presenta los resultados de análisis de pH y materia orgánica realizada a 10 muestras compuestas de suelo que corresponden a las API Rupahuay; donde, de acuerdo a las clases de reacción para esas muestras se tiene: moderadamente ácido (API_RUPA_91), ligeramente ácido (API_RUPA_90, API_RUPA_92, API_RUPA_93, API_RUPA_98, API_RUPA_99), neutro (API_RUPA_94, API_RUPA_95, API_RUPA_96) y ligeramente alcalino

(API_RUPA_97). Además, se presentan porcentajes altos de materia orgánica en todos los puntos en mención.

Cabe señalar que, los valores de pH variaron de 5,96 (API_RUPA_91) a 7,45 unidades (API_RUPA_97), y los de materia orgánica variaron de 8,9 (API_RUPA_97) a 49,1 % (API_RUPA_92).

Tabla 6-39. Resultados de pH y materia orgánica en las API Rupahuay

Punto de muestreo	Parámetros	
	pH (unidades)	Materia orgánica (%)
API_RUPA_90	6,51	41,8
API_RUPA_91	5,96	39,1
API_RUPA_92	6,23	49,1
API_RUPA_93	6,55	28,6
API_RUPA_94	6,98	11,1
API_RUPA_95	6,76	28,9
API_RUPA_96	7,36	11,7
API_RUPA_97	7,45	8,9
API_RUPA_98	6,12	17
API_RUPA_99	6,42	30,8

Fuente: Informe de ensayo N.° SAA-18/00842 emitido por AGQ PERÚ S.A.C.

e. Metales

Los resultados de las concentraciones de metales arsénico, cadmio y plomo en suelos para la zona 3, se presentan en las Figuras 6-43, 6-44 y 6-45 respectivamente. En relación a, las concentraciones de arsénico registradas en el API Rupahuay, el 25 % (18/73) puntos de muestreo excedieron referencialmente los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (140 mg/kg), donde la máxima concentración se registró en el punto de muestreo API_RUPA_52 (1946 mg/kg).

Referente a, las concentraciones de cadmio reportadas en el API Rupahuay, el 8 % (6/73) de los puntos muestreados excedieron de manera referencial los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (22 mg/kg), registrándose la mayor concentración en el punto de muestreo API_RUPA_5 (57,1 mg/kg). En el mismo API, el 20 % (15/73) de los puntos de muestreo presentaron concentraciones de plomo que excedieron referencialmente los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (800 mg/kg), donde la concentración máxima se obtuvo en el punto de muestreo API_RUPA_5 (8257 mg/kg).

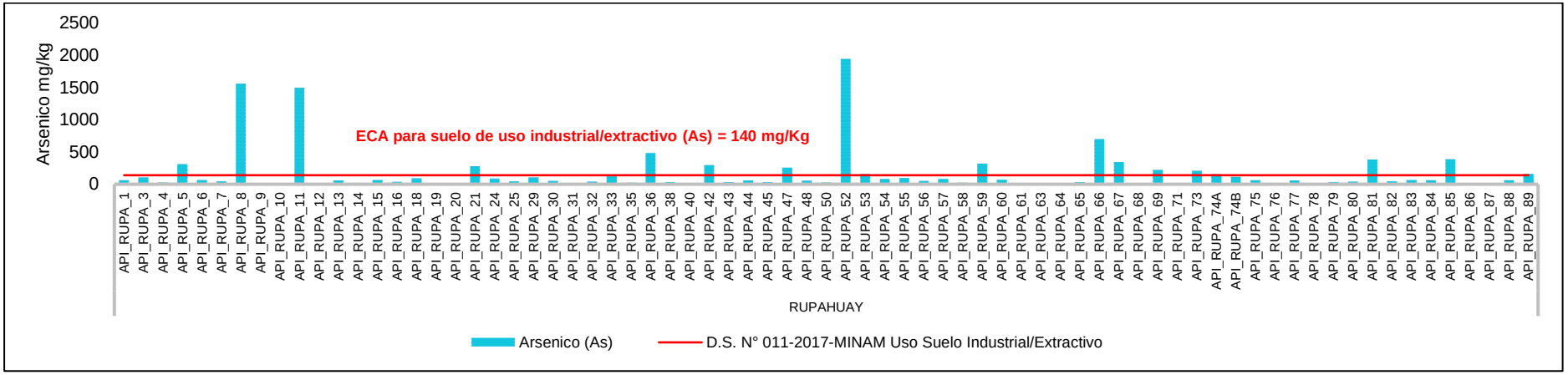


Figura 6-43. Concentraciones de arsénico en las API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

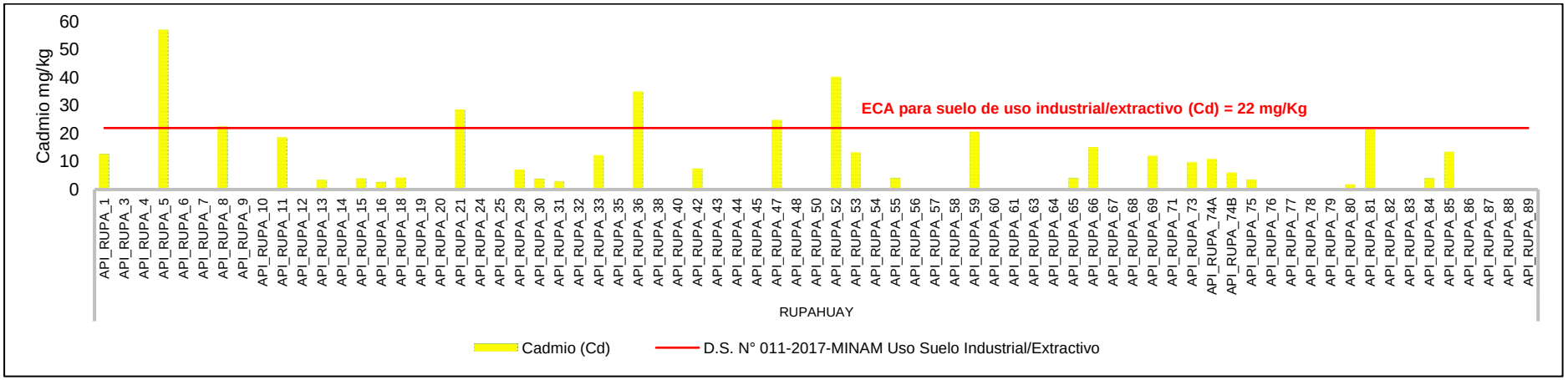


Figura 6-44. Concentraciones de cadmio en las API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

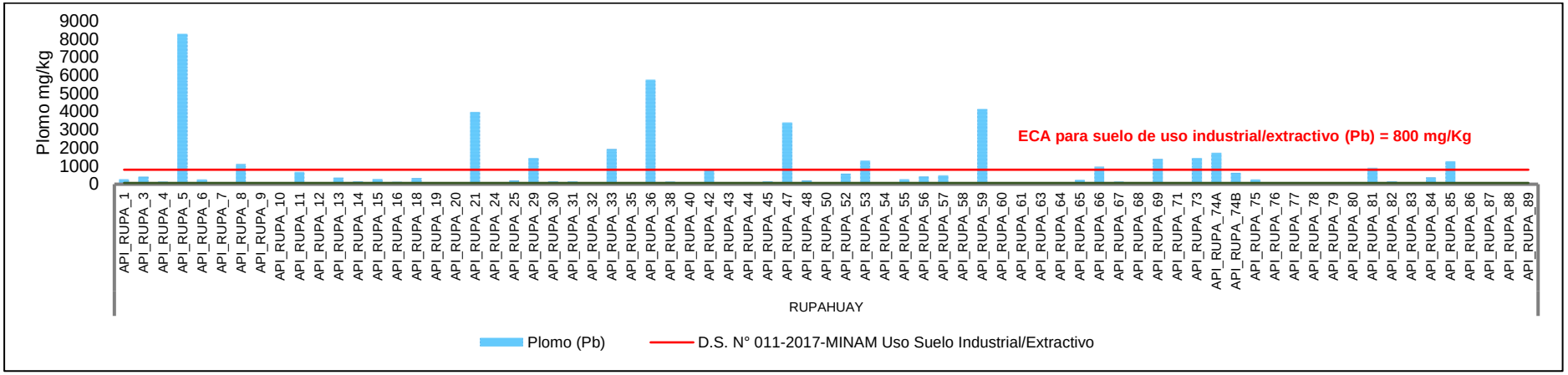


Figura 6-45. Concentraciones de plomo en las API Rupahuay comparadas con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2017)

f. Extracción secuencial de metales por Tessier

La determinación de la biodisponibilidad de algunos analitos en el suelo se realizó mediante el ensayo de extracción secuencial a través de la metodología de Tessier. Se realizó la toma de 5 muestras de suelo (API_RUPA_100, API_RUPA_101, API_RUPA_102, API_RUPA_103 y API_RUPA_104) para realizar dicho análisis. Los resultados de extracción secuencial de metales en suelo se detallan en el Anexo 3.1, correspondiente al reporte de resultados N.° RL 045-2018-STEC.

De acuerdo a la Figura 6-46, correspondiente al punto API_RUPA_100, se registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en la fracción 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario que registró concentraciones de 2,5 y 5,2 mg/kg respectivamente. Además, se registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en la fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn). Las concentraciones de arsénico, bario, cromo y plomo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con la fracción 4, y viceversa para las concentraciones de cadmio.

En la Figura 6-47, se muestra que el punto API_RUPA_101 registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable), 2 (enlazados a carbonatos) y 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); a excepción de bario que registró una concentración de 2,4 mg/kg en la fracción 2 y plomo que reportaron concentraciones de 2,64 y 10,5 mg/kg en las fracciones 1 y 2 respectivamente. Las concentraciones de bario, cromo y plomo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con la fracción 4, y viceversa para las concentraciones de arsénico y cadmio.

Referente a la Figura 6-48, correspondiente al punto API_RUPA_102, se observa que el arsénico, cromo, cadmio, plomo, cobre y zinc presentaron concentraciones bajas en la fracción 1 (intercambiable); mientras que, para la fracción 2 (enlazados a carbonatos), las concentraciones de bario, cadmio y plomo fueron de 7,8, 4,5 y 534 mg/kg respectivamente. Las concentraciones de arsénico, bario, cadmio y cromo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con las fracciones 3 y 4, y solo el plomo se registra con mayor concentración en la fracción 3 en comparación con las fracciones 4 y 5.

En la Figura 6-49, se muestra que el punto API_RUPA_103 registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable) y 2 (enlazados a carbonatos); a excepción de bario que registró concentraciones de 7,1 y 13 mg/kg en la fracción 2 respectivamente y plomo que reportó una concentración de 3,41 mg/kg en la fracción 2. Las concentraciones de arsénico, bario, cromo y plomo fueron mayores en la fracción 5 en comparación con las fracciones 3 y 4, y solo el cadmio se registra con mayor concentración en la fracción 4 en comparación con las fracciones 3 y 5.

Respecto a la Figura 6-50, correspondiente al punto API_RUPA_104, se registró concentraciones bajas de arsénico, bario, cadmio, cromo y plomo en las fracciones 1 (intercambiable), 2 (enlazados a carbonatos) y 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); a excepción de bario que registró concentraciones de 3,6 y 13 mg/kg en las fracciones 2 y 3, y plomo que reportó una concentración de 31,6 mg/kg en la fracción 3. Las concentraciones de arsénico, bario, cromo y plomo que se presentan en la fracción 5 fueron mayores en comparación con la fracción 4, y viceversa para la concentración de cadmio.

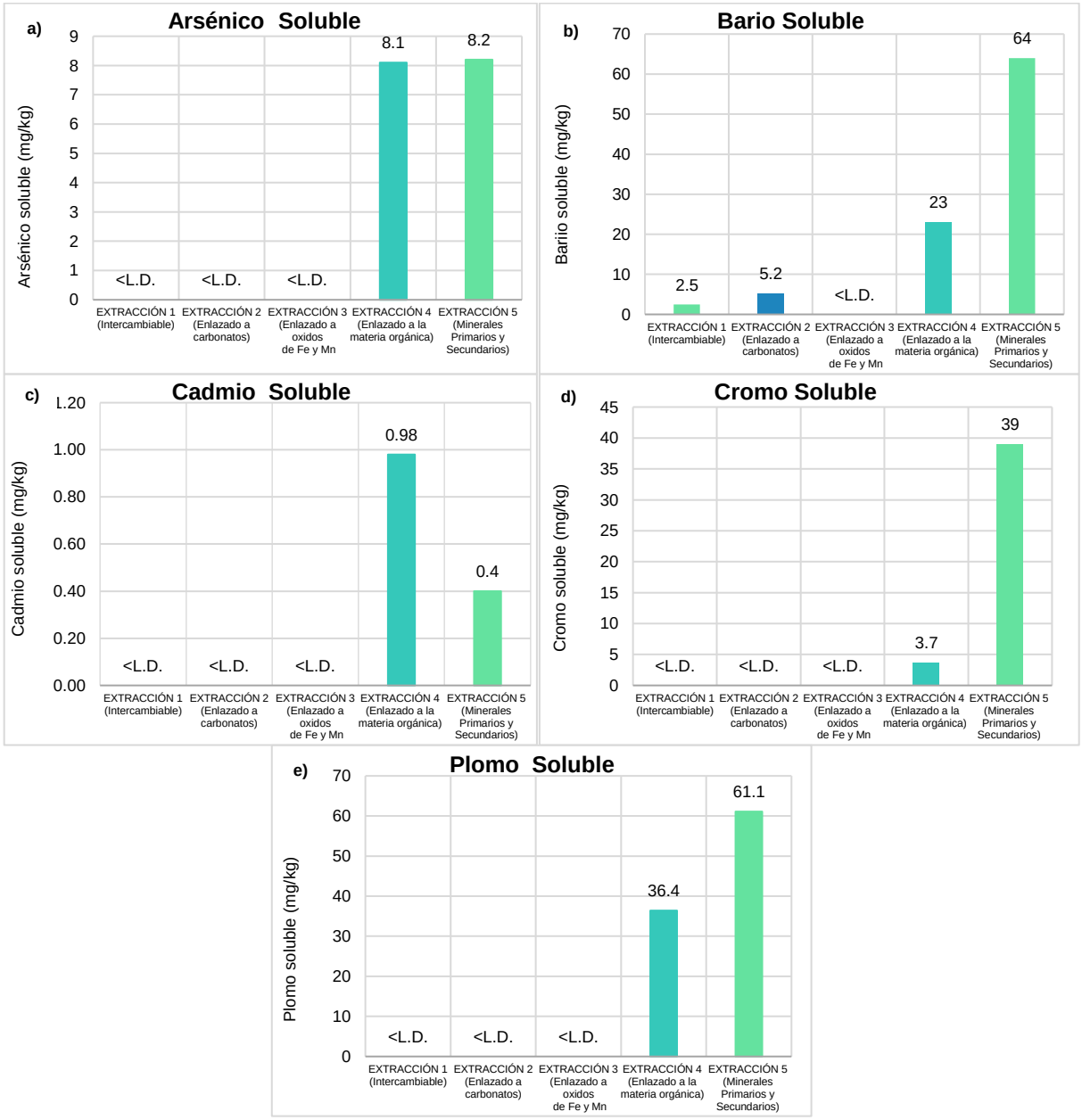


Figura 6-46. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_100 de la zona 3
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

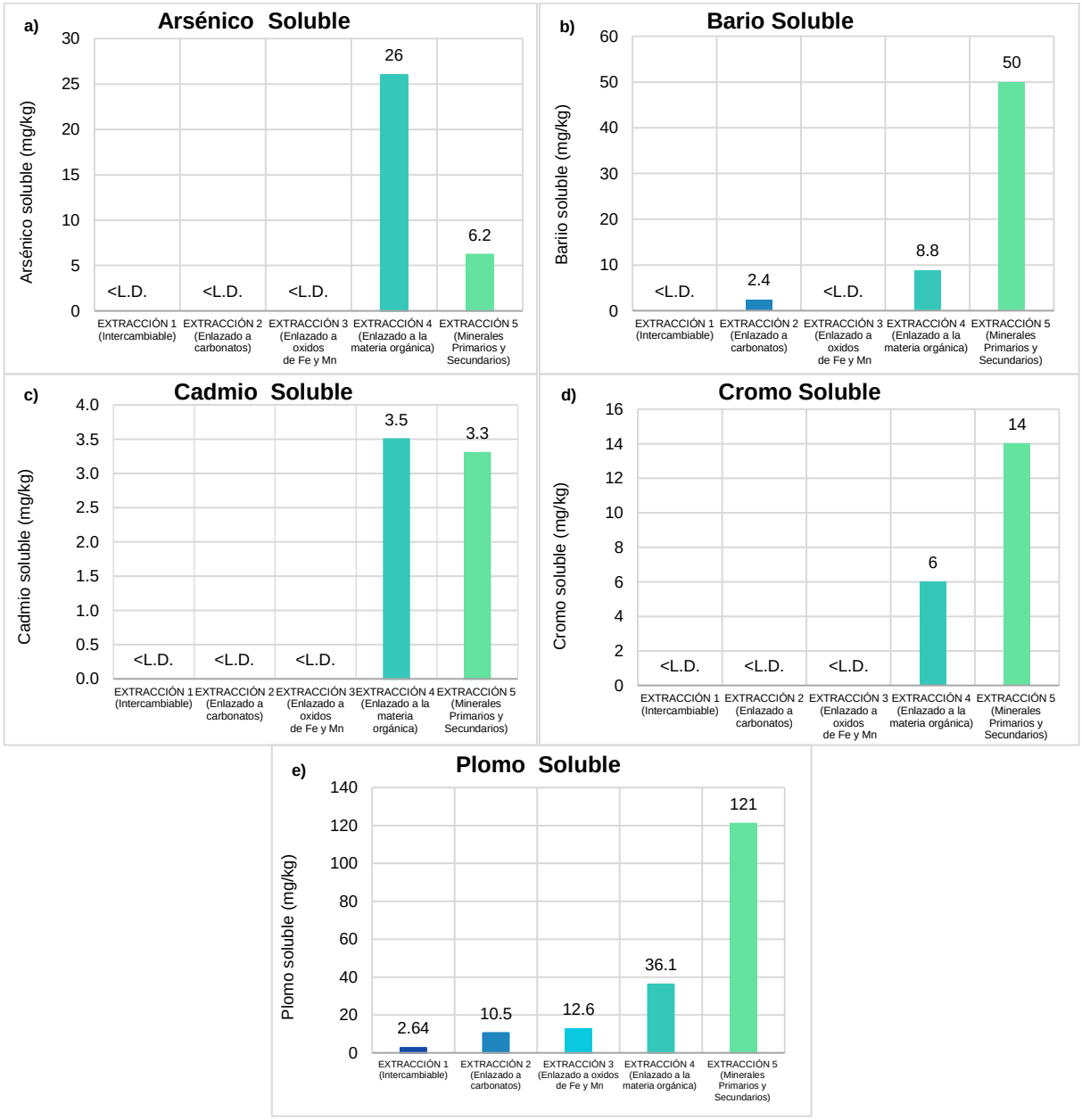


Figura 6-47. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_101 de la zona 3
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

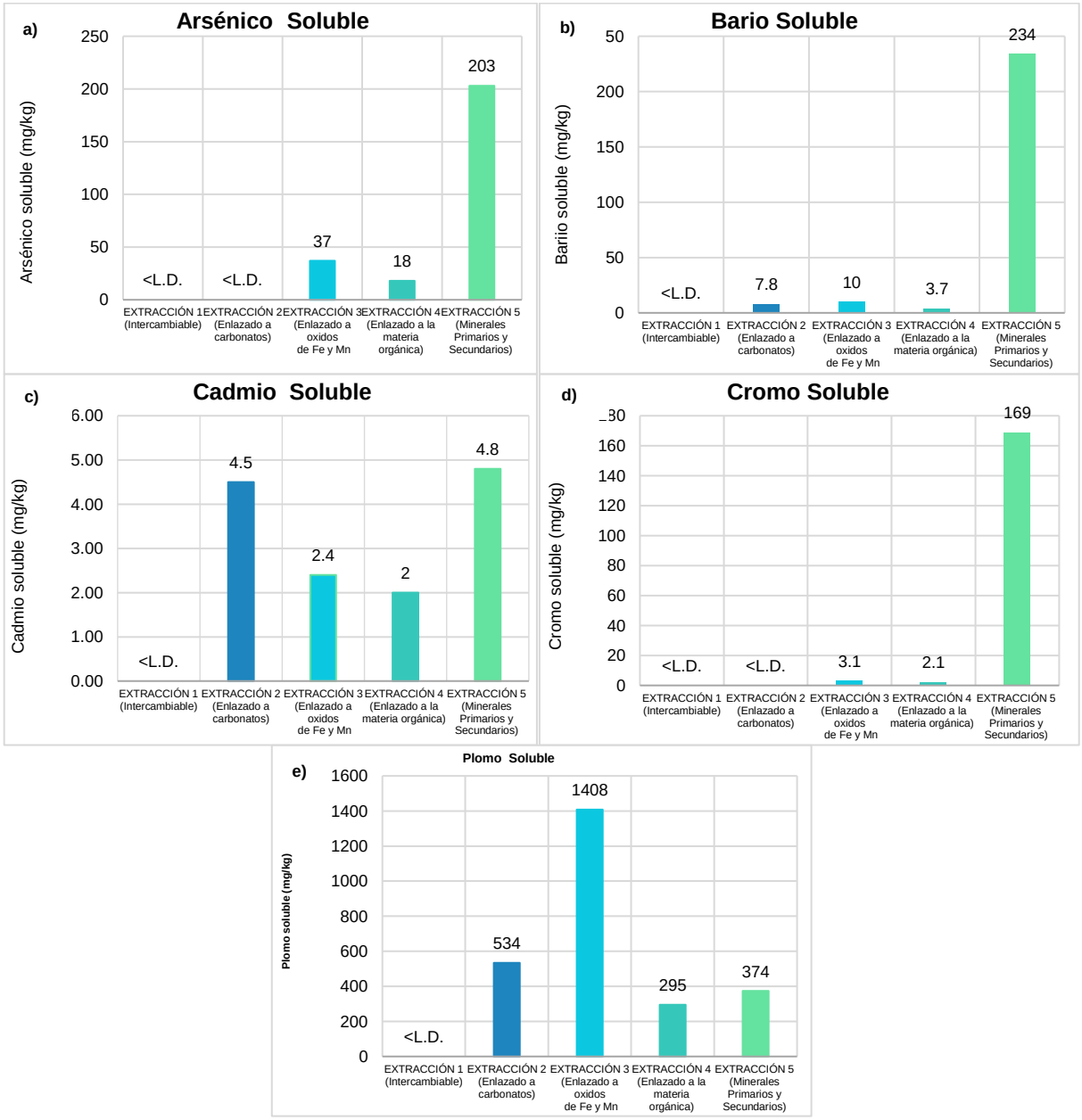


Figura 6-48. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_102 de la zona 3
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

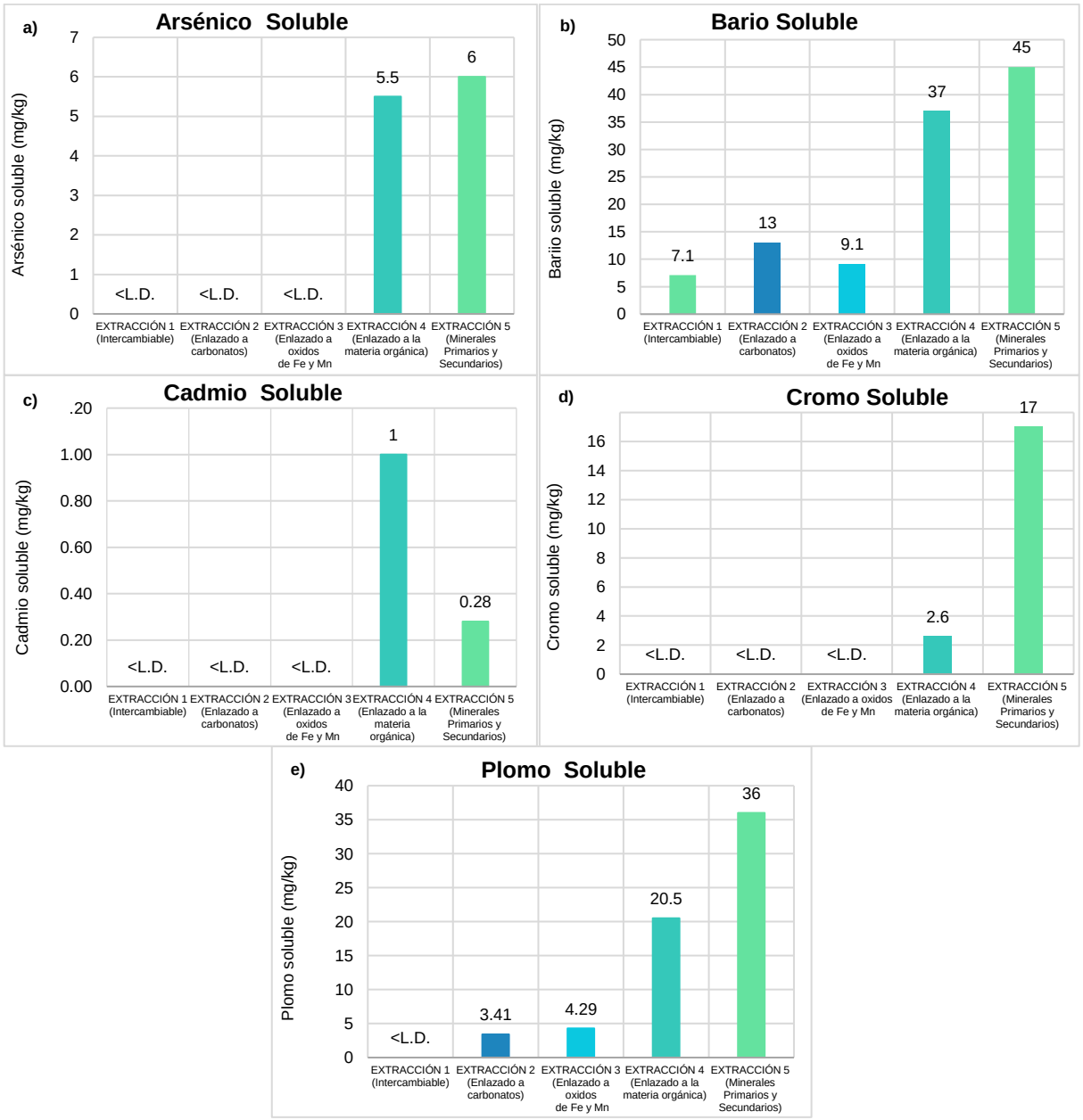


Figura 6-49. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_103 de la zona 3
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

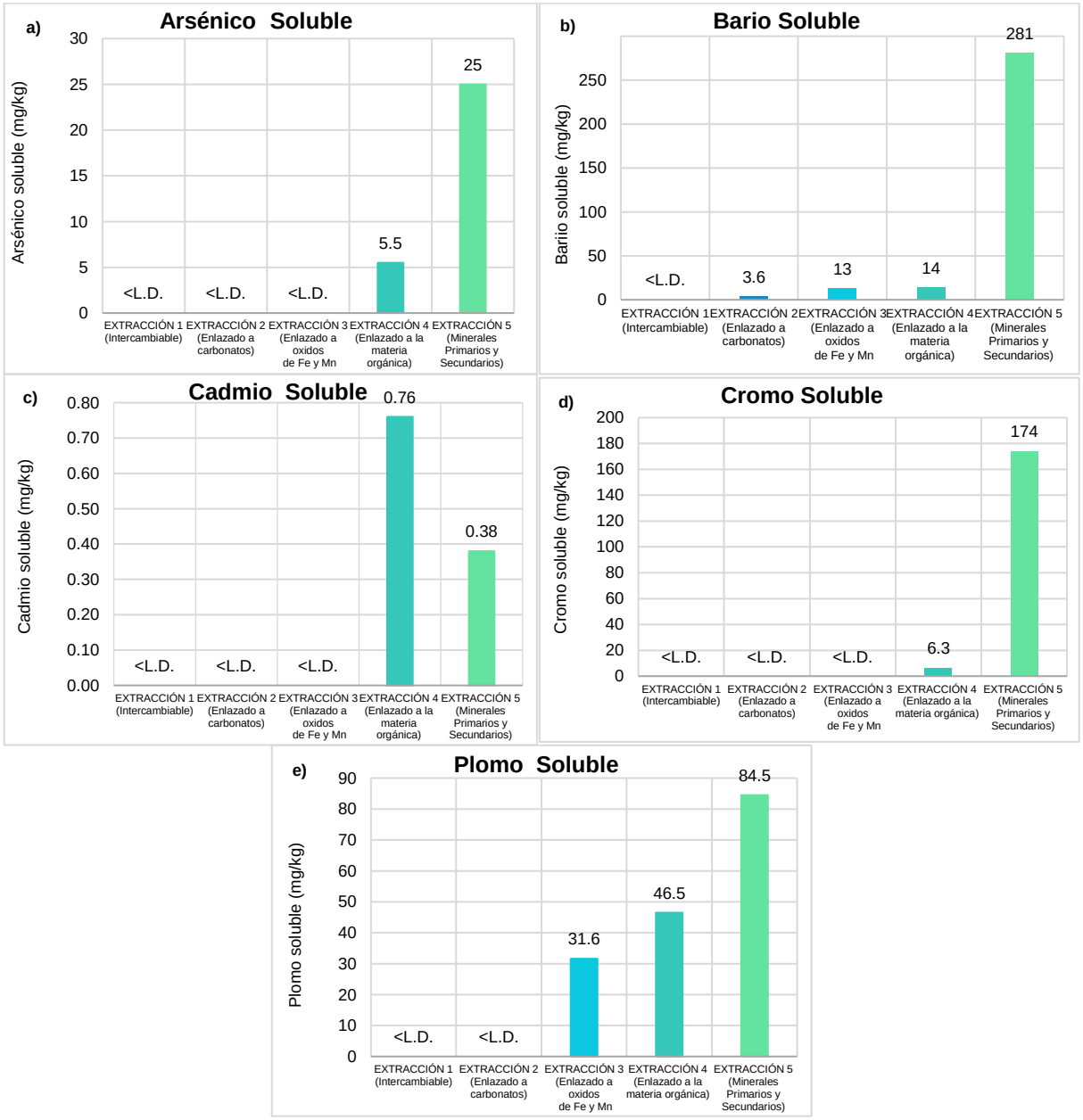


Figura 6-50. Extracción secuencial de metales de a) arsénico, b) bario, c) cadmio, d) cromo y e) plomo; en el punto API_RUPA_104 de la zona 3
<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

g. Análisis mineralógico

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1 %. Sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro éste se incrementa a 3 % la cuantificación de fases amorfas se evalúa a partir de 20 % de contenido en la muestra. El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

En la Tabla 6-40 se presentan los resultados del análisis mineralógico en el API Rupahuay, donde se tomaron 2 muestras compuestas API_RUPA_100 y API_RUPA_102. La muestra API_RUPA_100 está compuesto por 5 puntos con características similares que generan un área paralela al acceso vehicular a la planta de tratamiento de agua residual, sector Shucshapá de la UM Raura; dicha muestra presenta una concentración de pirita por debajo del límite de detección de método de análisis. Mientras, que la muestra API_RUPA_102 está compuesta por 5 puntos con características similares que generan un área paralela a la subárea API_RUPA_102, en la misma dirección a la planta de tratamiento de agua residual, sector Shucshapá de la UM Raura.

Tabla 6-40. Resultados de análisis mineralógico por difracción de rayos X en las muestras compuestas API_RUPA_100 y API_RUPA_102

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
API_RUPA_100		
Calcita	CaCO3	80
Cuarzo	SiO2	12
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	5
Anatasa	TiO2	< L.D.
Pirita	FeS2	< L.D.
Rutilio	TiO2	< L.D.
API_RUPA_102		
Calcita	CaCO3	60
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	9
Cuarzo	SiO2	9
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	6
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	5
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	3
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	2
Pirita	FeS2	2
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	< L.D.
Montmorillonita	(Na,Ca)0,3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2 n(H2O)	< L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

6.3 Estudios especializados

Con la finalidad de cumplir los objetivos planteados en la presente evaluación, se han realizado los siguientes estudios especializados, cuyos resultados obtenidos se describen a continuación.

6.3.1 Comunidades hidrobiológicas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de las comunidades hidrobiológicas en el área de influencia de la UM Raura, evaluada en setiembre 2018.

Con la finalidad de realizar la interpretación y el análisis, el estudio se dividió en 3 zonas de acuerdo al recorrido altitudinal de los cuerpos de agua, que son zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana), zona 2 (microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha) y zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay).

6.3.1.1 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana)

a. Plancton

En esta zona se evaluaron 5 lagunas: Locacocha, Niñococha, Niño Perdido, S/N y Santa Ana.

- **Fitoplancton**

Composición, riqueza y abundancia de especies

La comunidad de fitoplancton estuvo representada en el acumulado total por 79 especies, 35 familias, 23 órdenes, 9 clases y 7 phyla según su categoría taxonómica. Se destacó el phylum Bacillariophyta con 37 especies, seguido por Cyanobacteria con 20, Charophyta con 10 especies, Chlorophyta con 7 especies, Ochrophyta con 2 especies, y con 1 especie, los phyla Euglenozoa, Bygira y Miozoa. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies del fitoplancton correspondiente a la zona 1.

El menor valor de riqueza acumulado por laguna se observó en Niño Perdido, en donde también se registró que el punto de muestreo LNiñP-HB-01 es el de menor número de especies (3) en toda la zona 1, seguido por LNiñC-HB-02 con 4 especies (Figura 6-51).

El mayor valor de riqueza acumulado por laguna fue de 30 especies en Niñococha; sin embargo, el mayor número de especies por punto de muestreo se observó en LSN-HB-01, correspondiente a la laguna S/N con 25 especies en total.

Solo una especie fue registrada en al menos un punto de muestreo de cada laguna, *Pinnularia divergens*, del phylum Bacillariophyta; además, de los phyla registrados, 4 estuvieron en todas las lagunas (Bacillariophyta, Cyanpyta Chlorophyta y Charophyta). Mientras que, Ochrophyta se observó en las lagunas Niño Perdido y Santa Ana, Euglenozoa en Santa Ana, Miozoa en Niñococha y Bygira en Niño Perdido.

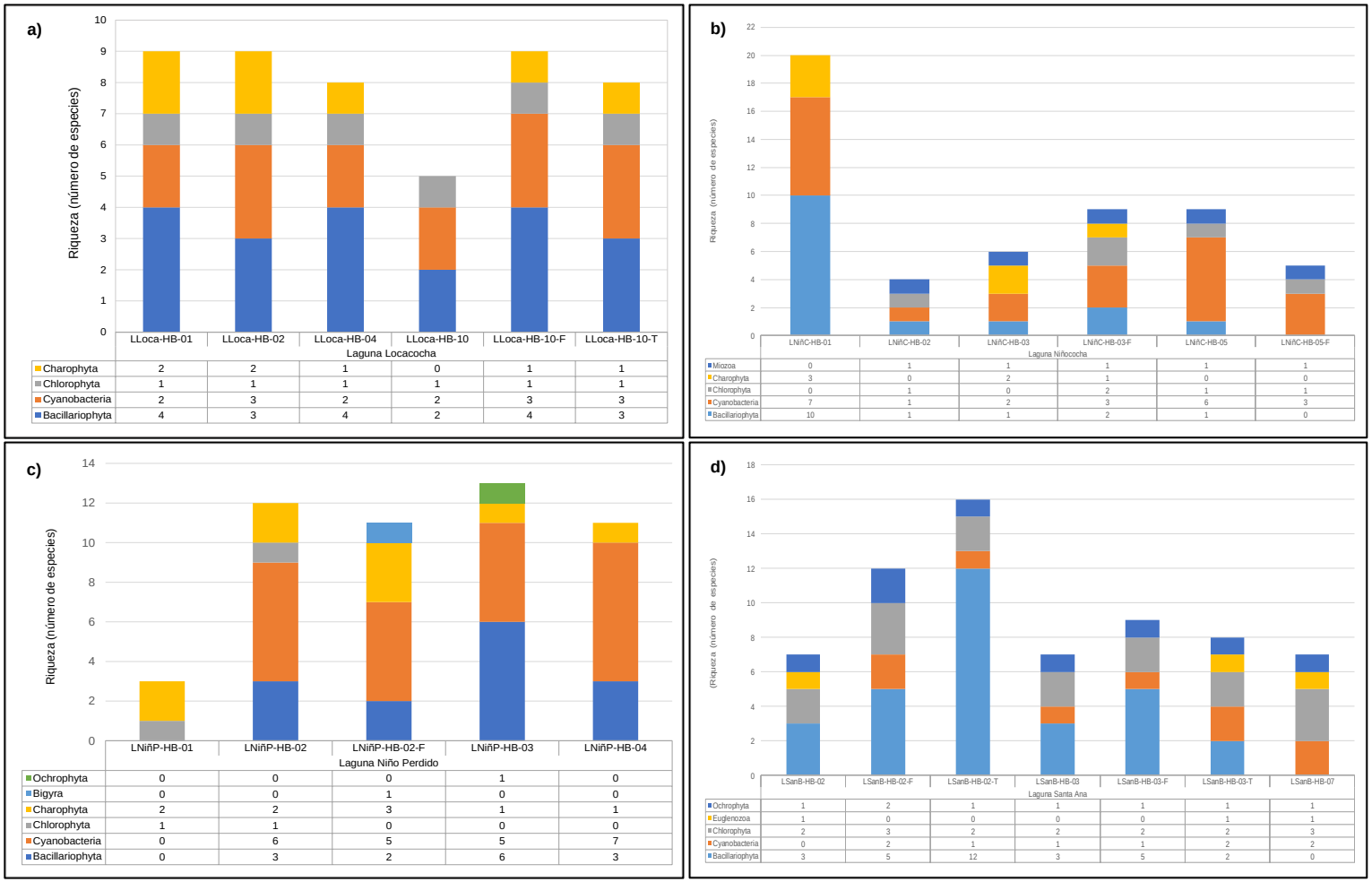


Figura 6-51. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Niño Perdido y d) Santa Ana de la zona 1

La densidad (abundancia) total acumulada de organismos del fitoplancton, por laguna mostró el mayor valor en la laguna Santa Ana con 349400 organismos/litro. El punto de muestreo con mayor densidad fue LSanB-HB-02-T con 58600 organismos/litro, dada principalmente por el predominio de *Geochrysis* aff. *turfosa* (Ocrophyta) que aporta con el 58,9 % del total de la densidad reportada (Figura 6-52).

La menor densidad acumulada correspondió a la laguna Niñococha con 3505 organismos/litro, en esta se observó que el punto de muestreo LNiñC-HB-02 fue el de menor densidad con 1550 organismos/litro, donde el phylum Charophyta no presentó ninguna de las 4 especies registradas para este punto.

El phylum Ochrophyta fue el de mayor densidad con un acumulado total de 261650 organismos/litro, conformado principalmente por *Geochrysis* aff. *turfosa*, en la laguna Santa Ana, el phylum Bacillariophyta presentó una densidad acumulada total de 77000 organismos/litro y estuvo presente en todas las lagunas. Finalmente, el menor valor de densidad total acumulada correspondió al phylum Bygira con 500 organismos/litro, y solo estuvo presente en la laguna Niño Perdido (LNiñP-HB-02-F).

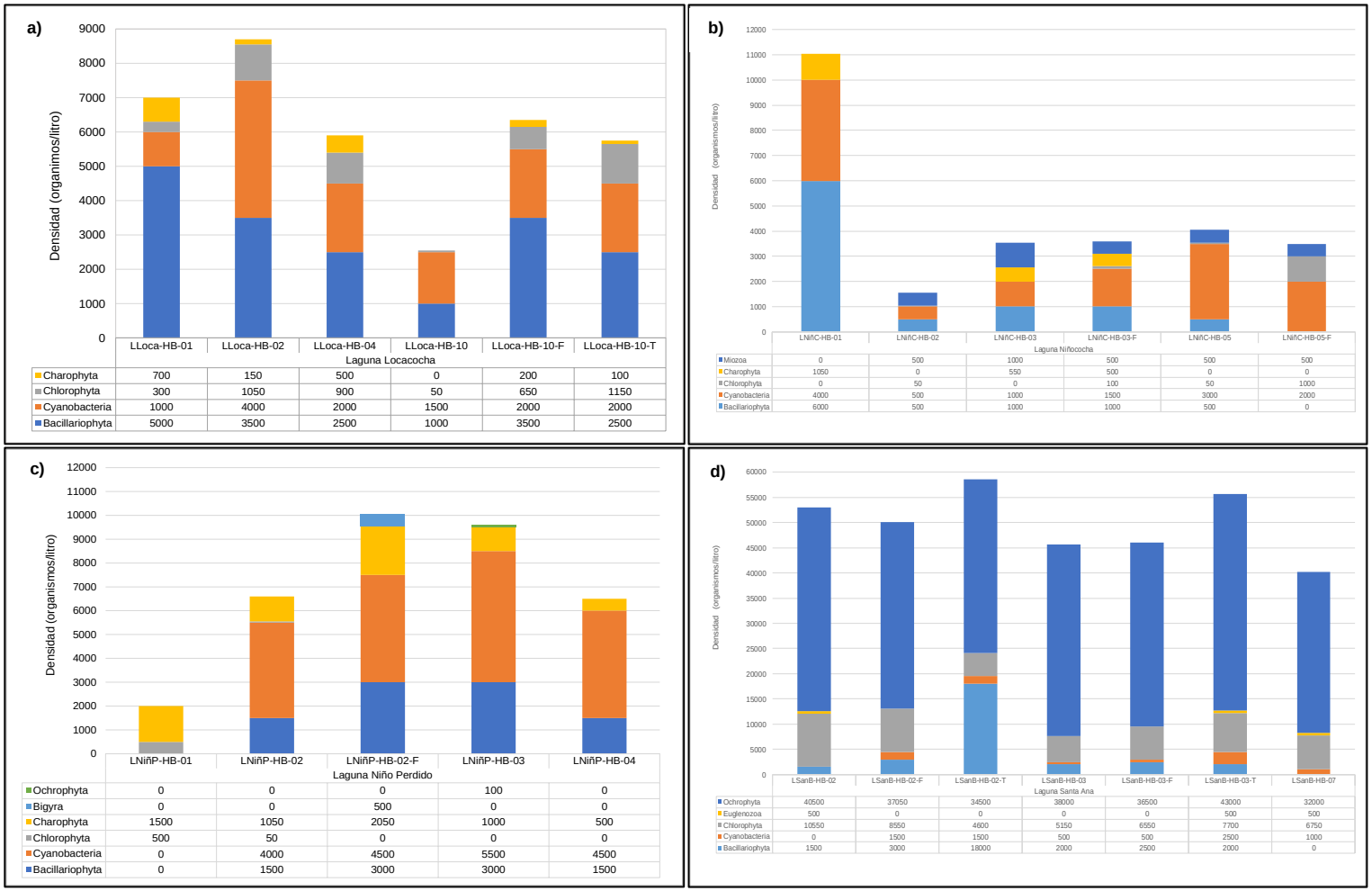


Figura 6-52. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Niño Perdido y d) Santa Ana de la zona 1

Diversidad alfa

El índice de equidad de Pielou (J') varió de 0,332 en la laguna Santa Ana (LSanB-HB-03) a 0,974 en la laguna Niñococha (LNiñC-HB-01). Lo que se explica debido a la dominancia de la población del phylum Ochrophyta en la laguna Santa Ana, que se ve reflejado en el índice de dominancia de Simpson (λ), cuyos valores altos se observaron en esta laguna (Tabla 6-41).

Por otro lado, la diversidad alfa indicó que el número de especies abundantes de Hill (N1) (diversidad verdadera) promedio por laguna, varió de 2,58 especies efectivas (laguna Santa Ana) a 15,89 especies efectivas (laguna S/N); si bien, el acumulado total de especies por laguna fue mayor en la laguna Niñococha (30 especies), el promedio de los puntos de muestreo acorde a las especies dominantes distribuidas equitativamente, corresponde a la laguna S/N.

Tabla 6-41. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de fitoplancton en lagunas de la zona 1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Laguna Locacocha	LLoca-HB-01	0,890	0,171	7,075
	LLoca-HB-02	0,846	0,183	6,412
	LLoca-HB-04	0,953	0,152	7,255
	LLoca-HB-10	0,872	0,270	4,066
	LLoca-HB-10-F	0,940	0,142	7,891
	LLoca-HB-10-T	0,934	0,154	6,973
Laguna S/N	LSN-HB-01	0,859	0,105	15,890
Laguna Niñococha	LNiñC-HB-01	0,974	0,057	18,500
	LNiñC-HB-02	0,870	0,313	3,339
	LNiñC-HB-03	0,894	0,218	4,963
	LNiñC-HB-03=F	0,928	0,135	7,676
	LNiñC-HB-05	0,965	0,122	8,334
	LNiñC-HB-05-F	0,963	0,224	4,711
Laguna Niño Perdido	LNiñP-HB-01	0,946	0,375	2,828
	LNiñP-HB-02	0,926	0,109	9,975
	LNiñP-HB-02-F	0,906	0,134	8,776
	LNiñP-HB-03	0,923	0,111	10,660
	LNiñP-HB-04	0,964	0,112	10,090
Laguna Santa Ana	LSanB-HB-02-F	0,404	0,567	2,729
	LSanB-HB-02-T	0,577	0,371	4,957
	LSanB-HB-02	0,364	0,622	2,032
	LSanB-HB-03	0,332	0,706	1,907
	LSanB-HB-03-F	0,347	0,649	2,144
	LSanB-HB-03-T	0,407	0,616	2,331
	LSanB-HB-07	0,347	0,659	1,964

- **Zooplancton**

Composición, riqueza y abundancia de especies

Esta comunidad estuvo representada en el acumulado total de las lagunas de la zona 1, por 11 especies, 8 familias, 5 órdenes, 3 clases y 3 phyla: Arthropoda-Cladocera, Rotifera y Nemata. No se observaron organismos en la laguna Niño Perdido. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de zooplancton correspondiente a la zona 1.

En la Figura 6-53, se observa que el menor valor de riqueza registrado fue de 2 especies pertenecientes a las lagunas Niñococha y S/N, y el mayor valor fue de 6 especies en Locacocha. El phylum Rotifera fue el de mayor riqueza en el acumulado total.

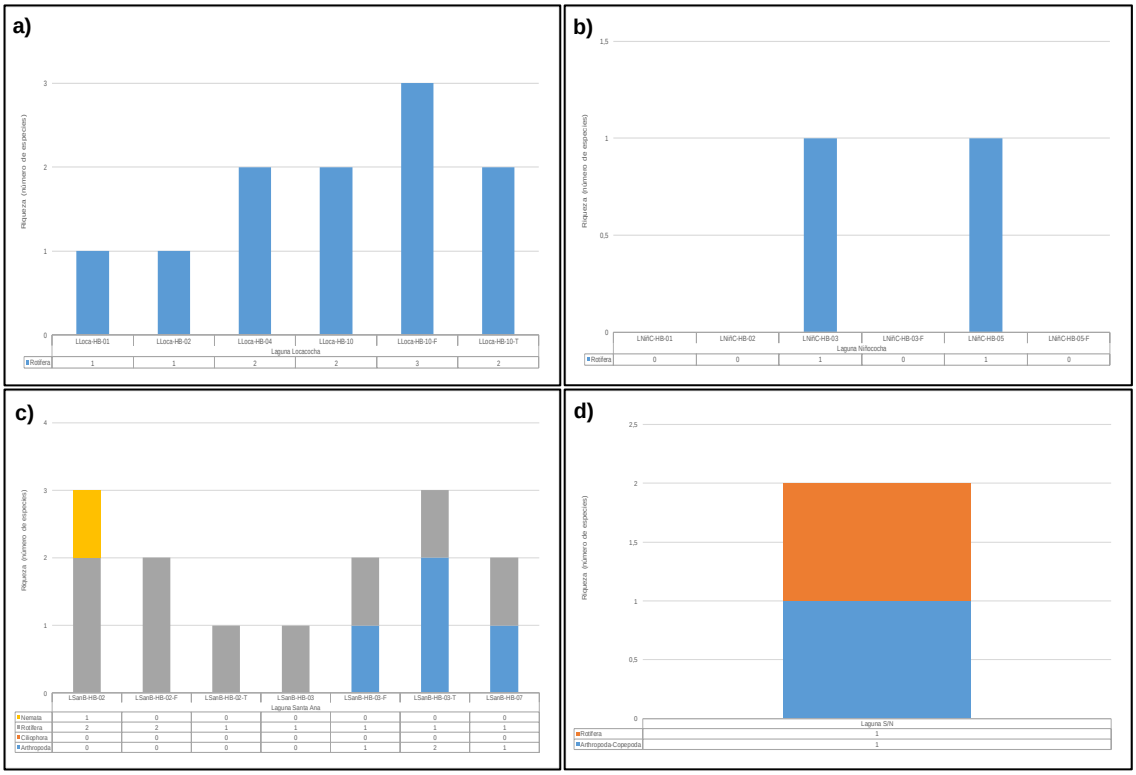


Figura 6-53. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Santa Ana y S/N de la zona 1

La densidad (abundancia) total acumulada de organismos del zooplancton fue de 2420 organismos/litro. El punto de muestreo que registró la mayor densidad correspondió a la laguna Santa Ana (LSanB-HB-07) con 1420 organismos/litro; mientras que, la menor densidad por punto de muestreo se observó en la laguna Niñococha con 10 organismos/litro (Figura 6-54). El phylum Rotifera fue el de mayor densidad en el acumulado total.

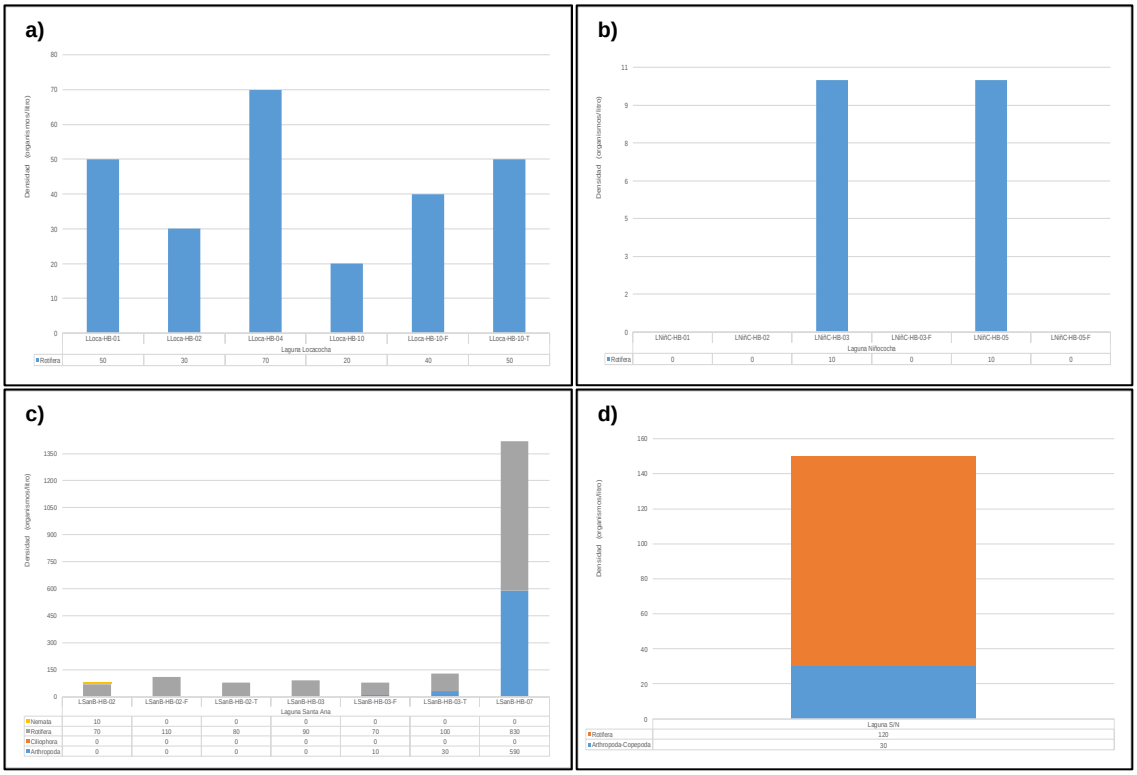


Figura 6-54. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Locacocha, b) Niñococha, c) Santa Ana y S/N de la zona 1

Diversidad alfa

El índice de equidad de Pielou (J') brindó valores en los puntos de muestreo donde se presentó más de una especie, el cual varió de 0,440 en la laguna Santa Ana (LSanB-HB-02-F) a 1 en la laguna Locacocha (LLoca-HB-10); este último presentó 2 especies de rotíferos con la misma densidad (Tabla 6-42).

Respecto al índice de dominancia de Simpson (λ), brindó valores solo en aquellos puntos de muestreo donde hubo al menos una especie, el cual varió de 0,375 en la laguna Locacocha (LLoca-HB-10-F) a 1 en aquellos puntos de muestreo donde solo se registró una especie en las lagunas santa Ana, Niñococha y Lococacocha. El número de especies abundantes de Hill (diversidad verdadera) promedio por laguna, varió de 1 especies efectivas en las lagunas Niñococha y Niño Perdido a 1,768 especies efectivas en la laguna Locacocha.

Tabla 6-42. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de zooplancton en lagunas de la zona 1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (ʎ)	Diversidad verdadera (N1)
Laguna Locacocha	LLoca-HB-01	****	1	1
	LLoca-HB-02	****	1	1
	LLoca-HB-04	0,863	0,592	1,819
	LLoca-HB-10	1	0,5	2
	LLoca-HB-10-F	0,946	0,375	2,828
	LLoca-HB-10-T	0,971	0,520	1,960
Laguna S/N	LSN-HB-01	0,722	0,680	1,649
Laguna Niñococha	LNiñC-HB-01	****	****	1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (ʎ)	Diversidad verdadera (N1)
	LNiñC-HB-02	****	****	1
	LNiñC-HB-03	****	1	1
	LNiñC-HB-03=F	****	****	1
	LNiñC-HB-05	****	1	1
	LNiñC-HB-05-F	****	****	1
Laguna Niño Perdido	LNiñP-HB-01	****	****	1
	LNiñP-HB-02	****	****	1
	LNiñP-HB-02-F	****	****	1
	LNiñP-HB-03	****	****	1
	LNiñP-HB-04	****	****	1
Laguna Santa Ana	LSanB-HB-02-F	0,440	0,835	1,356
	LSanB-HB-02-T	****	1	1
	LSanB-HB-02	0,670	0,594	2,087
	LSanB-HB-03	****	1	1
	LSanB-HB-03-F	0,544	0,781	1,458
	LSanB-HB-03-T	0,625	0,621	1,988
	LSanB-HB-07	0,979	0,514	1,972

****: El resultado del cálculo no proporcionó un valor numérico.

b. Perifiton

La evaluación de perifiton se realizó en 7 quebradas y 4 surgencias ubicadas en la microcuenca de la laguna Santa Ana, haciendo un total de 11 puntos de muestreo cuyo análisis se detalla a continuación.

- **Microalgas**

Composición, riqueza y abundancia de especies

Durante la evaluación en setiembre 2018 en las quebradas y surgencias de la microcuenca de la laguna Santa Ana, se registró la composición de microalgas en el área de estudio. La comunidad de microalgas en la zona 1 estuvo representada por 107 especies, agrupadas en 6 phyla, 10 clases, 28 órdenes, 46 familias y 57 géneros. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de microalgas correspondiente a la zona 1.

En las Figuras 6-55 y 6-56 se observa el comportamiento y distribución de abundancia (densidad) y riqueza respectivamente de los grupos de especies de microalgas a nivel de phyllum en la microcuenca de la laguna Santa Ana; donde la laguna Niñococha presenta tributarios que derivan a la misma, en la que los puntos FNiñC-HB-1 (filtración cerca al canal del depósito de desmonte Niñococha) y QNiñC-HB-1 (canal del depósito de desmonte Niñococha) presentaron las mayores densidades (55280 y 46000 organismos/cm^2) y riqueza (17 y 31 especies) en comparación con el punto de muestreo QNiñC-HB-04 (quebrada S/N 5) que registró 5240 organismos/cm^2 y 9 especies. La riqueza en los puntos FNiñC-HB-1 y QNiñC-HB-1 estuvo representada por las especies *Achnanthidium minutissimum, Achnanthidium* cf. *exilis, Pinnularia microstauron, Pinnularia* cf. *subgibba* y *Pseudanabaena* sp. de los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria; mientras que, en el punto QNiñC-04 por la especie *Eunotia* sp. del phyllum Bacillariophyta.

La laguna Niño Perdido recibe 3 tributarios, donde en los puntos FNiñP-HB-1 (surgencia ubicada en cota inferior del depósito de desmonte Niño Perdido) y FNiñP-HB-2 (surgencia al margen izquierdo, ubicado en cota inferior del depósito de

desmonte Niño Perdido) se presentaron las menores densidades (5200 y 13200 organismos/cm^2 respectivamente) y riqueza (7 y 11 especies respectivamente) en comparación con el punto de muestreo QNiñP-HB-02 (ingreso de la laguna Niño Perdido/quebrada S/N 8) que registró 43600 organismos/cm^2 y 22 especies. La riqueza en los puntos FNiñP-HB-1 y FNiñP-HB-2 estuvo representada por las especies *Fragilaria capuccina* var. *gracilis* y *Nitzschia gracilis* del phyllum Bacillariophyta; mientras que, en el punto QNiñP-HB-02 por las especies *Hannaea arcus, Nitzschia gracilis* y *Kamptonema formosum* del phyllum Bacillariophyta.

Respecto a, la laguna Santa Ana recibe el aporte del tributario proveniente de la laguna Niño Perdido y las aguas provenientes de la laguna S/N, donde el punto QLSN-HB-01 (salida de la laguna S/N) presentó mayor densidad (55000 organismos/cm^2) y riqueza (40 especies) en comparación con el punto de muestreo QNiñC-HB-05 (quebrada S/N 1, aguas abajo del empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido) que registró 3600 organismos/cm^2 y 5 especies. La riqueza en el punto QLSN-HB-01 estuvo representada por las especies *Fragilaria tenera, Synedra* sp.1*, Tabellaria floculosa y Pseudanabaena catenata* de los phyla Bacillariophyta y Cyanobacteria; mientras que, en el punto QNiñC-HB-05 por la especie *Synechococcus elongatus* del phyllum Bacillariophyta.

El flujo proveniente del punto QNiñC-HB-05 es captado en el punto QSanAB-HB-01, donde en este último se registró el incremento de la densidad (26400 organismos/cm^2) y riqueza (13 especies) en comparación con el otro punto (QNiñC-HB-05), siendo representado por las especies *Nitzschia gracilis, Nitzschia palea, Pinnularia microstauron* y *Fragilaria capuccina* var. *gracilis.* Este incremento posiblemente se debería al aporte del punto FSanAB-HB-01 (surgencia al margen izquierdo de quebrada S/N 1, en cota inferior de los depósitos de desmonte Raura y Stockpile) donde se registró una densidad de 33840 organismos/cm^2 y una riqueza de 21 especies, siendo representada por *Adlafia* cf. *bryophila* y *Synechococcus elongatus.*

El otro aportante a la laguna Santa Ana es captado en el punto QSanAB-HB-02, el cual proviene de la laguna Niño Perdido, que registró 48000 organismos/cm^2 y 14 especies, siendo representado por las especies *Kamptonema formosum, Surirella minuta*, *Fragilaria capuccina* y *Nitzschia gracilis.*

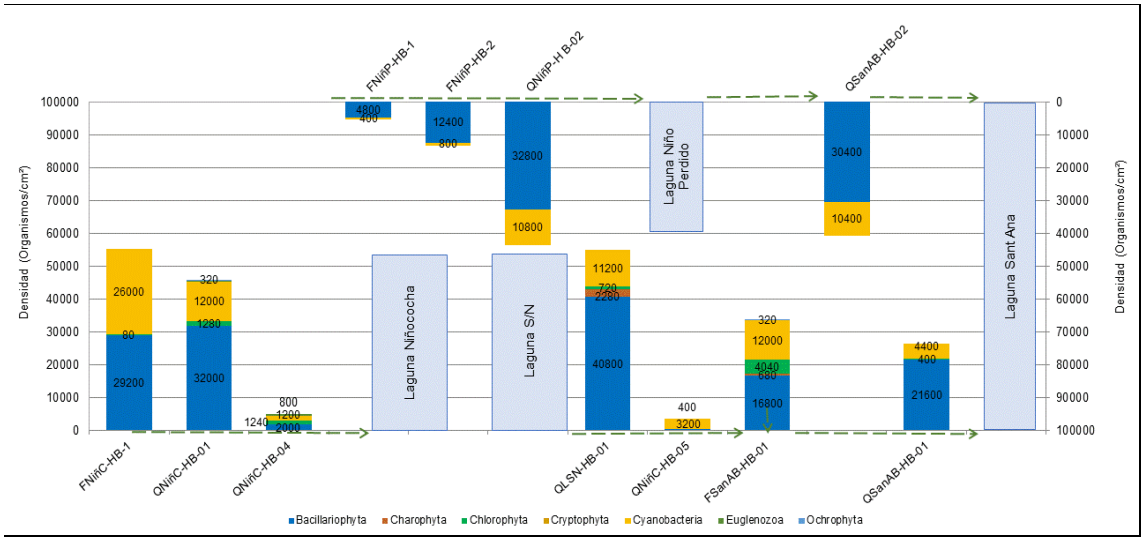


Figura 6-55. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 1

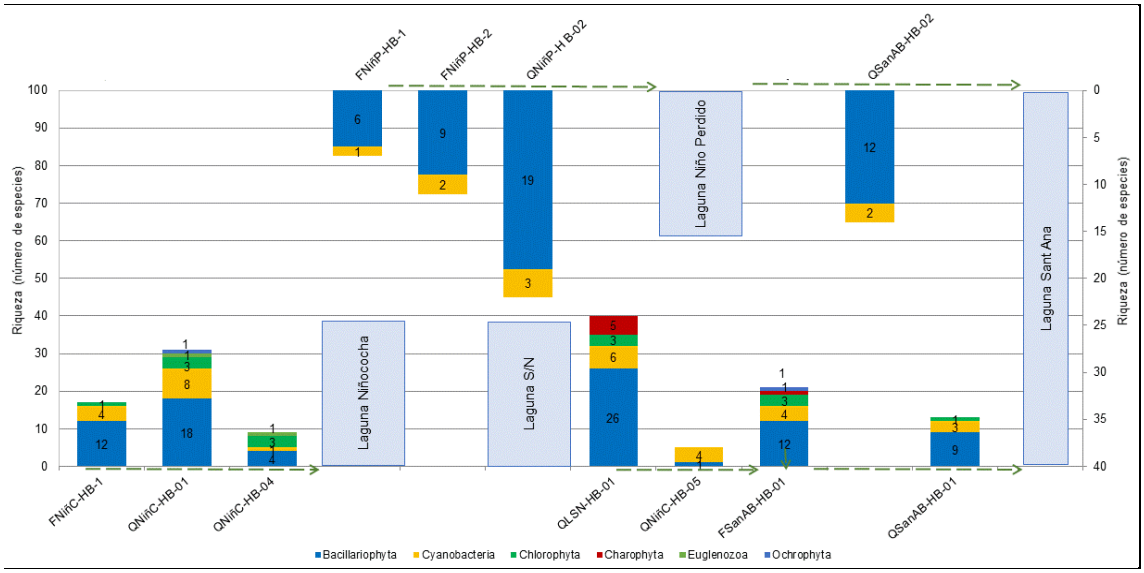


Figura 6-56. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 1

Diversidad alfa

En la Tabla 6-43 se observa la diversidad alfa de microalgas en la microcuenca de la laguna Santa Ana; donde la laguna Niñococha presenta tributarios que derivan a la misma, en la que los puntos FNiñC-HB-1 (filtración cerca al canal del depósito de desmonte Niñococha) y QNiñC-HB-1 (canal del depósito de desmonte Niñococha) presentaron las mayores valores de diversidad verdadera Hill (N1) (8,447 y 19,920 especies efectivas respectivamente) en comparación con el punto de muestreo QNiñC-HB-04 (quebrada S/N 5) que registró 7,027 especies efectivas.

La laguna Niño Perdido recibe 3 tributarios, donde en los puntos FNiñP-HB-1 (surgencia ubicada en cota inferior del depósito de desmonte Niño Perdido) y FNiñC-HB-2 (surgencia al margen izquierdo, ubicado en cota inferior del del depósito de desmonte Niño Perdido) se presentaron menores valores de diversidad verdadera Hill (N1) (5,433 y 8,484 especies efectivas respectivamente) en comparación con el punto de muestreo QNiñP-HB-02 (ingreso de la laguna Niño Perdido/quebrada S/N 8) que registró 14,850 especies efectivas.

Referente a, la laguna Santa Ana recibe el aporte del tributario proveniente de la laguna Niño Perdido y las aguas provenientes de la laguna S/N, donde el punto QLSN-HB-01 (salida de la laguna S/N) presentó mayor diversidad verdadera Hill (N1) (26,310 especies efectivas) en comparación con el punto de muestreo QNiñC-HB-05 (quebrada S/N 1, aguas abajo del empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido) que registró 4,586 especies efectivas.

El flujo proveniente del punto QNiñC-HB-05 es captado en el punto QSanAB-HB-01, este último registró el incremento de la diversidad verdadera (N1) (9,611 especies efectivas) en comparación con el otro punto (QNiñC-HB-05). Dicho incremento posiblemente se debería al aporte del punto FSanAB-HB-01 (surgencia al margen izquierdo de quebrada S/N 1, en cota inferior de los depósitos de desmonte Raura y Stockpile) donde se registró 15,490 especies efectivas.

El otro aportante a la laguna Santa Ana es captado en el punto QSanAB-HB-02, el cual proviene de la laguna Niño Perdido, que registró 10,710 especies efectivas.

Los cuerpos de agua de la microcuenca de la laguna Santa Ana se vieron reflejados con altos valores del índice de equidad de Pielou (J') (de 0,753 a 0,946), y bajos valores del índice de dominancia de Simpson (λ) (de 0,050 a 0,235), indicando que todos los puntos de muestreo registraron mayor distribución homogénea y una baja dominancia de especies.

Tabla 6-43. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de microalgas de la zona 1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Pielou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Surgencia (Cerca al canal de concreto del botadero Niñococha que descarga en la laguna Niñococha)	FNiñC-HB-1	0,753	0,177	8,447
Canal de concreto (ubicado en la parte central del botadero Niñococha)	QNiñC-HB-01	0,871	0,064	19,920
Quebrada S/N 5 (Ingresa a la Laguna Niñococha)	QNiñC-HB-04	0,887	0,160	7,027
Surgencia (ubicada en cota inferior de botadero Niño Perdido)	FNiñP-HB-1	0,870	0,231	5,433
Surgencia (ubicado en cota inferior del botadero Niño Perdido)	FNiñP-HB-2	0,892	0,144	8,484
Quebrada S/N 8 (Ingreso de la laguna Niño Perdido)	QNiñP-HB-02	0,873	0,091	14,850
Quebrada S/N 1 (Salida de la laguna S/N)	QLSN-HB-01	0,893	0,050	26,310
Aguas abajo del empozamiento de agua ácida entre tajos Primavera y Niño Perdido	QNiñC-HB-05	0,946	0,235	4,586
Surgencia (margen izquierdo de quebrada S/N 1)	FSanAB-HB-01	0,900	0,090	15,490
Quebrada S/N 10 (Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana)	QSanAB-HB-02	0,898	0,109	10,710
Quebrada S/N 1 (Flujo de agua aportante a la laguna Santa Ana)	QSanAB-HB-01	0,882	0,124	9,611

Diversidad beta

En la Figura 6-57 se presenta la diversidad beta mediante el análisis de similitud de Bray-Curtis de la comunidad de microalgas en los diferentes puntos de muestreo (quebradas y surgencias), en la zona 1, durante setiembre de 2018. En el análisis cluster se formaron 3 conglomerados de similitud bien definidos.

El primer conglomerado que se encuentra en la parte izquierda de la figura, se asoció a los puntos de muestreo QNiñC-HB-04 y QNiñC-HB-05, con una similitud de 18 %; mientras que, el segundo conglomerado se asoció el 51 % de similitud entre los puntos FNiñC-HB-1 y QNiñC-HB-01; y el tercer conglomerado registró una asociación del 31 % entre los puntos de muestreo FNiñP-HB-2, QSanAB-HB-01, QNiñP-HB-02 y QSanAB-HB-02. Lo que indica que solo el segundo conglomerado presentó una mayor similitud, donde esos 2 puntos tributan a la laguna Niñococha; mientras que, el resto de conglomerados presentaron una baja similitud, indicando una alta disimilaridad entre los puntos de muestreo que están asociadas a los componentes o efluentes mineros.

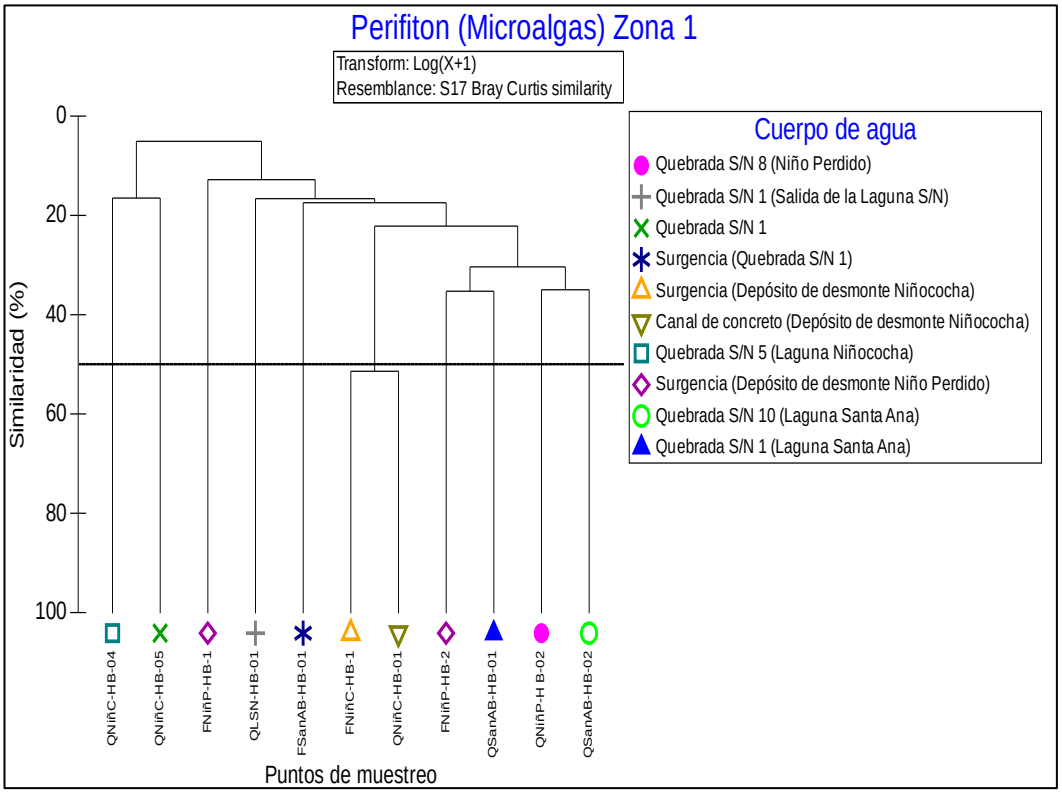


Figura 6-57. Dendrograma de similitud de la comunidad de microalgas de la zona 1

- **Microorganismos**

Composición, riqueza y abundancia

Durante setiembre 2018, en las quebradas y surgencias de la microcuenca de la laguna Santa Ana, se registró la composición de microorganismos en el área de estudio, representada por 3 especies, agrupadas en 3 phyla, 3 clases, 3 órdenes, 3 familias y 3 géneros. Debido a la baja o nula abundancia de especies de microorganismos correspondiente a la zona 1, el registro completo de estas se presenta directamente en el Anexo 3.1.

d. Macroinvertebrados bentónicos

La evaluación de macroinvertebrados bentónicos se realizó en los cuerpos de agua lóticos ubicados en la microcuenca de la laguna Santa Ana, tomándose un total de 6 puntos de muestreo cuyo análisis se detalla a continuación.

- **Composición, riqueza y abundancia de especies**

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo representada por un total de 14 especies, las cuales se encontraron agrupadas en 10 familias, 6 órdenes y 5 clases, pertenecientes a 3 phyla, donde se observa una notoria predominancia del phylum Arthropoda, principalmente por la presencia de organismos pertenecientes a la Clase Insecta. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de macroinvertebrados bentónicos correspondiente a la zona 1.

En la Figura 6-58 se presentan los valores de riqueza o número de especies de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden. El punto de muestreo

que registró mayor riqueza fue QLSN-HB-01 (flujo de agua que sale de la laguna S/N) con 8 especies; mientras que, los puntos de muestreo que registraron la menor riqueza fueron QSanAB-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Santa Ana), QNiñC-HB-04 (quebrada que ingresa a la laguna Niñococha), QNiñP-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Niño Perdido) y QSanAB-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Santa Ana) con 4, 3, 2 y 1 especies respectivamente. Además, en el punto QNiñC-HB-05 (quebrada que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana) no se encontraron organismos. En la mayoría de los puntos de muestreo, el orden Diptera presentó el mayor número de especies.

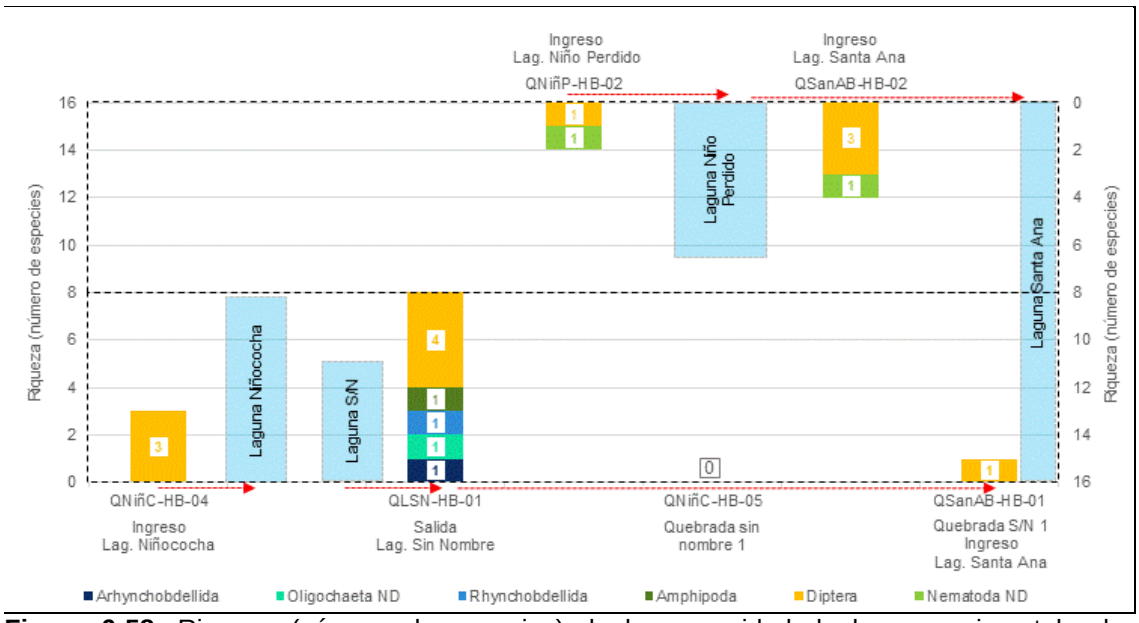


Figura 6-58. Riqueza (número de especies) de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 1

En la Figura 6-59 se presentan los valores de abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada orden. Se aprecia que la abundancia de las macroinvertebrados bentónicos está representada principalmente por 2 órdenes: Anphipoda con 51 organismos/0,27 m^2 y Diptera con 36 organimos/0,27 m^2.

La mayor abundancia (76 organismos/0,27 m^2) correspondió al punto QLSN-HB-01 (flujo de agua que sale de la laguna S/N) predominando el orden Amphipoda con 51 organismos/0,27 m^2, conformada por la familia Hyalellidae con la especie *Hyalella* sp. Mientras que, los puntos que registraron la menor abundancia fueron QNiñP-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Niño Perdido) y QSanAB-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Santa Ana) con 3 y 2 organismos/0,27 m^2 respectivamente. Cabe mencionar que, en el punto QNiñC-HB-05 no se registró ningún organismo. En la mayoría de los puntos de muestreo la mayor abundancia correspondió principalmente al orden Diptera.

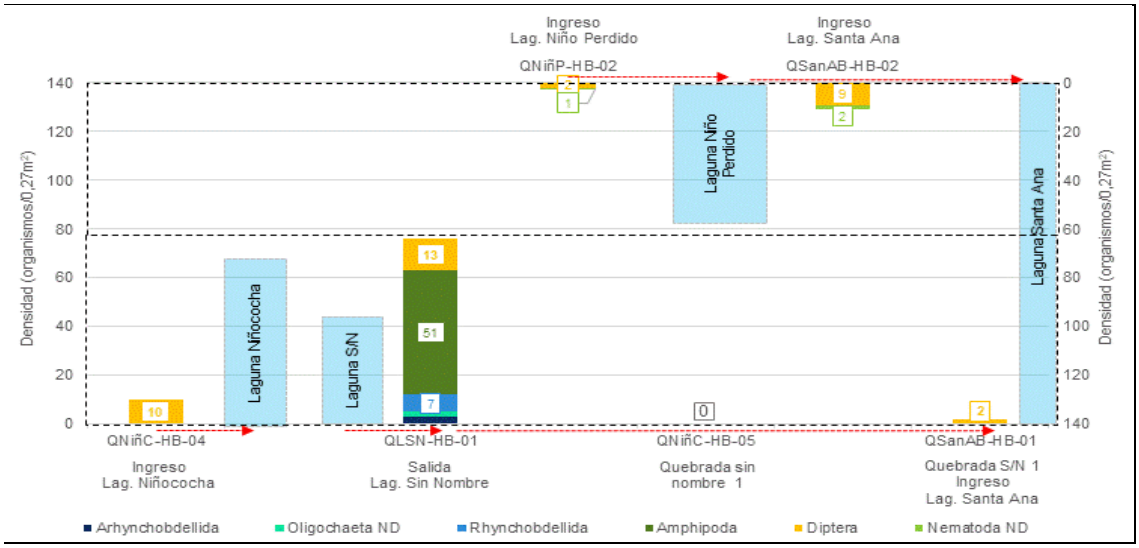


Figura 6-59. Densidad (abundancia) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 1

- **Diversidad alfa**

Los resultados de los índices de diversidad de diversidad alfa: equidad de Pielou (J'), dominancia de Simpson (λ) y número de especies abundantes de Hill (N1), para cada punto de muestreo se presentan en la Tabla 6-44.

La equidad de Pielou (J') varió de 0,92 en el punto QNiñP-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Niño Perdido) hasta 0 QNiñP-HB-02. Asimismo, la dominancia de Simpson (λ) varió de 0,66 en el punto QNiñC-HB-04 (quebrada que ingresa a la laguna Niñococha) a 0 en el punto QNiñC-HB-05.

Finalmente, la diversidad alfa indica que el número de Hill N1 (diversidad verdadera) varió de 3,46 especies efectivas en el punto QSanAB-HB-02 (quebrada que conecta las lagunas Niño Perdido y Santa Ana) a 0 especies efectivas en el punto QNiñC-HB-05 (quebrada que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana).

Mediante el análisis de diversidad alfa podemos observar un mejor establecimiento de la comunidad hidrobiológica de macroinvertebrados bentónicos en la quebrada que entra a la laguna Santa Ana (QSanAB-HB-02), evidenciándose en valores altos de diversidad verdadera (N1) y de equidad, y valores bajos de dominancia. Por ende, existe una distribución homogénea de abundancia (densidad) de organismos por especie en este punto.

Tabla 6-44. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 1

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Quebrada que ingresa a la laguna Niñococha	QNiñC-HB-04	0,58	0,66	1,90
Quebrada que sale de la laguna S/N	QLSN-HB-01	0,59	0,47	3,39
Quebrada que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana	QNiñC-HB-05	0	0	0
Quebrada que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana	QSanAB-HB-01	0	1	1
Quebrada que ingresa a la laguna Niño Perdido	QNiñP-HB-02	0,92	0,56	1,89
Quebrada que conecta las lagunas Niño Perdido y Santa Ana	QSanAB-HB-02	0,90	0,32	3,46

- **Diversidad beta**

En la Figura 6-60 se presenta el análisis de diversidad beta mediante el índice de similitud de Bray-Curtis, el cual permitió conformar 1 conglomerado formado por los puntos de muestreo QNiñP-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Niño Perdido) y QSanAB-HB-02 (quebrada que conecta las lagunas Niño Perdido y Santa Ana), con un porcentaje de similitud mayor del 50 %, además las especies comunes entre estos puntos de muestreo fueron Nematoda ND y *Simulium* sp.

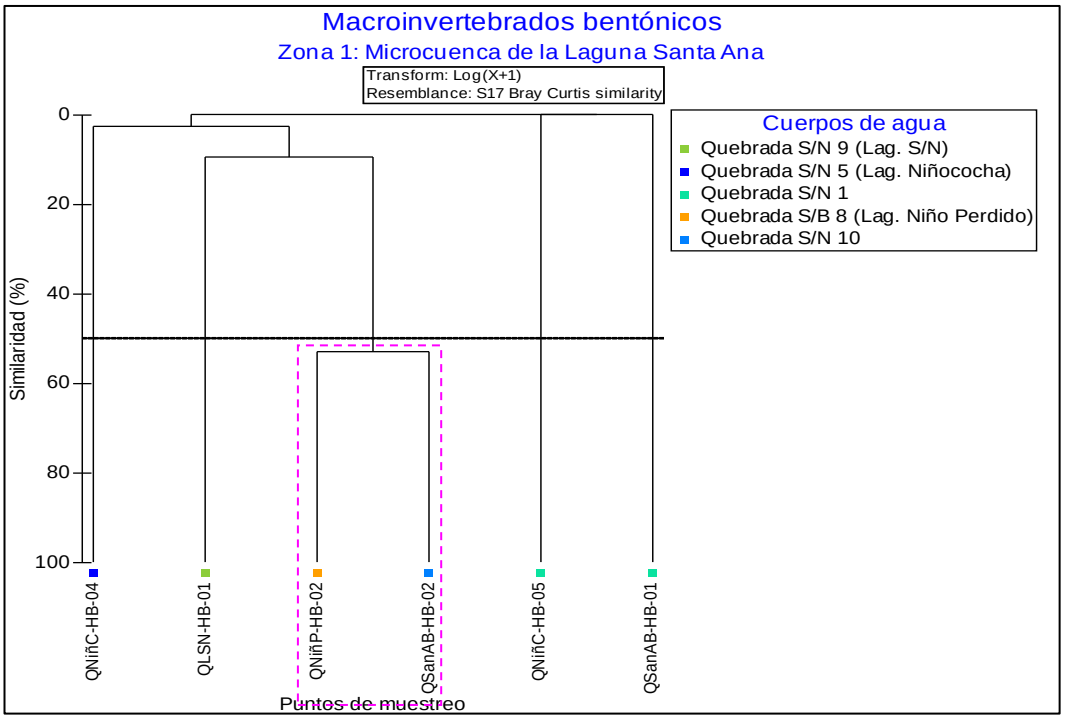


Figura 6-60. Dendrograma de similitud de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 1

- **Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua**

En la Tabla 6-45 se presenta la calidad hidromorfológica obtenida de las características del hábitat en cada punto de muestreo, la calidad biológica y la calidad ecológica según el protocolo CERA-S en la microcuenca de la laguna Santa Ana (para mayor detalle ver los cálculos realizados en el Anexo 3). Los resultados de este análisis fueron tomados de forma referencial, puesto que el método original exige un muestreo multihábitat de naturaleza cualitativa.

Se puede observar que, los puntos evaluados registran una «pésima calidad ecológica» en el 80 % de los puntos de muestreo y una «mala calidad ecológica» en el 20 %. El punto de muestreo QLSN-HB-01 (quebrada que sale de la laguna S/N) fue el que presentó una calidad mala, así como la más alta riqueza y abundancia en comparación a los demás puntos evaluados en la zona 1.

Tabla 6-45. Resultados de la calidad ecológica según el índice biótico andino (ABI) y el protocolo CERA-S en los ambientes lóticos de la zona 1

Punto de muestreo	Cuerpo de agua	Calidad hidromorfológica	Calidad biológica	Calidad ecológica
QNiñC-HB-04	Quebrada que ingresa a la Lag. Niñococha	Mala	Pésima	Pésima
QLSN-HB-01	Quebrada que sale de la Lag. Sin Nombre	Mala	Mala	Mala
QNiñC-HB-05	Quebrada que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana	Pésima	Pésima	Pésima
QSanAB-HB-01	Quebrada que conecta las lagunas Niñococha y Santa Ana	Pésima	Pésima	Pésima
QNiñP-HB-02	Quebrada que ingresa a la Lag. Niño Perdido	Mala	Pésima	Pésima
QSanAB-HB-02	Quebrada que conecta las lagunas Niño Perdido y Santa Ana	Mala	Pésima	Pésima

En la Figura 6-61 se describe el comportamiento de las especies bioindicadoras por punto de muestreo en la microcuenca de la laguna Santa Ana. Se observó en todos los puntos de muestreo la ausencia de especies sensibles; mientras que, el punto QLSN-HB-01 (quebrada que sale de la laguna S/N) presentó el mayor número de especies tolerantes y facultativas.

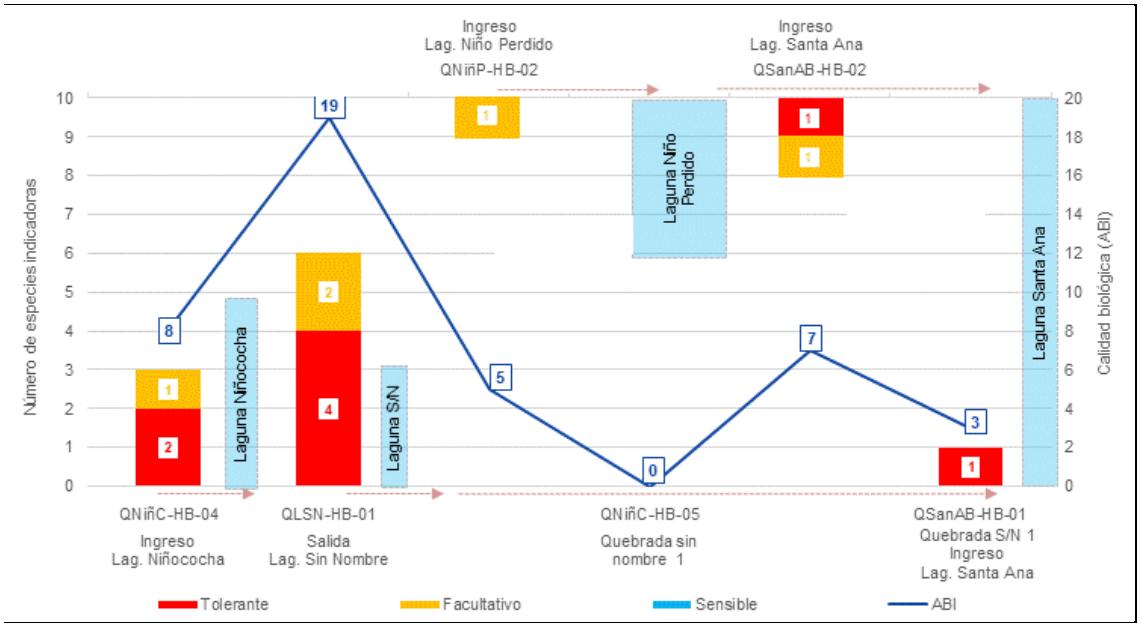


Figura 6-61. Número de especies de macroinvertebrados bentónicos por grupos bioindicadores definidos referencialmente a partir del índice ABI en los ambientes lóticos de la zona 1

c. Peces

- **Composición, riqueza y abundancia de especies**

La evaluación de la ictiofauna (peces) se realizó en 1 punto de muestreo LSN-RCC-01 en la laguna S/N, haciendo uso de una red cal o de mano, donde se colectaron 22 individuos de la especie *Orestias hardini* perteneciente a la familia Cyprinodontidae, conocido en el área de estudio como «chalhua» (alevines). La especie *O. hardini*, corresponde a un género con un alto nivel de endemismo en los Andes del Perú (Ortega & Hidalgo, 2008).

- **Condición de las poblaciones de peces**

La condición de las poblaciones se determinó en base al total de individuos capturados mediante red cal en el punto de muestreo LSN-RCC-01. En la laguna S/N, los valores del coeficiente de crecimiento (b) muestran que *Orestias hardini* presentó un desarrollo comprendido dentro del rango isométrico (2,5 < b < 3,5), indicando que el incremento de la longitud es proporcional al incremento de peso (Tabla 6-46). La lista total de especies se presenta en Anexo 3.1, y sus respectivas mediciones de peso y talla son presentadas en el Anexo 3.

Tabla 6-46. Relación entre longitud (L) y peso (W) para las especies de peces capturados en la laguna S/N

Relación: Longitud estándar y Peso total				$W = aL^b$		
Laguna	Arte de pesca	Especie	N.°	a	b	r
S/N	Captura con red cal	*Orestias hardini*	22	0,0241	2,7750	0,9797

"r" es el coeficiente de correlación en el que todas las especies resultaron altamente significativas (p < 0,01).

El análisis del factor de condición se interpretó en base al total de individuos capturados, mediante el arte de pesca con red de mano o cal en el punto LSN-RCC-01. Se observa que la "chalhua" *Orestias hardini* presenta un factor de condición igual a 0,98 muy cerca a uno (Tabla 6-47). De acuerdo con el valor obtenido, las características físicas del hábitat fueron favorables para el desarrollo de esta especie.

Tabla 6-47. Factor de condición (K) para las especies de peces capturados en la laguna S/N

Laguna	Arte de pesca	Especies	K
S/N	Captura con redes	*Orestias hardini*	0,98

6.3.1.2 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de las comunidades hidrobiológicas en la microcuenca Caballococha y Tinquicocha evaluada en setiembre 2018

a. Plancton

La zona 2 comprende la evaluación de las lagunas: Caballococha, Siete Caballeros, Nieve Ucro y Tinquicocha. En algunos puntos de las lagunas Caballococha y Tinquicocha se evaluaron muestras de superficie, fondo (F) y zona intermedia (T)

- **Fitoplancton**

Composición, riqueza y abundancia de especies

En toda la zona la comunidad de fitoplancton estuvo representada en el acumulado total por 145 especies, 57 familias, 28 órdenes, 13 clases y 9 phyla según su categoría taxonómica. Se destacó el phylum Bacillariophyta con 65 especies, seguido por Cyanobacteria y Chlorophyta ambas con 28, Charophyta con 18 especies, Miozoa con 2 especies, y con 1 especie, los phyla Euglenozoa, Bygira y Ochrophyta. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies del fitoplancton correspondiente a la zona 2.

El menor valor de riqueza acumulado por laguna se observó en Siete Caballeros con 52 especies; sin embargo, el punto de muestreo LTinq-HB-01 con menor riqueza se encontró en la laguna Tinquicocha con 7 especies (Figura 6-62).

El mayor valor de riqueza acumulado por laguna fue de 91 especies en Nieve Ucro; a la que correspondieron los puntos LNieU-HB-06 y LNieU-HB-07 con mayor riqueza, 44 y 46 especies respectivamente.

Este grupo de lagunas presentó varias especies en común en el fitoplancton, sobresaliendo por su abundancia en el acumulado total *Fragilaria capuccina*, *Fragilaria tenera*, *Nitzschia gracilis* y *Leptolyngbya* sp. 1; además, de los phyla registrados, 4 fueron los que estuvieron presentes en todas las lagunas (Bacillariophyta, Cyanpyta Chlorophyta y Charophyta) mientras que Miozoa se observó en Caballococha, Siete Caballeros y Nieve Ucro; Euglenozoa en Caballococha y Siete Caballeros, Bygira en Caballococha, Ochrophyta en Nieve Ucro y Crypyophyta en Siete Cabaleros.

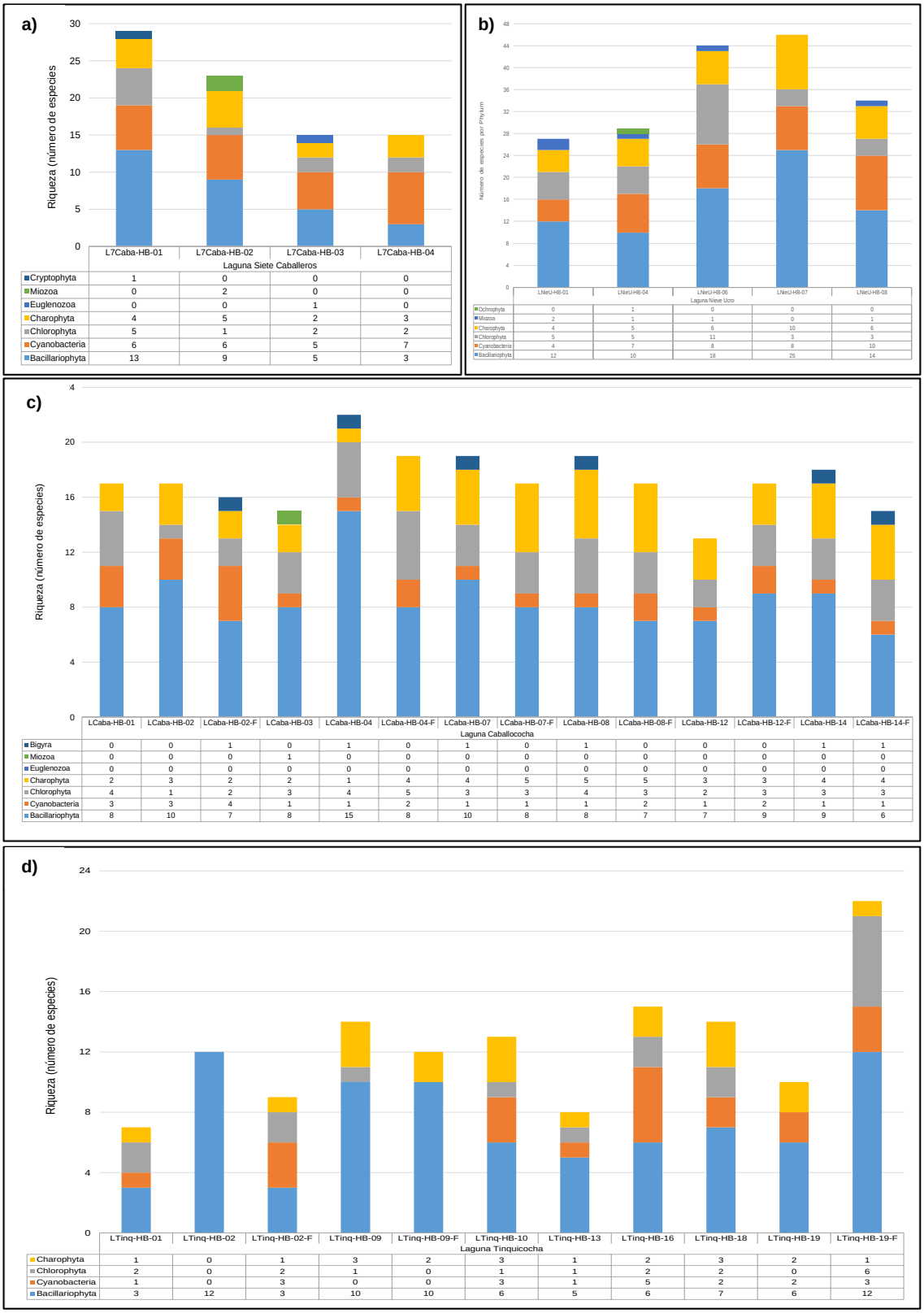


Figura 6-62. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2

La densidad (abundancia) total acumulada de organismos del fitoplancton por laguna mostró el mayor valor en la laguna Nieve Ucro con 352300 organismos/litro. El punto de muestreo con mayor densidad fue LNieU-HB-07 con 100450 organismos/litro, dada principalmente por el predominio de especies del género *Fragilaria* sp. (Bacillariophyta) que aporta con el 19 % del total (Figura 6-63).

La menor densidad acumulada correspondió a la laguna Siete Caballeros con 78750 organismos/litro; sin embargo, el punto de muestreo LTinq-HB-01 fue el de menor densidad con 2800 organismos/litro.

El phylum Bacillariophyta fue el de mayor densidad con un acumulado total de 602000 organismos/litro conformado principalmente por especies de los géneros *Nitzschia* sp. *Fragilaria* sp., *Pinnularia* sp., entre otros. La menor densidad acumulada correspondió al phylum Bacillariophyta con 77000 organismos/litro y estuvo presente en todas las lagunas. Finalmente, el menor valor de densidad total acumulada correspondió al phylum Ochrophyta con 400 organismos/litro, y solo estuvo presente en la laguna Nieve Ucro.



Figura 6-63. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2

Diversidad alfa

El índice de equidad de Pielou (J') varió de 0,666 en la laguna Caballococha (LCab-HB-4-F) a 0,968 en la laguna Tinquicocha (LTinq-HB-02). Siendo la laguna Tinquicocha la que presentó mayor equitatividad de las poblaciones en sus puntos de muestreo. El mayor valor del índice de dominancia de Simpson (λ) se presentó en la laguna Caballococha, sobre todo en LCaba-HB-04 fondo, donde la población de la especie *Fragilaria crotonensis* tuvo una mayor proporción en relación a las otras. (Tabla 6-48).

Por otra parte, la diversidad alfa indicó que el número de especies abundantes de Hill (N1) (diversidad verdadera) promedio por laguna, varió de 9,71 especies efectivas (laguna Tinquicocha) a 22,48 especies efectivas (laguna Nieve Ucro);

Tabla 6-48. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de fitoplancton en lagunas de la zona 2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (ʎ)	Diversidad verdadera (N1)
Laguna Siete Caballeros	L7Caba-HB-01	0,891	0,065	20,120
	L7Caba-HB-02	0,901	0,072	16,860
	L7Caba-HB-03	0,852	0,130	10,050
	L7Caba-HB-04	0,912	0,098	11,820
Laguna Caballococha	LCaba-HB-01	0,924	0,083	13,700
	LCaba-HB-02	0,924	0,087	13,700
	LCaba-HB-02-F	0,810	0,159	9,435
	LCaba-HB-03	0,920	0,096	12,070
	LCaba-HB-04	0,719	0,204	9,230
	LCaba-HB-04-F	0,666	0,281	7,097
	LCaba-HB-07	0,803	0,151	10,650
	LCaba-HB-07-F	0,818	0,143	10,150
	LCaba-HB-08	0,901	0,080	14,200
	LCaba-HB-08-F	0,845	0,115	10,950
	LCaba-HB-12	0,773	0,202	7,263
	LCaba-HB-12-F	0,824	0,120	10,340
	LCaba-HB-14	0,824	0,115	10,810
	LCaba-HB-14-F	0,839	0,126	9,698
Laguna Nieve Ucro	LNievU-HB-01	0,840	0,087	15,910
	LNievU-HB-04	0,817	0,091	15,640
	LNievU-HB-06	0,882	0,054	28,180
	LNievU-HB-07	0,887	0,049	29,840
	LNievU-HB-08	0,887	0,058	22,810
Laguna Tinquicocha	LTinq-HB-01	0,842	0,228	5,146
	LTinq-HB-02	0,968	0,097	11,090
	LTinq-HB-02-F	0,845	0,182	6,402
	LTinq-HB-09	0,843	0,139	9,241
	LTinq-HB-09-F	0,925	0,118	9,969
	LTinq-HB-10	0,876	0,128	9,445
	LTinq-HB-13	0,911	0,168	6,648
	LTinq-HB-16	0,914	0,097	11,88
	LTinq-HB-18	0,902	0,104	10,800
	LTinq-HB-19	0,938	0,130	8,659
	LTinq-HB-19-F	0,926	0,064	17,510

- **Zooplancton**

Composición, riqueza y abundancia de especies

En el acumulado total de la comunidad del zooplancton para todas las lagunas de la zona 2, se registraron 19 especies, 14 familias, 8 órdenes, 6 clases y 5 phyla; sin embargo, para los análisis se decidió separar el phylum Arthropoda en 2 grupos Arthorpoda-Cladocera y Arthropoda-Copepoda, se registraron además los phyla Ciliophora, Rotifera Amobozoa y Cercozoa. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de zooplancton correspondiente a la zona 1.

En el acumulado por laguna, el menor valor de riqueza se registró en las lagunas Siete Caballeros y Tinquicocha con 4 especies, y el mayor valor fue de 11 especies en Nieve Ucro. El phylum de mayor riqueza de especies fue Rotifera, sobresaliendo la especie *Keratella quadrata* (Figura 6-64).



Figura 6-64. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2

La densidad (abundancia) total acumulada de organismos del zooplancton fue de 2690 organismos/litro. El punto de muestreo que registró la mayor densidad correspondió a la laguna Caballococha (LCaba-HB-14-F) con 340 organismos/litro; mientras que, la menor densidad por punto de muestreo fue de 0 organismos/litro y se observó en la laguna Tinquicocha (LTinq-HB-01 y LTinq-HB-02) (Figura 6-65). En el acumulado total por phylum, Rotifera fue el de mayor densidad.



Figura 6-65. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y

puntos de muestreo en las lagunas a) Siete Caballeros, b) Nieve Ucro, c) Caballococha y d) Tinquicocha de la zona 2

Diversidad alfa

El índice de equidad de Pielou (J') brindó valores en los puntos de muestreo donde se presentó más de una especie y varió de 0,657 en la laguna Caballococha (LCaba-HB-04-F) a 1 en las lagunas Caballococha (LCaba-HB-02), Siete Caballeros (L7Caba-HB-04) y Tinquicocha (LTinq-HB-13) debido a que presentaron la misma densidad de las especies registradas (Tabla 6-49).

Por otro lado, el índice de dominancia de Simpson (λ), cuando pudo ser calculado, varió de 0,210 en la laguna Caballococha (LCaba-HB-01) a 1 en aquellos puntos de muestreo donde solo se registró una especie. La diversidad alfa indicó que el número de especies abundantes de Hill (N1) (diversidad verdadera) promedio por laguna, varió de 1,25 especies efectivas en la laguna Siete Caballeros a 2,72 especies efectivas en la laguna Caballococha

Tabla 6-49. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de zooplancton en lagunas de la zona 2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (ʎ)	Diversidad verdadera (N1)
Laguna Siete Caballeros	L7Caba-HB-01	****	1	1
	L7Caba-HB-02	****	1	1
	L7Caba-HB-03	****	1	1
	L7Caba-HB-04	1	0,5	2
Laguna Caballococha	LCaba-HB-01	0,936	0,210	5,349
	LCaba-HB-02	1	0,333	3
	LCaba-HB-02-F	0,946	0,375	2,828
	LCaba-HB-03	0,832	0,388	3,170
	LCaba-HB-04	****	1	1
	LCaba-HB-04-F	0,657	0,597	2,057
	LCaba-HB-07	0,921	0,389	2,749
	LCaba-HB-07-F	0,889	0,279	4,182
	LCaba-HB-08	0,937	0,380	2,800
	LCaba-HB-08-F	0,863	0,592	1,819
	LCaba-HB-12	0,971	0,520	1,960
	LCaba-HB-12-F	0,971	0,520	1,960
	LCaba-HB-14	0,676	0,515	2,553
	LCaba-HB-14-F	0,686	0,500	2,589
Laguna Nieve Ucro	LNievU-HB-01	0,851	0,278	4,594
	LNievU-HB-04	0,749	0,404	3,336
	LNievU-HB-06	0,865	0,440	2,586
	LNievU-HB-07	****	1	1
	LNievU-HB-08	0,982	0,347	2,942
Laguna Tinquicocha	LTinq-HB-01	****	****	1
	LTinq-HB-02	****	****	1
	LTinq-HB-02-F	0,918	0,556	1,890
	LTinq-HB-09	****	1	1
	LTinq-HB-09-F	0,946	0,537	1,926
	LTinq-HB-10	****	1	1
	LTinq-HB-13	1	0,500	2
	LTinq-HB-16	0,870	0,429	2,600
	LTinq-HB-18	0,918	0,556	1,890
	LTinq-HB-19	****	1	1
	LTinq-HB-19-F	0,971	0,520	1,960

****: El resultado del cálculo no proporcionó un valor numérico.

b. Perifiton

La evaluación de perifiton se realizó en 5 quebradas, 2 surgencias, 1 agua residual industrial y 1 efluente ubicadas en la microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha, haciendo un total de 9 puntos de muestreo cuyo análisis se detalla a continuación.

- **Microalgas**

Composición, riqueza y abundancia de especies

Durante la evaluación en setiembre 2018 en la microcuenca de las lagunas Caballacocha y Tinquicocha, se registró la composición de microalgas en el área de estudio. La comunidad de microalgas en la zona 2 estuvo representada por 108 especies, agrupadas en 7 phyla, 11 clases, 26 órdenes, 52 familias y 72 géneros. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de microalgas correspondiente a la zona 2.

En las Figuras 6-66 y 6-67 se observa el comportamiento y distribución de la abundancia (densidad) y riqueza respectivamente de los grupos de especies de microalgas a nivel de phyllum en la microcuenca de las lagunas Caballacocha y Tinquicocha. El punto QL7Caba-HB-02 (salida de la laguna Siete Caballeros) presentó la mayor densidad (50800 organismos/cm^2) y riqueza (32 especies) en comparación con el punto de muestreo QL7Caba-HB-01 (quebrada S/N 2, proveniente de deshielo de nevado Siete Caballeros) que registró 44400 organismos/cm^2 y 29 especies. La riqueza en el punto QL7Caba-HB-02 estuvo representada por las especies *Achnanthidium* cf. *exilis, Nitzschia gracilis* y *Fragilaria capuccina* var. *gracilis* del phyllum Bacillariophyta.

En los tributarios hacia la laguna Caballococha, el punto de muestreo QCaba-HB-01 (ingreso a la laguna Caballococha) presentó mayor densidad (90000 organismos/cm^2) y riqueza (41 especies) en comparación con el punto QCaba-HB-03 (surgencia de agua que ingresa a la laguna Caballococha) que registró 12400 organismos/cm^2 y 13 especies, siendo representado por las especies *Achnanthidium* cf. *atomus, Achnanthidium* cf. *exilis, Nitzschia gracilis* y *Encyonema minutiforme* del phyllum Bacillariophyta.

En los tributarios hacia la laguna Tinquicocha, en el punto de muestreo AMTinq-HB-1 (salida de bocamina Tinquicocha) se registró la mayor densidad (65720 organismos/cm^2) y riqueza (22 especies) en comparación con los puntos FTinqco-HB-04 (descarga del sedimentador Tinquicocha) y FTinqco-HB-03 (surgencia de agua, ubicada en la cota inferior al depósito de desmonte Tinquicocha) que registraron 44400 y 26760 organismos/cm^2 respectivamente, 16 y 20 especies respectivamente. La riqueza en el punto AMTinq-HB-1 fue representada por las especies *Achnanthidium altergracillima* y *Achnanthidium minutissimum*, y *Geitleribactron periphyticum* del phyllum Bacillariophyta y Cyanobacteria respectivamente.

En los 2 tributarios restantes hacia la laguna Tinquicocha, el punto de muestreo QLTinq-HB-02 (quebrada S/N 4 que tributa a laguna Tinquicocha) presentó mayor densidad (26800 organismos/cm^2) y riqueza (19 especies) en comparación con el punto QLTinq-HB-01 (quebrada S/N 3 que tributa a laguna Tinquicocha) que registró 10840 organismos/cm^2 y 15 especies, siendo representado por las especies *Achnanthidium* cf. *gracillimum* y *Nitzschia gracilis*, y *Dichothrix* sp., del phyllum Bacillariophyta y Cyanobacteria respectivamente.

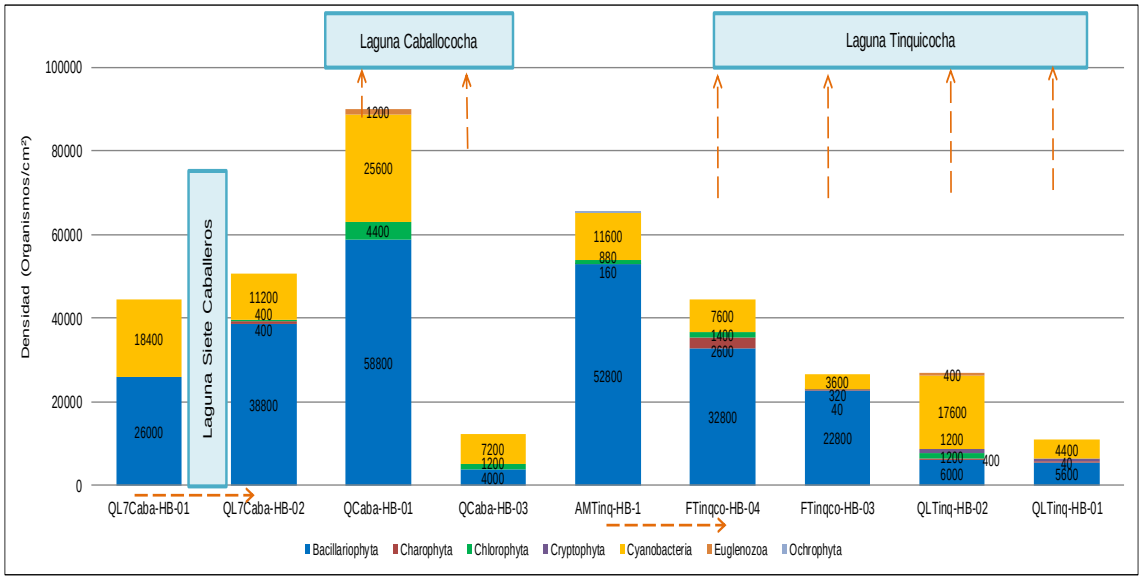


Figura 6-66. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 2

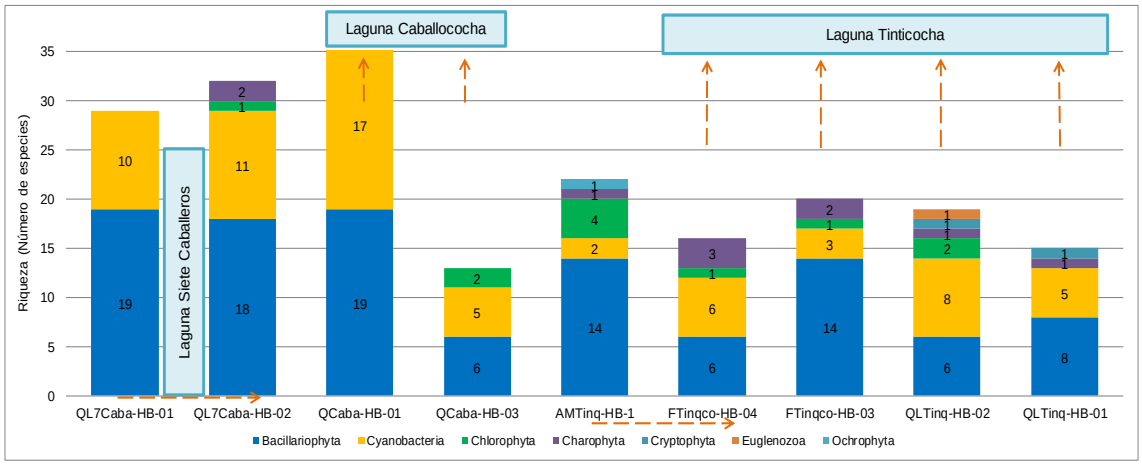


Figura 6-67. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 2

Diversidad alfa

En la Tabla 6-50 se observa la diversidad alfa de microalgas en la microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha; donde en el punto de muestreo QL7Caba-HB-02 (salida de la laguna Siete Caballeros) presentó la mayor diversidad verdadera Hill (N1) (22,970 especies efectivas) en comparación con el punto QL7Caba-HB-01 (quebrada S/N 2, proveniente de deshielo de nevado Siete Caballeros) que registró 22,200 especies efectivas.

En los tributarios hacia la laguna Caballococha, el punto de muestreo QCaba-HB-01 (ingreso a la laguna Caballococha) presentó mayor diversidad verdadera Hill (N1) (29,320 especies efectivas) en comparación con el punto QCaba-HB-03 (surgencia de agua que ingresa a la laguna Caballococha) que registró 10,750 especies efectivas.

Referente a los tributarios a la laguna Tinquicocha y los puntos que están cerca al depósito de desmonte Tinquicocha, el punto AMTinq-HB-1 (salida de bocamina Tinquicocha) presentó la mayor diversidad verdadera Hill (N1) (11,650 especies

efectivas) en comparación con el punto de muestreo FTinqco-HB-04 (descarga del sedimentador Tinquicocha) que registró 13,170 especies.

En 2 tributarios restantes hacia la laguna Tinquicocha, el punto de muestreo QLTinq-HB-02 (quebrada S/N 4 que tributa a laguna Tinquicocha) presentó mayor diversidad verdadera Hill (N1) (9,516 especies efectiva) con respecto al punto QLTinq-HB-01 (quebrada S/N 3 que tributa a laguna Tinquicocha) que registró 13,010 especies efectivas.

Los cuerpos de agua de la microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha se vieron reflejados con altos valores del índice de equidad (J') (0,746 a 0,948), y bajos valores de dominancia de Simpson (λ) (de 0,045 a 0,218), indicando que todos los puntos de muestreo registraron mayor distribución homogéneo y una baja dominancia de especies.

Tabla 6-50. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de microalgas de la zona 2

Puntos de muestreo	Puntos de muestreo	Equidad de Pielou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Quebrada S/N 2, proveniente de deshielo de nevado Siete Caballeros	QL7Caba-HB-01	0,921	0,054	22,200
Salida de la laguna Siete Caballeros	QL7Caba-HB-02	0,904	0,055	22,970
Ingreso a la laguna Caballococha	QCaba-HB-01	0,910	0,045	29,320
Surgencia de agua que ingresa a la laguna Caballococha	QCaba-HB-03	0,926	0,109	10,750
Salida de bocamina Tinquicocha	AMTinq-HB-1	0,795	0,112	11,650
Surgencia de agua ubicada en la cota inferior al botadero Tinquicocha	FTinqco-HB-04	0,746	0,218	7,907
Descarga del sedimentador Tinquicocha	FTinqco-HB-03	0,861	0,100	13,170
Quebrada S/N 4 que tributa a laguna Tinquicocha	QLTinq-HB-02	0,765	0,210	9,516
Quebrada S/N 3 que tributa a laguna Tinquicocha	QLTinq-HB-01	0,948	0,083	13,010

Diversidad beta

En la Figura 6-68 se presenta la diversidad beta mediante el análisis de similitud de Bray-Curtis de la comunidad de microalgas en los diferentes puntos de muestreo (quebradas y surgencias) en la zona 2, durante setiembre 2018. En el análisis cluster se formaron 2 conglomerados de similitud bien definidos.

El primer conglomerado que se encuentra en la parte izquierda de la figura, y donde se encuentran los puntos aledaños a las lagunas Siete Caballeros y Caballococha, se asoció a los puntos de muestreo QL7Caba-HB-01 y QL7Caba-HB-02, con una similitud cercano al 50 %; además, de los puntos QCaba-HB-01 y QCaba-HB-03 que asociados a los 2 antes mencionados, registraron una similitud de aproximadamente del 20 %.

Mientras que, el segundo conglomerado donde se encuentran los puntos aledaños a la laguna Tinquicocha, se asoció entre los puntos AMTinq-HB-1 y FTinqco-HB-03 registrando más del 50 % de similitud; además entre los puntos de muestreo QLTinq-HB-02 y QLTinq-HB-01 se presentó una similitud aproximadamente del 30 %.

Por lo que, en el primer conglomerado se presentó una mayor similitud entre los puntos alejados de algún componente minero, es así que con respecto al punto influenciado por el depósito de desmonte Hidro registró una alta disimilitud; mientras que, en el segundo conglomerado registró una asociación entre los puntos aledaños al depósito de desmonte Tinquicocha, además registró una alta disimilitud en comparación con los puntos alejados a algún componente minero, aledaños a la laguna Tinquicocha.

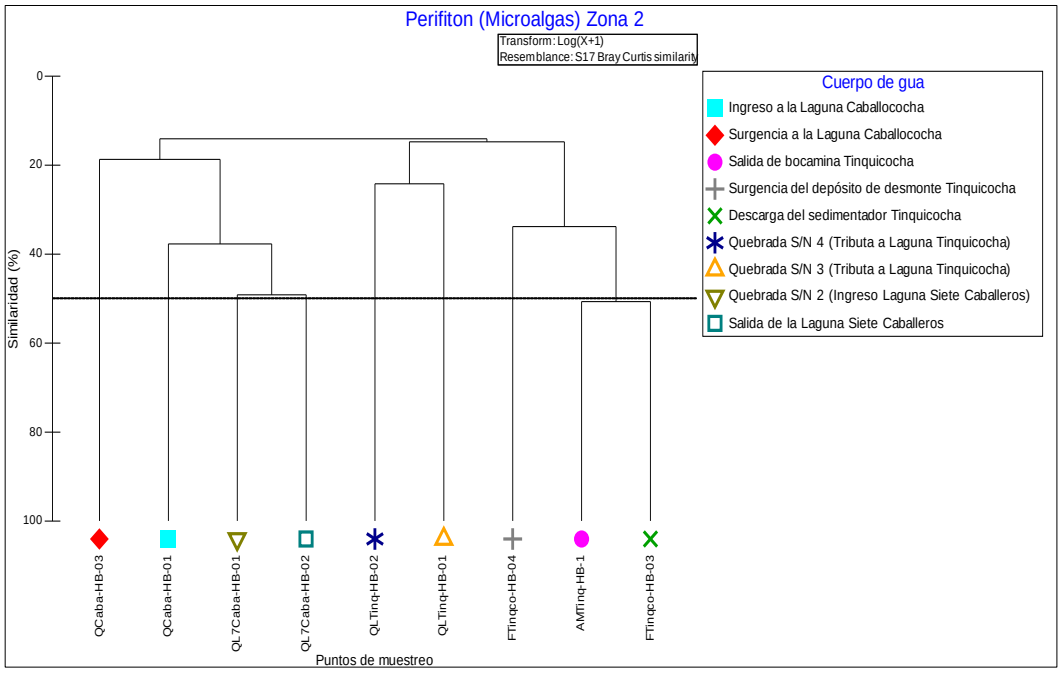


Figura 6-68. Dendrograma de similitud de la comunidad de microalgas de la zona 2

- **Microorganismos**

Composición, riqueza y abundancia

Durante setiembre 2018, en las quebradas, surgencias, agua residual idustrial y efluente de la microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha, se registró la composición de microorganismos en el área de estudio, representada por 6 especies, agrupadas en 5 phyla, 5 clases, 5 órdenes, 6 familias y 6 géneros. Debido a la baja o nula abundancia de microorganismos correspondiente a la zona 2, el registro completo de estas se presenta directamente en el Anexo 3.1.

c. Macroinvertebrados bentónicos

La evaluación de macroinvertebrados bentónicos se realizó en los cuerpos de agua lóticos ubicados en la microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha, tomándose un total de 4 puntos de muestreo cuyo análisis se detalla a continuación.

- **Composición, riqueza y abundancia de especies**

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo representada por un total de 17 especies, las cuales se encontraron agrupadas en 11 familias, 6 órdenes y 4 clases, pertenecientes a 2 phyla, donde se observa una notoria predominancia del phylum Arthropoda, principalmente por la presencia de organismos pertenecientes a la Clase Insecta. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de macroinvertebrados bentónicos correspondiente a la zona 2.

En la Figura 6-69 se presentan los valores de riqueza o número de especies de los macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden. El punto de muestreo que registró mayor riqueza fue QL7Caba-HB-02 (quebrada que sale de la laguna Siete Caballeros) con 8 especies; mientras que, los puntos de muestreo QL7Caba-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Siete Caballeros) y QCaba-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Caballococha) registraron 6 y 5 especies respectivamente. Además, en el punto de código QLTinq-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Tinquicocha) no se encontraron organismos. En la mayoría de los puntos de muestreo, el orden Diptera presentó el mayor número de especies.

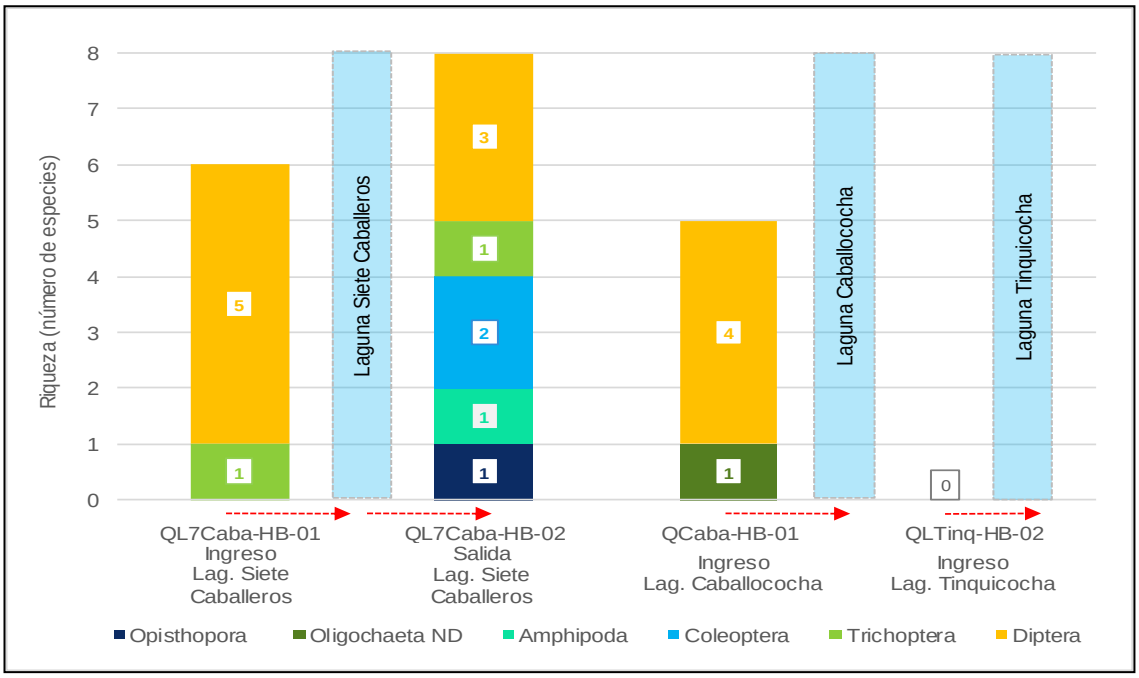


Figura 6-69. Riqueza (número de especies) de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 2

En la Figura 6-70 se presentan los valores de abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada orden. Se aprecia que la abundancia de las macroinvertebrados bentónicos está representada principalmente por el orden Diptera con 161 organismos/0,27 cm^2. La mayor abundancia (90 organismos/0,27 m^2) correspondió al punto QL7Caba-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Siete Caballeros), seguido del punto QCaba-HB-01 (quebrada que ingresa a la Laguna Caballococha) con 65 organismos/0,27 m^2. Cabe mencionar que, en el punto QLTinq-HB-02 no se registró ningún organismo. Además, la especie macroinvertebrado bentónico *Cricotopus* sp. fue la más abundante.

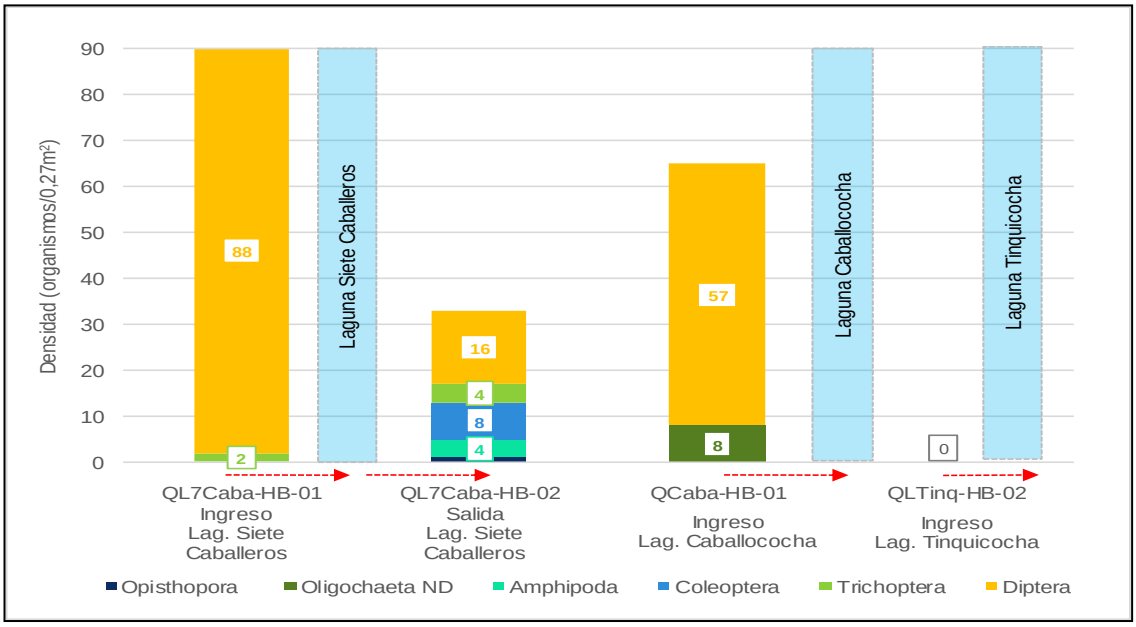


Figura 6-70. Densidad (abundancia) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 2

- **Diversidad alfa**

Los resultados de los índices de diversidad de diversidad alfa: equidad de Pielou (J'), dominancia de Simpson (λ) y número de especies abundantes de Hill (N1), para cada punto de muestreo se presentan en la Tabla 6-51.

La equidad de Pielou (J') varió desde 0,92 en el punto QCaba-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Caballococha) hasta 0 en el punto QLTinq-HB-02. Asimismo, la dominancia de Simpson (λ) varió de 0,66 en el punto QL7Caba-HB-01 (quebrada que entra a la laguna Siete Caballeros) a 0 en el punto QLTinq-HB-02.

Finalmente, la diversidad alfa indica que el número de Hill N1 (diversidad verdadera) varió de 5,09 especies efectivas en el punto QL7Caba-HB-02 (quebrada que sale de la laguna Siete Caballeros) a 0 especies efectivas en el punto QLTinq-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Tinquicocha).

Mediante el análisis de diversidad alfa podemos observar un mejor establecimiento de la comunidad hidrobiológica de macroinvertebrados bentónicos en la quebrada que sale de la laguna Siete Caballeros de código QL7Caba-HB-02, evidenciándose en valores más altos de diversidad verdadera, como valores altos de equidad y valores más bajos de dominancia. Por ende, existe una distribución homogénea de abundancia (densidad) de organismos por especie en este punto.

Tabla 6-51. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 2

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Quebrada que ingresa a la laguna Siete Caballeros	QL7Caba-HB-01	0,41	0,66	2,09
Quebrada que sale de la laguna Siete Caballeros	QL7Caba-HB-02	0,78	0,26	5,09
Quebrada que ingresa a la laguna Caballococha	QCaba-HB-01	0,92	0,26	4,42
Quebrada que ingresa a la laguna Tinquicocha	QLTinq-HB-02	0	0	0

- **Diversidad beta**

En la Figura 6-71 se muestra el análisis de diversidad beta mediante el índice de similitud de Bray-Curtis, el cual permitió conformar un conglomerado formado por los puntos de muestreo QL7Caba-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Siete Caballeros) y QCaba-HB-01 (quebrada que ingresa a la laguna Caballococha), con un porcentaje de similitud menor del 50 %. Las especies comunes entre estos puntos fueron *Cricotopus* sp. y Gigantodax sp., pertenecientes al orden Diptera.

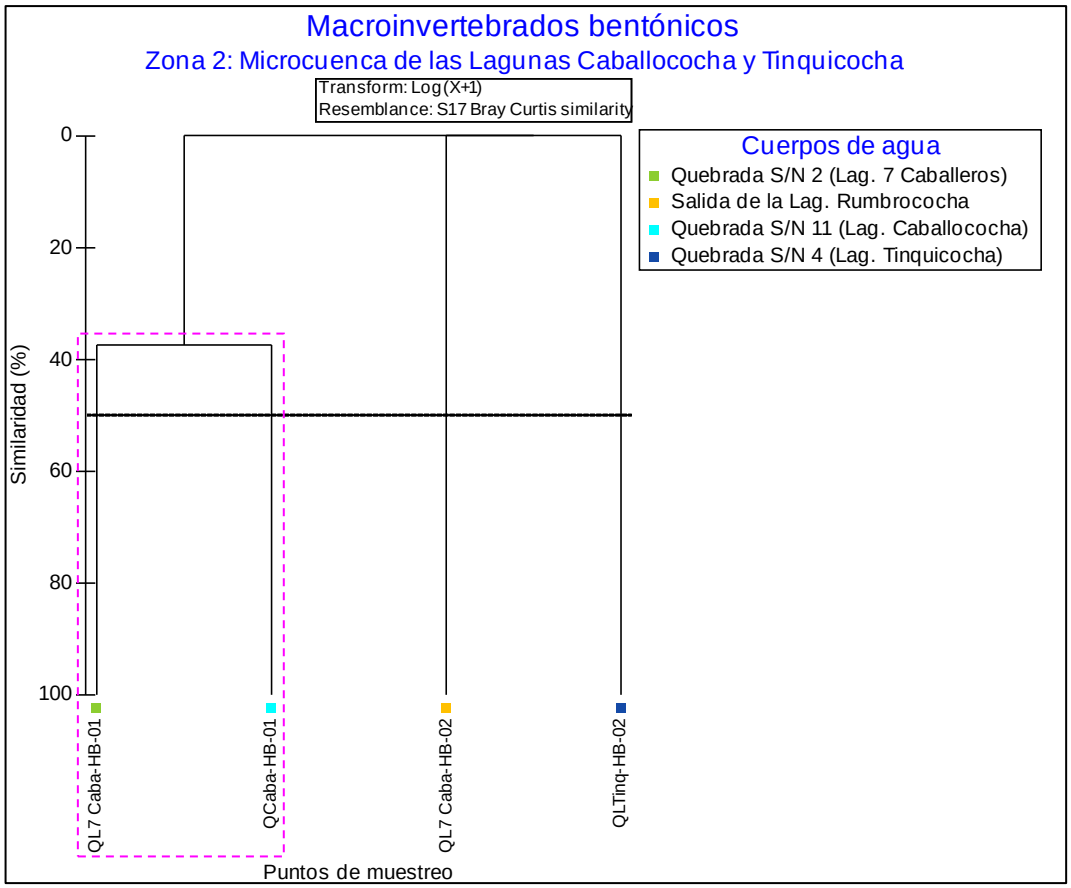


Figura 6-71. Dendrograma de similitud de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 2

- **Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua**

En la Tabla 6-52 se presenta la calidad hidromorfológica obtenida de las características de hábitat en cada punto de muestreo, la calidad biológica y la calidad ecológica según el protocolo CERA-S en la microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha (para mayor detalle ver los cálculos realizados en el Anexo 3). Los resultados de este análisis fueron tomados de forma referencial, puesto que el método original exige un muestreo multihábitat de naturaleza cualitativa.

Se puede observar que, de los puntos evaluados el 75 % registran una «mala calidad ecológica», y el 25 % que corresponde al punto QLTinq-HB-02 (quebrada que ingresa a la laguna Tinquicocha) donde no se encontraron organismos, registra una «pésima calidad ecológica».

Tabla 6-52. Resultados de la calidad ecológica según el índice biótico andino (ABI) y el protocolo CERA-S en los ambientes lóticos de la zona 2

Punto de muestreo	Cuerpo de agua	Calidad hidromorfológica	Calidad biológica	Calidad ecológica
QL7Caba-HB-01	Quebrada que ingresa a la laguna Siete Caballeros	Mala	Mala	Mala
QL7Caba-HB-02	Quebrada que sale de la laguna Siete Caballeros	Mala	Mala	Mala
QCaba-HB-01	Quebrada que ingresa a la laguna Caballococha	Moderada	Mala	Mala
QLTinq-HB-02	Quebrada que ingresa a la laguna Tinquicocha	Moderada	Pésima	Pésima

En la Figura 6-72 se describen el comportamiento de las especies bioindicadoras por punto de muestreo en la microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha. Se observó que en los puntos de muestreo de entrada (QL7Caba-HB-01) y salida (QL7Caba-HB-02) de la laguna Siete Caballeros, se registró 1 especie sensible. Además, en el punto QL7Caba-HB-02 se registró el mayor número de especies tolerantes.

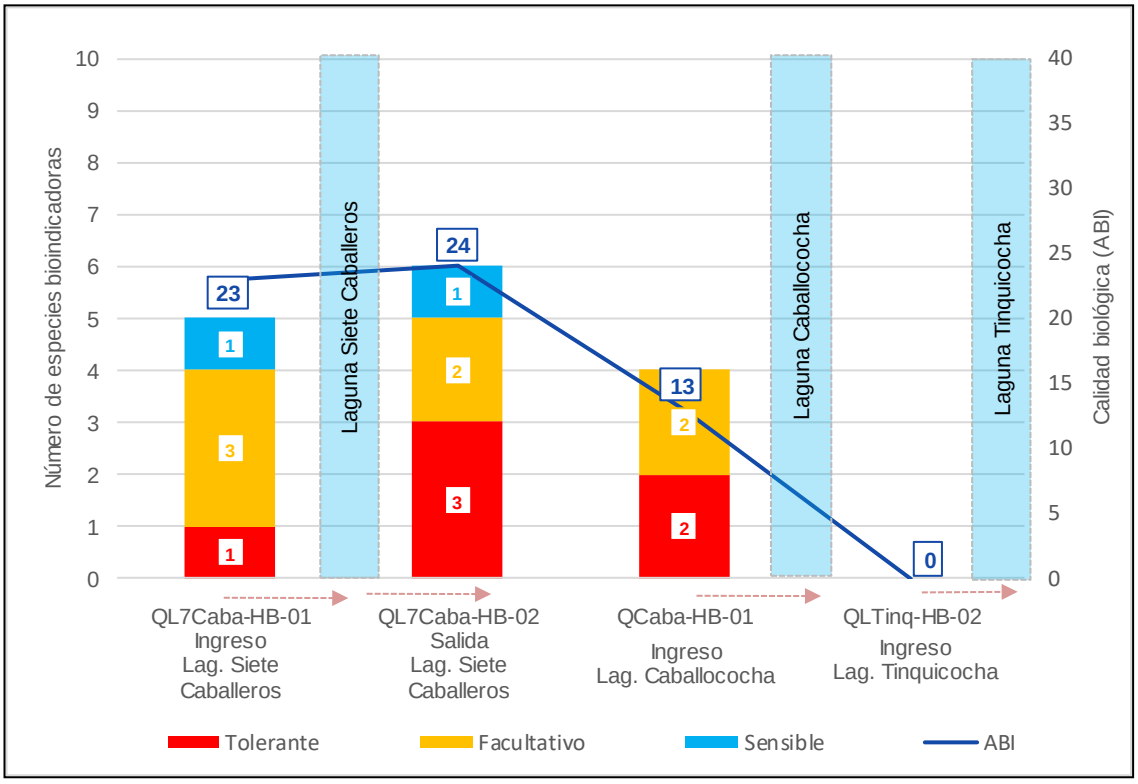


Figura 6-72. Número de especies de macroinvertebrados bentónicos por grupos bioindicadores definidos referencialmente a partir del índice ABI en los ambientes lóticos de la zona 2

d. Peces

- **Composición, riqueza y abundancia de especies**

La evaluación de la ictiofauna (peces) se realizó en las lagunas Caballococha y Tinquicocha. En el caso de la laguna Caballococha se ha tomado 1 punto de muestreo LCaba-RCC-02, haciendo uso de una red cal cal o de mano, donde se colectaron 4 individuos de la especie *Orestias hardini* y 1 individuo de la especie *Orestias* sp. *complejo agassizii,* ambas de la familia Cyprinodontidae.

Mientras que, en la laguna Tinquicocha se ha tomado 1 punto de muestreo LTinq-RE-02, haciendo el uso de una red de espera, donde se colectaron 7 individuos de la especie *Orestias empyraeus*, de la familia Cyprinodontidae.

- **Condición de las poblaciones de peces**

La condición de las poblaciones se determinó en base al total de individuos capturados mediante redes de espera y cal cal. En la laguna Caballococha, los valores del coeficiente de crecimiento (b) muestran que *Orestias hardini* presentó un desarrollo comprendido dentro del rango isométrico (2,5 < b < 3,5), indicando que el incremento de la longitud es proporcional al incremento de peso (Tabla 6-53). Mientras que, para el caso de la laguna Tinquicocha, los valores del coeficiente de crecimiento (b) muestran que *Orestias empyraeus* presentó un desarrollo comprendido dentro del rango alométrico negativo (b < 2,5), indicando un incremento preferencial de su longitud en comparación a su peso. La lista total de especies se presenta en Anexo 3.1, y sus respectivas mediciones de peso y talla son presentadas en el Anexo 3.

Tabla 6-53. Relación entre longitud (L) y peso (W) para las especies de peces capturados en las lagunas Caballococha y Tinquicocha

Relación: Longitud estándar y Peso total				$W = aL^b$		
Laguna	Arte de pesca	Especies	N°	a	b	r
Caballococha	Captura con redes de espera	*Orestias hardini*	4	0,0194	2,9455	0,9607
Tinquicocha		*Orestias empyraeus*	7	0,1033	2,3926	0,8609

"r" es el coeficiente de correlación en el que todas las especies resultaron altamente significativas (p < 0,01).

El análisis del factor de condición se interpretó en base al total de individuos capturados en cada laguna evaluada. Se observa que, en la laguna Caballococha *O. hardini* presenta un factor de condición igual a 0,89; mientras que, en la laguna Tinquicocha *O. empyraeus* presenta un factor de condición igual a 1,45 (Tabla 6-54). De acuerdo con los valores obtenidos, las características físicas del hábitat fueron favorables para el desarrollo de estas especies.

Tabla 6-54. Factor de condición (K) para las especies de peces capturados en las Caballococha y Tinquicocha

Laguna	Arte de pesca	Especies	K
Caballococha	Captura con redes	*Orestias hardini*	0,89
Tinquicocha		*Orestias empyraeus*	1,45

- **Bioacumulación de metales en tejidos de peces**

Para determinar la bioacumulación de metales en tejidos de peces, se tomaron de la laguna Tinquicocha, 3 muestras al azar de tejido muscular de adultos de *Orestias empyraeus* «chalhua».

Las concentraciones de metales que se obtuvieron por muestra (cadmio, mercurio y plomo) fueron comparadas con los contenidos máximos (mg/kg peso fresco) señalados en el manual "«Indicadores sanitarios y de inocuidad para los productos pesqueros y acuícolas para mercado nacional y de exportación» del Sanipes. De acuerdo con la Tabla 6-55, ninguno de los metales considerados en la referencia citada, excedió los contenidos máximos permisibles para su consumo.

Tabla 6-55. Concentración de metales en tejido de músculo de peces *O. empyraeus* «chalhua» capturados en la laguna Tinquicocha

Parámetro	Contenidos máximos (mg/kg peso fresco)	Tejido muscular		
		LTinq-TM-01	LTinq-TM-02	LTinq-TM-03
Cadmio (Cd)	0,05	0,0312	0,0146	0,0142
Mercurio (Hg)	0,5	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Plomo (Pb)	0,3	0,162	0,034	0,054
Especie		*Orestias empyraeus*		

Fuente: Informe de ensayo N.° 56040/2018 emitido por el laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C.

6.3.1.3 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis de las comunidades hidrobiológicas en la microcuenca de la laguna Rupahuay evaluada en setiembre 2018.

a. Plancton

En esta zona se evaluaron 3 lagunas: Rupahuay, Rumbrococha y Yanacocha. En 4 puntos de la laguna Rumbrococha se tomaron muestras de superficie, y en 6 puntos de la laguna Rupahuay se tomaron muestras de superficie, 4 en fondo (LRupa-HB-01-F, LRupa-HB-03-F, LRupa-HB-05-F y LRupa-HB-09-F) y en 1 de la zona intermedia (LRupa-HB-03-T).

- **Fitoplancton**

Composición, riqueza y abundancia de especies

El fitoplancton estuvo representado en el acumulado total por 109 especies, 39 familias, 23 órdenes, 9 clases y 9 phyla según su categoría taxonómica. Se destacó el phylum Bacillariophyta con 50 especies, seguido por Cyanobacteria con 13, Charophyta con 17 especies, Chlorophyta con 23 especies, Ochrophyta con 2 especies, y con 1 especie, los phyla Cryptophyta, Euglenozoa, Bygira y Miozoa. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies del fitoplancton correspondiente a la zona 3.

El menor valor de riqueza acumulado por laguna se observó en la Yanacocha, con 2 puntos de muestreo; sin embargo, los menores valores de riqueza por punto de muestreo se registraron en la laguna Rupahuay (LRupa-HB-01 y LRupa-HB-05-F) con 9 y 8 especies respectivamente (Figura 6-73).

El mayor valor de riqueza acumulado por laguna fue de 75 especies y correspondió a la laguna Rupahuay; sin embargo, el mayor número de especies por punto de muestreo pertenecieron a la laguna Rumbrococha (LRumb-HB-03 y Rumb-HB-05) con 34 y 33 especies respectivamente.

La especie *Fragilaria tenera* no solo se registró junto con otras en las 3 lagunas, sino que también fue la de mayor frecuencia en los puntos de muestreo, solo no estuvo presente en el punto LRumb-HB-01. De los phyla registrados, 5 estuvieron en todas las lagunas (Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Charophyta y Miozoa); mientras que, Ochrophyta, Bigyra y Cryptophyta se registraron solo en Rupahuay y Cryptophyta y Euglenozoa solo en Rumbrococha.

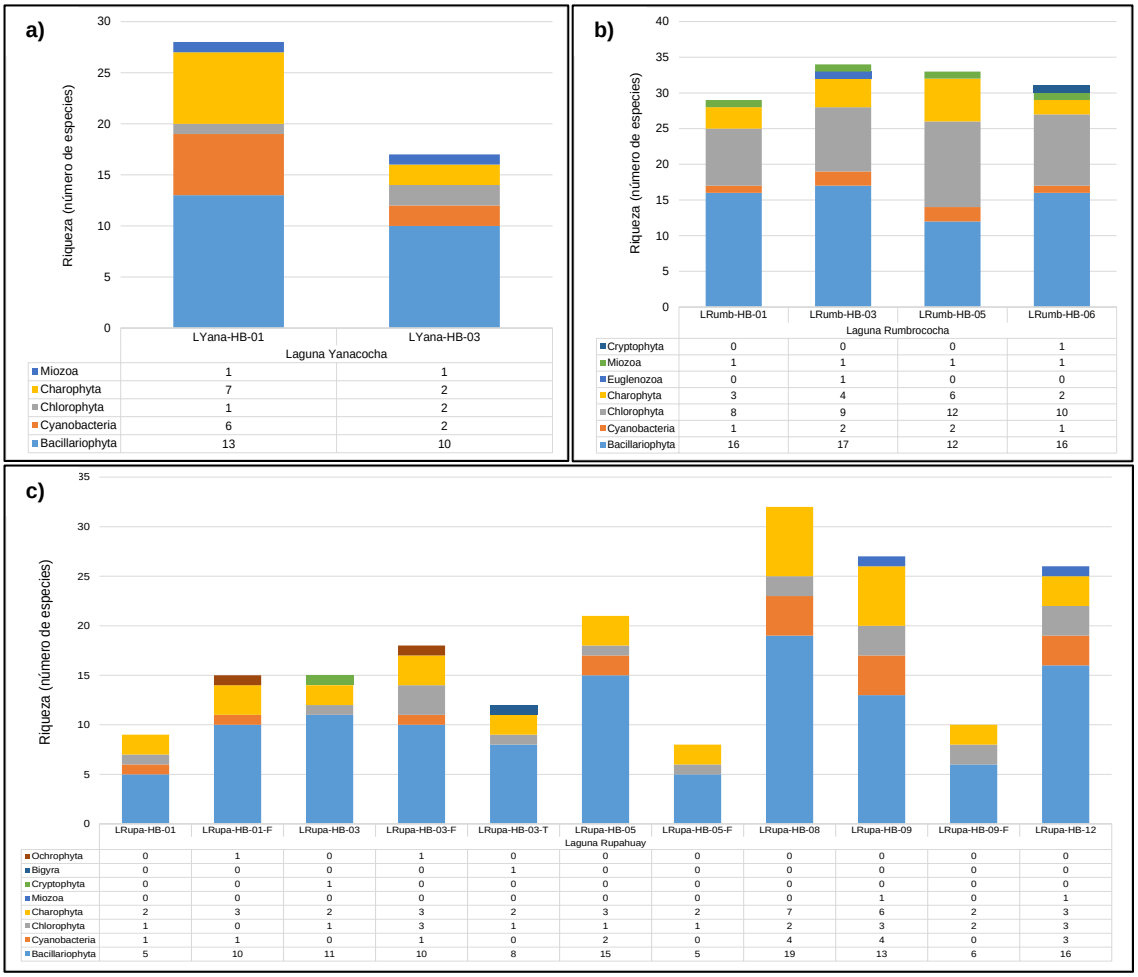


Figura 6-73. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3

La densidad (abundancia) total acumulada de organismos del fitoplancton por laguna mostró el mayor valor en la laguna Rumbrococha con 232250 organismos/litro. El punto de muestreo con mayor densidad fue LRumb-HB-03 con 66750 organismos/litro, dada principalmente por el predominio *Fragilaria crotonensis* (Bacillariophyta) que aporta con el 39 % del total de la densidad reportada para ese punto de muestreo (Figura 6-74).

La menor densidad acumulada por laguna correspondió a la laguna Yanacocha con 57850 organismos/litro. El punto de muestreo con menor densidad fue LRupa-HB-01 con 5650 organismos/litro.

El phylum que aportó con la mayor densidad fue el Bacillariophyta con un acumulado total de 358000 organismos/litro conformado principalmente por *F. crotonensis*, el que estuvo presente en todas las lagunas. Finalmente, el menor valor de densidad total acumulada correspondió a los phyla Euglenozoa y Bigyra con 500 organismos/litro, y solo estuvieron presentes en la laguna Rumbrococha, el primero, y en Rupahuay, el segundo.

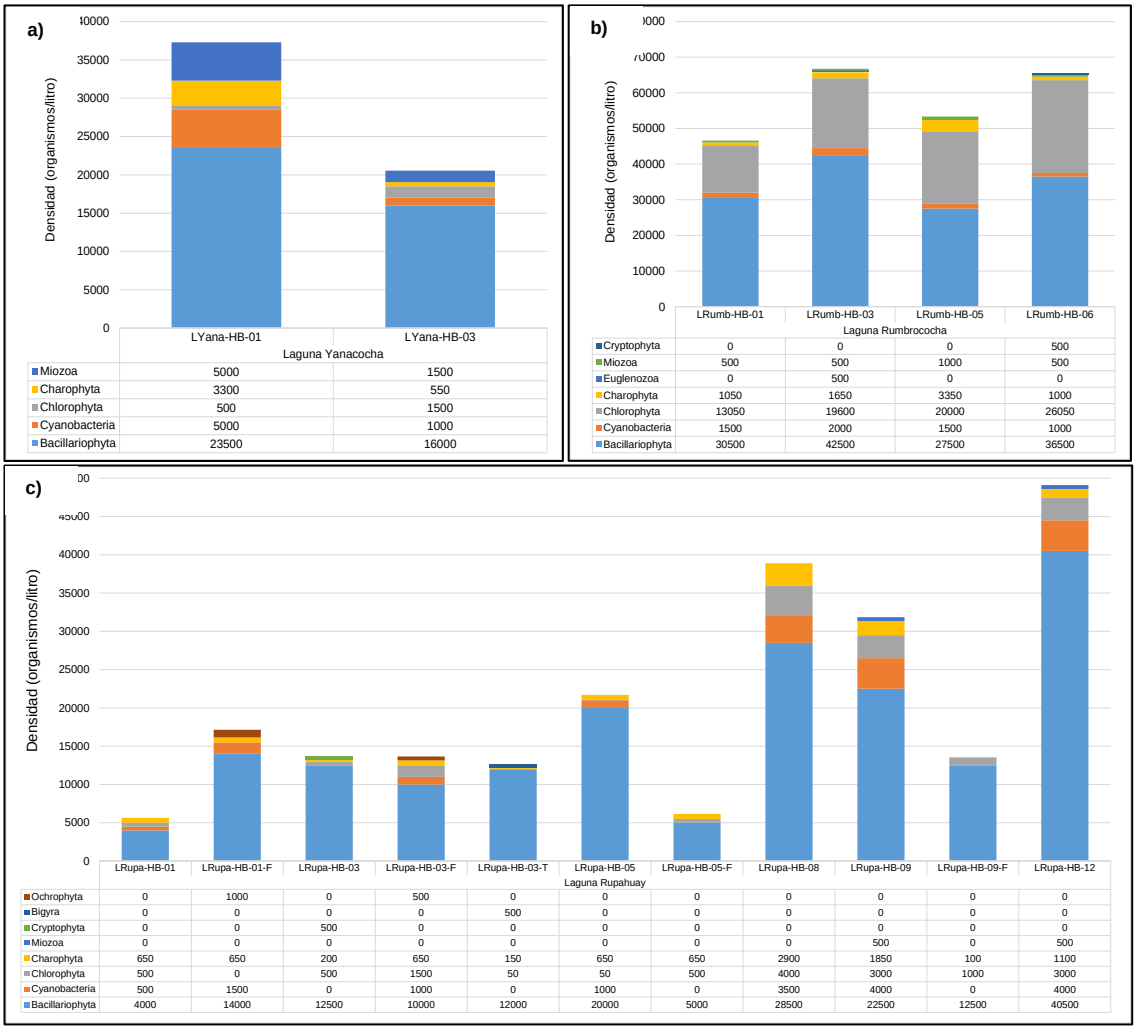


Figura 6-74. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de fitoplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3

Diversidad alfa

El índice de equidad de Pielou (J') varió de 0,671 en la laguna Rupahuay (LRupa-HB-09-F) a 0,930 en la laguna Rupahuay (LRupa-HB-01). Lo que se explica debido a la dominancia de la población de *F. crotonensis* (Bacillariophyta) en la laguna Rupahuay, que se ve reflejado en el índice de dominancia de Simpson (λ), cuyos valores altos se observaron en esta laguna (Tabla 6-56).

Por otra parte, la diversidad alfa indicó que el número de especies abundantes de Hill (N1) (diversidad verdadera) promedio por laguna, varió de 10,99 especies efectivas (laguna Rupahuay) a 14,75 especies efectivas (laguna Rumbrococha); si bien, la riqueza acumulada total de especies por laguna fue mayor en la laguna Rupahuay (75 especies), el promedio de los puntos de muestreo acorde a las especies dominantes distribuidas equitativamente, corresponde a la laguna Rumbrococha.

Tabla 6-56. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de fitoplancton en lagunas de la zona 3

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (ʎ)	Diversidad verdadera (N1)
Laguna Yanacocha	LYana-HB-01	0,845	0,093	16,720
	LYana-HB-03	0,842	0,127	10,880
Laguna Rupahuay	LRupa-HB-01	0,930	0,150	7,709
	LRupa-HB-01-F	0,816	0,155	9,114
	LRupa-HB-03	0,858	0,127	10,210
	LRupa-HB-03-T	0,913	0,087	13,990
	LRupa-HB-03-F	0,815	0,160	7,571
	LRupa-HB-05	0,840	0,113	12,900
	LRupa-HB-05-F	0,875	0,199	6,173
	LRupa-HB-08	0,892	0,062	21,980
	LRupa-HB-09	0,814	0,118	14,630
	LRupa-HB-09-F	0,671	0,318	4,687
	LRupa-HB-12	0,760	0,156	11,890
Laguna Rumbrococha	LRumb-HB-01	0,755	0,163	12,700
	LRumb-HB-03	0,764	0,132	14,790
	LRumb-HB-05	0,804	0,116	16,620
	LRumb-HB-06	0,786	0,119	14,880

- **Zooplancton**

Composición, riqueza y abundancia de especies

El zooplancton estuvo representado en el acumulado total de las lagunas de la zona 3 por 21 especies, 16 familias, 10 órdenes, 10 clases y 7 phyla; por motivos de facilitar el análisis se separó Arthorpoda-Cladocera y Arthorpoda-Copepoda, entre los demás phyla registrados estuvieron Amoebozoa, Cercozoa, Heliozoa, Ciliophora, Rotifera y Nemata. En todas las lagunas se observaron organismos. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de zooplancton correspondiente a la zona 3.

El menor valor de riqueza registrado fue de 4 especies en la laguna Yanacocha; mientras que, la laguna Rupahuay presentó el mayor valor de riqueza con 19. El grupo de mayor diversidad fueron los rotíferos, además de estar presentes en todas las lagunas de esta zona (Figura 6-75).

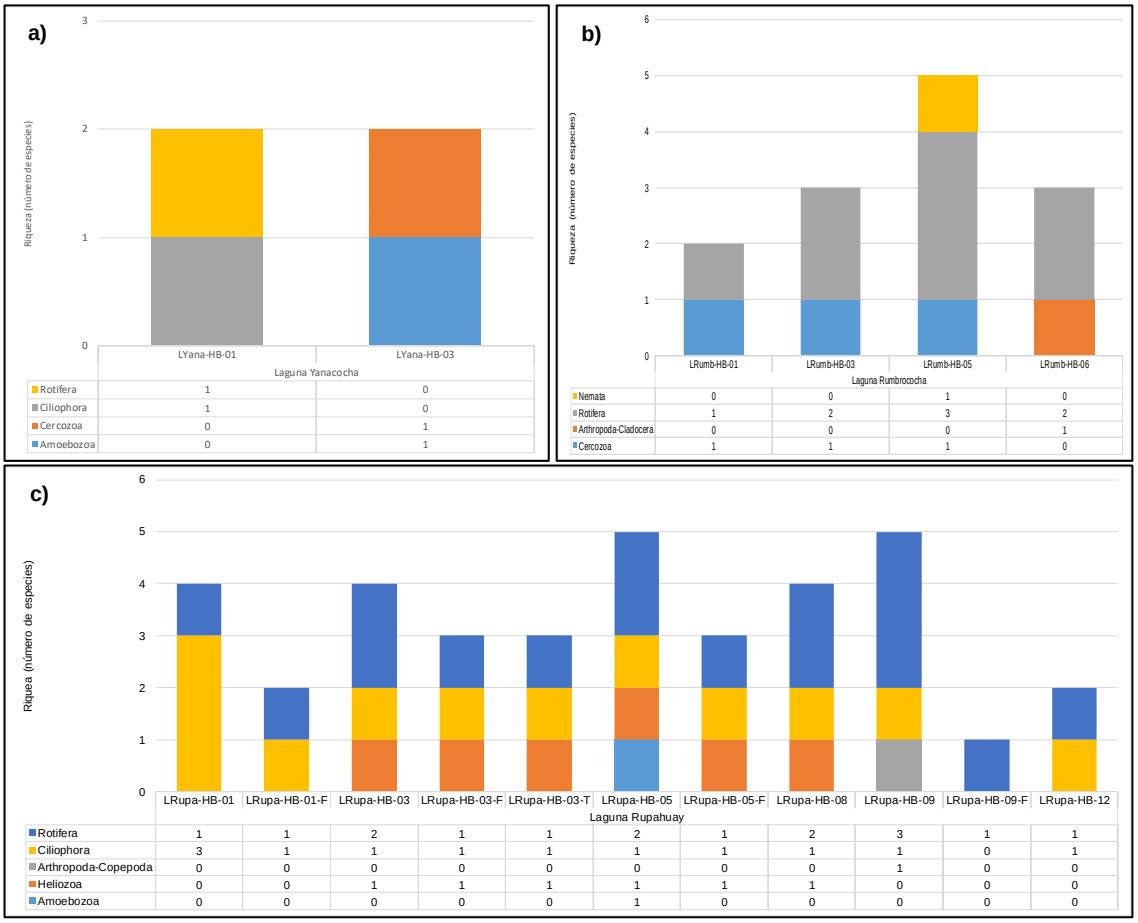


Figura 6-75. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3

La densidad (abundancia) total acumulada de organismos del zooplancton fue de 1130 organismos/litro. El punto de muestreo que registró la mayor densidad correspondió a la laguna Rumbrococha (LRumb-HB-05) con 140 organismos/litro; mientras que, la menor densidad por punto de muestreo se observó en la laguna Rupahuay (LRupa-HB-09-F) con 10 organismos/litro. El phylum Rotifera fue el de mayor densidad en el acumulado total (Figura 6-76).

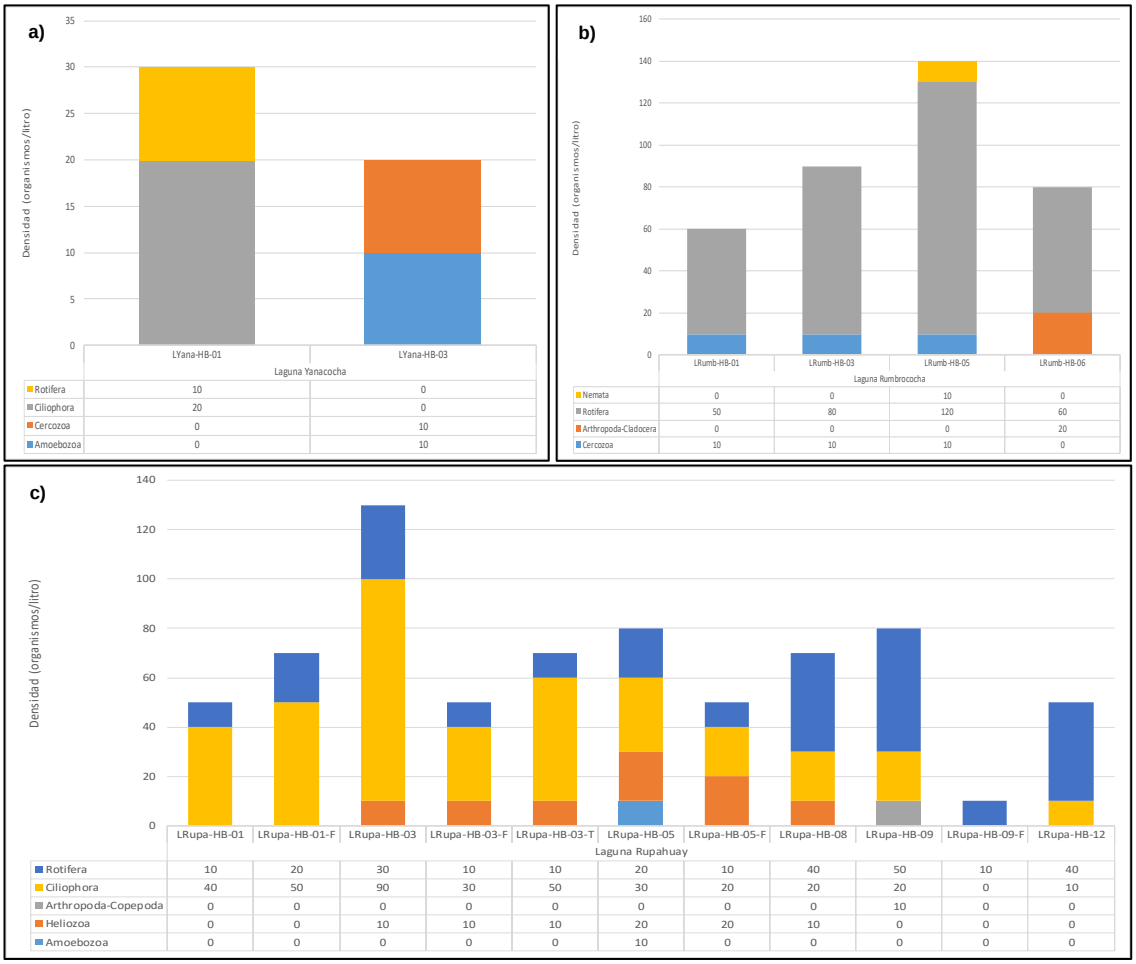


Figura 6-76. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de zooplancton y puntos de muestreo en las lagunas a) Yanacocha, b) Rumbrococha y c) Rupahuay de la zona 3

Diversidad alfa

El índice de equidad de Pielou (J') presentó valores de 0,622 en la laguna Rumbrococha (LRumb-HB-03) a 1 en la laguna Yanacocha (LYana-HB-03), este último punto presentó 2 especies de amebas de vida libre de los phyla Amoebozoa y Cercozoa con la misma densidad. (Tabla 6-57).

Por otro lado, el índice de dominancia de Simpson (λ) varió de 0,219 (LRupa-HB-09) a 1 (LRupa-HB-09-F), encontrándose ambos valores límites en la laguna Rupahuay. El número de especies abundantes de Hill (diversidad verdadera) promedio por laguna, varió de 1,945 especies efectivas en la laguna Yanacocha a 2,84 especies efectivas en la laguna Rupahuay.

Tabla 6-57. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de zooplancton en lagunas de la zona 3

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Laguna Yanacocha	LYana-HB-01	0,918	0,556	1,890
	LYana-HB-03	1	0,500	2
Laguna Rupahuay	LRupa-HB-01	0,961	0,280	3,789
	LRupa-HB-01-F	0,863	0,592	1,819
	LRupa-HB-03	0,676	0,515	2,553
	LRupa-HB-03-T	0,865	0,440	2,586

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Piellou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
	LRupa-HB-03-F	0,725	0,551	2,217
	LRupa-HB-05	0,928	0,250	4,456
	LRupa-HB-05-F	0,960	0,360	2,872
	LRupa-HB-08	0,921	0,306	3,586
	LRupa-HB-09	0,969	0,219	4,757
	LRupa-HB-09-F	****	1	1
	LRupa-HB-12	0,722	0,680	1,649
Laguna Rumbrococha	LRumb-HB-01	0,650	0,722	1,569
	LRumb-HB-03	0,622	0,630	1,981
	LRumb-HB-05	0,701	0,449	3,088
	LRumb-HB-06	0,819	0,469	2,460

****: El resultado del cálculo no proporcionó un valor numérico.

b. Perifiton

La evaluación de perifiton se realizó en 14 quebradas, 1 surgencia, 1 agua residual idustrial y 1 efluente ubicadas en la microcuenca de la laguna Rupahuay, haciendo un total de 17 puntos de muestreo cuyo análisis se detalla a continuación.

- **Microalgas**

Composición, riqueza y abundancia

Durante la evaluación en setiembre 2018 en la microcuenca de la laguna Rupahuay, se registró la composición de microalgas en el área de estudio. La comunidad de microalgas en la zona 3 estuvo representada por 167 especies, agrupadas en 7 phyla, 10 clases, 29 órdenes, 53 familias y 84 géneros. En el Anexo 3.1 se presenta el registro completo de las especies de microalgas correspondiente a la zona 3.

En las Figuras 6-77 y 6-78 se observa el comportamiento y distribución de abundancia (densidad) y riqueza respectivamente de los grupos de especies de microalgas a nivel de phyllum en la microcuenca de la laguna Rupahuay. Desde el punto AMRupa-HB-1 (agua de mina proveniente de bocamina Shucshapá) hasta el punto QRupa-HB-03 (quebrada S/N antes de vertimiento del efluente minero) se presentó el incremento de la densidad (de 22400 a 83280 organismos/cm^2 respectivamente) y riqueza (de 19 a 36 especies respectivamente). La riqueza en el punto AMRupa-HB-1 fue representada por las especies *Achnanthidium* sp. 1*, Fragilaria capuccina* var. *gracilis* y *Achnanthidium* cf. *exilis* del phyllum Bacillariophyta; mientras que, el punto QRupa-HB-03 fue representado por las especies *Meridion circulare, Fragilaria vaucheriae* y *Achnanthidium* cf. *gracillimum*.

Aguas abajo de la unión de la descarga del efluente minero con la quebrada S/N (DRupa-HB-01), en el punto QRupa-HB-04 (quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay), hubo una disminución de densidad (31800 organismos/cm^2) y riqueza (19 especies) en comparación con el punto QRupa-HB-03; siendo representado por las especies *Fragilaria vaucheriae* y *Heteroleibleinia* sp. del phyllum Bacillariophyta y Cyanobacteria respectivamente. Mientras que, en el otro tributario QRupa-HB-01 (quebrada Yanco) se registró una de las mayores densidades (60400 organismos/cm^2) y riqueza (32 especies) con respecto a los puntos antes mencionados, siendo representado por las especies *Fragilaria capuccina* var. *gracilis, Nitzschia gracilis* y *Achnanthidium minutissimum.*

En el punto de muestreo QRupa-HB-02 (descarga de la laguna Rupahuay, naciente del río Quichas) se registró mayor densidad (94040 organismos/cm^2) y riqueza (40

especies) en comparación con los tributarios que ingresan a la laguna; siendo representado por las especies *Fragilaria tenera* var. *nanana* y *Nitzschia gracilis.*

En el recorrido del río Quichas, desde el punto QRupa-HB-02 hasta el punto QLRumb-HB-02 (entrada a la laguna Rumbrococha), se registró una similar densidad (de 94040 a 98400 organismos/cm^2 respectivamente) y riqueza (40 a 37 especies), siendo representando por las especies *Nitzschia gracilis* y *Fragilaria tenera*.

En el punto QLRumb-HB-03 (quebrada S/N 7), uno de los tributarios al río Quichas, se registró la mayor densidad (107600 organismos/cm^2) y riqueza (28 especies) en comparación con los puntos QLSuer-HB-02, QRupa-HB-06 y QVeta-HB-06 registrando 8000, 9600, 52280 organismos/cm^2 respectivamente, y en cuanto a la riqueza, 10 y 14 especies para los puntos QLSuer-HB-02 y QRupa-HB-06 respectivamente. El punto QLRumb-HB-03 fue representado por las especies *Encyonema minutiforme, Encyonema silesiacum* y *Fragilaria tenera* var. *nanana* del phyllum Bacillariophyta.

En el punto QLRumb-HB-01 (salida de la laguna Rumbrococha) se registró una ligera disminución de densidad (84800 organismos/cm^2) y riqueza (36 especies) en comparación con el punto QLRumb-HB-02, siendo representado por las especies *Fragilaria crotonensis, Fragilaria capuccina* y *Encyonema silesiacum* del phyllum Bacillariohyta.

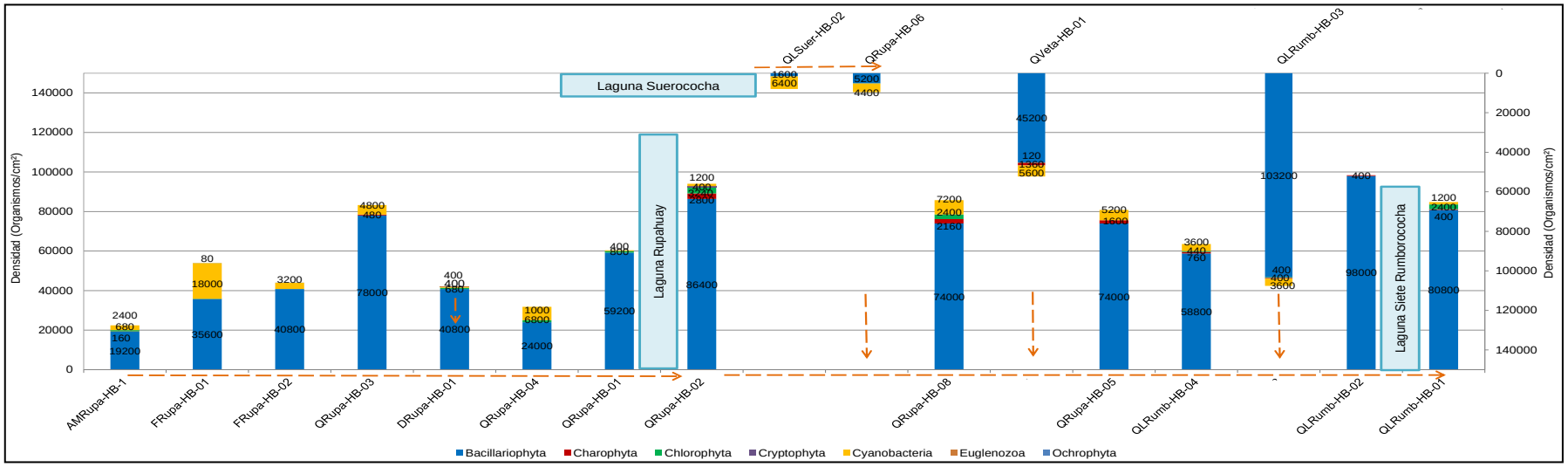


Figura 6-77. Densidad (abundancia) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 3

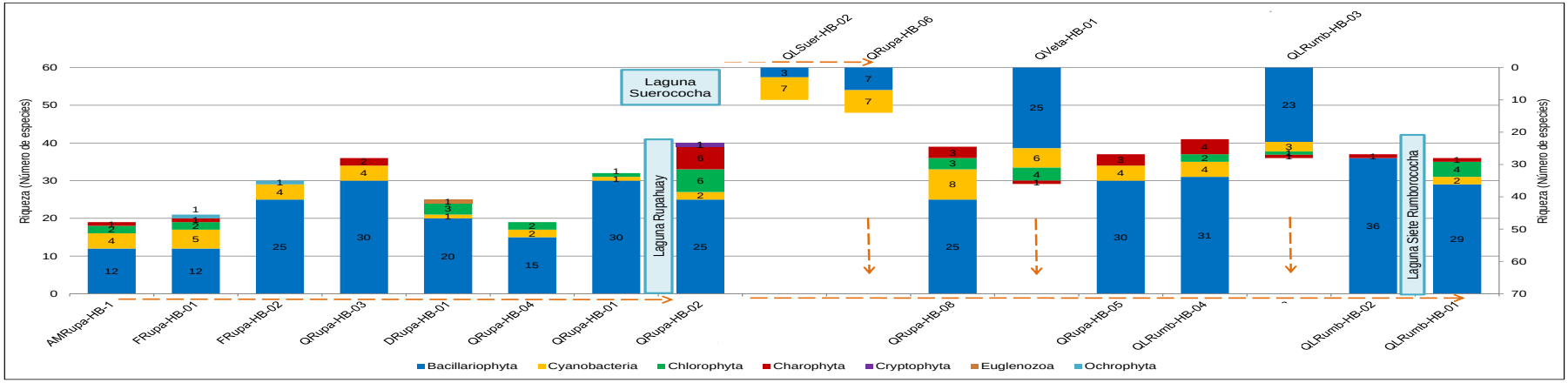


Figura 6-78. Riqueza (número de especies) con respecto al phyllum de la comunidad de microalgas y puntos de muestreo de la zona 3

Diversidad alfa

En las Tabla 6-58 se observa la diversidad alfa de microalgas en la microcuenca de la laguna Rupahuay. Desde el punto AMRupa-01 (agua de mina proveniente de bocamina Shucshapá) hasta el punto QRupa-HB-03 (quebrada S/N antes de vertimiento del efluente minero) se presentó el incremento de la diversidad verdadera Hill (N1) (de 9,740 a 22,180 especies efectivas).

Aguas abajo de la descarga del efluente, se registró que en el punto QRupa-HB-04 (quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay) existió una disminución de diversidad verdadera Hill (N1) (12,090 especies efectivas) en comparación con el punto QRupa-HB-03. Mientras que, en el otro tributario QRupa-HB-01 (quebrada Yanco) se registró uno de los mayores valores de diversidad verdadera N1 (20,410 especies efectivas) en comparación con los puntos antes mencionados.

El flujo de agua que sale de la laguna, es captado en el punto de muestreo QRupa-HB-02 (descarga de la laguna Rupahuay, naciente del río Quichas), donde se registró la mayor diversidad verdadera Hill (N1) (18,580 especies efectivas) en comparación con los tributarios que ingresan a la laguna.

En el recorrido del río Quichas, desde el punto QRupa-HB-02 hasta el punto QLRumb-HB-02 (entrada a la laguna Rumbrococha), se registró una similar diversidad verdadera Hill (N1) (de 18,580 a 23,090 especies).

El punto QLRumb-HB-03 (quebrada S/N 7), uno de los tributarios al río Quichas, registró mayor diversidad verdadera Hill (N1) (18,440 especies efectivas) en comparación con los puntos QLSuer-HB-02 y QRupa-HB-06 que registraron 8,596 y 11,210 especies efectivas respectivamente.

Respecto al punto QLRumb-HB-01 (salida de la laguna Rumbrococha), se registró una ligera disminución de la diversidad verdadera (18,110 especies efectivas) en comparación con el punto QLRumb-HB-02.

La microcuenca de la laguna Rupahuay se vio reflejado con altos valores de índice de equidad (J') (de 0,739 a 0,934), y bajos valores de dominancia de Simpson (λ) (de 0,057 a 0,171), indicando que todos los puntos de muestreo registraron mayor distribución homogéneo y una baja dominancia de especies.

Tabla 6-58. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de microalgas de la zona 3

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Pielou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Agua de mina proveniente de bocamina Shucshapá	AMRupa-HB-1	0,773	0,171	9,740
Drenaje del depósito de desmonte Shucshapa	FRupa-HB-01	0,739	0,150	9,491
Surgencia (naciente de quebrada S/N)	FRupa-HB-02	0,883	0,069	20,150
Quebrada S/N, antes de vertimiento	QRupa-HB-03	0,865	0,060	22,180
Unión de la descarga del efluente minero	DRupa-HB-01	0,868	0,079	16,360
Quebrada S/N que ingresa a la laguna Rupahuay	QRupa-HB-04	0,847	0,109	12,090
Quebrada Yanco tributario a la laguna Rupahuay	QRupa-HB-01	0,870	0,065	20,410
Descarga de la laguna Rupahuay	QRupa-HB-02	0,792	0,087	18,580
Salida de la laguna Suerococha	QLSuer-HB-02	0,934	0,135	8,596

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Pielou (J')	Dominancia de Simpson (λ)	Diversidad verdadera (N1)
Quebrada S/N 6 de ingreso al río Quichas	QRupa-HB-06	0,916	0,111	11,210
Río Quichas, a 60m aguas abajo de la confluencia con la Quebrada S/N 6	QRupa-HB-08	0,840	0,071	21,700
Quebrada Chaco antes de la confluencia con el río Quichas	QVeta-HB-01	0,856	0,065	21,460
Río Quichas luego de la confluencia con la quebrada Chaco	QRupa-HB-05	0,870	0,058	23,170
Río Quichas antes de la confluencia con la quebrada sin nombre 7	QLRumb-HB-04	0,848	0,062	23,300
Quebrada S/N 7	QLRumb-HB-03	0,875	0,067	18,440
Entrada a la laguna Rumbrococha	QLRumb-HB-02	0,869	0,057	23,090
Salida de la laguna Rumbrococha	QLRumb-HB-01	0,808	0,085	18,110

Diversidad beta

En la Figura 6-79 se presenta la diversidad beta mediante el análisis de similitud de Bray-Curtis de la comunidad de microalgas en los diferentes puntos de muestreo (río, quebradas y surgencias) en la zona 3, durante setiembre 2018. En el análisis cluster se formaron 3 conglomerados de similitud bien definidos.

El primer conglomerado que se encuentra en la parte izquierda de la figura, y donde se encuentran los puntos aledaños al efluente y los tributarios finales hacia la laguna Rupahuay, se asoció a los puntos de muestreo QRupa-HB-03 y QRupa-HB-04 con una similitud mayor al 50 %, y a su vez se asoció con el punto QRupa-HB-01 con una similitud mayor al 35 %; lo que indica una mayor disimilitud entre el tributario que está influenciado por el vertimiento y el depósito de desmonte Shucshapá con respecto al tributario de la margen derecha que vierte sus aguas a la laguna Rupahuay.

Referente al segundo conglomerado, donde los puntos se distribuyen en todo el río Quichas y aguas abajo de la laguna Rumbrococha, se asoció los puntos del primer tramo del río Quichas (QRupa-HB-02, QRupa-HB-08 y QRupa-HB-05) con una similitud casi del 50 %; mientras que, el otro subgrupo asoció los puntos de muestreo del tramo final del río Quichas y los puntos aledaños a la laguna Rumborococha (QLRumb-HB-04, QLRumb-HB-03, QLRumb-HB-02 y QLRumb-HB-01) con una similitud mayor al 40 %.

El tercer conglomerado, donde se encuentran los puntos que están aledaños al depósito de desmonte y bocamina Shucshapá, se asoció los puntos AMRupa-HB-1, FRupa-HB-01 y FRupa-HB-02 con una similitud del aproximadamente el 25 %, lo que indica una mayor disimilitud entre estos puntos mencionados, que se deberia a la posible afectacion por parte de los componentes mineros (depósito de desmonte y bocamina Shucshapá).

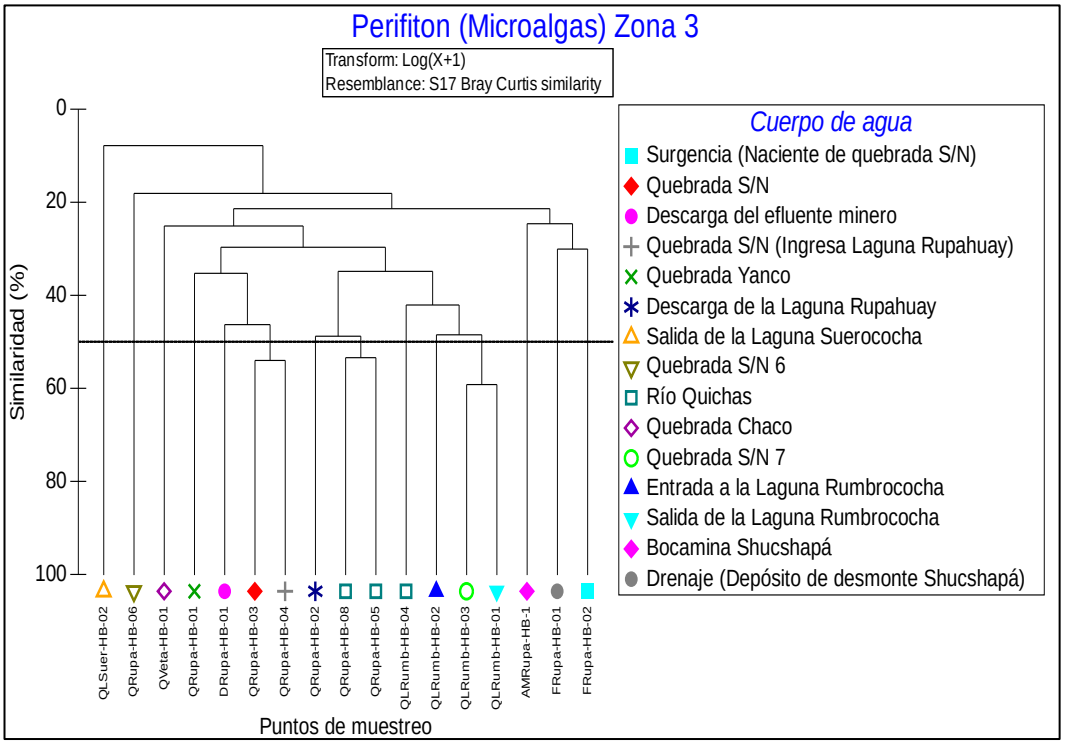


Figura 6-79. Dendrograma de similitud de la comunidad de microalgas de la zona 3

- **Microorganismos**

Composición, riqueza y abundancia

Durante setiembre 2018, en las quebradas, surgencia, agua residual idustrial y efluente de la microcuenca de la laguna Rupahuay, se registró la composición de microorganismos en el área de estudio, representada por 7 especies, agrupadas en 4 phyla, 5 clases, 5 órdenes, 6 familias y 7 géneros. Debido a la baja o nula abundancia de microorganismos correspondiente a la zona 3, el registro completo de estas se presenta directamente en el Anexo 3.1.

c. Macroinvertebrados bentónicos

La evaluación de macroinvertebrados bentónicos se realizó en los cuerpos de agua lóticos ubicados en la microcuenca de la laguna Rupahuay, tomándose un total de 11 puntos de muestreo cuyo análisis se detalla a continuación.

- **Composición, riqueza y abundancia de especies**

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo representada por un total de 26 especies, las cuales están agrupadas en 16 familias, 8 órdenes y 4 clases, pertenecientes a 3 phyla, donde se observa una notoria predominancia del phylum Arthropoda, principalmente por la presencia de organismos pertenecientes a la Clase Insecta.

En la Figura 6-80 se presentan los valores de riqueza o número de especies de los macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y orden. Los puntos de muestreo QRupa-HB-03 y QLRumb-HB-02, que corresponden a las quebradas de entrada a las lagunas Rupahuay y Rumbrococha respectivamente, son las que registraron la menor riqueza con 4 y 3 especies.

El río Quichas (río principal), desde su naciente en el punto QRupa-HB-02 hasta el punto QLRumb-HB-04, antes de la confluencia de la quebrada S/N 7 (quebrada formada del desvío de la laguna Surasaca), presentó una riqueza similar que va de 8 a 11 especies, la misma que baja a 3 especies en el punto QLRumb-HB-02, ubicado en el río Quichas, antes de su entrada a la laguna Rupahuay.

En el caso de los tributarios del río Quichas, QLSuer-HB-02 (quebrada S/N 6), QRupa-HB-06, QVeta-HB-01 (quebrada Chaco) y QLRumb-HB-03 (quebrada formada por el desvío de la laguna Surasaca) presentan una riqueza que va de 7 a 12 especies, siendo QRupa-HB-06 la de menor riqueza y QVeta-HB-01 la de mayor riqueza. En todos los puntos de muestreo del río Quichas y sus tributarios, el orden Diptera presentó el mayor número de especies.

En la Figura 6-81, se presentan los valores de abundancia o número de organismos de macroinvertebrados bentónicos por punto de muestreo y la respectiva contribución de cada orden. Se aprecia que la abundancia de las macroinvertebrados bentónicos está representada principalmente por 2 órdenes, Diptera con 1054 organismos/0,27 m^2 y Ephemeroptera con 176 organimos/0,27 m^2.

Con respecto a la abundancia de macroinvertebrados en el río Quichas y sus tributarios, fue muy variable, sin embargo en los tributarios QLSuer-HB-2 y QVeta-HB-01 registraron la mayores abundancias con 839 y 160 organismos/0,27 m^2 respectivamente; mientras que, en los puntos del río Quichas (QRupa-HB-08 y QRupa-HB-05), ubicados antes y después de la confluencia de la quebrada Chaco, registraron los mayores valores de abundancia con 133 y 155 organismos/0,27 $m^{2.}$ Además, la especie de mayor abundancia fue *Gigantodax* sp. con 788 organismos/0,27 m^2.

Finalmente, los puntos de muestreo de entrada (QLRumb-HB-02) y salida (QLRumb-HB-01) de la laguna Rumbrococha, registraron las menores abundancias con 14 y 26 organismos/0,27 m^2 respectivamente. Las especies de menor abundancia fueron *Hyalella* sp. y *Cailloma* sp. con 1 organismo/0,27 m^2.

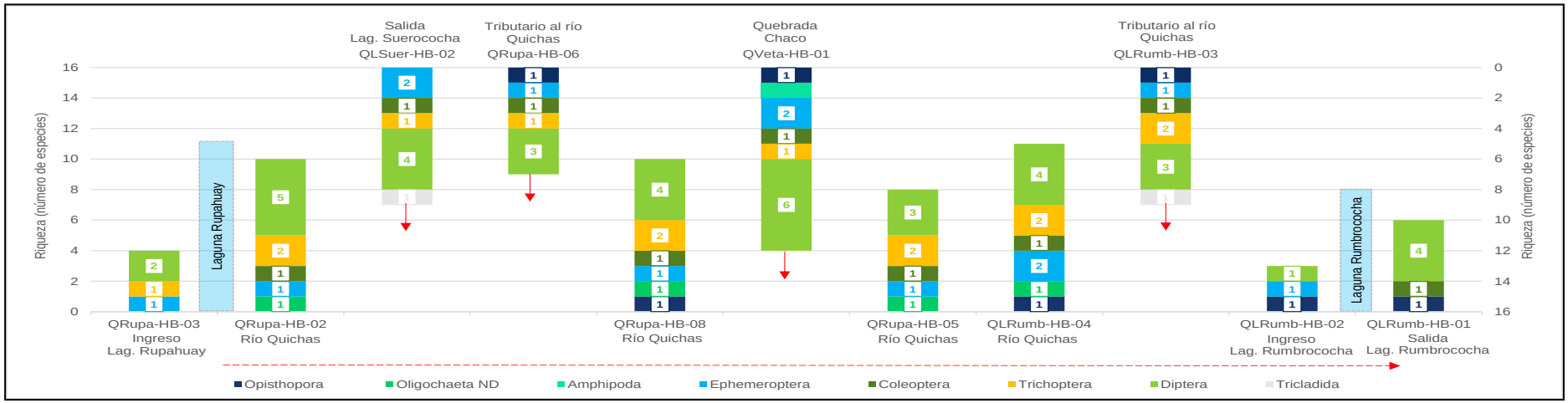


Figura 6-80. Riqueza (número de especies) de la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 3

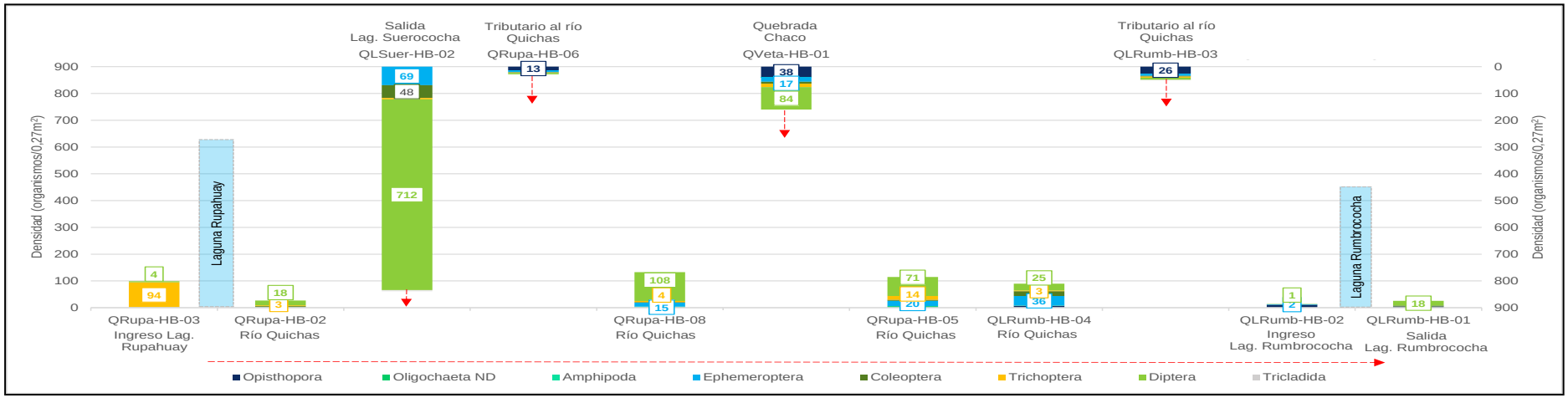


Figura 6-81. Densidad (abundancia) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos según el orden en los ambientes lóticos evaluados en la zona 3

- **Diversidad alfa**

Los resultados de los índices de diversidad de diversidad alfa: equidad de Pielou (J'), dominancia de Simpson (λ) y número de especies abundantes de Hill (N1), para cada punto de muestreo se presentan en la Tabla 6-59.

La equidad de Pielou (J') varió de 0,89 en el punto QRupa-HB-02 a 0,18 especies efectivas en el punto QRupa-HB-03. Asimismo, la dominancia de Simpson (λ) varió de 0,90 en el punto QRupa-HB-03 a 0,16 en el punto QRupa-HB-02.

Respecto a, la diversidad alfa indica que el número de Hill N1 (diversidad verdadera) varió de 7,72 en el punto QRupa-HB-02 a 1,28 especies efectivas en el punto QRupa-HB-03.

Mediante el análisis de diversidad alfa podemos observar un mejor establecimiento de la comunidad hidrobiológica de macroinvertebrados bentónicos en los puntos QRupa-HB-02 y QLRumb-HB-04 ubicados en el río Quichas, y en los tributarios QRupa-HB-06 y QLRumb-Hb-03, evidenciándose en valores más altos de diversidad verdadera, como valores altos de equidad y valores más bajos de dominancia. Por ende, existe una distribución homogénea de abundancia (densidad) de organismos por especie en estos puntos. Mientras que, en la quebrada Yanco (QRupa-HB-03), se registró los menores valores de diversidad verdadera y equidad de Pielou, y mayor valor de dominancia de Simpson que indica una distribución no homogénea de organismos por especie en este punto.

Tabla 6-59. Índices de diversidad alfa (equidad de Pielou, dominancia de Simpson y diversidad verdadera) de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la zona 3

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Equidad de Pielou (J')	Dominancia de Simpson (ʎ)	Diversidad verdadera (N1)
Quebrada Yanco	QRupa-HB-03	0,18	0,90	1,28
Río Quichas	QRupa-HB-02	0,89	0,16	7,72
Quebrada S/N 6	QLSuer-HB-02	0,50	0,46	3,01
	QRupa-HB-06	0,76	0,30	4,43
Río Quichas	QRupa-HB-08	0,43	0,58	2,68
Quebrada Chaco	QVeta-HB-01	0,69	0,25	5,58
Río Quichas	QRupa-HB-05	0,68	0,35	4,15
Río Quichas	QLRumb-HB-04	0,78	0,21	6,44
Quebrada S/N 7	QLRumb-HB-03	0,72	0,31	4,89
Entrada Laguna Rumbrococha	QLRumb-HB-02	0,60	0,64	1,93
Salida Laguna Rumbrococha	QLRumb-HB-01	0,80	0,31	4,19

- **Diversidad beta**

En la Figura 6-82 se muestra el análisis de diversidad beta mediante el índice de similitud de Bray-Curtis, el cual permitió conformar 3 conglomerados. El primer conglomerado presentó una similitud mayor al 40 % y se conformó por los puntos de muestreo QRupa-HB-02 (río Quichas) y QLRumb-HB-01 (salida de la laguna Rupahuay). Las especies comunes entre estos puntos fueron *Austrelmis* sp. y Chiromonidae ND.

El segundo conglomerado presentó una similitud mayor al 50 % y está formado por los puntos de muestreo QRupa-HB-08, QRupa-HB-05 y QLRumb-HB-04 (ubicados en el río Quichas), y QLSuer-HB-02 y QVeta-HB-01 (tributarios del río Quichas por la

margen izquierda). Las especies comunes entre estos puntos fueron *Andesiops* sp., *Austrelmis* sp., *Gigantodax* sp. y *Simulium* sp., pertenecientes a la clase Insecta.

Finalmente, el tercer conglomerado presentó una similitud mayor al 40 % y está formado por los puntos QLRumb-Hb-03 y QRupa-HB-06 (quebradas tributarias del río Quichas), y QLRumb-Hb-02 (río Quichas, antes de su entrada a la laguna Rumbrococha). Las especies comunes entre estos puntos fueron Lumbricidae ND y *Andesiops* sp.

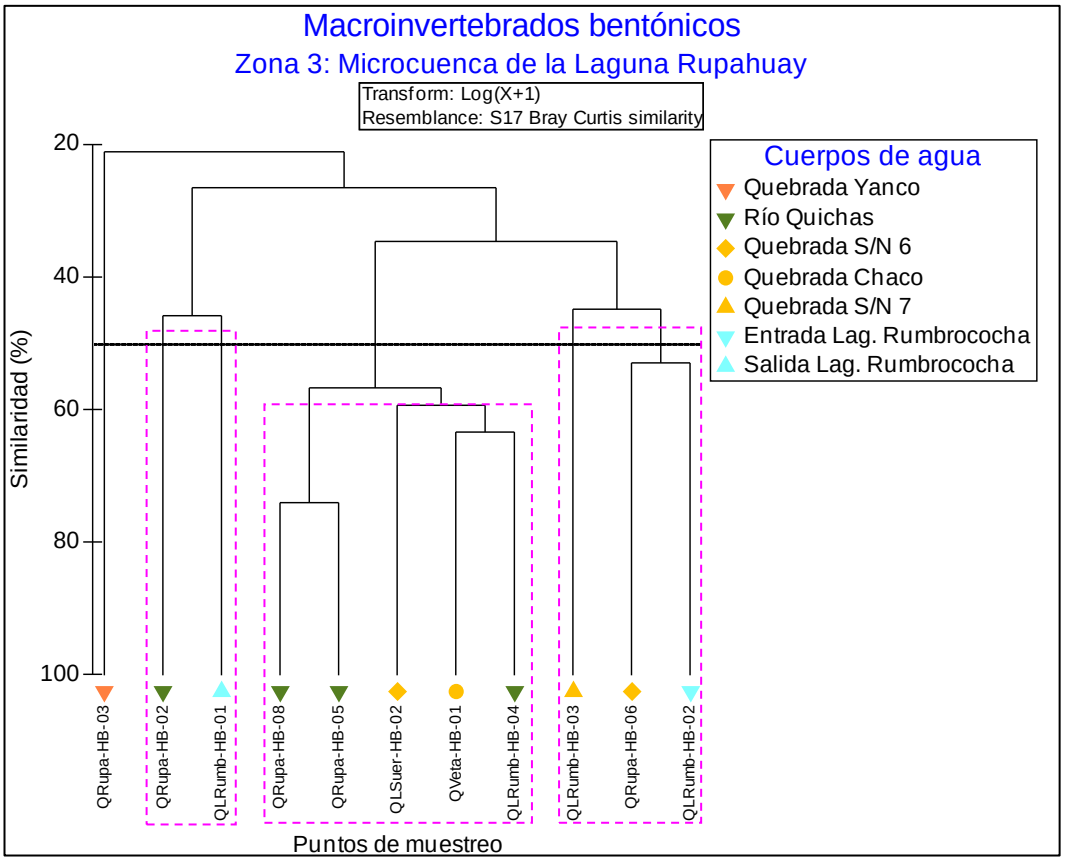


Figura 6-82. Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos de la zona 3

- **Indicadores biológicos de referencia para la calidad de agua**

En la Tabla 6-60 se presenta la calidad hidromorfológica obtenida de las características de hábitat en cada punto de muestreo, la calidad biológica y la calidad ecológica según el protocolo CERA-S en la microcuenca de la laguna Rupahuay para mayor detalle ver los cálculos realizados en el Anexo 6). Los resultados de este análisis fueron tomados de forma referencial, puesto que el método original exige un muestreo multihábitat de naturaleza cualitativa.

Se puede observar que, de los puntos evaluados en esta zona, el 72,72 % registra una «moderada calidad ecológica», el 18,18 % de los puntos de muestreo registra una «mala calidad ecológica» y el 9,10 % registra una «pésima calidad ecológica». El río Quichas y sus tributarios registran una calidad ecológica «moderada», excepto en la quebrada Yanco (tributario del río Quichas). Además, las quebradas de ingreso (QLRumb-HB-02) y salida (QLRumb-HB-01) de la laguna Rumbrococha registran una «pésima» y «mala» calidad ecológica respectivamente.

Tabla 6-60. Resultados de la calidad ecológica según el índice biótico andino (ABI) y el protocolo CERA-S en los ambientes lóticos de la zona 3

Punto de muestreo	Cuerpo de agua	Calidad hidromorfológica	Calidad biológica	Calidad ecológica
QRupa-HB-03	Quebrada Yanco	Moderada	Mala	Mala
QRupa-HB-02	Río Quichas	Buena	Moderada	Moderada
QLSuer-HB-02	Quebrada S/N 6	Moderada	Moderada	Moderada
QRupa-HB-06		Buena	Moderada	Moderada
QRupa-HB-08	Río Quichas	Buena	Moderada	Moderada
QVeta-HB-01	Quebrada Chaco	Buena	Moderada	Moderada
QRupa-HB-05	Río Quichas	Buena	Moderada	Moderada
QLRumb-HB-04	Río Quichas	Buena	Moderada	Moderada
QLRumb-HB-03	Quebrada S/N 7	Buena	Moderada	Moderada
QLRumb-HB-02	Entrada Laguna Rumbrococha	Buena	Pésima	Pésima
QLRumb-HBde-01	Salida Laguna Rumbrococha	Buena	Mala	Mala

En la Figura 6-83 se describen el comportamiento de las especies bioindicadoras por punto de muestreo en la microcuenca de la laguna Rupahuay. Se observó que el río Quichas (QLRumb-HB-04), antes de la confluencia de la quebrada S/N 7 (QLRumb-HB-03), registró el mayor número de especies sensibles con 2; mientras que, la quebrada Chaco (QVeta-HB-01), tributaria al río Quichas, registró el mayor número de especies facultativas y tolerantes, y 1 especie sensible.

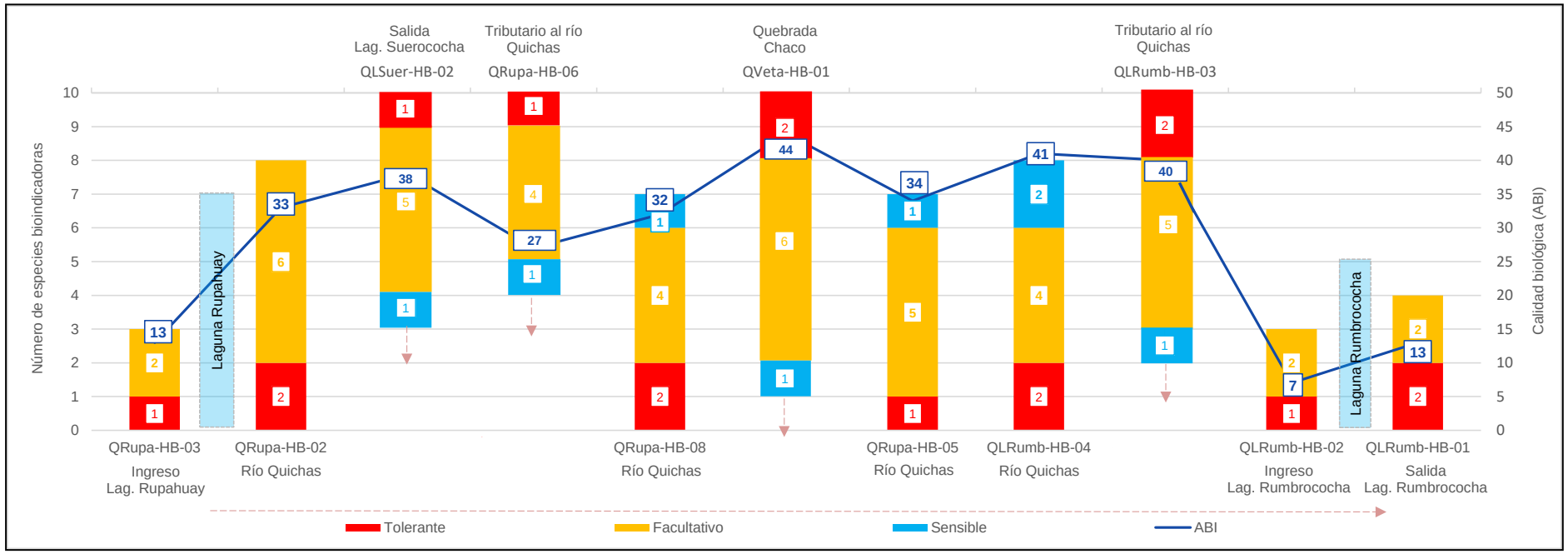


Figura 6-83. Número de especies de macroinvertebrados bentónicos por grupos bioindicadores definidos referencialmente a partir del índice ABI en los ambientes lóticos de la zona 3

d. Peces

- **Composición, riqueza y abundancia de especies**

La evaluación de la ictiofauna (peces) se realizó en 2 puntos de muestreo, LRupa-RE-01 y LRupa-RE-02, haciendo uso de una red de espera por punto de muestreo. En los puntos de muestreo LRupa-RE-01 y LRupa-RE-02 se colectaron 12 y 4 individuos de *Oncorhynchus mykiss* «trucha» respectivamente, haciendo un total de 16 individuos.

- **Condición de las poblaciones de peces**

La condición de las poblaciones se determinó en base al total de individuos capturados mediante redes de espera entre los puntos de muestreo LRupa-RE-01 y LRupa-RE-02. Los valores del coeficiente de crecimiento (b) muestran que *O. mykiss* presentó un desarrollo comprendido dentro del rango alométrico negativo (b < 2,5) en la laguna Rupahuay, indicando un incremento preferencial de su longitud en comparación a su peso (Tabla 6-61). La lista total de especies se presenta en Anexo 3.1, y sus respectivas mediciones de peso y talla son presentadas en el Anexo 3.

Tabla 6-61. Relación entre longitud (L) y peso (W) para las especies de peces capturados en la laguna Rupahuay

Relación: Longitud estándar y Peso total				$W = aL^b$		
Laguna	Arte de pesca	Especies	N°	a	b	r
Rupahuay	Captura con redes de espera	*Oncorhynchus mykiss*	16	0,1141	2,3794	0,9542

"r" es el coeficiente de correlación en el que todas las especies resultaron altamente significativas (p<0,01).

El análisis del factor de condición se interpretó en base al total de individuos capturados con redes de espera en los puntos de muestreo LRupa-RE-01 y LRupa-RE-02. Se observa que, la *O. mykiss* «trucha» presenta un factor de condición igual a 1,05 (Tabla 6-62). De acuerdo con el valor obtenido, las características físicas del hábitat fueron favorables para el desarrollo de esta especie. Es importante mencionar que *O. mykiss* posee una excelente capacidad de expansión territorial y una alta sobrevivencia por su facilidad de adaptarse a cambios en el ambiente y tolerar concentraciones significativas de metales pesados (Ortega *et al*, 2012).

Tabla 6-62. Factor de condición (K) para las especies de peces capturados en la laguna Rupahuay

Laguna	Arte de pesca	Especies	K
Rupahuay	Captura con redes	*Oncorhynchus mykiss*	1,05

- **Bioacumulación de metales en tejidos de peces**

Para determinar la bioacumulación de metales en tejidos de peces, se tomaron de la laguna Yanacocha, 2 muestras, una que correspondió a tejido muscular y otra a tejido hepático de la especie *Oncorhynchus mykiss* «trucha». Además, en la laguna Rupahuay, se tomaron 6 muestras, de las cuales 2 correspondieron a tejido hepático y 4 a tejido muscular.

Las concentraciones de metales que se obtuvieron por muestra (cadmio, mercurio y plomo) fueron comparadas con los contenidos máximos (mg/kg peso fresco) señalados en el manual «Indicadores sanitarios y de inocuidad para los productos pesqueros y acuícolas para mercado nacional y de exportación» del Sanipes. De

acuerdo a la Tabla 6-63, las muestras de hígado de los peces colectados en las lagunas Yanacocha (LYana-TH-01S) y Rupahuay (LRupa-TH-01S y LRupa-TH-02S) excedieron el contenido máximo permisible para cadmio**.**

Tabla 6-63. Concentración de metales en tejidos de músculo e hígado de peces *O. mykiss* «trucha» capturados en las lagunas Yanacocha y Rupahuay

Parámetro	Contenidos máximos (mg/kg peso fresco)	Laguna Yanacocha		Laguna Rupahuay					
		Tejido hepático	Tejido muscular	Tejido hepático		Tejido muscular			
		LYana-TH-01S	LYana-TM-01S	LRupa-TH-01S	LRupa-TH-02S	LRupa-TM-01S	LRupa-TM-02S	LRupa-TM-03S	LRupa-TM-04S
Cadmio (Cd)	0,05	0,0568	<0,0001	0,1684	0,1028	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Mercurio (Hg)	0,5	0,0292	0,027	0,0116	0,009	<0,0004	<0,0004	0,0178	<0,0004
Plomo (Pb)	0,3	0,024	<0,003	0,15	0,098	0,028	<0,003	<0,003	<0,003
Especie		*Oncorhynchus mykiss* "trucha"							

Fuente: Informe de ensayo N.° 55145/2018 emitido por el laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C.
: Concentración de metal que excedió los contenidos máximos permisibles del SANIPES

6.3.2 Caracterización hidroquímica

La caracterización hidroquímica se realizó en todos los puntos de muestreo de agua superficial (quebradas y lagunas), agua subterránea, surgencia, efluente minero, aguas residuales doméstica e industrial que comprende el área de estudio. El análisis de los datos se realizó por zonas, siendo estas: zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana), zona 2 (microcuenca de las lagunas Caballococha, Tinquicocha) y zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay).

Para el análisis de las facies hidroquímicas[47] se utilizaron las concentraciones de los componentes iónicos mayoritarios del agua (cationes: Ca2+, Mg2+, Na+ y K+ y aniones: HCO3, SO42- y Cl-) en los diagramas de Piper y Stiff.

Asimismo, se realizó la clasificación del agua superficial, agua subterránea, surgencias, agua residual doméstica de los puntos evaluados a través del diagrama de Ficklin, en base a la suma de las concentraciones de metales disueltos (mg/L): zinc, cobre, cadmio, plomo, cobalto y níquel versus el potencial de hidrógeno (pH).

6.3.2.1 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana)

a. Parámetros de campo

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Los valores de pH registrados en las lagunas Locacocha (Lloca-01, Lloca-02, Lloca-04, Lloca-10) y S/N (LSN-01), y quebradas S/N 9 (QLSN-01), S/N 5 (QNiñC-04) y S/N 8 (QNiñP-02); ubicados antes de las operaciones de la UM Raura, presentaron una tendencia alcalina (entre 7,33 y 8,24 unidades).

La laguna Niñococha (LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-05), registraron valores de pH con tendencia ácida (entre 6,07 y 6,53); caso contrario, para las lagunas Niño

[47] Facies hidroquímicas: relaciones de predominancia química.

Perdido (LNiñP-01, LNiñP-02, LNiñP-03, LNiñP-04) y Santa Ana (LSanB-02, LSanB-03, LSanB-07) con tendencia alcalina entre 7,83 y 8,11 unidades y entre 9,36 y 9,56 unidades respectivamente. Además, los puntos en quebradas QNiñC-01, QNiñC-03, QNiñC-05, QSanAB-01 y QSanAB-02 presentaron tendencia alcalina, entre 7,6 y 8,36 unidades. Cabe señalar que, las lagunas y quebradas en mención, se ubican en el área de las operaciones de la UM Raura.

Las surgencias (FNiñC-1, FNiñC-09, FNiñP-1, FNiñP-2, FNiñP-3, FSanAB-01 y FSanAB-03) y efluente (Poza-MC) presentaron tendencia alcalina (entre 7,13 y 8,89 unidades); mientras que, el agua residual industrial (POZA-TP) presentó un pH ácido (2,17 unidades), y el agua subterránea en el piezómetro PZ-NP-01 presentó un pH de 7, 66 unidades (agua alcalina).

- **Temperatura**

En la zona 1, las temperaturas en las lagunas variaron entre 7,2 y 12,4 °C; quebradas entre 5,6 y 14,2 °C; surgencias entre 7,1 y 15,4 °C. Las aguas residuales industriales (Poza-MC y POZA-TP) presentaron temperaturas que variaron entre 8,4 y 14,1 °C respectivamente. La temperatura del agua subterránea (PZ-NP-01) fue de 7,60 °C.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Las lagunas Locacocha y S/N registraron valores de CE entre 100,2 y 257 µS/cm; mientras que, los puntos en quebradas (QLSN-01, QNiñC-04 y QNiñP-02) presentaron valores entre 104,1 y 530 µS/cm; ubicados antes de las operaciones de la UM Raura.

En cuanto a, las lagunas y quebradas ubicadas en el área de las operaciones de la UM Raura, se puede indicar que, las lagunas Niñococha, Niño Perdido y Santa Ana registraron valores de CE entre 346 y 377 µS/cm, entre 400 y 427 µS/cm y entre 416 y 450 µS/cm respectivamente. Mientras que, los puntos en quebradas (QNiñC-01, QNiñC-03, QNiñC-05, QSanAB-01, QSanAB-02) reportaron valores entre 266 y 541 µS/cm.

Referente a, las surgencias evaluadas en la zona 1, se registraron valores de CE entre 1044 µS/cm (FNiñP-1) y 1990 µS/cm (FNiñC-09); mientras que, la surgencia FSanAB-03 presentó 132 µS/cm, y las aguas residuales industriales (Poza-MC y POZA-TP) registraron valores de CE de 204,9 µS/cm y 10680 µS/cm respectivamente. El agua subterránea en el piezómetro PZ-NP-01, presentó un CE de fue de 703 µS/cm.

b. Diagramas hidroquímicos

Las fuentes de agua evaluadas en la zona 1 se agruparon en 2 facies predominantes: bicarbonatadas cálcicas (Figuras 6-84) y sulfatadas cálcicas (Figura 6-85), las mismas que variaron de acuerdo al porcentaje de aniones como bicarbonatos y sulfatos en las muestras colectadas.

- **Diagramas de Piper y Stiff**

En la Figura 6-84, se presenta el diagrama de Piper para los puntos de muestreo de la zona 1, correspondiente a las aguas ubicadas antes de las operaciones de la UM Raura, donde las lagunas Locacocha (Lloca-01, Lloca-02, Lloca-04, Lloca-10) y S/N (LSN-01), y quebradas S/N 9 (QLSN-01) y S/N 8 (QNiñP-02) son clasificadas como bicarbonatadas cálcicas, a excepción de la quebrada S/N 5 (QNiñC-04), la cual presentó una facie sulfatada cálcica. Respecto a, las lagunas ubicadas en el área de

las operaciones de la UM Raura, Niñococha (LNiñC-01, LNiñC-02, LNiñC-03, LNiñC-05), Niño Perdido (LNiñP-01, LNiñP-02, LNiñP-03, LNiñP-04) y Santa Ana (LSanB-02, LSanB-03, LSanB-07) presentan una facie sulfatada cálcica.
Las quebradas (QNiñC-01, QNiñC-03, QNiñC-05) y surgencia FSanAB-03 presentan aguas bicarbonatadas cálcicas; mientras que, las quebradas (QSanAB-01, QSanAB-02), las surgencias (FNiñC-1, FNiñC-09, FNiñP-1, FNiñP-2, FNiñP-3, FSanAB-01) y pozas (Poza-MC y POZA-TP) se clasifican como aguas sulfatadas cálcicas, con concentraciones que variaron entre 3 y 320 meq/L de sulfato; según el diagrama de Stiff (Anexo 1.4).

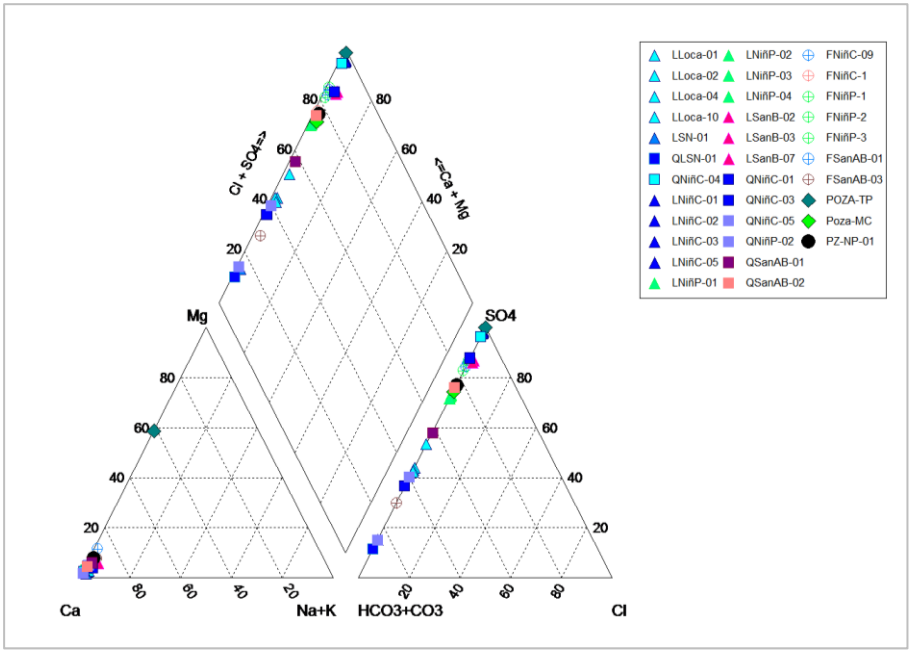


Figura 6-84. Distribución en el diagrama de Piper de las concentraciones de iones en los puntos de muestreo de agua de la zona 1

- **Diagrama de Ficklin**

De acuerdo con el diagrama de Ficklin (Figura 6-85), la mayoría de los puntos de muestreo ubicados en la zona 1, corresponden a aguas con pH cercano a la neutralidad y baja concentración de metales. Las surgencias (FSanAB-01 y FNiñC-09) presentan aguas con pH cercano a la neutralidad y alto contenido de metales; mientras que, el agua residual industrial (POZA-TP), presenta aguas con alta ácidez y concentraciones extremas de metales. La laguna Santa Ana, ubicada en la parte baja de esta zona 1, presenta aguas con pH básico (alcalino) con bajo contenido de metales.

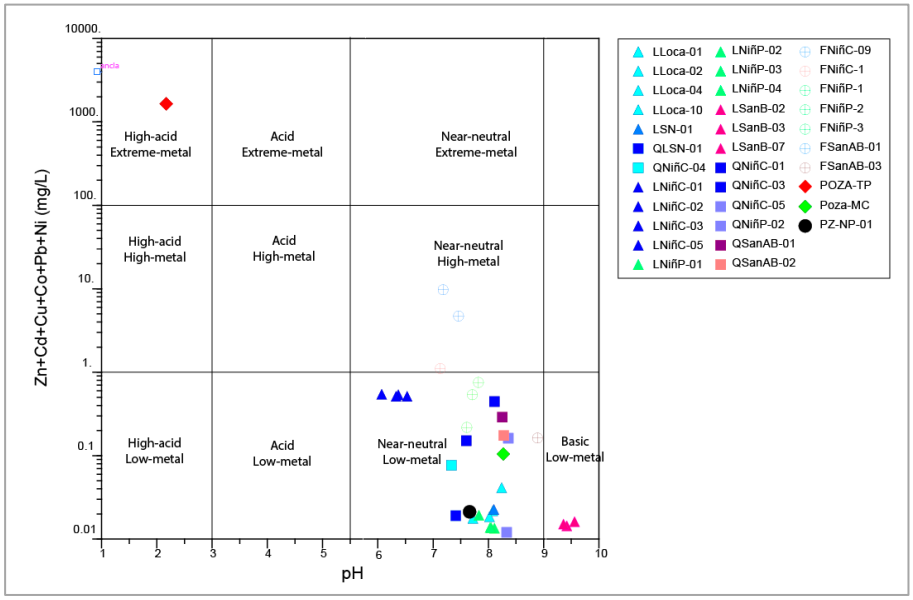


Figura 6-85. Diagrama de Ficklin con suma de metales disueltos Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni en muestras de agua de la zona 1

6.3.2.2 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha)

a. Parámetros de campo

- **Potencial de hidrogeno (pH)**

Los valores de pH registrados en las lagunas Siete Caballeros (L7Caba-01, L7Caba-02, L7Caba-03, L7Caba-04), Nieve Ucro I (LNieU-01, LNieU-04), Nieve Ucro II (LNieU-06, LNieU-07), Nieve Ucro III (LNieU-08), Tinquicocha (LTinq-01, LTinq-02, LTinq-09, LTinq-10, LTinq-13, LTinq-16, LTinq-18, LTinq-19) y Caballococa (LCaba-02, LCaba-03, LCaba-04, LCaba-07, LCaba-08, LCaba-12, LCaba-14), presentaron una tendencia alcalina (entre 8,03 y 8,84 unidades).

Las quebradas de la zona 2, QL7Caba-01, QL7Caba-02, QCaba-01, QLTinq-01 y QLTinq-02, presentaron valores de pH entre 7,74 y 8,52 unidades; las surgencias QCaba-03, FNievU2-01 y FTinqco-04, entre 7,49 y 8,25 unidades; el efluente (FTinqco-03), aguas residuales industriales (FTinqco-06, AMTinq-1) y agua residual doméstica (EFCaba-01) entre 7,76 y 8,31 unidades, todas estas aguas de tendencia alcalina. Mientras que, las aguas subterráneas (AS-02, AS-03, PZ-03, AS-04, AS-05, PZ-01, PZ-04.1, PZ-104, PZ-06, AS-01) presentaron valores de pH entre 7,09 unidades (PZ-01) y 8,46 unidades (AS-04).

- **Temperatura**

En la zona 2, las temperaturas en lagunas variaron entre 8,9 y 13 °C, en quebradas entre 7,8 y 15,7 °C, y las surgencias entre 8,1 y 12,9 °C. Mientras que, el efluente presentó una temperatura de 11,7 °C, y el agua subterránea varió entre 8,50 y 10,80 °C.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

Las lagunas Caballococha, Tinquicocha, Nieve Ucro I, II, III y Siete Caballeros registraron valores de CE entre 918 y 979 µS/cm, entre 641 y 736 µS/cm, entre 190,4

y 354 µS/cm, entre 121,5 y 145,9 µS/cm respectivamente. Mientras que, las quebradas QL7Caba-01, QL7Caba-02, QCaba-01, QLTinq-01 y QLTinq-02 presentaron valores entre 127,6 y 272 µS/cm.

El efluente, agua residual doméstica y aguas residuales industriales de la zona 2, presentaron valores de CE entre 389 y 996 µS/cm; las surgencias entre 184,5 µS/cm (FNievU2-01) y 1483 µS/cm (FTinqco-04). Las aguas subterráneas reportaron valores de CE entre 242 y 15810 µS/cm; presentándose valores de 1612 µS/cm (PZ-04.1) y 15810 µS/cm (PZ-01), ubicados en la presa de relaves Nieve Ucro II.

c. Diagramas hidroquímicos

La caracterización hidroquímica del agua de la zona 2 se agrupó en 2 facies predominantes: sulfatadas cálcicas (Figura 6-86) y bicarbonatadas cálcicas (Figura 6-87).

- **Diagramas de Piper y Stiff**

De acuerdo con el diagrama de Piper (Figura 6-86), la laguna Siete Caballeros (L7Caba-01, L7Caba-02, L7Caba-03, L7Caba-04) presenta aguas bicarbonatadas cálcicas. Las quebradas (QL7Caba-01, QL7Caba-02, QLTinq-01, QLTinq-01, QCaba-01) y piezómetros (PZ-04.1, PZ-104, AS-04) son clasificadas como bicarbonatadas cálcicas; mientras que, las surgencias (QCaba-03, FTinqco-04), y los piezómetros (PZ-06, PZ-03, AS-03, AS-05) son clasificadas como sulfatadas cálcicas.

Además, las lagunas Nieve Ucro I (LNieU-01, LNieU-04), Nieve Ucro II (LNieU-06, LNieU-07), Nieve Ucro III (LNieU-08), Tinquicocha (LTinq-01, LTinq-02, LTinq-09, LTinq-10, LTinq-13, LTinq-16, LTinq-18, LTinq-19) y Caballococa (LCaba-02, LCaba-03, LCaba-04, LCaba-07, LCaba-08, LCaba-12, LCaba-14), presentan una facie sulfatada cálcica, variando entre 1 y 10 meq/L de sulfato; según el diagrama de Stiff (Anexo 1.4).

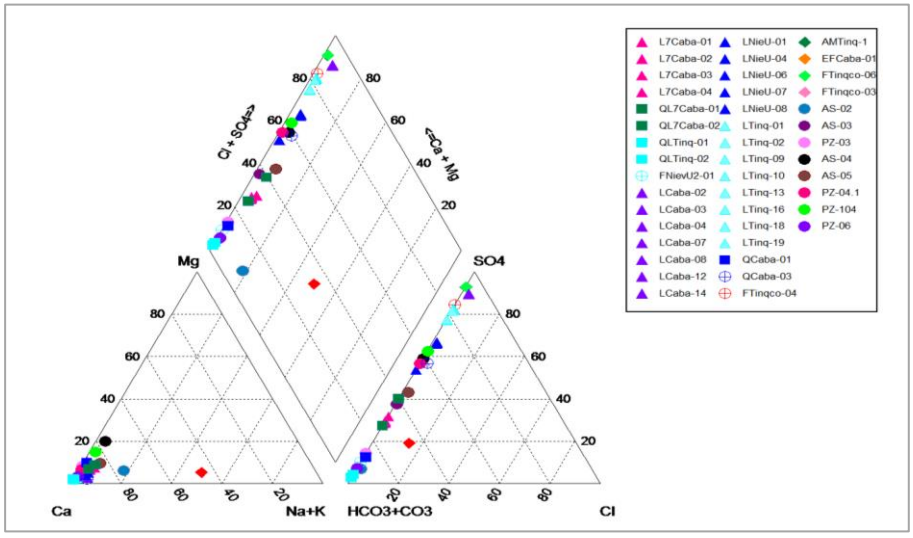


Figura 6-86. Distribución en el diagrama de Piper de las concentraciones de iones en los puntos de muestreo de agua de la zona 2

- **Diagrama de Ficklin**

En la zona 2, las aguas se clasifican en 2 grupos de acuerdo con el diagrama de Ficklin (Figura 6-87). Las lagunas Siete Caballeros, Caballococha, Tinquicocha y Nieve Ucro I, II y III, así como las quebradas, efluente, agua residual doméstica, aguas residuales industriales y aguas subterráneas; presentaron aguas con pH cercano a la neutralidad y baja concentración de metales. Mientras que, las surgencias QCaba-01 y FTinqco-04 presentaron bajo y alto contenido de metales respectivamente y ambos registraron pH cercanos a la neutralidad.

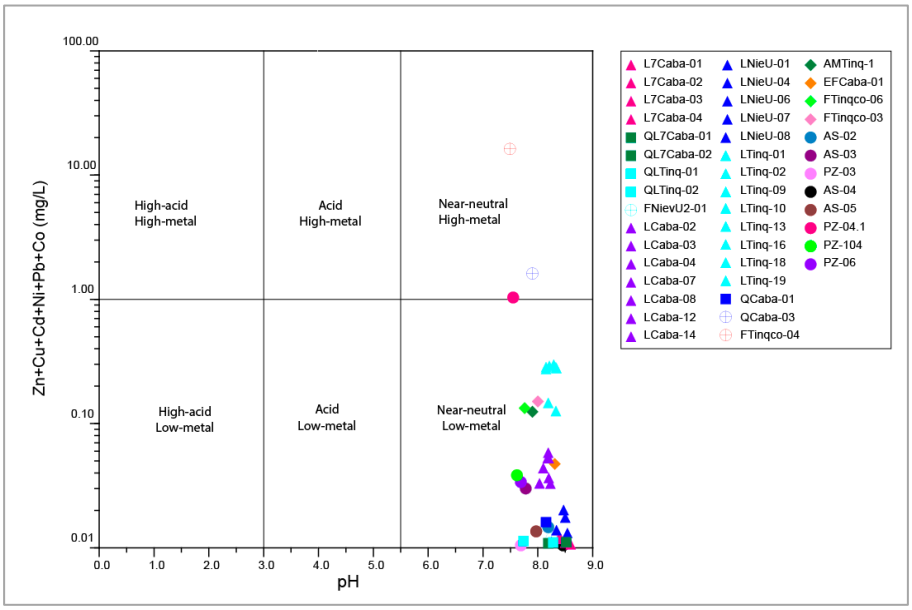


Figura 6-87. Diagrama de Ficklin con suma de metales disueltos Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni en muestras de agua de la zona 2

6.3.2.3 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay)

a. Parámetros de campo

- **Potencial de hidrogeno (pH)**

Los valores de pH registrados en las lagunas Yanacocha (LYana-01), Rupahuay (LRupa-01, LRupa-01-F, LRupa-03, LRupa-03-T, LRupa-03-F, LRupa-05, LRupa-05-F, LRupa-08, LRupa-09, LRupa-09-F, LRupa-12) y Rumbrococha (LRumb-01, LRumb-03, LRumb-05, LRumb-06) estuvieron entre 8,03 y 8,84 unidades, aguas de tendencia alcalina.

Las quebradas en la zona 3 (QRupa-01, QRupa-02, QRupa-03, QRupa-04, QLSuer-02, QRupa-05, QRupa-06, QRupa-08, QVeta-01, DRupa-01, QLRumb-01, QLRumb-02, QLRumb-03, QLRumb-04) presentaron valores de pH entre 7,67 y 8,48 unidades. La surgencia (FRupa-2) reportó un valor de pH de 8,41 unidades; los efluentes (EFRupa-1, EFRupa-02 y FRupa-01) y aguas residuales industriales (ARRupa-1 y AMRupa-1) registraron valores entre 7,57 y 8,82 unidades; haciendo de estas aguas de tendencia alcalinas.

Las aguas subterráneas en los piezómetros (PE-03, PE-06, PR-101, PR-104), ubicadas en el área del depósito de desmonte Shucshapá, presentaron valores de pH

entre 7,61 y 7,99 unidades, siendo estas de tendencia alcalinas. El valor de pH en el piezómetro PR-105 fue de 11,38 unidades, presentando aguas alcalinas.

- **Temperatura**

  En la zona 3, las temperaturas en las lagunas Yanacocha, Rupahuay y Rumbrococha variaron entre 8,6 y 12 °C, en las quebradas entre 6,6 y 17 °C, el agua subterránea presentó temperaturas entre 9,6 y 11,6 °C, los efluentes y aguas residuales industriales entre 6,2 y 12,5 °C. Mientras que, la temperatura en la surgencia (FRupa-2) fue de 5,5 °C.

- **Conductividad eléctrica (CE)**

  Las lagunas Yanacocha, Rupahuay y Rumbrococha registraron valores de CE de 159,6 µS/cm, entre 821 y 907 µS/cm y entre 299 y 365 µS/cm respectivamente. Mientras que, las quebradas presentaron valores entre 106,2 y 871 µS/cm.

  Las aguas subterráneas reportaron valores de CE entre 219 y 565 µS/cm. Los efluentes (EFRupa-1, EFRupa-02 y FRupa-01) y aguas residuales industriales (ARRupa-1 y AMRupa-1) presentaron valores de CE entre 880 y 1760 µS/cm; mientras que, la surgencia (FRupa-2) presentó un valor de 199,4 µS/cm.

d. Diagramas hidroquímicos

La caracterización hidroquímica del agua de la zona 3 se agrupó en 2 facies predominantes: sulfatadas cálcicas (Figura 6-88) y bicarbonatadas cálcicas (Figura 6-89).

- **Diagramas de Piper y Stiff**

  De acuerdo con el diagrama de Piper (Figura 6-88), la laguna Yanacocha (LYana-01), presenta aguas bicarbonatadas cálcicas. Las quebradas (QRupa-01, DRupa-01, QRupa-03, QLRumb-03, QVeta-01), piezómetros (PR-105, PR-101, PE-06, PE-03), surgencia (FRupa-02) y agua residual industrial (ARRupa-1) son clasificadas como bicarbonatadas cálcicas; mientras que, el piezómetro (PR-104), agua residual industrial (AMRupa-1) y efluentes (EF-Rupa-1, FRupa-01, EFRupa-02) son clasificadas como sulfatadas cálcicas.

  Asimismo, las lagunas Rumbrococha (LRumb-01, LRumb-03, LRumb-05, LRumb-06) y Rupahuay (LRupa-01, LRupa-03, LRupa-05, LRupa-08, LRupa-09, LRupa-12), presentan aguas sulfatadas cálcicas, variando entre 1 y 10 meq/L de sulfato; según el diagrama de Stiff (Anexo 1.4).

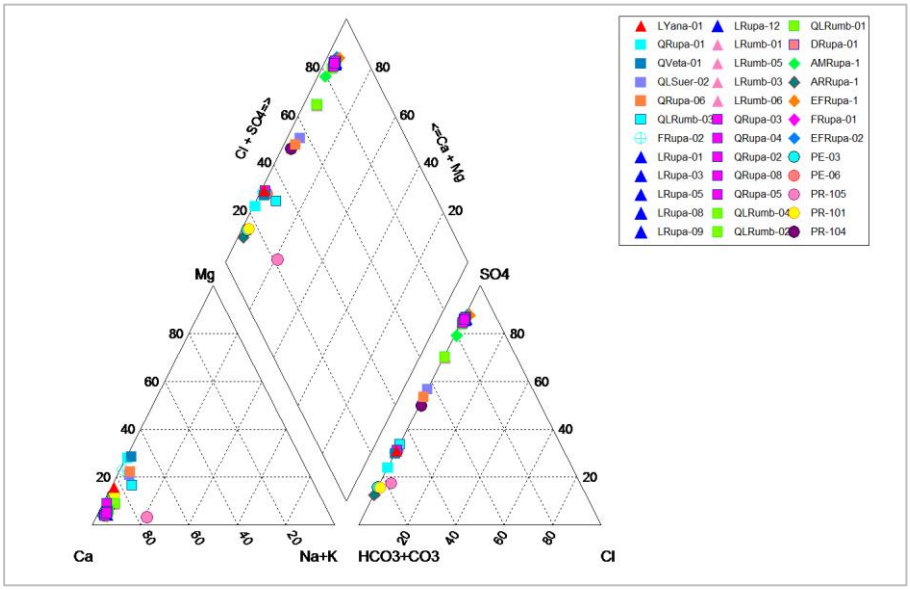


Figura 6-88. Distribución en el diagrama de Piper de las concentraciones de iones en los puntos de muestreo de agua de la zona 3

- **Diagrama de Ficklin**

De acuerdo con el diagrama de Ficklin (Figura 6-89), la mayoría de los puntos de muestreo ubicados en la zona 3, corresponden a aguas con pH cercano a la neutralidad y baja concentración de metales. El efluente minero (FRupa-01) y agua subterránea (PR-104), presentan aguas con pH cercanos a la neutralidad y alto contenido de metales; mientras que, el piezómetro ubicado al pie del depósito de desmonte Shucshapá (PR-105), presenta aguas básicas (alcalinas) con bajo contenido de metales.

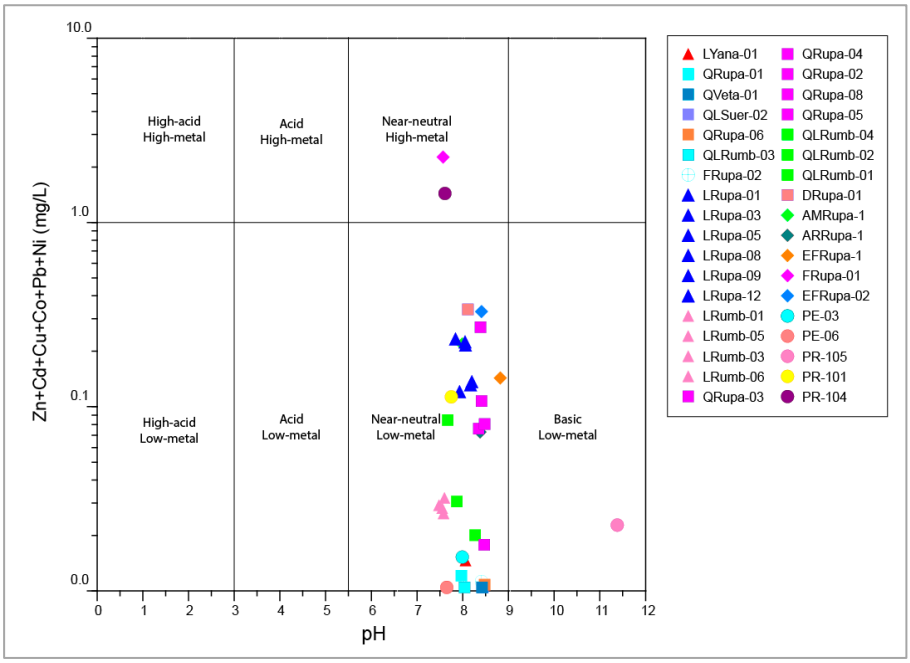


Figura 6-89. Diagrama de Ficklin con suma de metales disueltos Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni en muestras de agua de la zona 3

6.3.3 Caracterización de componentes mineros

A continuación, se desarrolla la caracterización de los componentes mineros del área de estudio por zona evaluada.

6.3.3.1 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana)

En esta sección se presentan los resultados de la caracterización de los componentes mineros del área de estudio: depósito de desmonte Niñococha, depósito de desmonte Niño Perdido, depósito de desmonte Catuva, depósito de desmonte Raura y material dispuesto frente al tajo Primavera y en la cota inferior del botadero de desmonte Niñococha. A continuación, se describen los resultados de los ensayos de metales totales, extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier (en adelante, extracción secuencial), prueba estática de balance ácido-base (en adelante, ABA[48]) y prueba de lixiviación (en adelante, SPLP[49]) realizados en los diferentes componentes mencionados. En la Figura 6-90 se muestra la distribución de los puntos de muestreo en la zona 1.

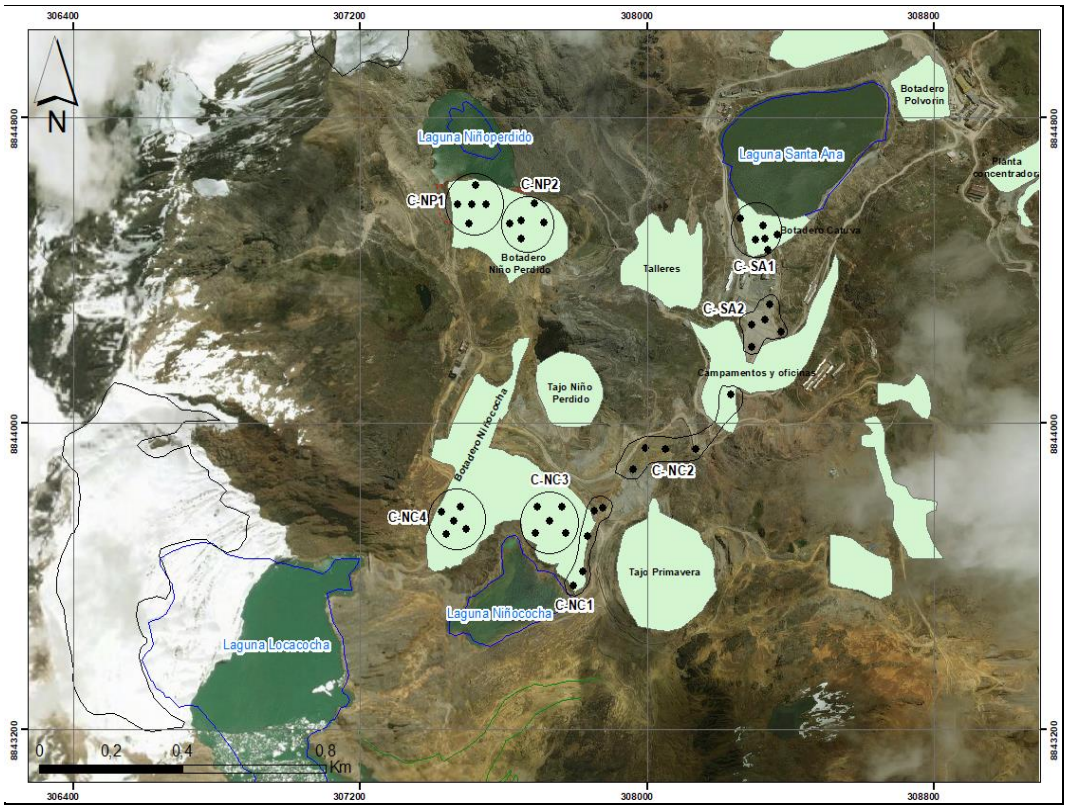


Figura 6-90. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros en la zona 1

48 Prueba de balance ácido-base ABA (*Acid-Base Accounting*).
49 Procedimiento de lixiviación por precipitación sintética - SPLP (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*).

a. Depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera

Las muestras C-NC1 y C-NC2, corresponden al material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera; mientras que, las muestras C-NC3 y C-NC4 pertenecen al depósito de desmonte Niñococha.

- **Metales totales**

En la Figura 6-91, se muestra que la mayor concentración correspondió al calcio, hierro, aluminio y magnesio; en comparación a la plata, arsénico, bario, cadmio, cobalto, cromo, cobre, potasio, manganeso, sodio, plomo, vanadio, zinc, silicio, estroncio y titanio. Se precisa que los elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

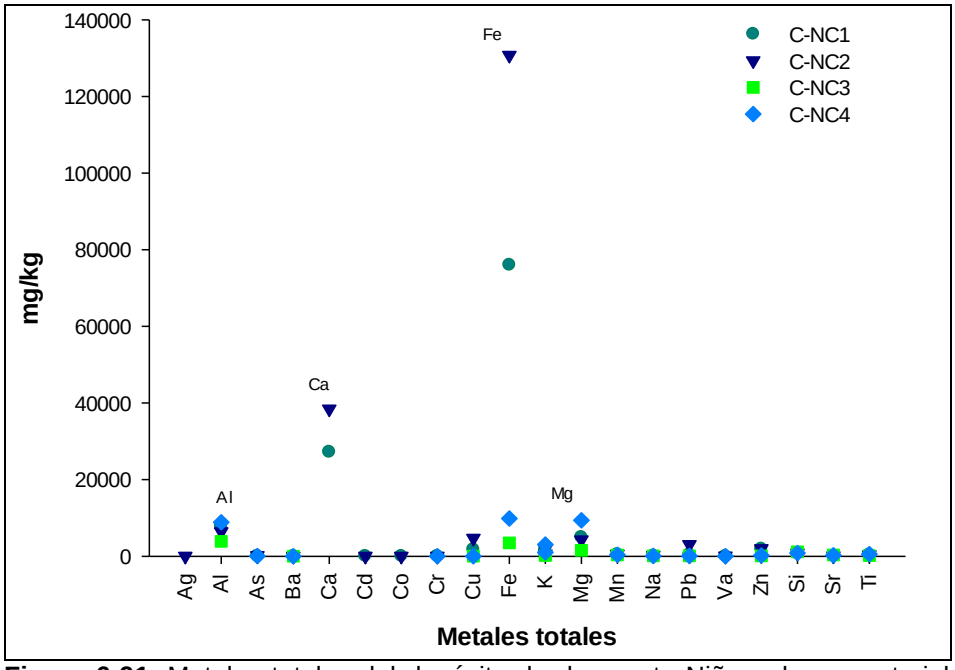


Figura 6-91. Metales totales del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera

- **SPLP**

En la Tabla 6-64 se muestra que, a las condiciones de la prueba, las muestras analizadas presentaron altos valores de azufre y calcio en comparación al aluminio, cobre, estroncio, magnesio, manganeso, potasio, sílice, titanio y zinc. Se precisa que, los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-64. SPLP del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera

Metales (mg/L)	C-NC1	C-NC2	C-NC3	C-NC4
Aluminio	<0,032	<0,032	0,725	0,383
Azufre	81	431	8	24
Calcio	107	465	24	41,8

Metales (mg/L)	C-NC1	C-NC2	C-NC3	C-NC4
Cobre	0,0104	<0,0036	<0,0036	<0,0036
Estroncio	0,261	0,307	0,043	0,159
Magnesio	0,87	6	< 0,31	< 0,31
Manganeso	0,057	1,24	0,057	0,008
Potasio	2,1	3,7	< 0,85	1
Sílice	26	16	6,9	<2,7
Titanio	<0,0042	<0,0042	0,0111	<0,0042
Zinc	<0,032	0,48	<0,14	<0,14

- **Extracción secuencial de metales por Tessier**

En cuanto a la determinación de biodisponibilidad de metales, en la Figura 6-92, se observa que el hierro, plomo, cobre, zinc y manganeso se encuentran asociadas a la fracción 2 (enlazados a carbonatos) y fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); en tanto que, los demás metales de extracción secuencial se encuentran en la fracción 4 (enlazada a materia orgánica) y fracción 5 (minerales primarios y secundarios).

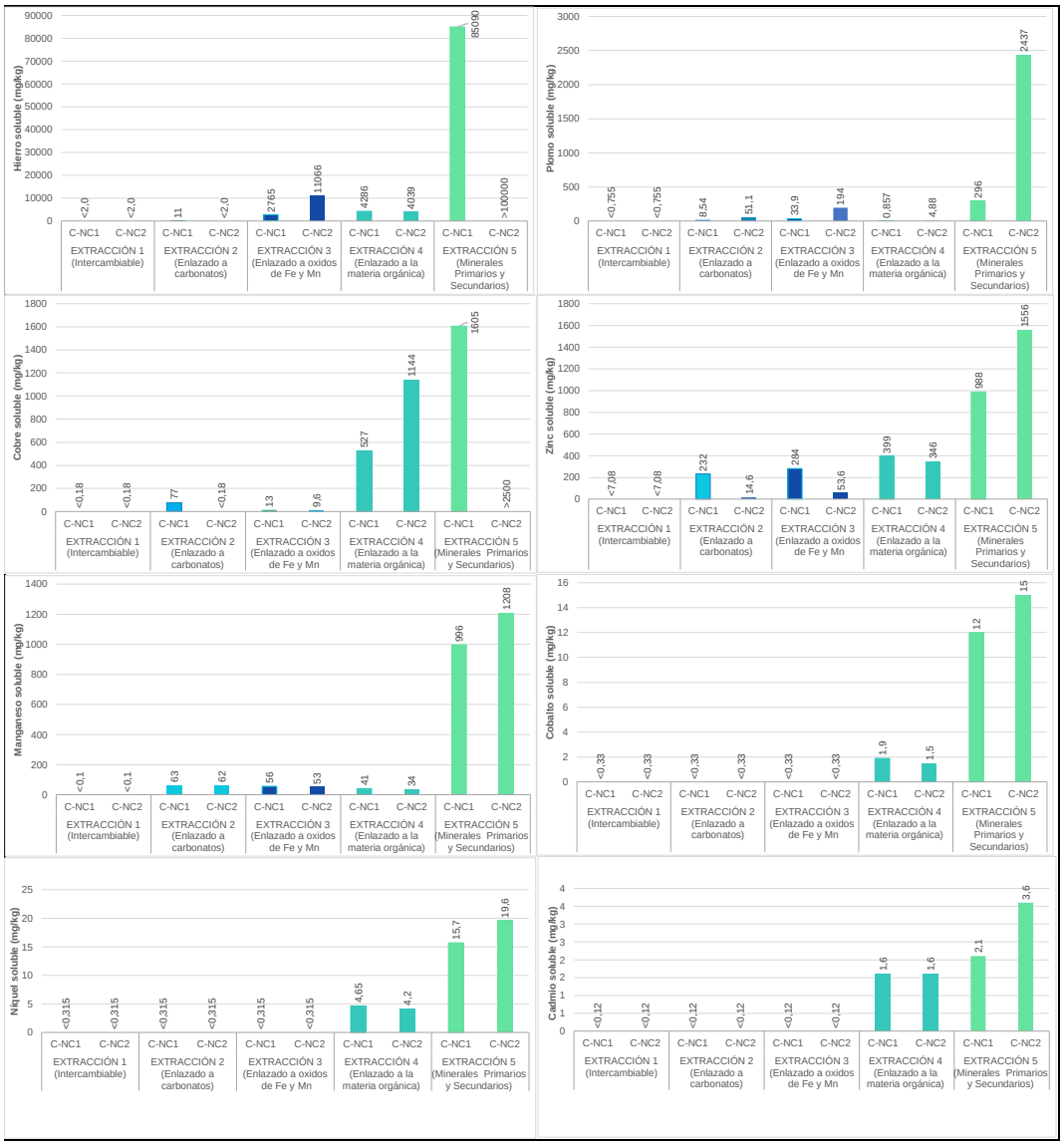


Figura 6-92. Extracción secuencial del material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez; se consideró el primer criterio de análisis, donde la muestra C-NC2 es potencial generador de acidez, C-NC3 es no generador de acidez, y C-NC1 se encuentra en incertidumbre (Figura 6-93).

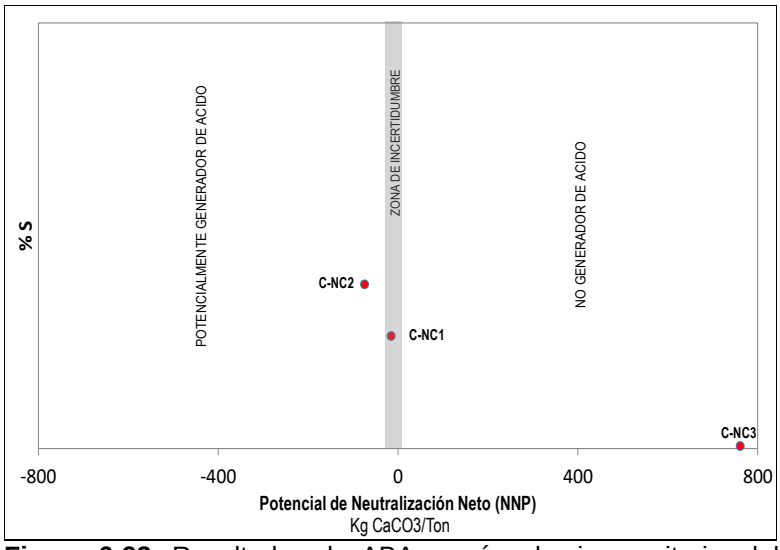


Figura 6-93. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera

Mientras que, considerando el segundo criterio de análisis, las muestras C-NC1 y C- NC2 son potencialmente generadores de acidez, en tanto que la muestra C-NC3 es no generador de acidez (Figura 6-94).

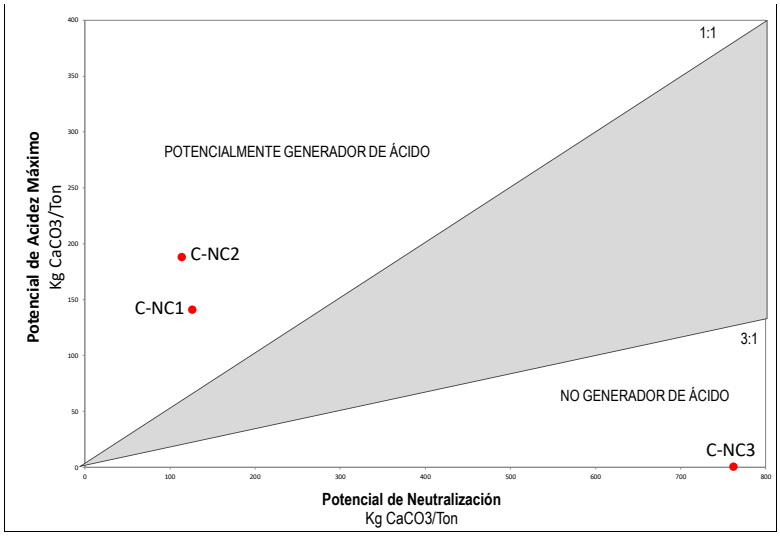


Figura 6-94. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de desmonte Niñococha, y material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera

b. Depósito de desmonte Niño Perdido

Las muestras C-NP1 y C-NP2, corresponden al material contiguo al depósito de desmonte Niño Perdido.

- **Metales totales**

En la Figura 6-95, se observa que las muestras analizadas presentaron altos valores de aluminio, calcio, hierro y magnesio; en comparación al arsénico, bario, cromo, cobre, potasio, manganeso, molibdeno, sodio, plomo, vanadio, zinc, silicio, estroncio

y titanio. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

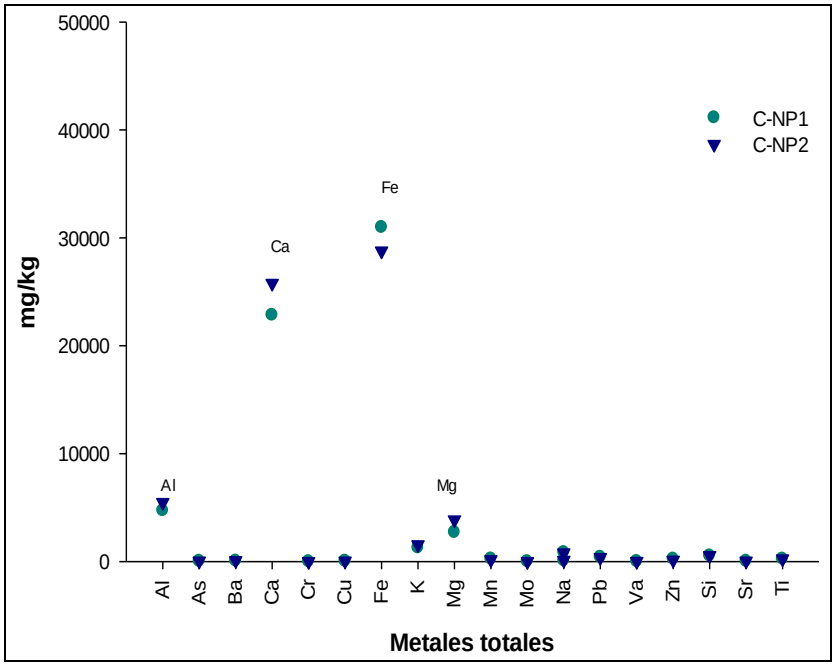


Figura 6-95. Metales totales del depósito de desmonte Niño Perdido

- **SPLP**

En la Tabla 6-65, se muestra que, a las condiciones de la prueba, las muestras analizadas presentaron altos valores de calcio y azufre en comparación al bario, estroncio, magnesio, manganeso y potasio. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-65. SPLP del depósito de desmonte Niño Perdido

Metales (mg/l)	C-NP1	C-NP2
Azufre	35	30
Bario	0,0013	0,0014
Calcio	54,4	44,9
Estroncio	0,022	0,019
Magnesio	0,52	0,39
Manganeso	0,002	0,005
Potasio	1,5	1,5

- **Extracción secuencial de metales por Tessier**

En cuanto a la determinación de biodisponibilidad de metales, en la Figura 6-96, se observa que el hierro, plomo y manganeso se encuentran asociadas a la fracción 2 (enlazados a carbonatos). Asimismo, el hierro, plomo, zinc, manganeso y níquel se encuentran en la fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); mientras que, todos los demás metales de Extracción secuencial se encuentran en la fracción 4 (enlazada a materia orgánica) y fracción 5 (minerales primarios y secundarios).



Figura 6-96. Extracción secuencial del depósito de desmonte Niño Perdido

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez; se consideró el primer y segundo criterio de análisis, donde la muestra C-NP1 es potencial no generador de acidez (Figuras 6-97 y 6-98 respectivamente).

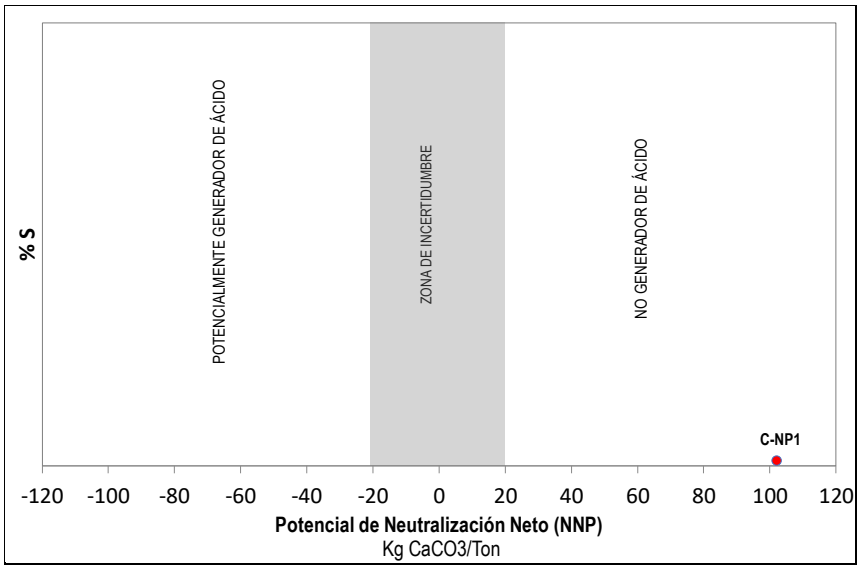


Figura 6-97. Resultados de ABA, según el primer criterio del depósito de desmonte Niño Perdido

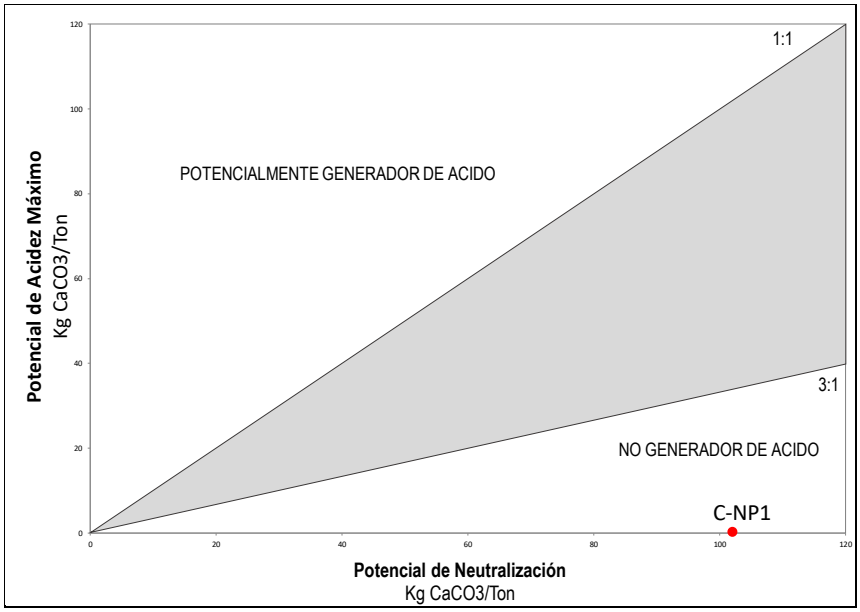


Figura 6-98. Resultados de ABA, según el segundo criterio del depósito de desmonte Niño Perdido

c. Depósitos de desmonte Catuva y Raura

La muestra C-SA1 corresponde al depósito de desmonte Catuva, en tanto que C-SA2, corresponde al depósito de desmonte Raura.

- **Metales totales**

En la Figura 6-99, se muestra que, a las condiciones de la prueba, las muestras analizadas presentaron altos valores de aluminio, calcio, hierro plomo y zinc en comparación a la plata, arsénico, bario, cadmio, cobalto, cromo, cobre, potasio, magnesio, manganeso, sodio, vanadio, boro, fósforo, silicio, estroncio, titanio y

mercurio. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

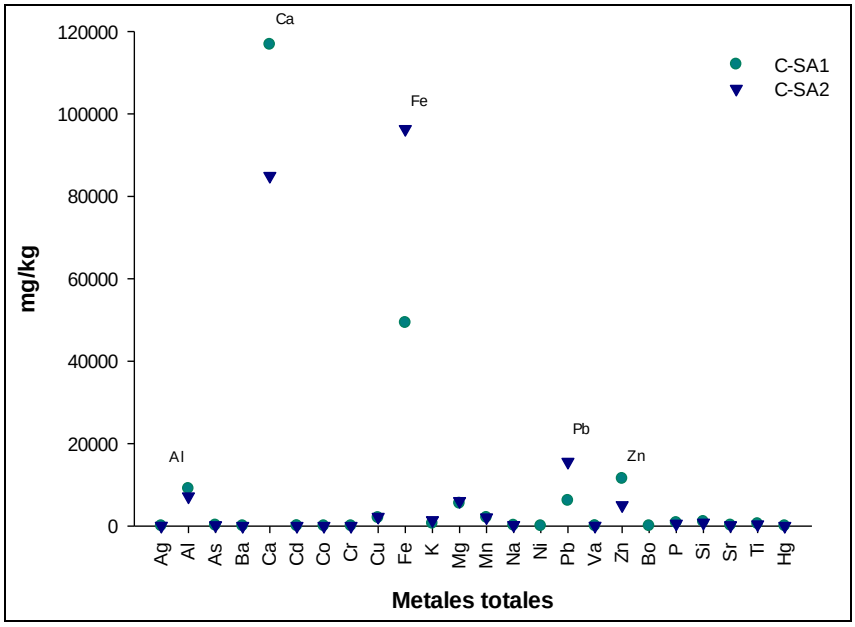


Figura 6-99. Metales totales de los depósitos de desmonte Catuva y Raura

- **SPLP**

En la Tabla 6-66, se muestra que a las condiciones de la prueba las muestras analizadas presentaron altos valores de calcio y azufre en comparación al bario, cadmio, cobre, magnesio, manganeso, níquel, plomo, potasio y sílice. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-66. SPLP de los depósitos de desmonte Catuva y Raura

Parámetro (mg/l)	C-SA1	C-SA2
Azufre	35	151
Bario	0,0245	0,0319
Cadmio	< 0,0024	0,0036
Calcio	46,4	176
Cobre	0,0165	0,014
Magnesio	0,44	0,57
Manganeso	0,043	0,116
Níquel	0,0078	< 0,0063
Plomo	0,04	0,06
Potasio	< 0,85	1,5
Sílice	3,4	3,7

- **Extracción secuencial de metales por Tessier**

En cuanto a la determinación de biodisponibilidad de metales, en la Figura 6-100, se observa que el hierro, plomo, manganeso están asociadas a la fracción 1 (intercambiable) y el plomo, cobre, zinc, manganeso y cadmio se encuentran asociadas a la fracción 2 (enlazados a carbonatos). Asimismo, el hierro, plomo, zinc,

manganeso, níquel se encuentran en la fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn), mientras que todos los metales de extracción secuencial se encuentran en la fracción 4 (enlazada a materia orgánica) y fracción 5 (minerales primarios y secundarios).



Figura 6-100. Extracción secuencial de los depósitos de desmonte Catuva y Raura

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez; se consideró el primer y segundo criterio de análisis, donde la muestra C-NP1 es potencial no generador de acidez (Figuras 6-101 y 6-102 respectivamente).

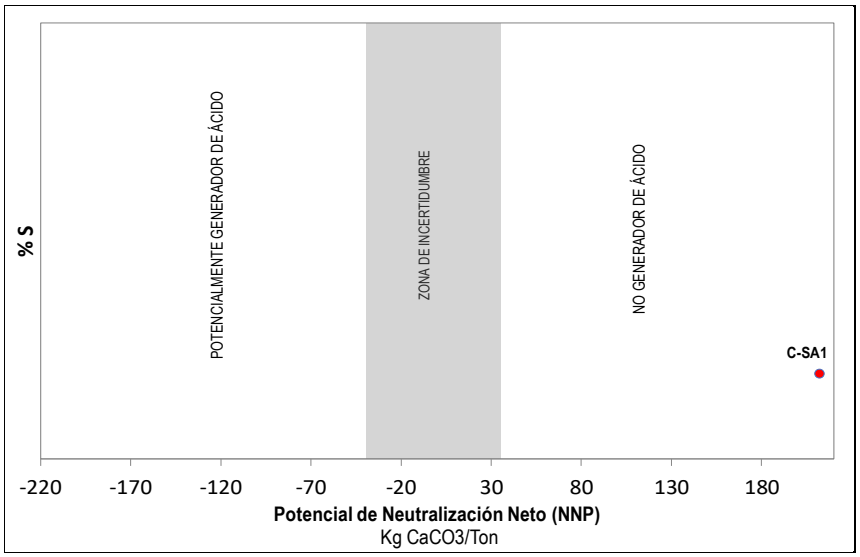


Figura 6-101. Resultados de ABA, según el primer criterio, de los depósitos de desmonte Catuva y Raura

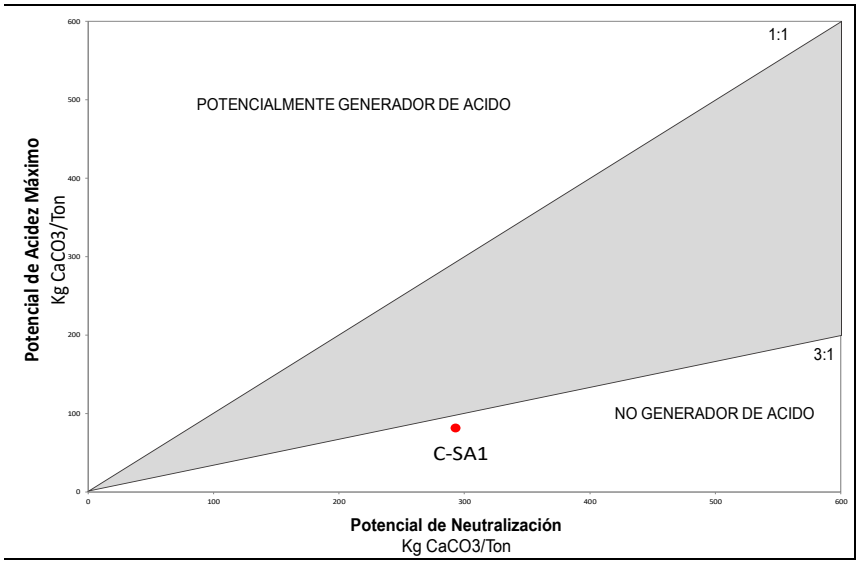


Figura 6-102. Resultados de ABA, según el segundo criterio, de los depósitos de desmonte Catuva y Raura

6.3.3.2 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha)

En esta sección se presentan los resultados de metales totales, Extracción secuencial, ABA y SPLP realizados en los depósitos de relave Nieve Ucro I y II, y depósito de desmonte Tinquicocha. En la Figura 6-103, se muestra la distribución de los puntos de muestreo en la zona 2.

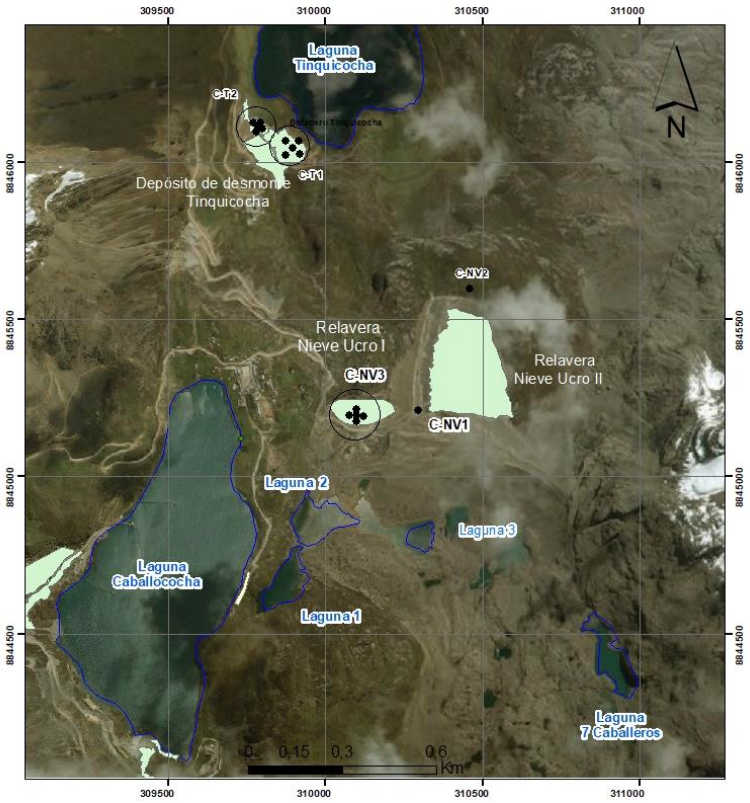


Figura 6-103. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros en la zona 2

a. Depósito de relave Nieve Ucro II

Las muestras C-NV1 y C-NV2, corresponden al depósito de relave Nieve Ucro II.

- **Metales totales**

En la Figura 6-104, se muestra que la mayor concentración correspondió al calcio, hierro, aluminio y magnesio; en comparación a la plata, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, potasio, manganeso, sodio, plomo, antimonio, vanadio, zinc, fósforo, silicio, estroncio, titanio y mercurio. Además, los elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

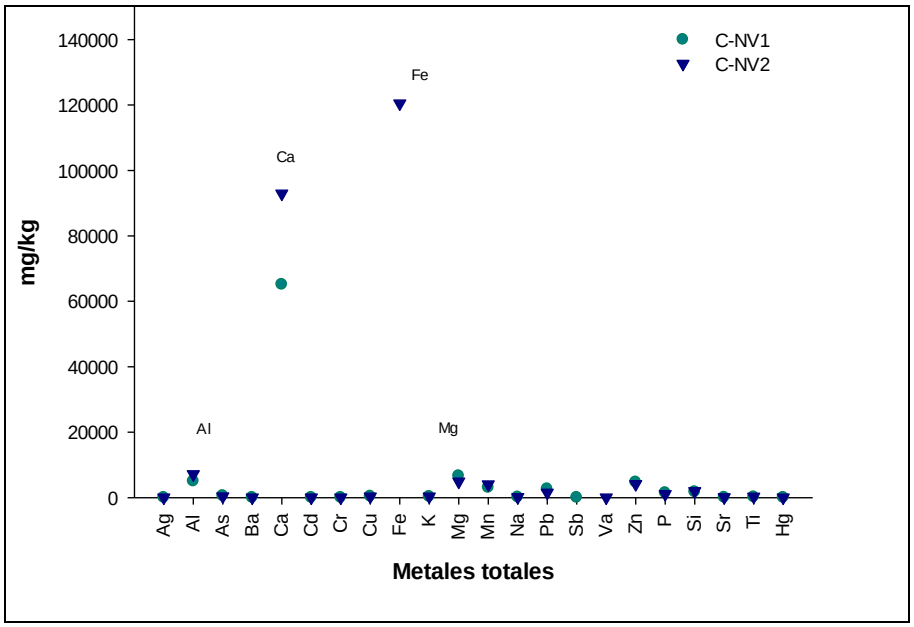


Figura 6-104. Metales totales del depósito de relave Nieve Ucro II

- **SPLP**

En la Tabla 6-67, se muestra que, a las condiciones de la prueba, las muestras analizadas presentaron altos valores de azufre y calcio en comparación al bario, boro, estaño, estroncio, magnesio, manganeso, plomo y sodio que se encuentran en menor concentración. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-67. SPLP del depósito de relave Nieve Ucro II

Parámetro (mg/l)	C-NV1
Azufre	199
Bario	0,0098
Boro	0,05
Calcio	209
Estaño	0,04
Magnesio	2,2
Manganeso	0,501
Plomo	0,02
Potasio	2
Sodio	2,68

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez; se consideró el primer criterio de análisis, donde las muestras C-NV1 y C-NV3 son no generadores de acidez (Figura 6-105).

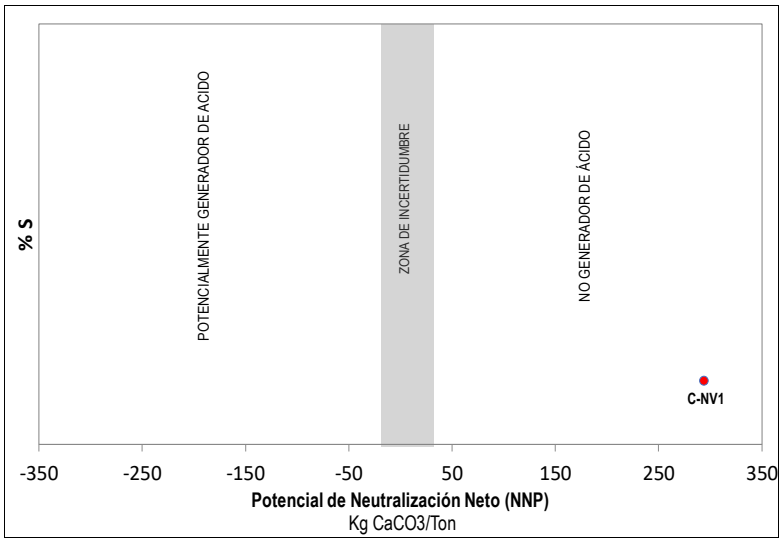


Figura 6-105. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de relave Nieve Ucro II

Mientras que, considerando el segundo criterio de análisis, la muestra C-NV1 es potencial generador de acidez y C-NV3 es no generador de acidez (Figura 6-106).

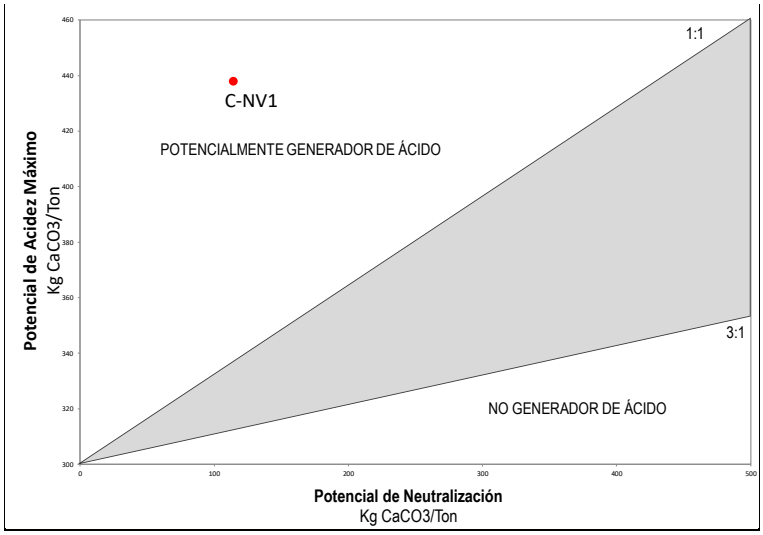


Figura 6-106. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de relave Nieve Ucro II

b. Depósito de relave Nieve Ucro I (con cierre final)

La muestra C-NV3 corresponde al depósito de relave Nieve Ucro I.

- **Metales totales**

En la Figura 6-107, se muestra que la mayor concentración correspondió al calcio, hierro y aluminio; en comparación a la plata, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, potasio, magnesio, manganeso, sodio, plomo, antimonio, vanadio, zinc, fósforo, silicio, estroncio, titanio y mercurio. Además, los elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

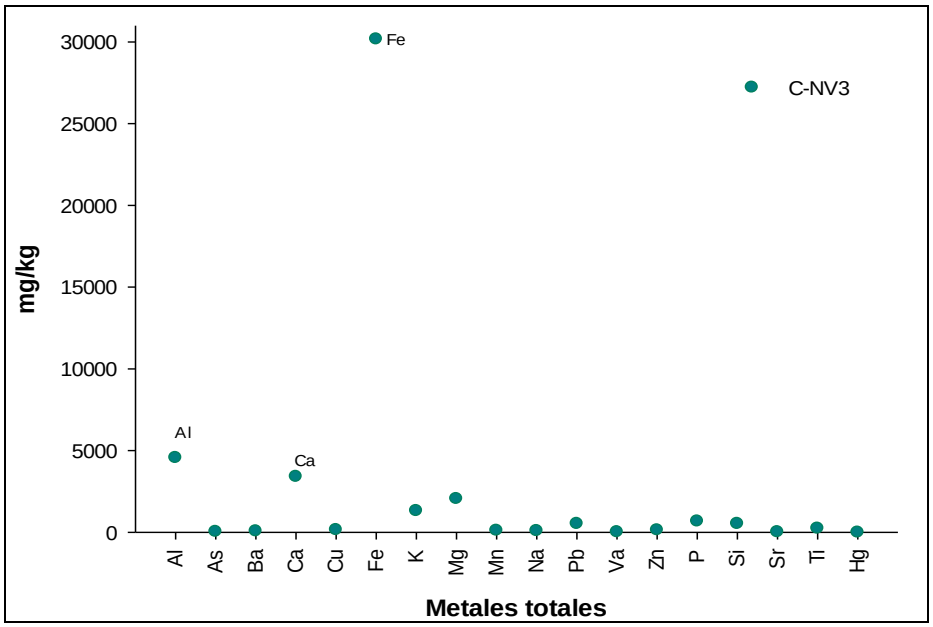


Figura 6-107. Metales totales en el área de influencia del relave Nieve Ucro I

- **SPLP**

En la Tabla 6-68, se muestra que, a las condiciones de la prueba, las muestras analizadas presentaron altos valores de azufre y calcio en comparación al bario, boro, estaño, estroncio, magnesio, manganeso, plomo y sodio. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-68. SPLP del depósito de relave Nieve Ucro I

Parámetros (mg/l)	C-NV3
Azufre	14
Bario	0,0019
Calcio	37,8
Estroncio	0,033
Manganeso	0,023
Potasio	1,2

- **Extracción secuencial de metales por Tessier**

En cuanto a la determinación de biodisponibilidad de metales, en la Figura 6-108, se observa que el hierro, plomo, zinc y manganeso se encuentran asociadas a la fracción 2 (enlazados a carbonatos). Asimismo, el hierro, plomo, zinc, manganeso y níquel se encuentran en la fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); mientras que, todos los demás metales de Extracción secuencial se encuentran en la fracción 4 (enlazada a materia orgánica) y fracción 5 (minerales primarios y secundarios).



Figura 6-108. Extracción secuencial del depósito de relave Nieve Ucro I

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez, se consideró el primer criterio de análisis, donde las muestras C-NV1 y C-NV3 son no generadores de acidez (Figura 6-109).

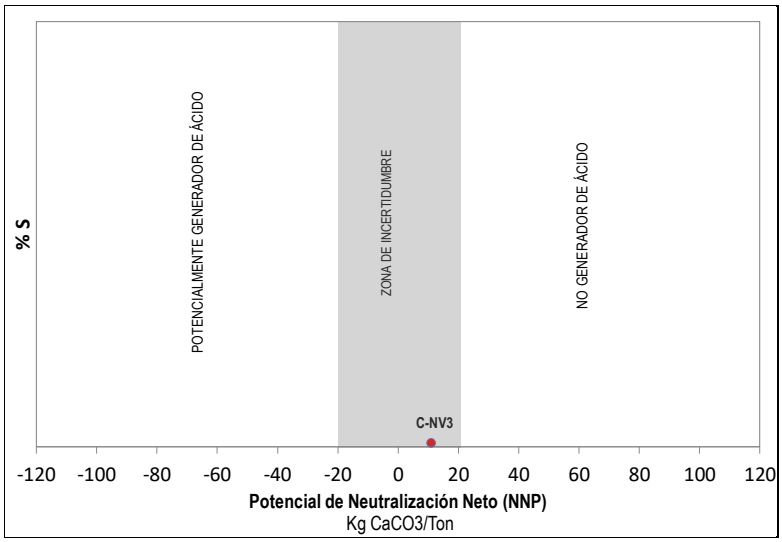


Figura 6-109. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de relave Nieve Ucro I

En tanto que, considerando el segundo criterio de análisis, la muestra C-NV1 es potencial generador de ácido y C-NV3 es no generador de acidez (Figura 6-110).

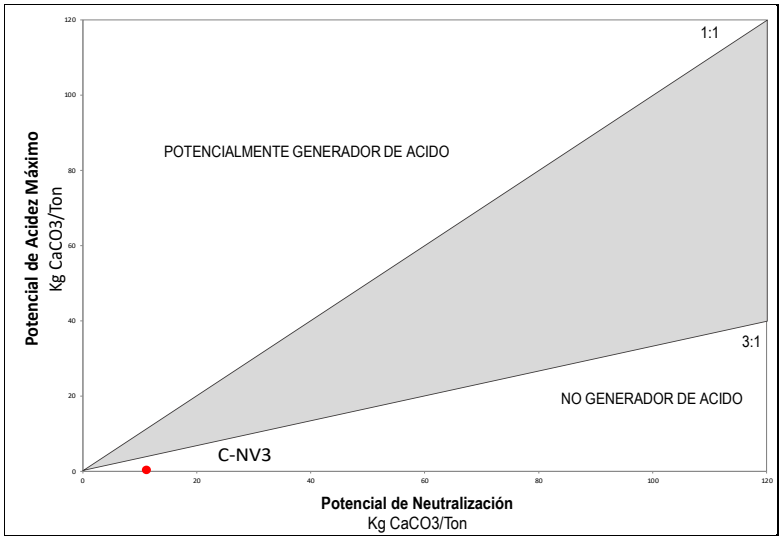


Figura 6-110. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de relave Nieve Ucro I

c. Depósito de desmonte Tinquicocha

Las muestras C-T1 y C-T2, corresponden al depósito de desmonte Tinquicocha.

- **Metales totales**

En la Figura 6-111, se muestra que la mayor concentración correspondió al calcio, hierro y aluminio; en comparación a la plata, arsénico, bario, cadmio, cobalto, cromo, cobre, potasio, magnesio, manganeso, sodio, níquel, plomo, antimonio, vanadio, zinc, fósforo, silicio, estroncio, titanio y mercurio. Se precisa, que los elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

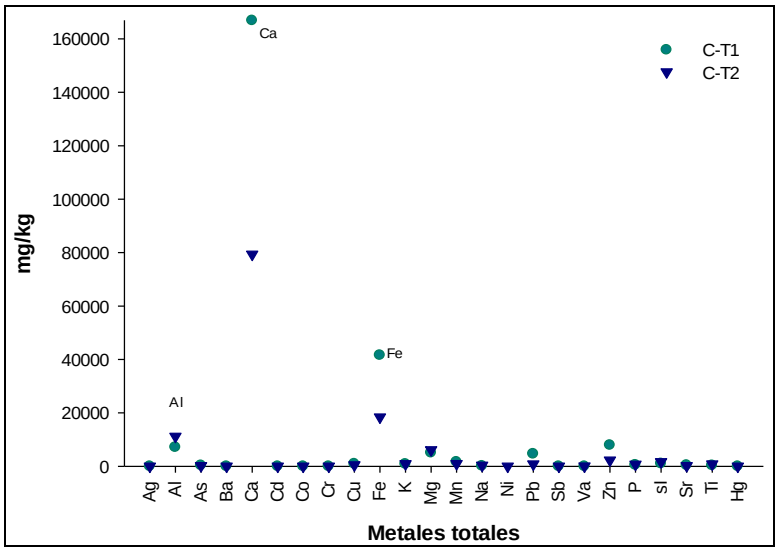


Figura 6-111. Metales totales del depósito de desmonte Tinquicocha

- **SPLP**

En la Tabla 6-69, se muestra que, a las condiciones de la prueba, la muestra analizada presentó altos valores de azufre y calcio en comparación al bario, cobre, cromo, estroncio, magnesio, manganeso, plomo y sílice. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-69. SPLP del depósito de desmonte Tinquicocha

Parámetros (mg/l)	C-T1
Azufre	156
Bario	0,0207
Calcio	167
Cobre	0,0368
Cromo	0,0042
Estroncio	0,573
Magnesio	0,54
Manganeso	0,09
Plomo	0,03
Sílice	2,9

- **Extracción secuencial de metales por Tessier**

En cuanto a la determinación de biodisponibilidad de metales, en la Figura 6-112, se observa que el plomo, cobre, zinc, manganeso y níquel se encuentra asociadas a la fracción 2 (enlazados a carbonatos). Asimismo, el hierro, plomo, cobre, zinc, manganeso y níquel se encuentran en la fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); mientras que todos los demás metales de Extracción secuencial se encuentran en la fracción 4 (enlazada a materia orgánica) y fracción 5 (minerales primarios y secundarios).



Figura 6-112. Extracción secuencial del depósito de desmonte Tinquicocha

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez, se consideró el primer y segundo criterio de análisis, donde la muestra C-T1 es no generador de acidez (Figuras 6-113 y 6-114 respectivamente).

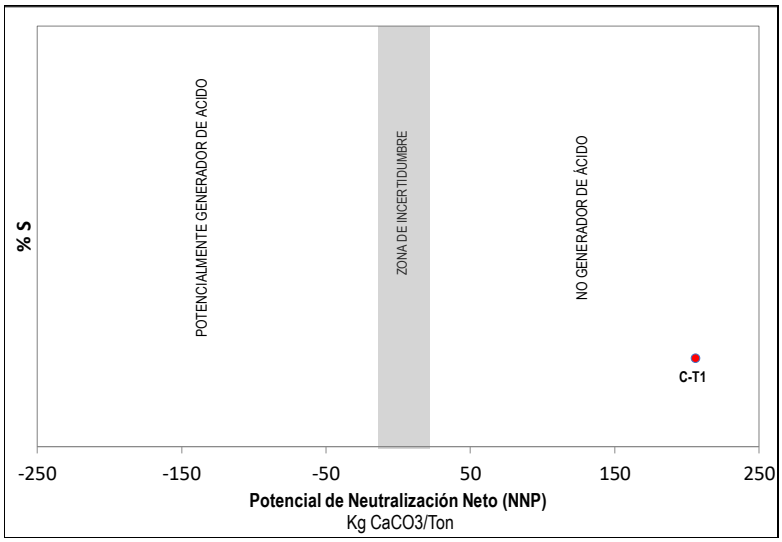


Figura 6-113. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de desmonte Tinquicocha

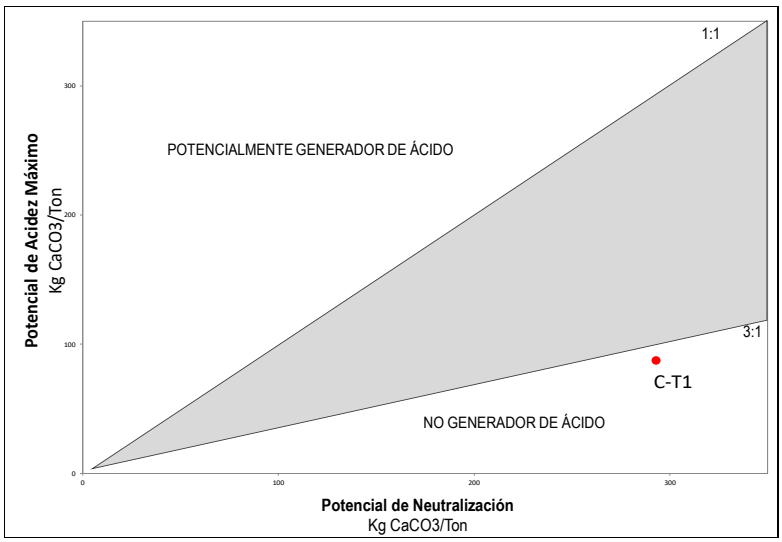


Figura 6-114. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de desmonte Tinquicocha

6.3.3.3 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay)

En esta sección se presentan los resultados de metales totales, Extracción secuencial, ABA y SPLP realizados en el depósito de desmonte Shucshapá y en la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá. En la Figura 6-115, se muestra la distribución de los puntos de muestreo en la zona 3.

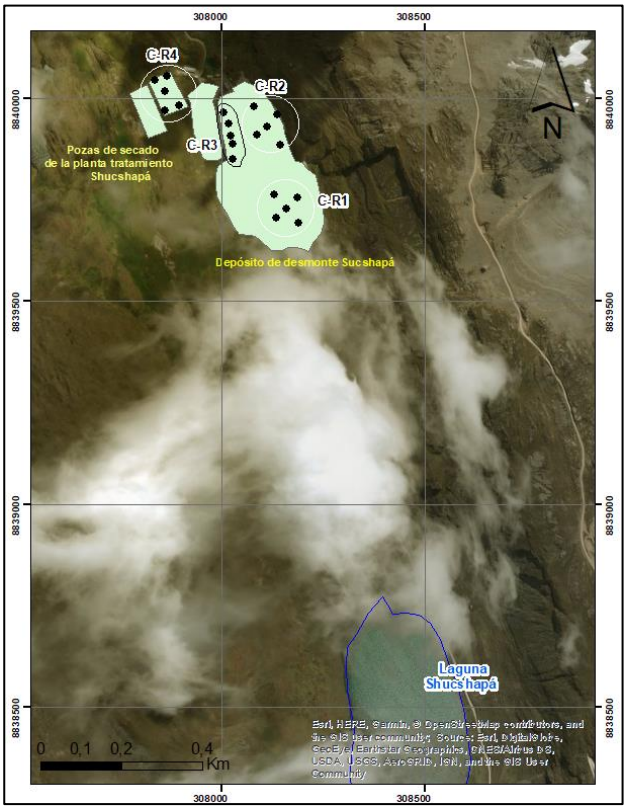


Figura 6-115. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros en la zona 3

a. Depósito de desmonte Shucshapá

Las muestras C-R1 y C-R2, corresponden al depósito de desmonte Shucshapá.

- **Metales totales**

En la Figura 6-116, se muestra que la mayor concentración correspondió al calcio, hierro y aluminio; en comparación a la plata, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, potasio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, plomo, antimonio, vanadio, zinc, bismuto, fósforo, silicio, estroncio, titanio y mercurio. Además, los elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

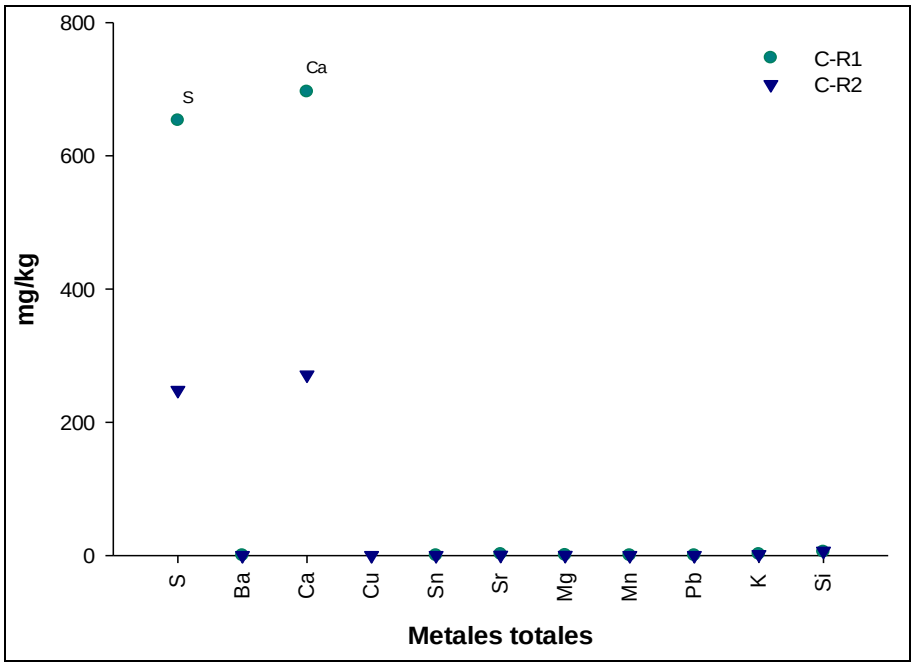


Figura 6-116. Metales totales del depósito de desmonte Shucshapá

- **SPLP**

En la Tabla 6-70, se muestra que, a las condiciones de la prueba, las muestras analizadas presentan altos valores de azufre y calcio en comparación al bario, cobre, estaño, estroncio, magnesio, manganeso, plomo, potasio y sílice. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-70. SPLP del depósito de desmonte Shucshapá

Parámetro (mg/l)	C-R1	C-R2
Azufre	653	248
Bario	0,0409	0,038
Calcio	696	271
Cobre	<0,0036	0,0061
Estaño	0,051	0,047
Estroncio	1,99	0,603
Magnesio	0,49	0,32
Manganeso	0,135	0,028
Plomo	0,04	0,04
Potasio	2	1,5
Sílice	5,5	6,6

- **Extracción secuencial de metales por Tessier**

En cuanto a la determinación de biodisponibilidad de metales, en la Figura 6-117, se observa que el plomo, cobre, zinc, manganeso y cadmio se encuentran asociadas a la fracción 2 (enlazados a carbonatos). Asimismo, el hierro, plomo, zinc, manganeso y níquel se encuentran en la fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); mientras que todos los demás metales de Extracción secuencial se encuentran en la fracción 4 (enlazada a materia orgánica) y fracción 5 (minerales primarios y secundarios).



Figura 6-117. Extracción secuencial del depósito de desmonte Shucshapá

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez, se consideró el primer y segundo criterio de análisis, donde la muestra C-R1 es no generador de acidez (Figuras 6-118 y 6-119 respectivamente).

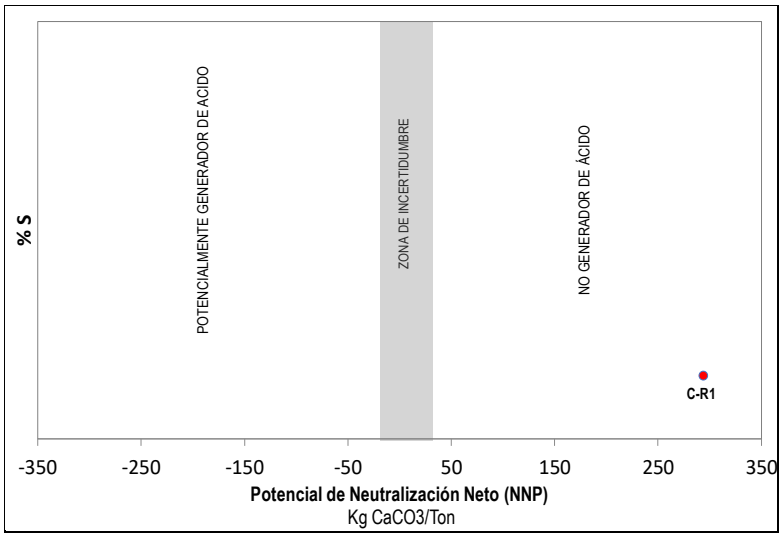


Figura 6-118. Resultados de ABA, según el primer criterio, del depósito de desmonte Shucshapá

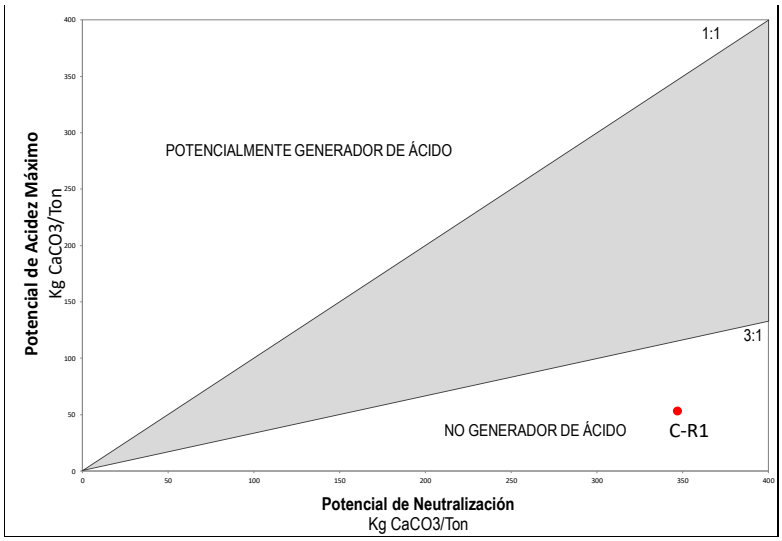


Figura 6-119. Resultados de ABA, según el segundo criterio, del depósito de desmonte Shucshapá

- **Análisis mineralógico**

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1 %. Sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro este se incrementa a 3 %, la cuantificación de fases amorfas se evaluó a partir de 20 % de contenido en la muestra. El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

En el depósito de desmonte Shucshapá se tomó una muestra compuesta para análisis mineralógico. La muestra C-R1 está compuesto por 5 puntos, presenta una concentración de esfalerita de 3 %, además una concentración de pirita de 2 % (Tabla 6-71).

Tabla 6-71. Análisis mineralógico de la muestra C-R1 del depósito de desmonte Shucshapá

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado aproximado (%)
Calcita	CaCO3	40
Cuarzo	SiO2	13
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	10
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	8
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	7
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	5
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	4
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	3
Esfalerita	(Zn,Fe)S	3
Pirita	FeS2	2
Yeso	CaSO4.2(H2O)	<L.D.
Anfibol (Actinolita)	Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)2	<L.D.
Montmorillonita	(Na,Ca)0,3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2 n(H2O)	<L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

b. Poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá

Las muestras C-R3 y C-R4, corresponden a la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá.

- **Metales totales**

En la Figura 6-120, se muestra que la mayor concentración correspondió al calcio, hierro, aluminio y zinc; en comparación a la plata, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, potasio, magnesio, manganeso, molibdeno, sodio, plomo, antimonio, vanadio, bismuto, fósforo, silicio, estroncio, titanio y mercurio. Además, los elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

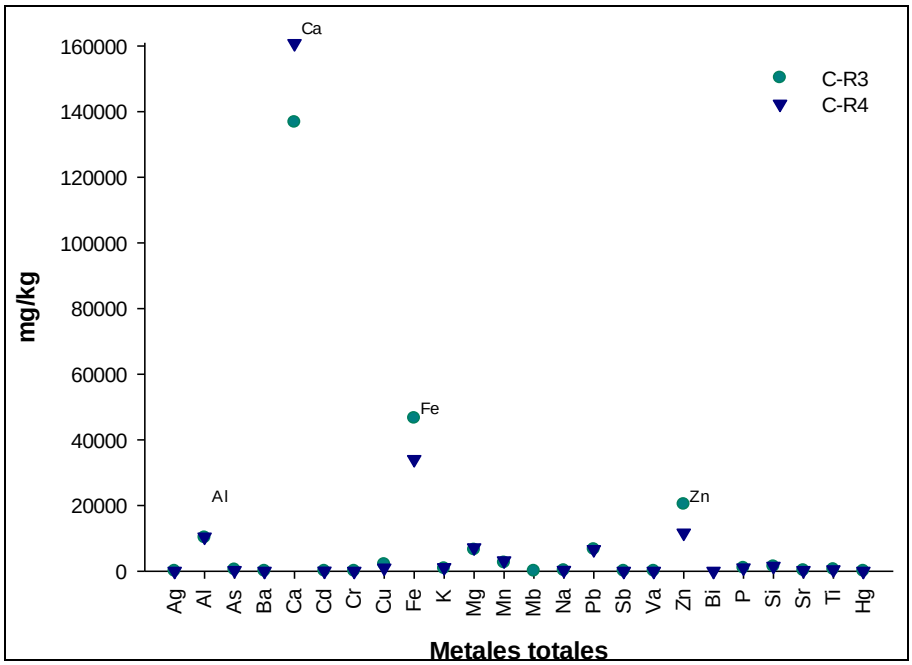


Figura 6-120. Metales totales de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá

- **SPLP**

En la Tabla 6-72, se muestra que, a las condiciones de la prueba, las muestras analizadas presentan altos valores de azufre y calcio en comparación al bario, cobre, estaño, estroncio, magnesio, manganeso, plomo, potasio y sílice. Se precisa que los analitos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de laboratorio.

Tabla 6-72. SPLP de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá

Parámetro (mg/l)	C-R3	C-R4
Azufre	66	104
Bario	0,0302	0,0158
Calcio	75,2	114
Cobre	0,0039	<0,0036
Estaño	<0,035	<0,035
Estroncio	0,014	0,188
Magnesio	0,51	0,99
Manganeso	0,076	0,068
Plomo	0,06	0,03
Potasio	1	1,5
Sílice	4,9	8,6

- **Extracción secuencial de metales por Tessier**

En cuanto a la determinación de biodisponibilidad de metales, en la Figura 6-121, se observa que el plomo, cobre, zinc, manganeso y cadmio se encuentran asociadas a la fracción 2 (enlazados a carbonatos). Asimismo, el hierro, plomo, zinc, manganeso y níquel se encuentran en la fracción 3 (enlazados a oxi-hidróxidos de Fe y Mn); mientras que todos los demás metales de Extracción secuencial se encuentran en la fracción 4 (enlazada a materia orgánica) y fracción 5 (minerales primarios y secundarios).



Figura 6-121. Extracción secuencial de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá

- **ABA**

De acuerdo a los resultados de laboratorio de la prueba ABA, para definir la generación de acidez, se consideró el primer y segundo criterio de análisis, las muestras C-R3 y C-R4 son no generadores de acidez (Figuras 6-122 y 6-123 respectivamente).

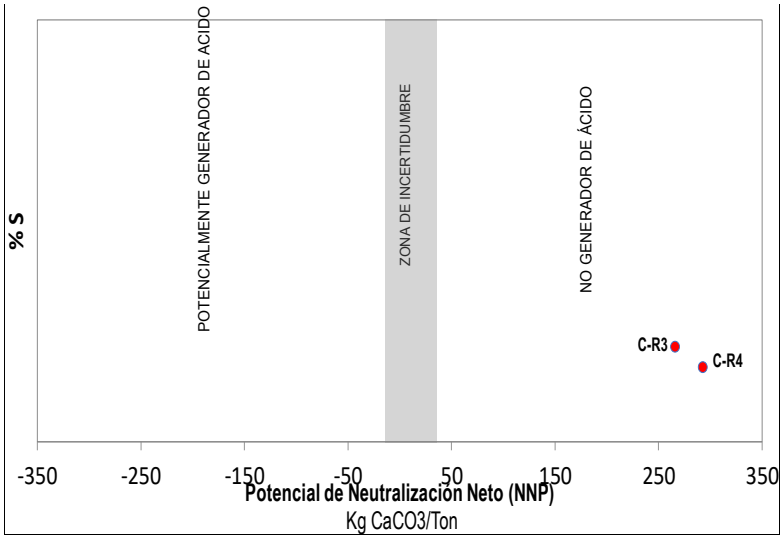


Figura 6-122. Resultados de ABA, según el primer criterio, de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá

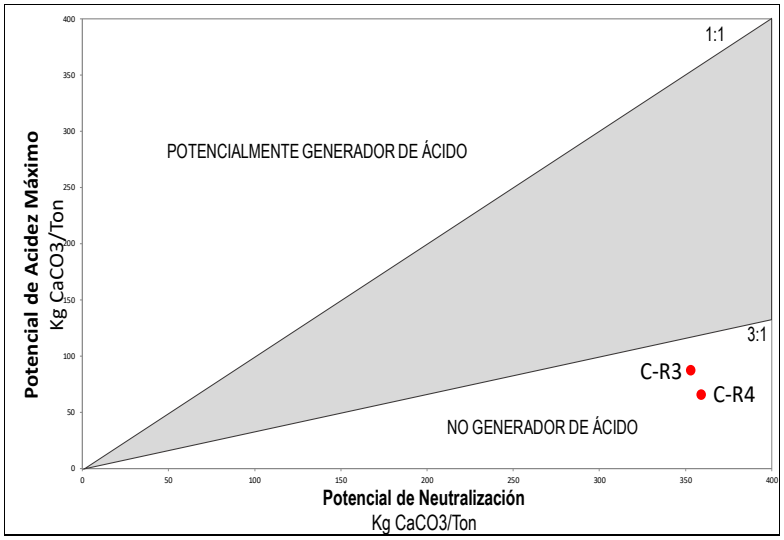


Figura 6-123. Resultados de ABA, según el segundo criterio, de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá

- **Análisis mineralógico**

En el análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1 %. Sin embargo, para muestras con alto contenido de hierro éste se incrementa a 3 % la cuantificación de fases amorfas se evaluó a partir de 20 % de contenido en la muestra. El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

En la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá se tomó una muestra compuesta para análisis mineralógico. La muestra C-R4 está compuesto por 5 puntos, presenta una concentración de anhydrita de 2 %, esfalerita de 3 %, además una concentración de pirita de 2 % (Tabla 6-73).

Tabla 6-73. Análisis mineralógico de la muestra C-R4 de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado aproximado (%)
Calcita	CaCO3	43
Granate (Grosularia)	Ca3Al2(SiO4)3	12
Feldespato – K (Ortoclasa)	KAlSi3O8	10
Cuarzo	SiO2	8
Yeso	CaSO4.2(H2O)	5
Granate (Andradita)	Ca3Fe2(SiO4)3	5
Mica (Muscovita)	KAl2(Si3Al)O10(OH,F)2	4
Plagioclasa (Oligoclasa)	(Ca,Na)(Al,Si)4O8	3
Anhydrita	CaSO4	2
Esfalerita	(Zn,Fe)S	2
Anfibol (Actinolita)	Ca2(Mg,Fe)5Si8O22(OH)2	<L.D.
Pirita	FeS2	<L.D.
Clorita (Clinocloro)	(Mg, Fe)5Al(Si3Al)O10(OH)8	<L.D.
Montmorillonita	(Na,Ca)0,3(Al,Mg)2Si4O10(OH)2 n(H2O)	<L.D.

<L.D.: Menor al límite de detección del laboratorio

6.3.4 Caracterización geológica

Geológicamente el área de estudio está dividida en tres zonas, cuyas edades van del cretácico hasta el cuaternario reciente, representada por rocas ígneas y sedimentarias.

6.3.4.1 Unidades regionales

a. Formación Jumasha

Esta formación está representada por estratificación someramente maciza de calizas grises en estratos variables entre 1 a 2 m. Usualmente se les puede encontrar como secuencias lajosas de calizas oscuras que entran en contacto basal con la formación Pariatambo. Asimismo, constituyen una de las unidades más importantes y características de los Andes Centrales y zona de la cuenca occidental.

Forman parte de esta unidad geológica las lagunas Rupahuay, Locacocha, Niñococha, Santa Ana y Niño Perdido.

b. Formación Celendín

La Formación Celendín forma parte de los núcleos de sinclinales de rumbo NW-SE, que se desplazan a lo largo de la Cordillera de Raura y Yanahuanca. Está constituida por calizas margosas nodulares, pobremente estratificadas, algo homogéneas, las cuales contienen abundantes fósiles, siendo estos últimos responsables de la variación de color. Por otro lado, mencionar que se intercalan con las calizas, estratos de limoarcillitas grises y margas, las que en general dan lugar a una morfología moderada a suave con abundante cobertura de suelos.

Forman parte de esta unidad geológica las lagunas Rupahuay, Caballococha, Tinquicocha y Nieve Ucro.

c. Formación Chimú

Esta formación, litológicamente está conformada por ortocuarcita de grano medio recristalizada, asimismo hacia la base posee capas arcillosas transicionales con lechos de carbón. Por otro lado, la laguna que forma parte de esta unidad es Rupahuay.

6.3.4.2 Zona 1 (microcuenca de la laguna Santa Ana)

a. Lagunas Locacocha y Niñococha

Las lagunas Locacocha y Niñococha son un claro ejemplo de origen e influencia glaciar (nevado Brazini); cuya geomorfología adopta topografías moderadamente abruptas que sobrepasan los 4500 m s.n.m. a consecuencia de procesos de dinámica de erosión sobre las rocas aflorantes (Figura 6-124).

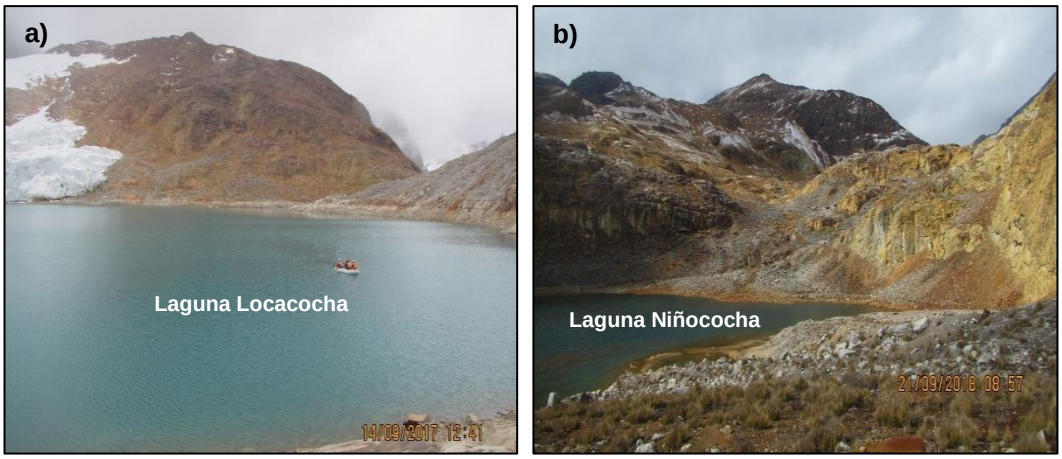


Figura 6-124. Vista panorámica de lagunas a) Locacocha y b) Niñococha

Geológicamente, estas lagunas se encuentran sobre rocas ígneas intrusivas, y hacia el este por sedimentarias y metamórficas. Está representada principalmente por granodiorita, cuyos afloramientos se distribuyen de manera irregular hacia el este de la laguna Locacocha y oeste del depósito de desmonte Niñococha y material dispuesto frente al tajo Primavera. De acuerdo a la descripción macroscópica esta litología es de grano medio a fino y se encuentra intensamente fracturada, posee textura porfirítica compuesta por cuarzo (40 %), plagioclasa (30 %) y minerales accesorios como hornblenda y biotita en menor cantidad (Figura 6-125).

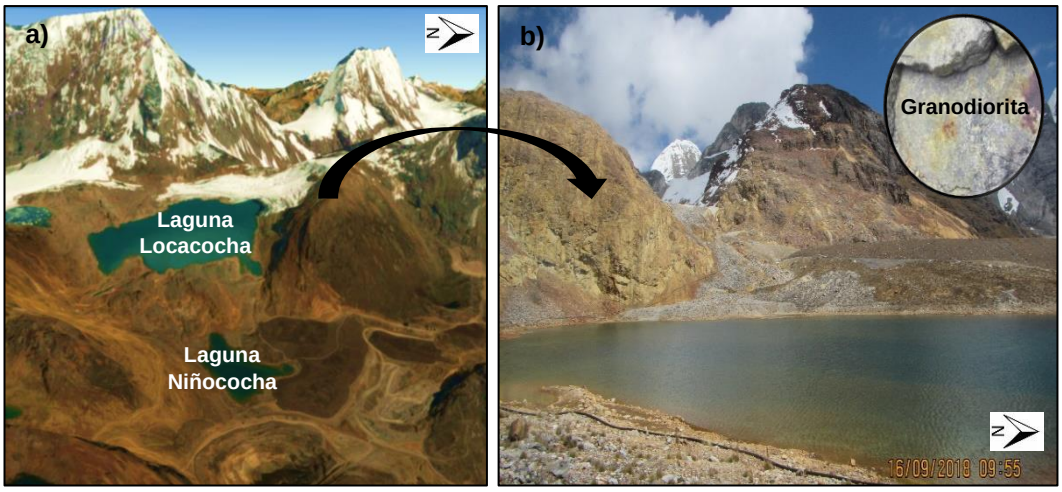


Figura 6-125. Afloramiento de granodiorita adyacente a las lagunas Locacocha y Niñococha

La pigmentación de las granodioritas estaría relacionada al grado de meteorización de las mismas, adquiriendo un color grisáceo en roca fresca; en tanto que por intemperismo adopta coloraciones rojizas (Figura 6-126).

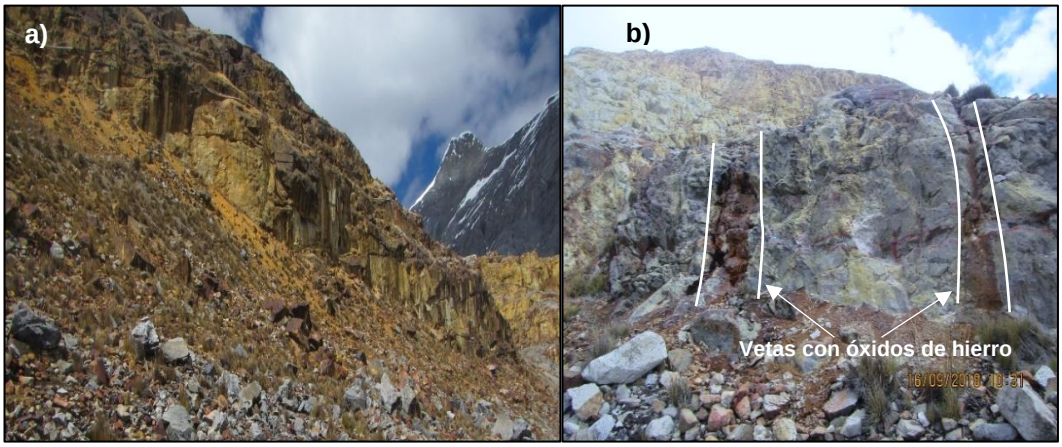


Figura 6-126. a) Afloramiento de roca meteorizada y b) roca fresca con presencia de óxidos de hierro

En cuanto al porcentaje de sulfuros presentes en la roca, se observaron diseminaciones de pirita primaria, calcopirita y galena tanto en matriz, venillas y vetas. Por otro lado, la presencia de granate del tipo grosularia en la matriz, denota el grado de metamorfismo que trajo la escarnificación de la misma (Figura 6-127).

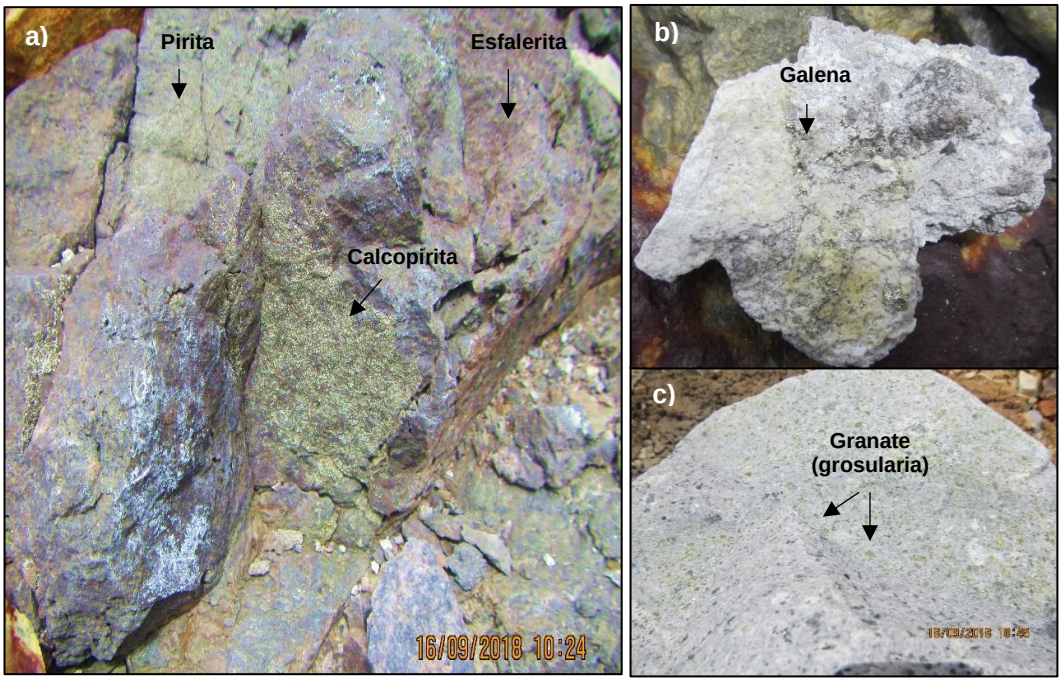


Figura 6-127. Diseminaciones de a) pirita, calcopirita y esfalerita, y b) galena; así como la presencia de c) granate (grosularia en roca granodiorítica)

Como se observa en la Figura 6-128, los afloramientos de cuarzomonzonita se encuentran ubicados al oeste del depósito de desmonte Niñococha, y material material contiguo al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera, y al este de la laguna Locacocha; esta roca se encuentra en contacto con las granodioritas. Superficialmente, dichos afloramientos se encuentran oxidados, tornándose de tonalidades naranjas a rojizas, entrando en contacto con el pórfido cuarcífero.

La orientación NW-SE de las principales estructuras representadas por las fallas Santa Rosa y Puyhuancocha. Responde claramente a la influencia de factores estructurales de orden tectónico, manifestándose de forma clara en los afloramientos, a través del moderado a intenso fracturamiento.

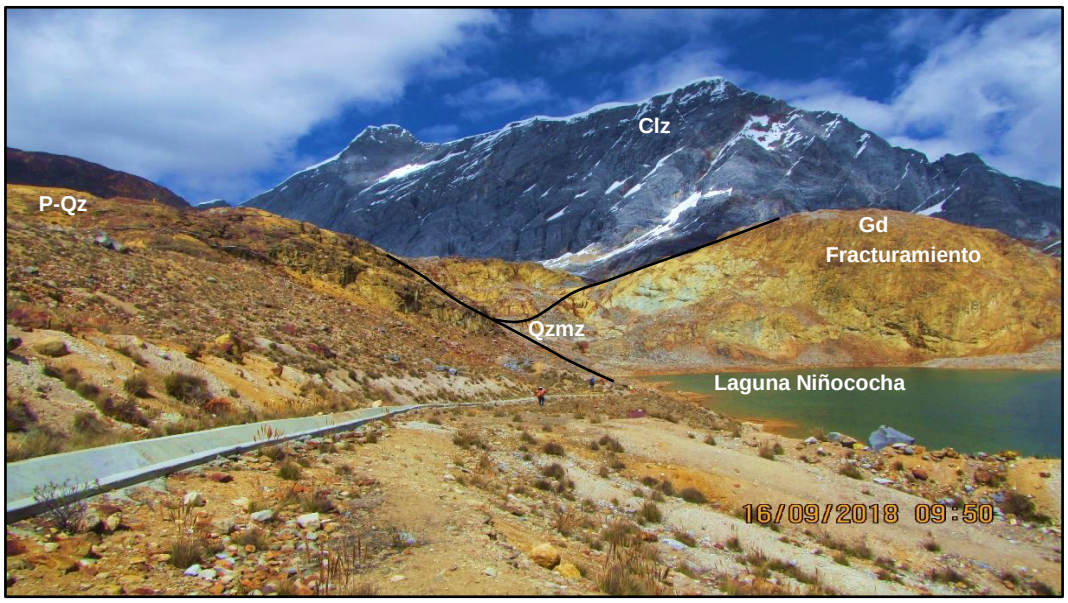


Figura 6-128. Principales afloramientos rocosos en los alrededores de la laguna Niñococha

Como se observa en el perfil geológico A-A', las intrusiones granodioríticas y cuarzomozonitas actúan como barreras naturales entre las lagunas Locacocha y Niñococha (Figura 6-129).

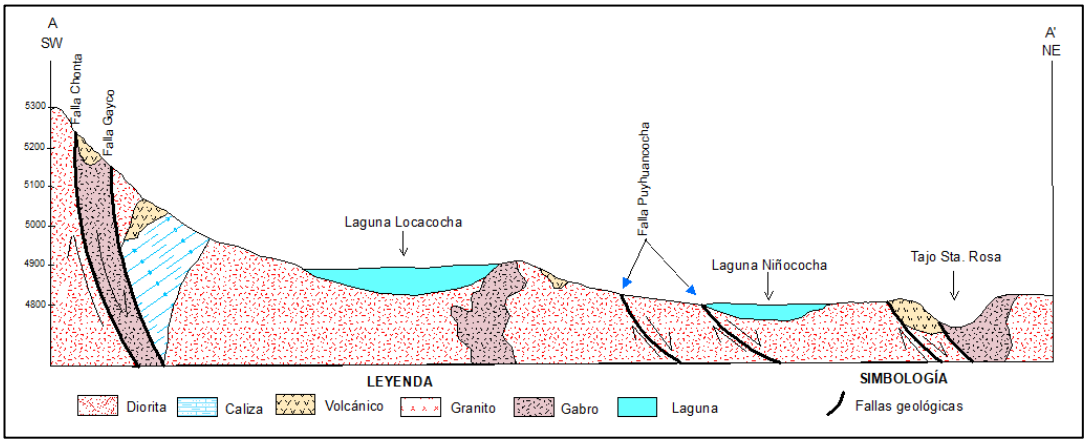


Figura 6-129. Perfil geológico de las lagunas Locacocha y Niñococha

b. Lagunas Niño Perdido y S/N

Las lagunas Niño Perdido y S/N, geomorfológicamente adopta topográfias moderadamente abruptas, producto de los procesos erosivos abrasivos de los glaciares (nevado Niño Perdido). Dichas lagunas fueron originadas por el deshielo y precipitaciones acaecidas a más de 4800 m s.n.m. (Figura 6-130).

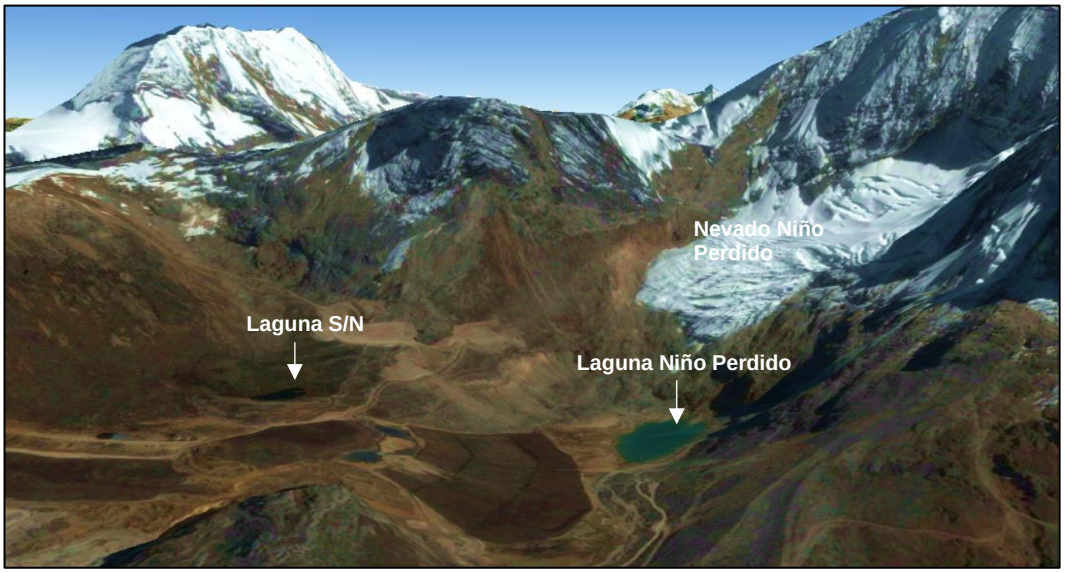


Figura 6-130. Vista panorámica de las lagunas Niño Perdido y S/N

Los afloramientos granodioríticos se desplazan en forma elongada en sentido E-W desde la laguna Niño Perdido hasta la laguna S/N. Por un lado, en la parte baja de la ladera norte de la laguna Niño Perdido, estas rocas se encuentran moderada a altamente fracturadas. Asimismo, está afectada estructuralmente por fallas regionales en sentido NW-SE, denominadas Matapaloma y Nueva Esperanza, en tanto que al NW-SE por la falla Restauradora (Figura 6-131).

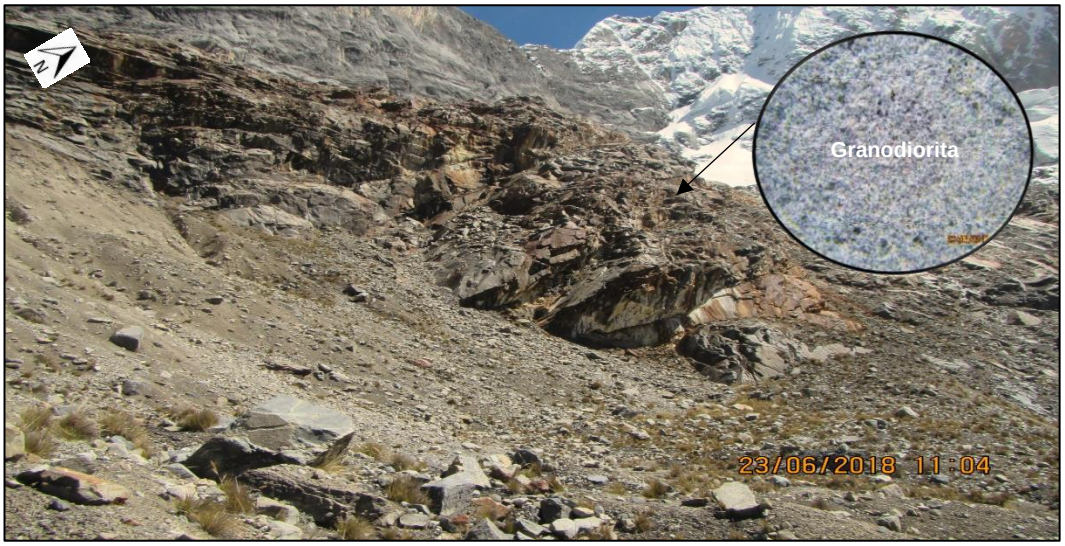


Figura 6-131. Afloramiento de granodiorita adyacente a las lagunas Niño Perdido y S/N

De acuerdo a la descripción macroscópica, la granodiorita tiene una textura porfídica con fenocristales de cuarzo, y el feldespato potásico, plagioclasa y accesorios envueltas en una matriz de grano medio. Por otro lado, posee diseminaciones de esfalerita (marrón y verde), galena, pirita y calcopirita tanto en matriz como en venillas (Figura 6-132).

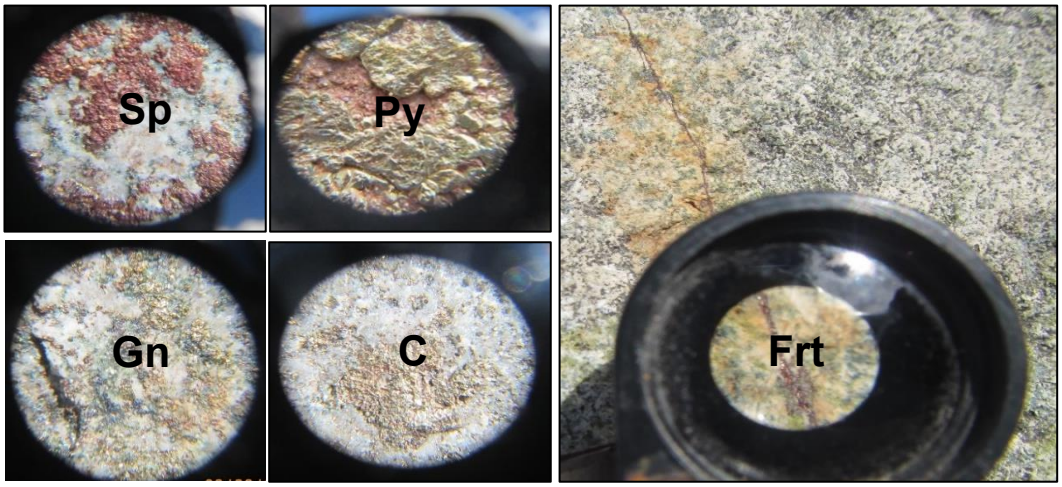


Figura 6-132. Granodiorita con diseminaciones de freibergita (Frt), calcopirita (Cpy), pirita (Py), esfalerita (Sp) y galena (Gn)

c. Laguna Santa Ana

La laguna Santa Ana se encuentra a 4800 m s.n.m. y comprenden una típica morfología de montaña accidentada, además de estar interconectadas entre sí por drenajes provenientes de las partes altas donde se ubican los glaciares (Figura 6-133). Litológicamente hacia el W se encuentra representada por granodioritas, cuyos afloramientos siguen la misma franja que las lagunas Niño Perdido y S/N.

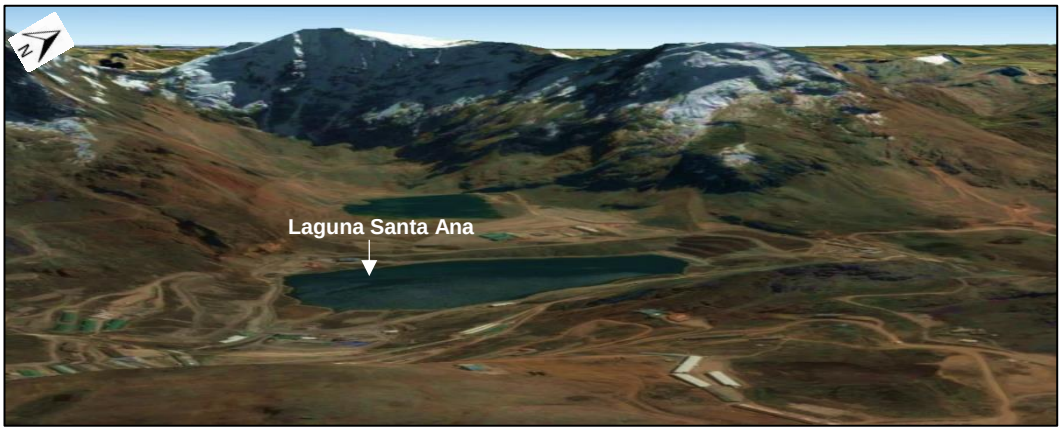


Figura 6-133. Afloramiento de granodiorita adyacente a la laguna Santa Ana

La laguna Santa Ana está limitada en sus bordes SE por rocas clásticas, representadas por las formaciones Jumasha y Celendín. La primera de ellas, está representada por una sucesión de secuencias de calizas *waskestone* con espesores que superan los 3 metros. Mientras que, los estratos estratigráficos ubicados a la base son generalmente calizas *packstone* de color gris. Asimismo, los rasgos estructurales están representados por las fallas regionales Raura y Oblicua en sentido NE-SE y SE-NE respectivamente (Figura 6-134).

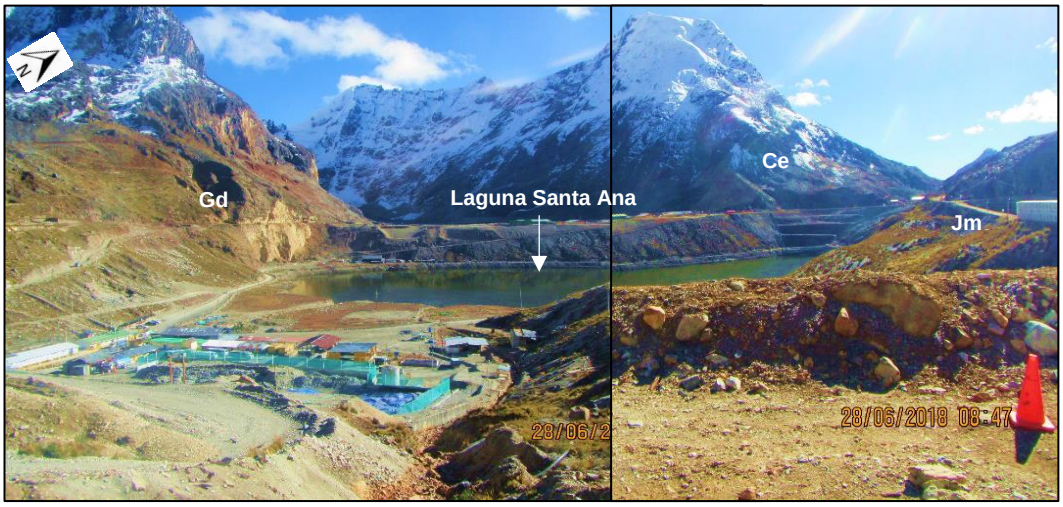


Figura 6-134. Afloramiento de calizas pertenecientes a las formaciones Celendín (Ce), Jumasha (Jm) y hacia el W las granodioritas (Gd)

6.3.4.3 Zona 2 (microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha)

a. Lagunas Caballococha, Nieve Ucro I, II y Laguna 3

Geomorfológicamente estas lagunas se encuentran en aproximadamente a 4500 m s.n.m., cuyas aguas se insertan sobre los afloramientos de calizas pertenecientes a las formaciones Celendín (Ce) y Jumasha (Jm). Esta unidad ofrece topográficamente rasgos uniformes en cuanto a pendiente, resultado de ello, es la disposición moderadamente horizontal de los estratos de caliza, asimismo el resultado del modelado morfológico se debería a superficies de erosión que se desarrollaron sobre las mismas (Figura 6-135).



Figura 6-135. Vista panorámica de las lagunas Caballococha, Nieve Ucro I y II

Las lagunas Nieve Ucro I, II y Laguna 3 se encuentran aguas arriba de los depósitos de relave Nieve Ucro I (revegetado) y II, comportándose las rocas clásticas pertenecientes a las formaciones Jumasha y Celendín como barreras naturales. Estas rocas son de color gris, posee nódulos de intercrecimiento a partir del material calcáreo e intercalaciones de calizas bituminosas. Además, en la laguna Caballococha la presencia de erosión y dilución, se hallan distribuidas en varios tramos a lo largo de

las lagunas, que se representan a manera de crestas o retoques erosivos posteriores, tal como se puede observar en la Figura 6-136.



Figura 6-136. Afloramiento de caliza producto de erosión y dilución de la laguna Caballococha

En cuanto a las fallas regionales que sobrepasan por esta zona, están representadas por la falla Raura y Tinquicocha. Siendo estas estructuras las causantes de la inclinación de los estratos, así como también de los fallamientos locales y fracturamientos.

b. Laguna Tinquicocha

La mayor parte de esta laguna, está conformada por un relieve típicamente glaciar a 4500 m s.n.m, constituido por perfiles de valles en U, cuyo orígen se debe a los retrocesos y valles glaciares. Hacia el E afloran las calizas pertenecientes a las formaciones Jumasha y Celendín, mientras que al oeste representada por granodioritas (Figura 6-137).



Figura 6-137. Vista panorámica de la laguna Tinquicocha

Las calizas aflorantes son de color gris, constituida por alternancias de bancos que aumentan su potencia hacia las partes altas. Usualmente está constituida por laminaciones finas que adquieren contactos ondulados con las calizas bituminosas grises (Figura 6-138).

Hacia el oeste se encuentran aflorante las granodioritas de aspecto masivo de color gris claro, de grano medio a grueso; en cuanto los minerales presentes se encuentra la plagioclasa, cuarzo y minerales accesorios. Por otro lado, mencionar que estructuralmente se ven afectadas por una falla regional Tinquicocha, la cual sigue una dirección norte-sur.



Figura 6-138. Afloramiento de caliza adyacente a la laguna Tinquicocha

6.3.4.4 Zona 3 (microcuenca de la laguna Rupahuay)

a. Laguna Rupahuay

Esta laguna se localiza a 4300 m s.n.m y forma parte de la cordillera Occidental. Geomorfológicamente está emplazada sobre calizas pertenecientes a las formaciones Jumasha y Celendín. Las secuencias intercaladas de caliza *mudstone* y *packstone* de color negro dispuestas en estratos delgados de 10 a 30 cm de espesor, terminan con estratos potentes, de hasta 5 m de brechas sedimentarias con clastos angulosos de caliza *packstone* y *grainstone* unidos por una matriz escasa de limolita calcárea. La forma angulosa y definida de estos clastos indican que fueron transportados cuando ya se encontraban consolidados (Figura 6-139).

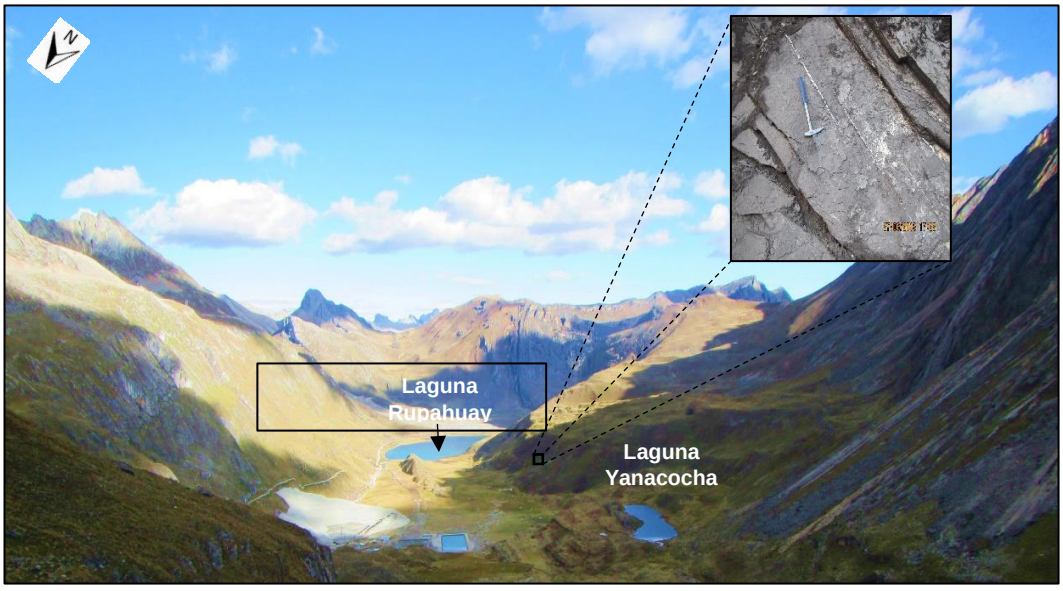


Figura 6-139. Vista panorámica de las lagunas Rupahuay y Yanacocha

Hacia el E de las lagunas Rupahuay y Yanacocha (Figura 6-139), se pudo observar que los estratos de caliza *packstone* poseen nódulos de intercrecimiento, cuya forma lenticular se desarrolla a partir de la concentración de material calcáreo alrededor de un fragmento fósil, sílice u otro material. En la Figura 6-140, se puede observar fósiles (anmonite), característico de la formación Jumasha.



Figura 6-140. Presencia de anmonites en calizas adyacentes a la laguna Rupahuay

7. DISCUSIONES

La presente evaluación tuvo como objetivo principal evaluar la calidad ambiental e identificar las posibles fuentes de alteración en el área de influencia de la unidad minera Raura para lo cual se evaluaron las matrices agua, sedimento, suelo y comunidades hidrobiológicas; así como, la caracterización de componentes mineros y prospección geofísica. El área evaluada fue dividida en tres zonas, tal como se muestran en la Figura 7-1.

- **Zona 1 -** Microcuenca de la laguna Santa Ana; conformado por quebrada S/N 1, quebrada S/N 5, quebrada S/N 8, quebrada S/N 9 y quebrada S/N 10 las lagunas Locacocha, Sin nombre, Niñococha, Niño Perdido y Santa Ana; así como, surgencias.

- **Zona 2 -** Microcuenca de las lagunas Caballococha y Tinquicocha; conformado por quebrada S/N 2, quebrada S/N 3, quebrada S/N 4 y quebrada S/N 11, lagunas Siete Caballeros, Caballococha, Nieve Ucro y Tinquicocha; así como, surgencias.

- **Zona 3 -** Microcuenca de la laguna Rupahuay; conformado por la quebrada S/N, quebrada Yanco, quebrada Chaco, quebrada S/N 6, quebrada S/N 7 y río Quichas y lagunas Rupahuay, Yanacocha y Rumbrococha; así como, surgencias.

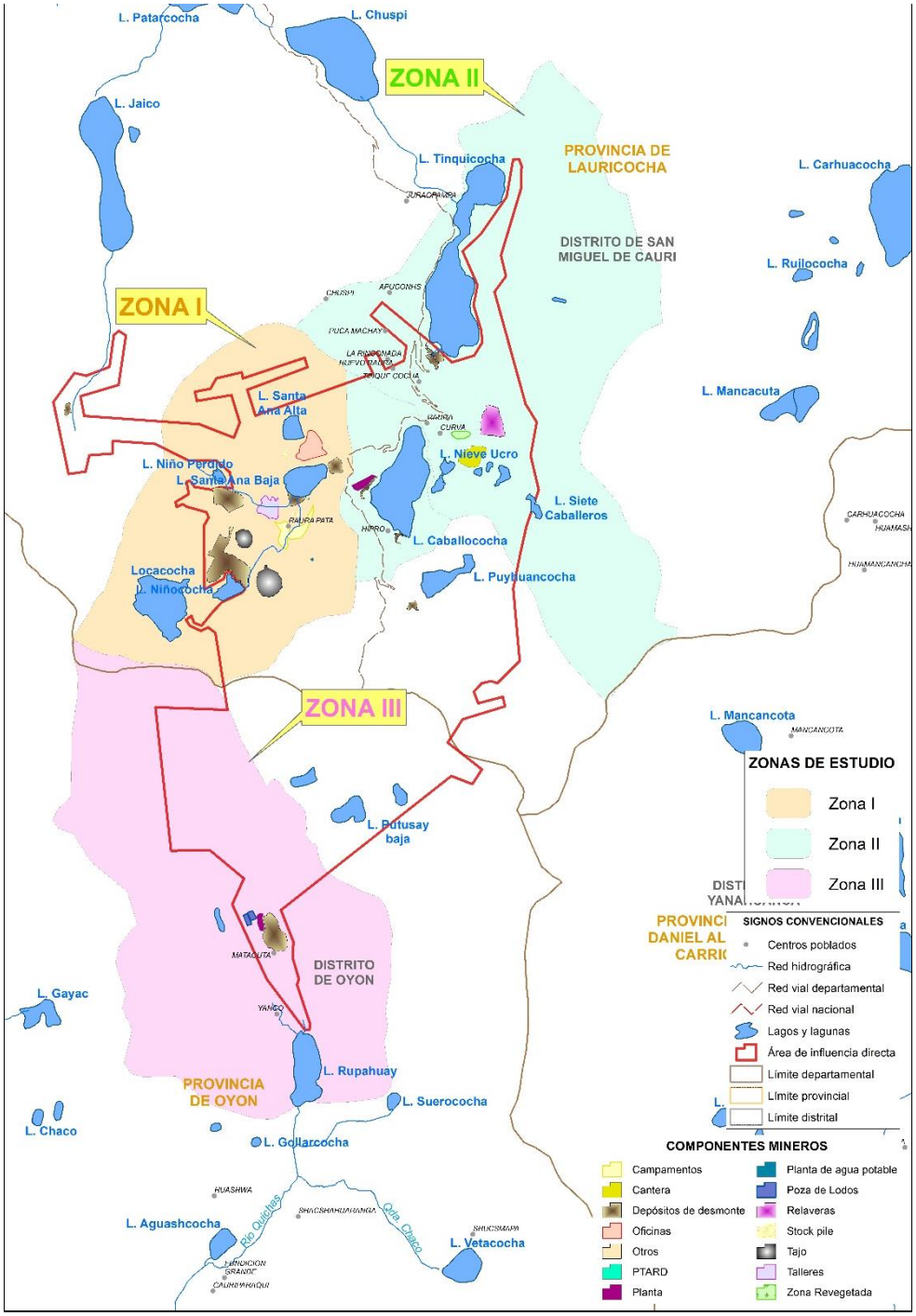


Figura 7-1. Zonas de estudio en el área de influencia de la unidad minera Raura

7.1 Zona 1 - Microcuenca de la laguna Santa Ana

Para el análisis de las discusiones de la zona 1 se consideró los ámbitos de las lagunas Niño Perdido, Niñococha y Santa Ana, donde se ubican los depósitos de desmonte Niño Perdido, Niñococha, Raura y Catuva; así como, los tajos Primavera y Niño Perdido. En la Figura 7-2 se observa la distribución de los puntos de muestreo de agua en la zona 1.

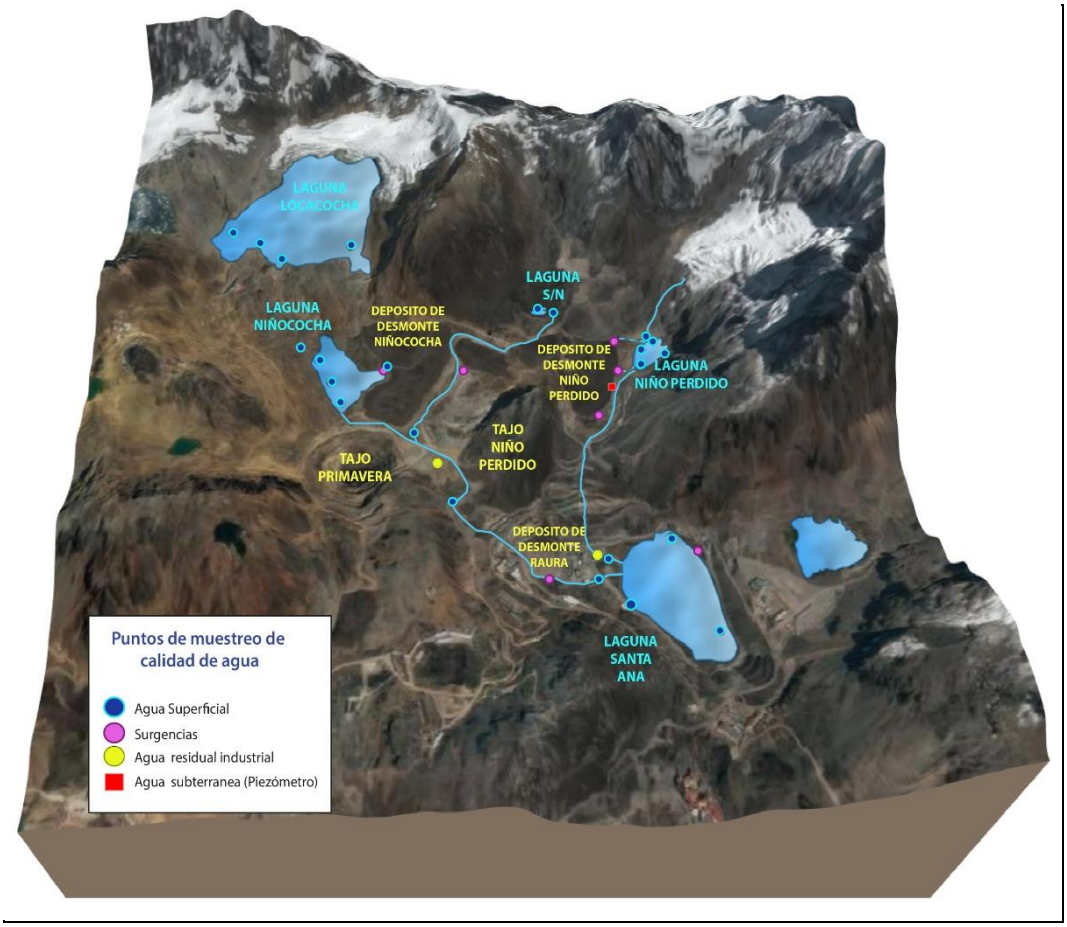


Figura 7-2. Distribución de puntos de muestreo de agua en la zona 1

Ámbito de la laguna Niño Perdido

La caracterización geoquímica del depósito de desmonte Niño Perdido indicó que hay mayor concentración de calcio, hierro, aluminio y magnesio, en comparación al arsénico, cadmio, manganeso, plomo entre otros metales; asimismo, las pruebas de SPLP[50] nos indican la mayor movilidad de calcio y azufre en comparación a los otros metales. Además, el análisis de extracción secuencial (Tessier) en el componente mostró que el hierro, plomo y manganeso están biodisponibles y se encuentran asociados a la fracción 2 (*i.e.* enlazado a carbonatos), y según la prueba ABA[51] este material no es generador de acidez en su parte superficial[52]; sin embargo, de acuerdo con la caracterización geoquímica realizado por CMR S.A.[53] *«La estación D-NP*

50 Procedimiento de lixiviación por precipitación sintética - SPLP (*synthetic precipitation leaching procedure*).
51 Prueba de balance ácido-base ABA.
52 La profundidad de muestreo varió entre 0,30 y 1,30 m.
53 Primera Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura, aprobado mediante R.D N.° 523-2014-MEM-DGAAM, con fecha 17 de octubre de 2014. Folio 000522.

presenta la clasificación Probable Potencial para producir acidez, por presentar el valor de PN/PAM < 1 (probablemente produce acidez a menos que sulfuros no sean reactivos)», además el PAMA (1997)[54] indica que una de las muestras del depósito de desmonte Niño Perdido (Pit Waste Rock – White) presentó un potencial neto de neutralización de -27 kg/tn de $CaCO_3$ y un ratio NP/AP de 0,6, lo que indica que el material es potencial generador de acidez.

En la parte baja del depósito de desmonte Niño Perdido se identificó la surgencia FNiñP-1 (Figura 7-3 b) y c)), que es producida por la infiltración de las aguas de lluvia en el depósito de desmonte, las cuales fluyen a nivel subsuperficial y, posteriormente, emergen a la superficie. Esto último se desprende del perfil geofísico LTR-4 realizado al pie del desmonte Niño Perdido (Figura 7-3 a)).

Asimismo, se evidenció la surgencia FNiñP-2 (Figura 7-3 d)), cuyo origen no fue verificado.

Además, se verificó una tubería enterrada (Figura 7-3 e)), cuyo origen no se evidenció, de la cual descargaba agua (FNiñP-3) hacia una poza de mampostería que, a su vez, presentó una rampa por la cual discurren estas aguas hacia el suelo contiguo hasta infiltrarse en este. Cabe mencionar que en el suelo próximo a la descarga de las aguas de rebose de la mampostería (API_NNP2_9), no se registró concentraciones de metales que excedieran los ECA para suelo de uso industrial.

Respecto a las surgencias FNiñP-2 y FNiñP-3, se requieren mayores estudios técnicos para determinar su procedencia.

[54] Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la Unidad de Producción Raura, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 271-97-EM/DGM.

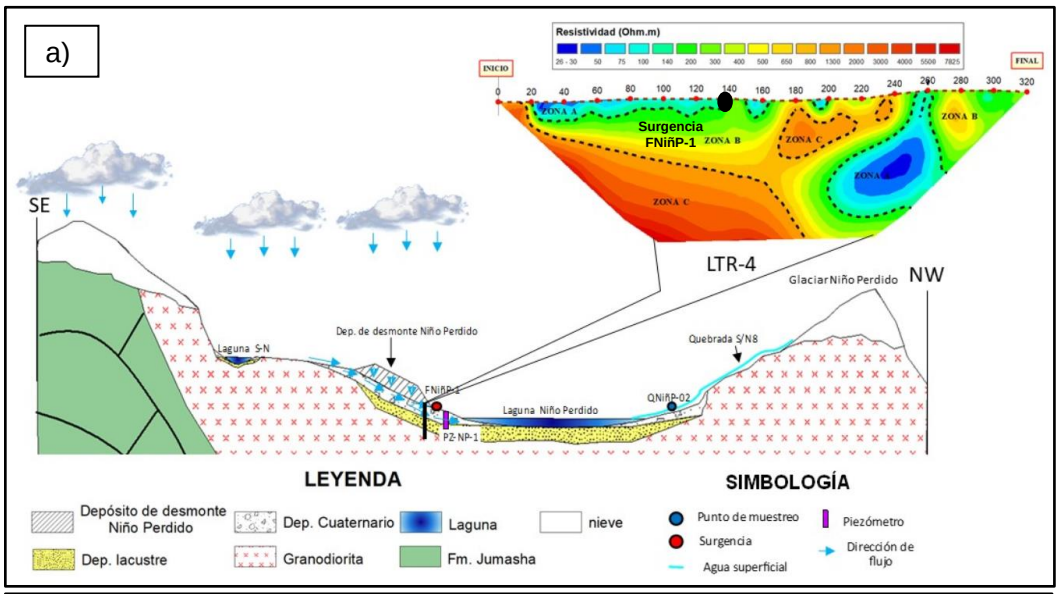


Figura 7-3. a) Perfil litológico en dirección W-E y la línea de tomografía LTR-4 en el sector Niño Perdido, surgencia b) Vista panorámica de punto FNiñP-1, c) FNiñP-1, d) FNiñP-3, e) FNiñP-2, f) Poza de mampostería hacia donde descarga la tubería del punto FNiñP-3, y g) Vista de la poza con acumulación de agua

La surgencia FNiñP-1, presentó mayores concentraciones de cobre (0,13994 mg/L), plomo (0,3661 mg/L) y zinc (1,492 mg/L), así como, cadmio disuelto (0,00086 mg/L) en comparación con los puntos evaluados en su entorno (FNiñP-2, FNiñP-3).

De otra parte, tanto el agua de la surgencia de la parte baja del depósito Niño Perdido (FNiñP-1), así como los desmontes, presentan la misma composición de metales por lo que dicha surgencia sería un flujo de sustancia líquida[55] que se estaría vertiendo al suelo en su calidad de cuerpo receptor, por lo que tiene la condición de Efluente Líquido de Actividades Minero–Metalúrgicas conforme a lo establecido en el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

Al respecto, en setiembre de 2017 se observó que dicho efluente descargaba en la laguna Niño Perdido. En dicha oportunidad, el efluente fue identificado con el punto QNiñP-01 (Figura 7-4).



Figura 7-4. Punto de muestreo QNiñP-01 que descarga a la laguna Niño Perdido
Fuente: Informe N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME.

Al comparar los valores obtenidos del efluente FNiñP-1 con el LMP para Efluente Minero– Metalúrgico, se evidenció que este excedió los valores para los parámetros SST en 750% y plomo en 83,1%, teniendo estos parámetros un riesgo ambiental.

Respecto a la evaluación de suelos, las áreas de potencial interés Niño Perdido 1 (API_NNP) y Niño Perdido 2 (API_NNP2) se encuentran sobre la unidad no edáfica clasificada como Misceláneo Roca (MR), constituida por exposiciones de roca (afloramiento lítico) y por depósitos de escombros o detritos rocosos poco consolidados que se presentan en las laderas de las colinas y montañas entre 25-50 % de pendiente. Además, contiguo a los tajos Primavera y Niño Perdido, se ubica el área de potencial interés Primavera (API_TP) sobre la asociación de suelos: Central-Raura (Ce-Ra).

En las Figuras 7-5 a), b), c) se presentan los isovalores de las concentraciones de arsénico y cadmio, en el API_NNP_6, y plomo, en el API_NNP2_10, distribuidos en los API Niño Perdido 1 y 2 que excedieron los ECA para suelo industrial/extractivo (2013) y los isovalores de las concentraciones de aluminio, hierro, manganeso, calcio

55 Dicho flujo se observó durante las evaluaciones del 2017 y 2018, por lo que tendría una condición regular; sin embargo, no se midió el caudal debido a que la parte baja del depósito de desmonte se encontraba saturado con presencia de flujos dispersos.

(Figura 7-5 d), e), f), g)). Asimismo, se presentan las concentraciones de plomo en el API Niño Perdido 1 y 2, en la Figura 7-6.

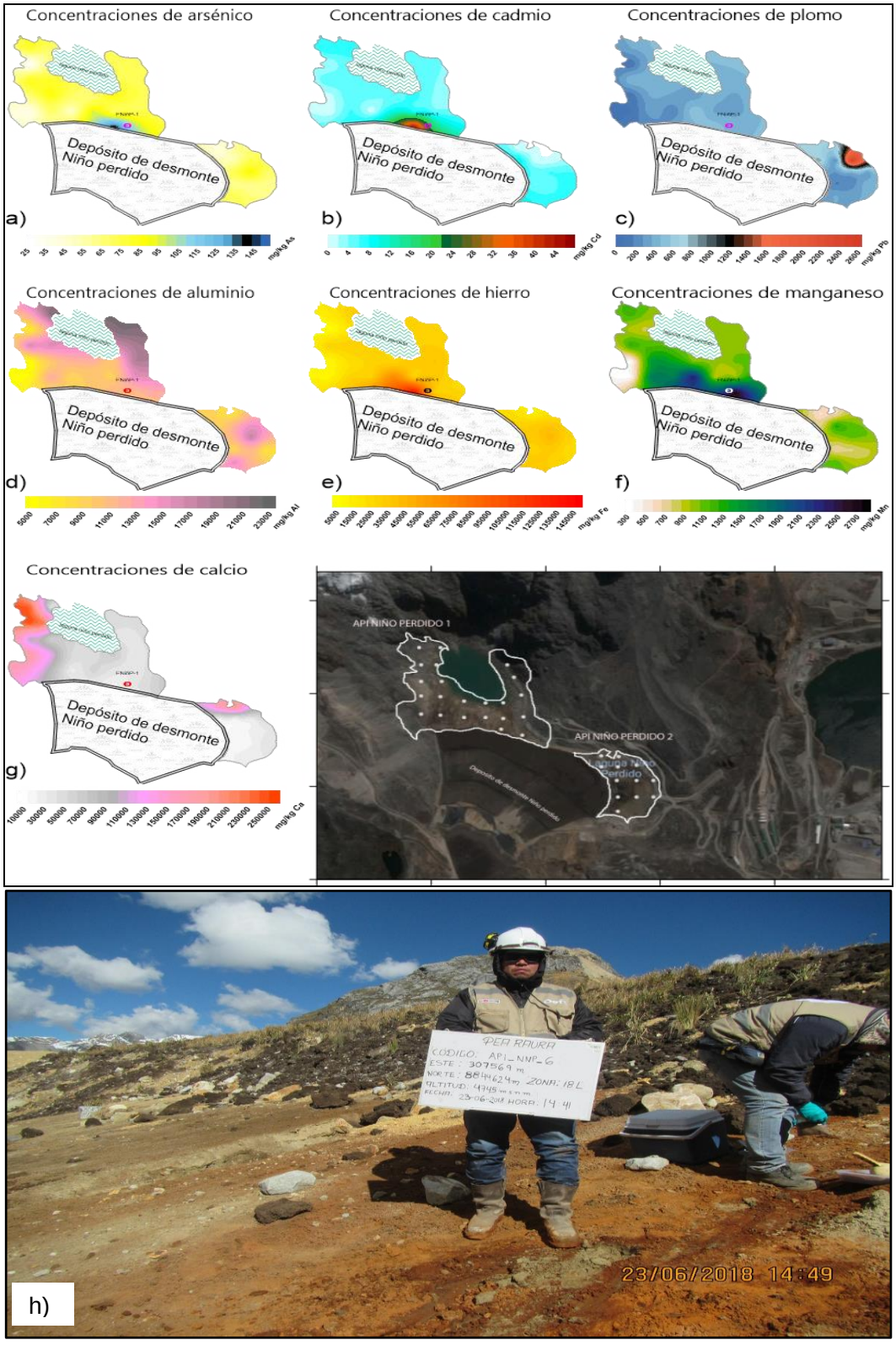


Figura 7-5. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) plomo, d) aluminio, e) hierro, f) manganeso, g) calcio en los API Niño Perdido 1 y 2, y h) Vista fotográfica del punto API_NNP_6 y su proximidad al depósito de desmonte Niño Perdido

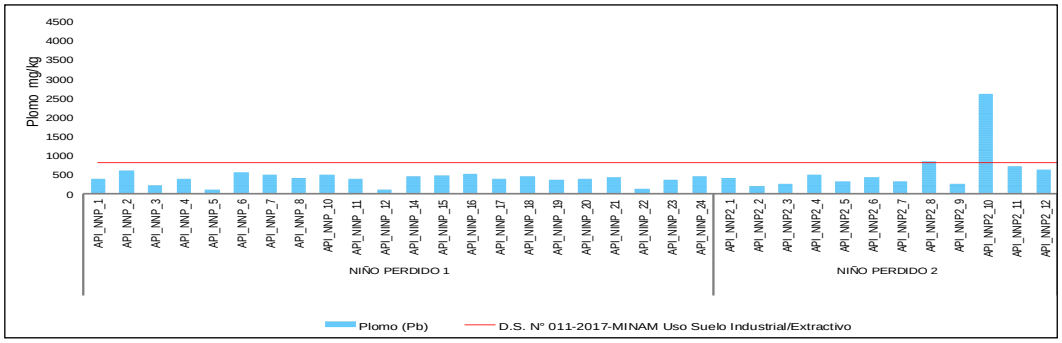


Figura 7-6. Concentraciones de plomo de los API Niño Perdido 1 y 2, comparados con los resultados del Informe de identificación de sitios contaminados de la UM Raura

En el perfil de la línea de tomografía eléctrica LTR-4 (Figura 7-3 a)), realizada al pie del depósito de desmonte Niño Perdido, se identificó la zona A que corresponde a valores bajos de resistividad (de 26 a 140 Ω.m); los cuales estarían relacionados a un material lacustre formado por intercalación de arenas, limos y gravas con alto grado de humedad con espesores variables de 4 a 12 m, estos materiales estarían favoreciendo la infiltración de los metales registrados en el depósito hacia las aguas subterráneas; la cual se evidencia en el piezómetro PZ-NP-1 que registró concentraciones de aluminio, hierro, manganeso, arsénico y plomo que excedieron los ECA para agua (2008), categoría 3, al ser comparados referencialmente. El nivel freático del agua subterránea en este piezómetro fue de 10,7 m. Otra fuente de infiltración se observa entre las estaciones 200 a 260 m de esta línea (zona A), en donde también se observó bajas resistividades entre 30 y 50 m de profundidad, lo que estaría asociado a la Falla Restauradora de dirección NW-SE.

Los parámetros de los puntos LNiñP-01, LNiñP-02, LNiñP-02-F, LNiñP-03 y LNiñP-04, de facies sulfatadas cálcica, cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA); además, de la comparación referencial con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), la concentración de plomo excedió en todos los puntos evaluados los valores establecidos en dicha norma (Figura 7-7). Además, se observa una disminución de la concentración del plomo y otros metales en comparación con los resultados obtenidos en el 2017[56]. Dicha disminución estaría influenciada por el ingreso de agua a la laguna producto deshielo del glaciar (QNiñP-02) que presentó un caudal de 0,57 l/s.

[56] Informe N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME.

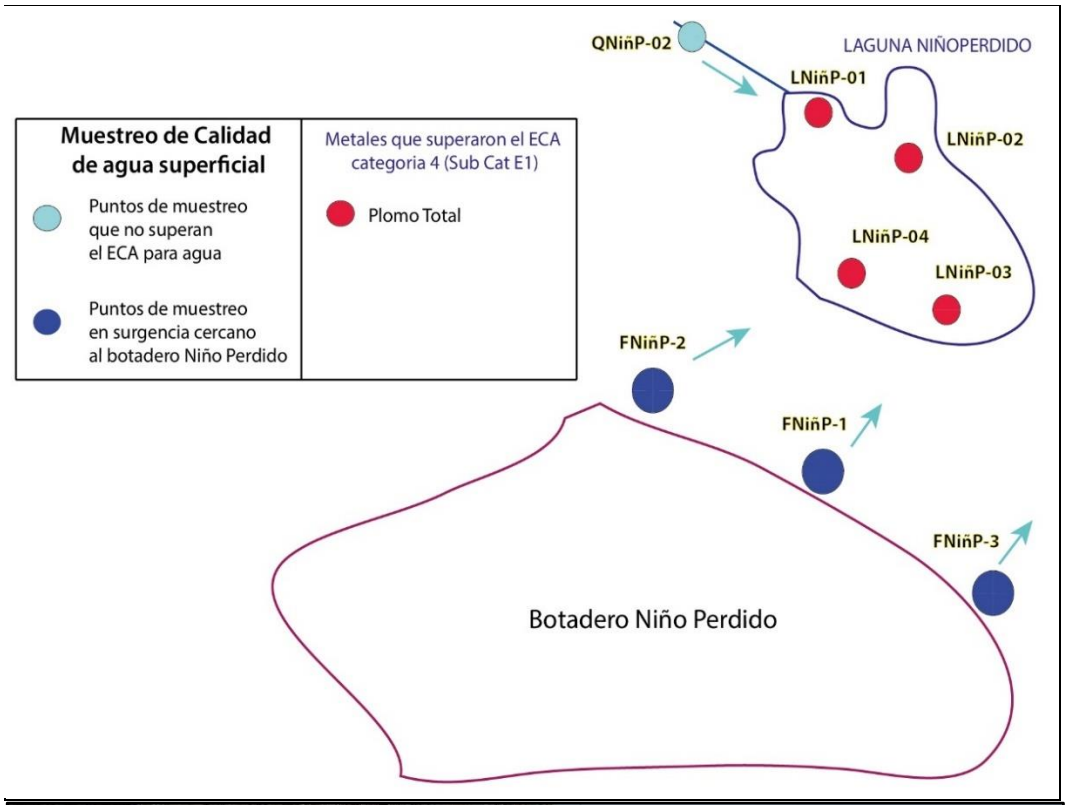




Figura 7-7. a) Distribución de puntos en el ámbito de la laguna Niño Perdido, y b) Ingreso a la laguna Niño Perdido proveniente del deshielo del glaciar

Las concentraciones de cadmio, plomo y zinc al ser comparados referencialmente con el valor PEL de la guía canadiense excedieron los valores establecidos en esta norma en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (3 puntos) y 2018 (3 puntos). Además, estos metales se encuentran clasificados de *«No contaminado a moderadamente contaminado»* en los 6 puntos evaluados en esta laguna; a excepción del plomo en el punto LNiñP-SED-04 que se clasificó de *«Moderadamente contaminado»* (Figura 7-8).

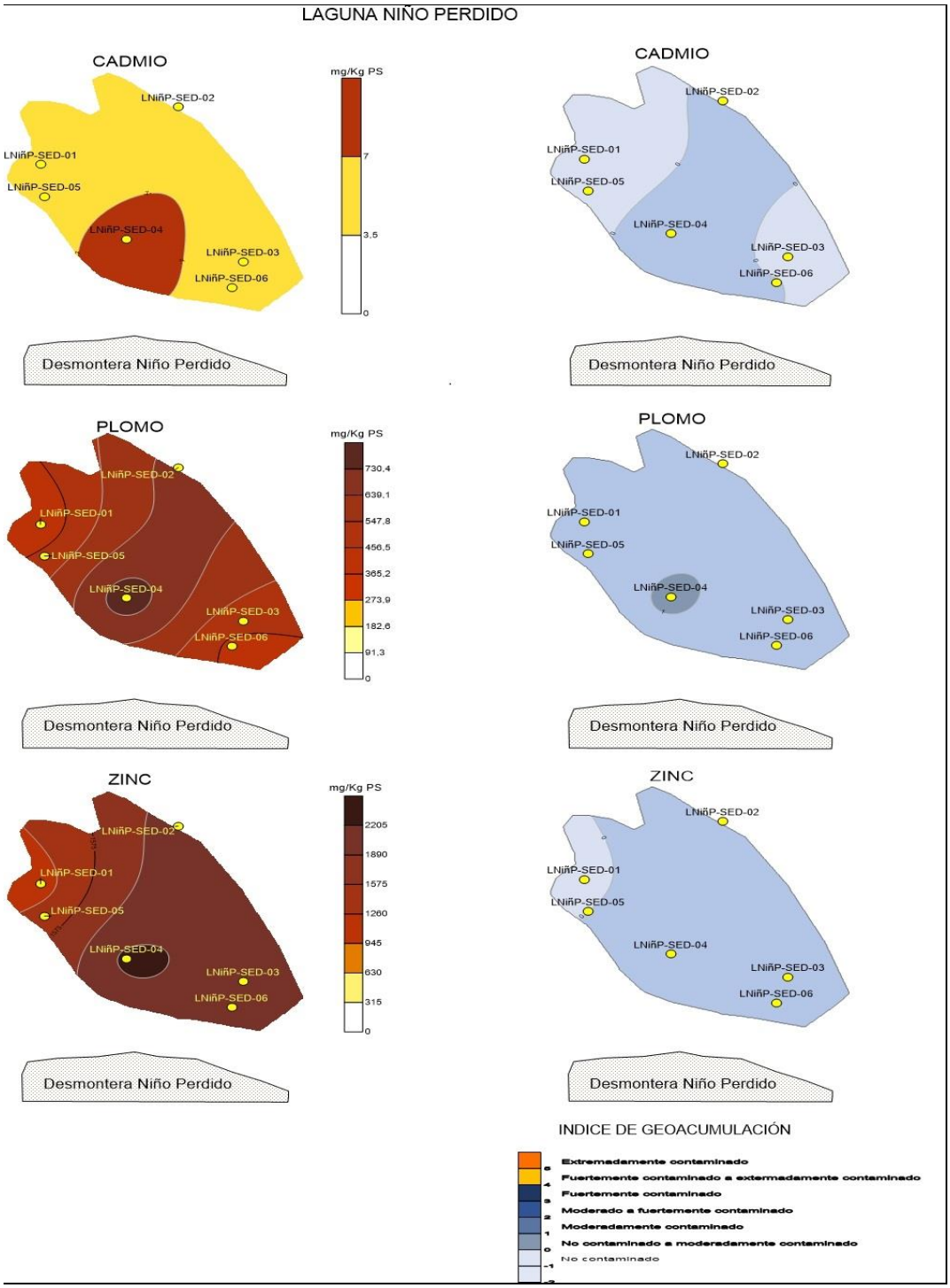


Figura 7-8. Concentraciones de cadmio, plomo y zinc e índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Niño Perdido

El fitoplancton de la laguna Niño Perdido aumentó en riqueza y densidad con relación al 2017[57], registrándose 6 phyla (2018) y 3 phyla (2017). En 2018 las especies más abundantes fueron *Cosmarium botrytis* y *Eucapsis microscopica*. Además, los metales plomo y zinc disminuyeron su concentración en el agua en relación con lo

[57] Informe N.° 100-2017-OEFA/DE-CEAME, aprobado el 26 de diciembre de 2017.

reportado en 2017; que podría estar favoreciendo el desarrollo de las comunidades de fitoplancton, como se sabe ambos metales están relacionados con el desarrollo celular (Wong y Chau, 1990). Cabe mencionar que, el zooplancton no registró ninguna especie en 2017 y 2018 (Figura 7-9) a pesar de la presencia del fitoplancton en la laguna.

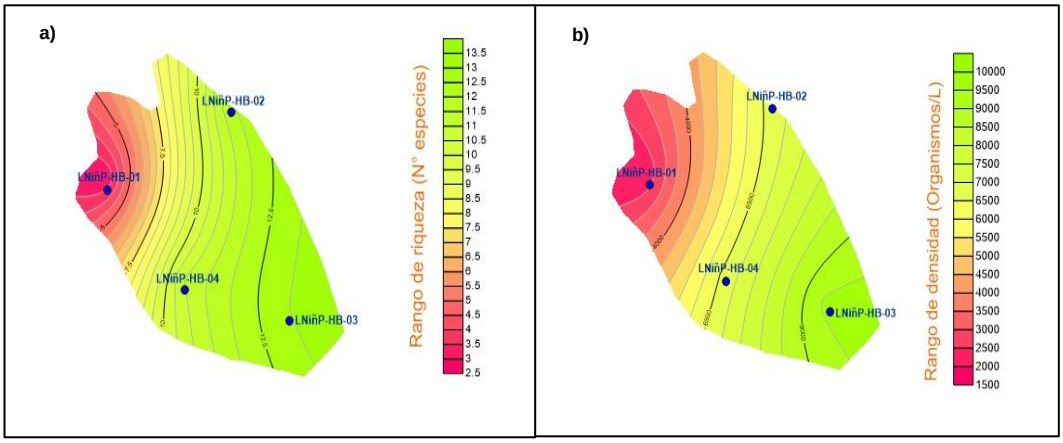


Figura 7-9. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Niño Perdido

De lo expuesto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna materia de análisis (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

Ámbito de la laguna Niñococha

En el ámbito de la laguna Niñococha se ubica el depósito de desmonte Niñococha[58], cuya caracterización geoquímica en la muestra colectada entre 0,30 a 1,30 m de profundidad (C-NC3 y C-NC4) presentaron concentraciones de aluminio, hierro, magnesio, cadmio, níquel, plomo y zinc; además, la prueba SPLP y análisis de extracción secuencial de metales pesados (Tessier) indican que las concentraciones de azufre, cadmio, calcio, cobre, hierro, plomo y zinc están móviles en medios ácidos. Asimismo, la prueba ABA según lo reportado por CMR S.A. indica que el material de este depósito es potencial generador de acidez[59].

En la parte baja del depósito de desmonte Niñococha se identificó una surgencia que emerge en el punto FNiñC-1 y desemboca en la laguna Niñococha, conforme se aprecia en el registro fílmico (Anexo 6 [videos]). Esta surgencia se produce por la infiltración del agua de lluvia en el depósito de desmonte, la cual fluye a nivel subsuperficial y emerge en el punto FNiñC-1(Figura 7-10 b)); esto último se desprende del perfil geofísico LTR-12 realizado en el desmonte Niñococha (Figura 7-10 a)).

Al respecto cabe mencionar que en la Actualización del Plan de Cierre de la unidad minera Raura, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AAM, se indica que: *«A pesar que existe un retiro del pie del depósito de desmonte a la laguna Niñococha, las infiltraciones generadas por las lluvias pueden afectar dicha laguna.*

58 Según el Informe N.° 192-2017-MEM-DGAAM/DNAM/DGAM/PC, aprobado el 27 de abril de 2017, indica que el depósito de desmonte Niñococha se encuentra cerrado (Informe Semestral 2012-1).

59 Primera Modificatoria del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura, aprobado mediante R.D N.° 523-2014-MEM-DGAAM, con fecha 17 de octubre de 2014.

La posibilidad de crecimiento se puede direccionar hacia la zona Norte» (2013: 120). En otras palabras, del estudio presentado por la propia CMR S.A. se advierte el riesgo ambiental que el depósito de desmonte Niñococha pueda afectar la laguna del mismo nombre por la infiltración de las aguas de lluvia.

Además, cercano a dicha surgencia se evaluó los puntos QNiñC-01[60], canal que colecta la escorrentía del depósito de desmonte (Figura 7-10 c)), y QNiñC-04, quebrada que ingresa a la laguna Niñococha proveniente del sector donde se ubica la laguna Locacocha; el origen de esta quebrada se genera por surgencia de la laguna Locacocha.

[60] Cabe precisar que, como resultado de la evaluación, no fue posible determinar la razón de las concentraciones de sulfatos y plomo en el punto QNiñC-01.

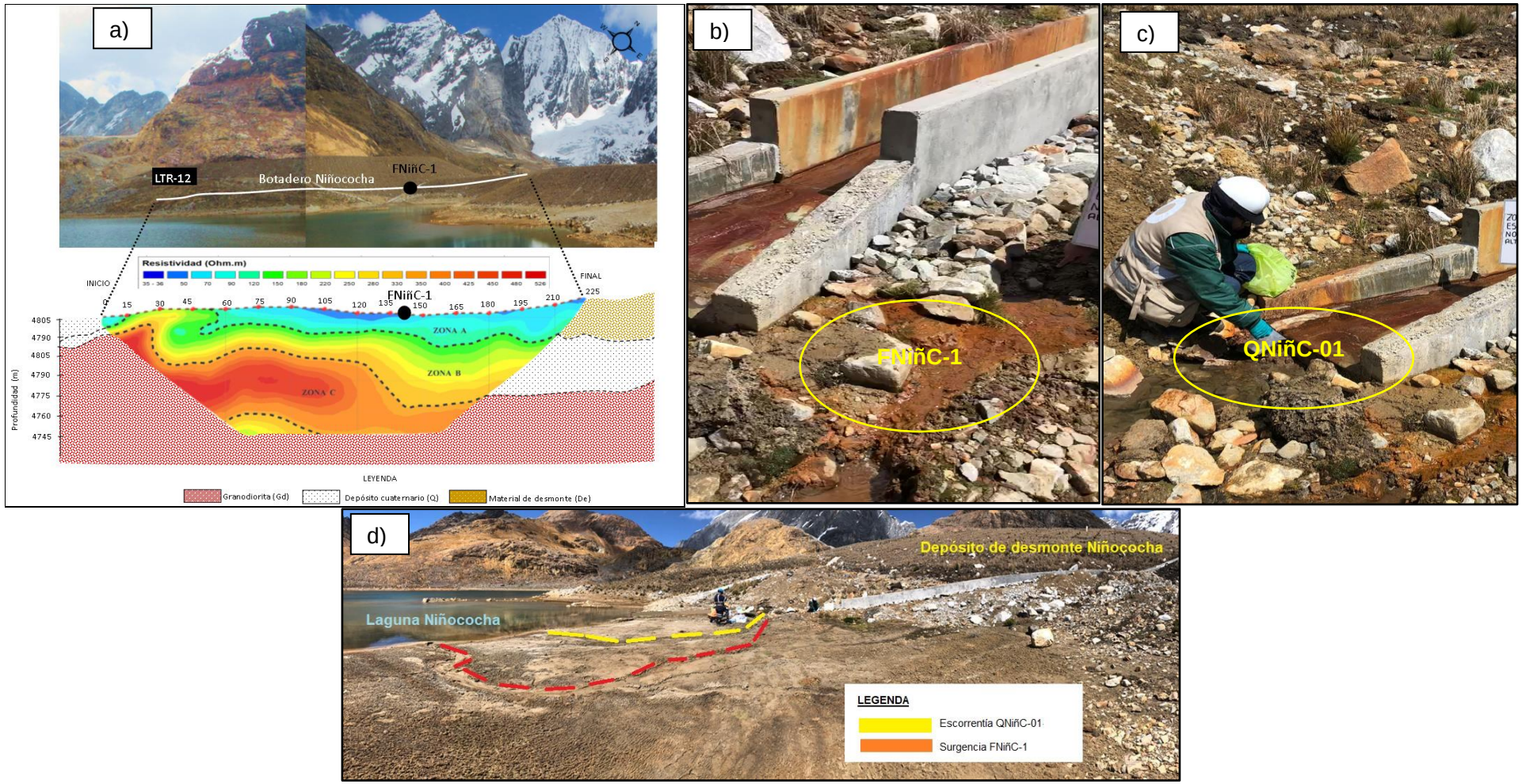


Figura 7-10. a) Perfil geológico de dirección de SW-NE comparado con el perfil geofísico LTR-12 en el desmonte Niñococha, b) surgencia FNiñC-1, c) canal de escorrentía QNiñC-01, y d) dirección de flujo del canal de aguas de escorrentía (QNiñC-01) y de la surgencia (FNiñC-1) hacia la laguna Niñococha

Asimismo, tanto la surgencia de la parta baja del depósito de desmontes Niñococha (FNiñC-1), así como los desmontes, presentan la misma composición de metales. A su vez, la surgencia FNiñC-1, presentó mayores concentraciones de níquel (0,0052 mg/L), plomo (0,0072 mg/L) y zinc (1,28 mg/L), así como, cadmio disuelto (0,00085 mg/L) y sulfato (715,3 mg/L); en comparación con el punto QNiñC-04 (quebrada cuyo origen natural se forma por la surgencia en el sector de la laguna Locacocha).

De manera complementaria, se realizaron estudios de hidrobiología que corroboraron los resultados obtenidos en agua. En ese sentido, en la comunidad de microalgas de los puntos de muestreo FNiñC-HB-1 y QNiñC-HB-01 (Figura 7-11), se registró el predominio de especies resistentes a concentraciones elevadas de metales, tales como *Achnanthidium minutissimum*, *Achnanthidium* cf. *exilis* y *Pseudanabaena catenata* (Ponader y Potapova, 2007; Prasad, 2011).

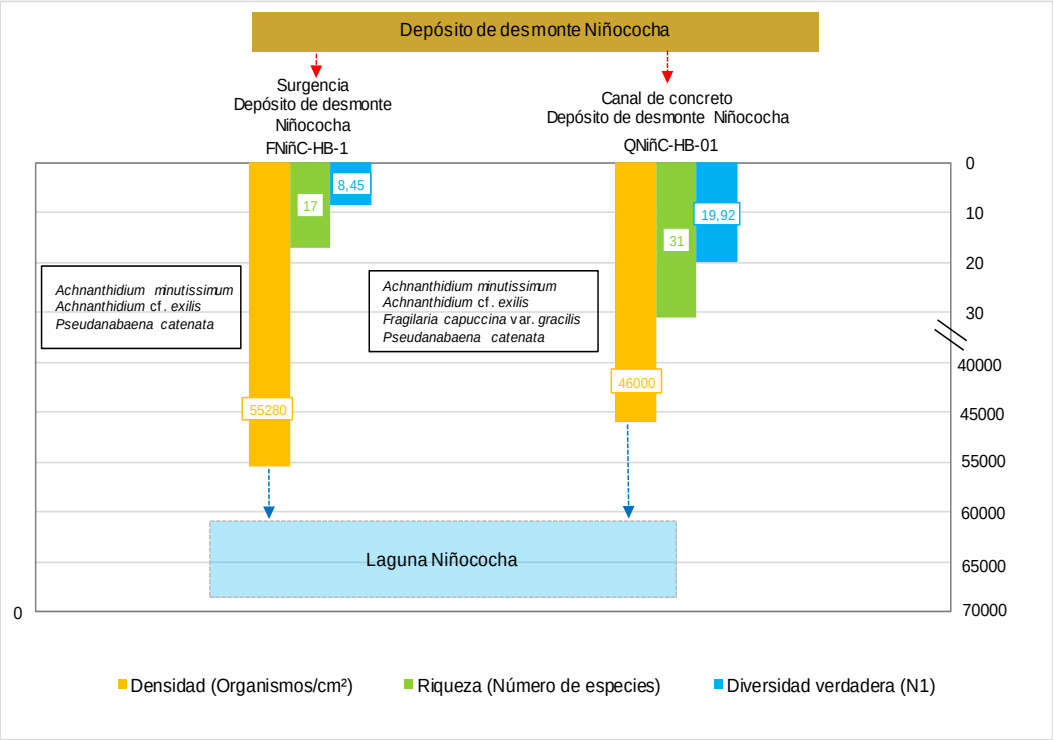


Figura 7-11. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios a la laguna Niñococha

En atención a los elementos presentados[61], se demuestra que la surgencia FNiñC-1 proviene del depósito de desmonte Niñococha; asimismo, dicha surgencia corresponde a un flujo de sustancia líquida[62] que descarga en la laguna Niñococha en su calidad de cuerpo receptor. Por lo tanto, la surgencia tiene la condición de Efluente Líquido de Actividades Minero–Metalúrgicas[63] de conformidad con el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

61 Registro fílmico, perfil tomográfico, caracterización geoqúimica e hidroquímica y estudio de comunidades hidrobiológicas.

62 Sin embargo, no se midió el caudal debido a que la parte baja del depósito de desmonte se encontraba saturado con presencia de flujos dispersos.

63 Cabe precisar que de la comparación con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM, las concentraciones de parámetros no excedieron dichos límites.

De otra parte, en relación con la calidad ambiental de la laguna Niñococha, los puntos de muestreo en esta laguna cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA). Además, de la comparación referencial con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), las concentraciones de zinc total y cadmio disuelto en todos los puntos, de plomo en 2 puntos (LNiñC-03-F y LNiñC-05) y de selenio en 1 punto (LNiñC-05) excedieron los valores establecidos en dicha norma (Figura 7-12 a) y b)).

Del análisis de la información registrada en el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) de la Unidad de Producción Raura (1997: 43), se advierte que, la concentración de sulfato era de 60 mg/L; mientras que las concentraciones promedio de sulfato evaluadas por el OEFA durante el 2017 y 2018 fueron 144,36 y 159,5 mg/L, respectivamente. En adición a ello, el referido PAMA (1997: 43) indica que el pH de la laguna Niñococha es neutro y ligeramente alcalino, variando entre 7 y 8; no obstante, de la evaluación ambiental realizada, se advirtió que los promedios durante el 2017 y 2018 fueron de 6,49 y 6,31 respectivamente, lo cual demuestra una tendencia progresiva hacia la acidificación de la laguna. Además, se observa una disminución de las concentraciones de plomo (varió de 0,04 a 0,0104 mg/L) y hierro (0,37 a 0,0622 mg/L) respecto a los máximos valores reportados en el PAMA en comparación con los reportados por el OEFA (2018).

Asimismo, se observa un incremento de la concentración de sulfato, plomo y zinc, en comparación con los resultados obtenidos entre el 2017[64] y 2018 (Figura 7-12 c), d) y e)), lo que estaría asociado principalmente al aportante FNiñC-1 como se observa en la Figura 7-12 a) y b). Además, el incremento de sulfatos estaría asociado a la salinización de la laguna Niñococha causada por cambios en el régimen hidrológico, favorecido por la evaporación y descarga de agua rica en sales de la minería, entre otras fuentes según lo mencionado por Uhlmann *et al.* (2011)[65].

64 Informe N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME.
65 D Uhlmann et al. (2011). Lakes and Reservoirs. Treatise on Water Sciense: 157-213.

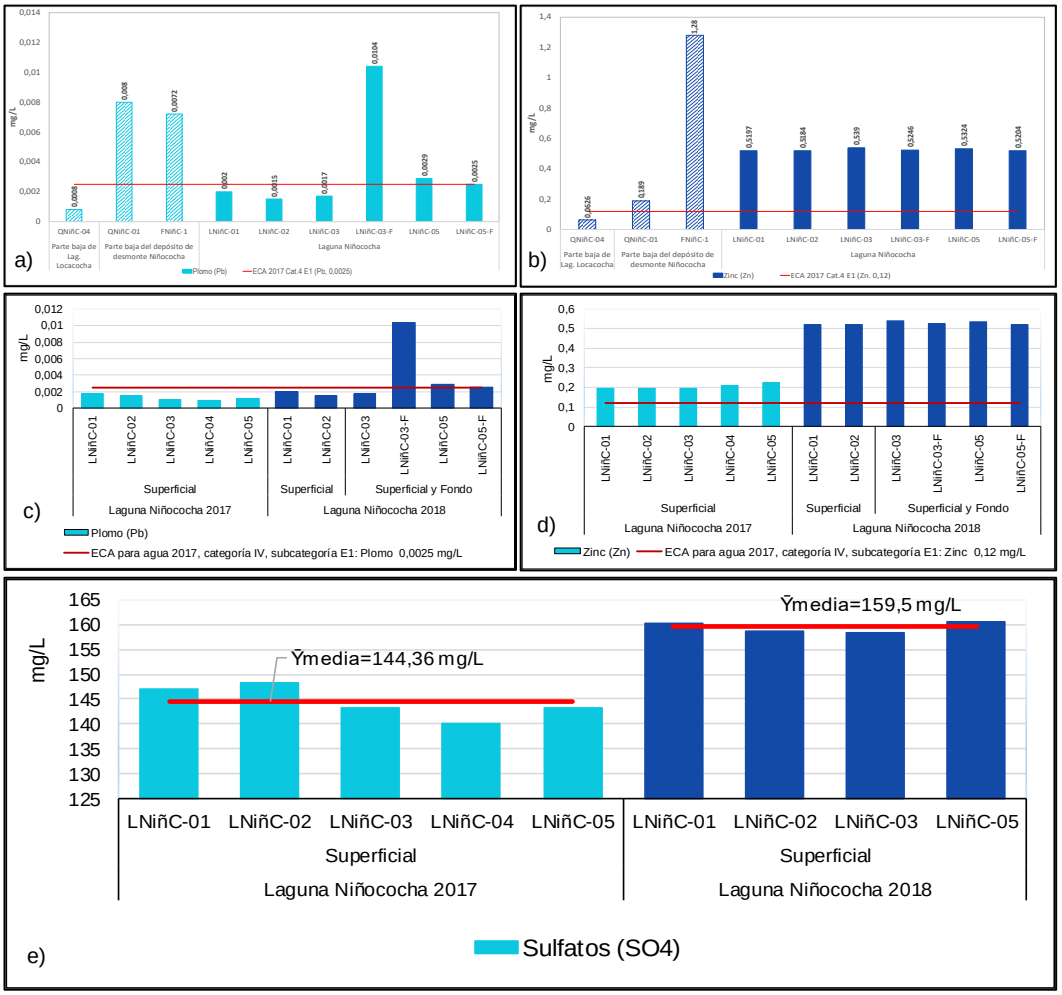


Figura 7-12. Concentraciones de a) plomo y b) zinc en el ámbito de la laguna Niñococha en el 2018, concentraciones de c) plomo y d) zinc en la laguna Niñococha entre el 2017 y 2018, y e) concentración media de sulfato en la laguna Niñococha entre el 2017 y 2018

Al respecto, de acuerdo con el estudio hidrogeológico de la UM Raura presentado por CMR S.A.[66], el nevado Brazzini por deshielo aporta agua a la laguna Locacocha, cuyas aguas por rebose descargaba a la laguna Niñococha. Sin embargo, durante la etapa de campo, no se observó este rebose ni flujo superficial de la laguna Locacocha hacia la laguna Niñococha.

Adicionalmente, se observó un dique de concreto tanto en la laguna Locacocha como Niñococha que ha modificado el régimen hidrológico de esta última (conforme se observa en el registro fotográfico [Figura 7-13]), lo que contribuiría al incremento de las concentraciones de sulfatos, plomo, zinc, entre otros.

66 Amphos, 2016 “Estudio hidrogeológico y manejo de aguas de la unidad minera Raura” 266_15-ITE-002.

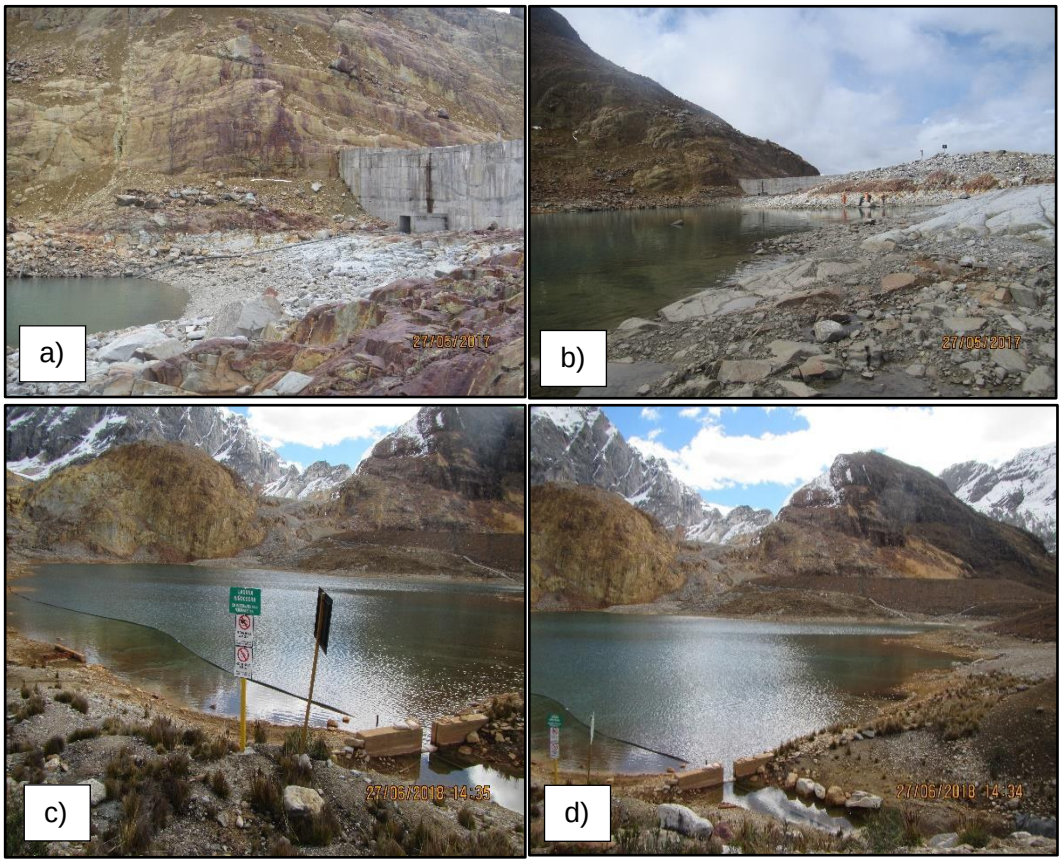


Figura 7-13. Vistas panorámicas de a) y b) dique de contención de la laguna Locacocha, y c) y d) dique de contención de la laguna Niñococha

A su vez, la Figura 7-14 muestra que todos los parámetros evaluados en el nivel superficial de la laguna Locacocha no excedieron los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), a excepción de sólidos suspendidos totales en Lloca-01 y plomo total en los niveles medio (Lloca-10-T) y fondo (Lloca-10-F). La presencia de plomo estaría asociada a la mineralización característica de la zona donde no se evidenció actividades mineras.

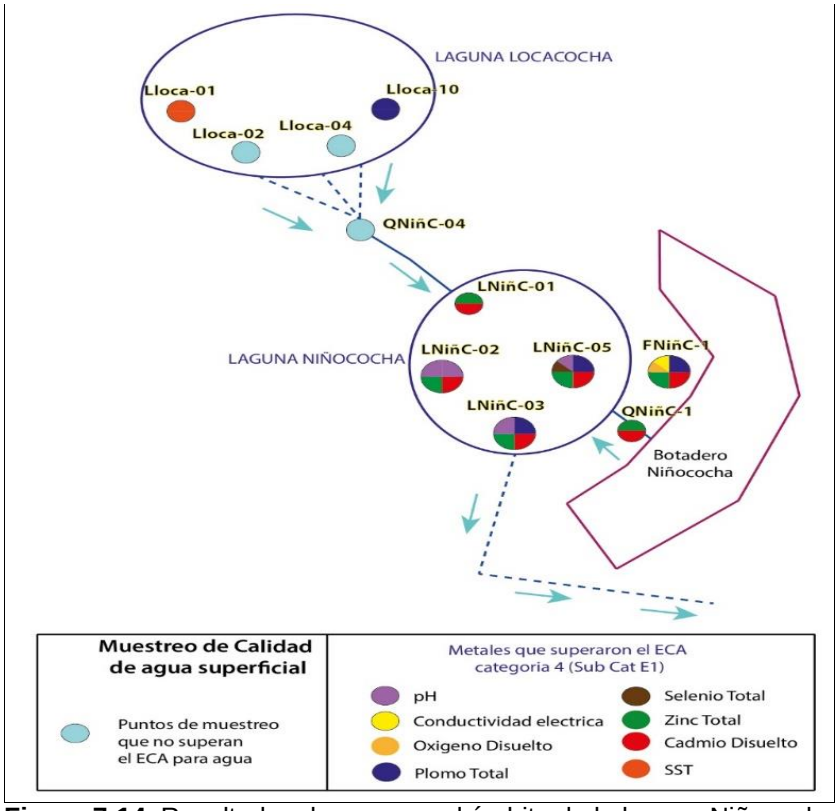


Figura 7-14. Resultados de agua en el ámbito de la laguna Niñococha

En relación a la comunidad de microalgas de la laguna Niñococha, se registró una disminución de la diversidad de especies de fitoplancton en los puntos LNiñC-HB-02, LNiñC-HB-05 y LNiñC-HB-03, ubicados próximos al depósito de desmonte, que estaría influyendo en su desarrollo. Sin embargo, se observó el aumento de la riqueza de especies con respecto al año 2017 que se dio principalmente en el punto LNiñC-HB-01 (de 5 especies en 2017 a 20 especies en 2018) (Figura 7-15).

El incremento en las concentraciones de zinc en la laguna Niñococha (Figura 7-12 d)) se vio reflejado con el incremento y predominancia del grupo de cianobacterias en los puntos LNiñC-HB-01, LNiñC-HB-03 y LNiñC-HB-05, las que prevalecen o se incrementan cuando hay altas concentraciones de zinc (Rand *et al*., 2010).

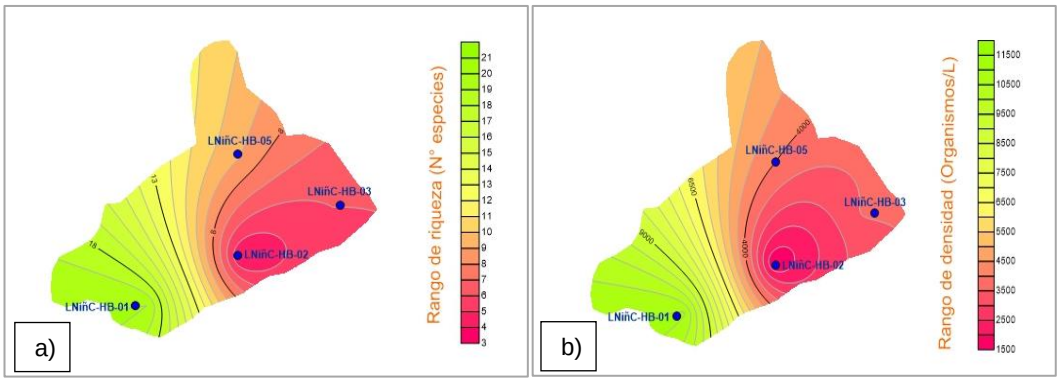


Figura 7-15. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Niñococha

Sobre la calidad ambiental del sedimento, las concentraciones de cobre, plomo y zinc, al ser comparados referencialmente con el valor PEL de la guía canadiense,

excedieron los valores establecidos en esta norma en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (5 puntos) y 2018 (2 punto).

Además, estos metales se encuentran clasificados de *«No contaminado a moderadamente contaminado»* en 7 puntos evaluados en esta laguna; a excepción del cobre y plomo en el punto LNiñC-SED-07 y el zinc en los puntos LNiñC-SED-07, LNiñC-SED-05, LNiñC-SED-02 que se clasificó de *«Moderadamente contaminado»* (Figura 7-16 b)). Cabe precisar que las mayores concentraciones de estos metales se registran en el punto LNiñC-SED-07, ubicado cerca al aporte del efluente FNiñC-1 (Figura 7-16 a)).

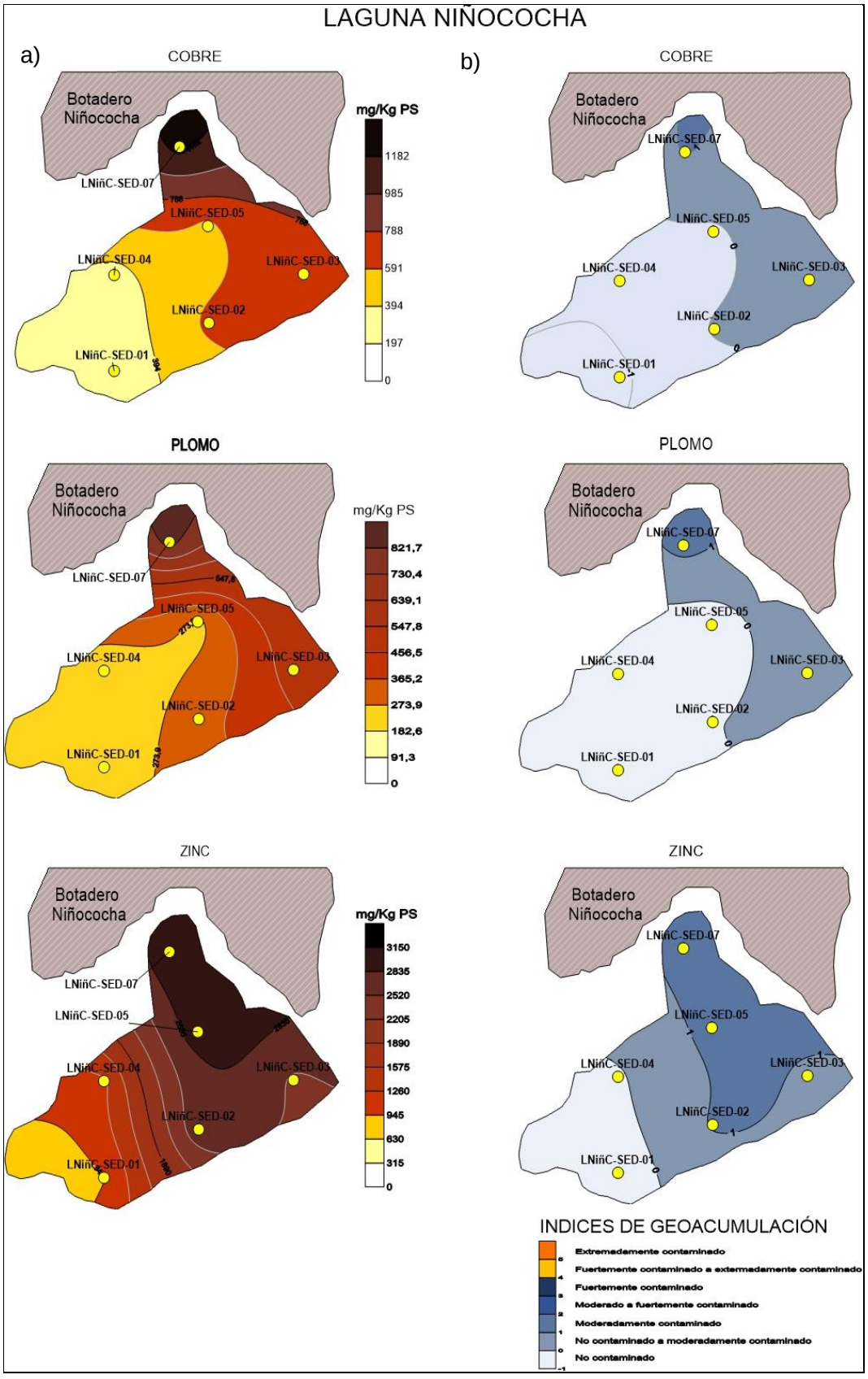


Figura 7-16. a) Concentraciones de cobre, plomo y zinc, e b) índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Niñococha

Además, de acuerdo a la extracción secuencial (Tessier), el cobre y zinc en el sedimento se encontraron asociados a los carbonatos y el plomo a la materia orgánica y a los óxidos de hierro y manganeso. Sobre el particular, es pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en el sedimento de la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Ámbito de la laguna Santa Ana

La laguna Santa Ana recibe los aportes de la quebrada S/N 1[67] procedente de la laguna Niñococha, que, a su vez, recibe aportes de la quebrada S/N 9 proveniente de la laguna S/N, y de la quebrada S/N 10 proveniente de la laguna Niño Perdido. Además, la quebrada S/N 1, en su recorrido hacia la laguna Santa Ana, pasa cerca a los depósitos de desmonte Niñococha, Raura y Catuva, y a los tajos Niño Perdido y Primavera (Figura 7-17).

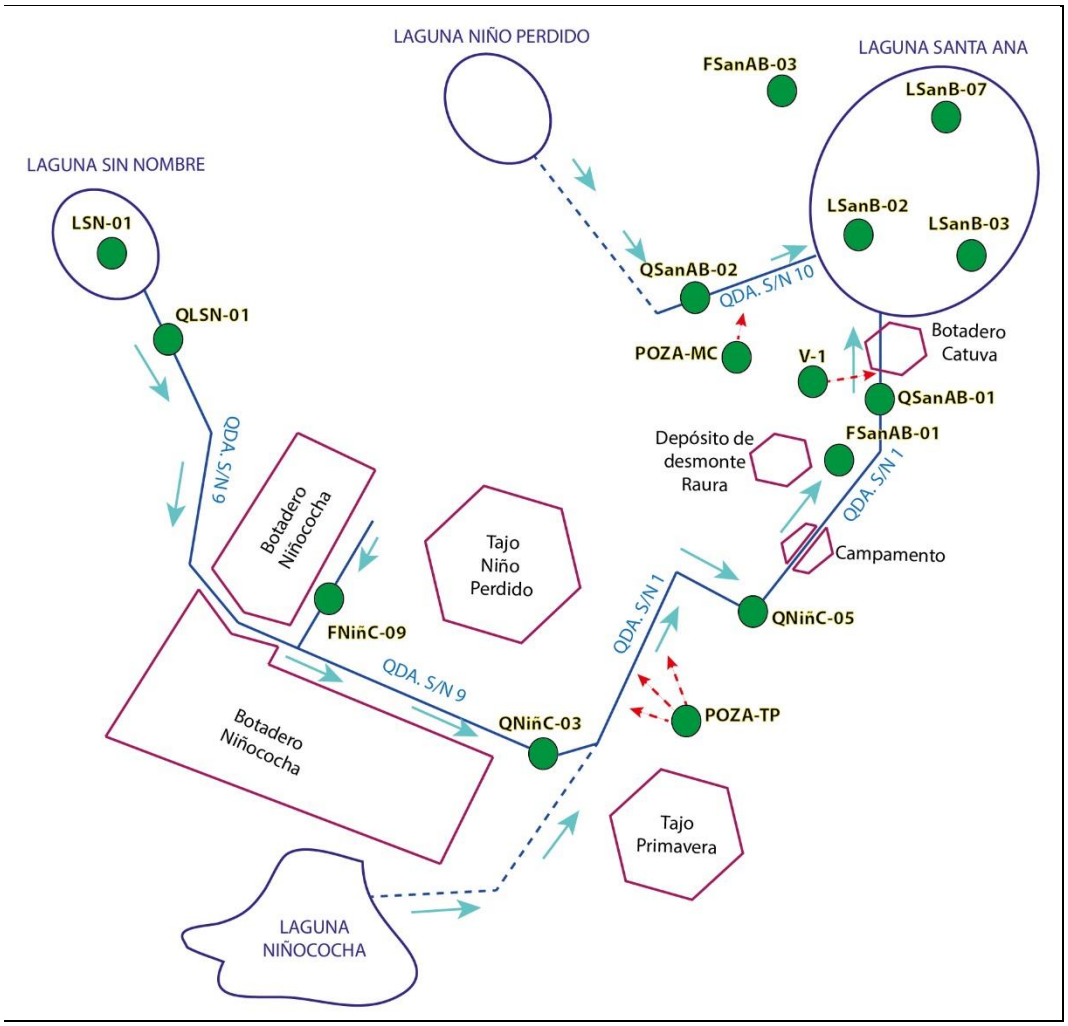


Figura 7-17. Distribución de puntos de muestreo de agua en el ámbito de la laguna Santa Ana

La laguna S/N (LSN-01) presentó bajas concentraciones de metales que no exceden los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, en las que se registraron peces de la especie

[67] Cabe indicar que la quebrada S/N 1 se encuentra canalizada con material de concreto desde su naciente hasta la parte media de su recorrido.

Orestias hardini «Chalhua» la que es endémica de los Andes del Perú (Ortega y Hidalgo, 2008); los peces presentaron resultados de desarrollo dentro del rango isométrico (2,5<b<3,5)[68] y según el análisis del factor de condición mostró que las características fisicoquímicas del hábitat fueron favorables para el desarrollo de esta especie.

Alrededor de la laguna S/N se observó vegetación característica de un humedal de donde nace la quebrada S/N 9 (QLSN-01), la cual presenta valores de oxígeno disuelto y plomo que incumplieron los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, presentando este último parámetro una excedencia de 16 %.

Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto estarían asociadas al recorrido subsuperficial del agua entre la laguna S/N y la naciente de la quebrada S/N 9; mientras que las concentraciones de plomo estarían asociadas a la mineralización y su retención en la materia orgánica. En consecuencia, estas concentraciones no se asociarían a la actividad minera.

Además, en el sedimento de este punto (QLSN-01) las concentraciones de plomo, arsénico, cadmio y zinc superaron el valor PEL de la norma canadiense. Respecto a la evaluación hidrobiológica, el punto QLSN-HB-01 registró la mayor riqueza de especies de macroinvertebrados bentónicos en relación con los demás puntos evaluados, donde predominaron la especie *Hyalella* sp., las cuales encontraron condiciones favorables para su desarrollo (Encalada, 2011).

En resumen, las concentraciones descritas de metales en agua y sedimento (característico de la zona evaluada) y la riqueza hidrobiológica de la laguna S/N evidencian la ausencia de afectación por la actividad minera. En ese sentido, constituye un punto (QLSN-01) de comparación para la evaluación de los demás puntos en el mismo ámbito de la microcuenca de la laguna Santa Ana.

De otra parte, producto de la evaluación, se identificó en la parte baja del depósito de desmonte Niñococha Etapa II – Depósito 2 (sector norte) una surgencia que emerge en el punto FNiñC-09 y vierte al canal de derivación de aguas de escorrentía que confluye con la quebrada S/N 9[69]; conforme se aprecia en el registro fílmico (Anexo 6 [videos]).

La surgencia FNiñC-09 es producida por la infiltración del agua de lluvia en el depósito de desmonte Niñococha Etapa II – Depósito 2 (sector norte). Asimismo, tanto la surgencia -ubicada aproximadamente a 15 m del componente minero- como el depósito de desmonte, presentan la misma composición de metales, en tanto dicha surgencia presentó concentraciones de níquel (0,0234 mg/L), plomo (0,0566 mg/L), zinc (12,43 mg/L) y cadmio disuelto (0,00933 mg/L). Por lo cual, la surgencia FNiñC-09 (caudal: 0,11 L/s) corresponde a un flujo de sustancia líquida[70] que descarga en la laguna Niñococha en su calidad de cuerpo receptor. Por lo tanto, la surgencia tiene la condición de Efluente Líquido de Actividades Minero–Metalúrgicas[71] de conformidad con el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

---

68 Cabe resaltar que los organismos colectados fueron alevines.

69 Cabe precisar que las aguas de la quebrada S/N 9, en su parte media y baja, son colectadas a través de un canal de mampostería y concreto hasta su confluencia con la quebrada S/N 10.

70 Dicho flujo se observó incluso durante la época de estiaje en que se realizó la evaluación ambiental (setiembre, 2018).

71 Cabe precisar que de la comparación con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM, las concentraciones de parámetros no excedieron dichos límites.

La quebrada S/N 9 recibe el aporte de la surgencia (FNiñC-09) que incrementan la concentración de níquel (de <0,0002 mg/L a 0,0016 mg/L), cobre (de 0,00079 mg/L a 0,12584 mg/L), plomo (de 0,0029 mg/L a 0,0945 mg/L), zinc (de 0,0221 mg/L a 0,7862 mg/L) y cadmio disuelto (de <0,00001 mg/L a 0,00078 mg/L), entre los puntos QLSN-01 (naciente) y QNiñC-03 (antes de la confluencia con la quebrada S/N 1), respectivamente (Figura 7-18).

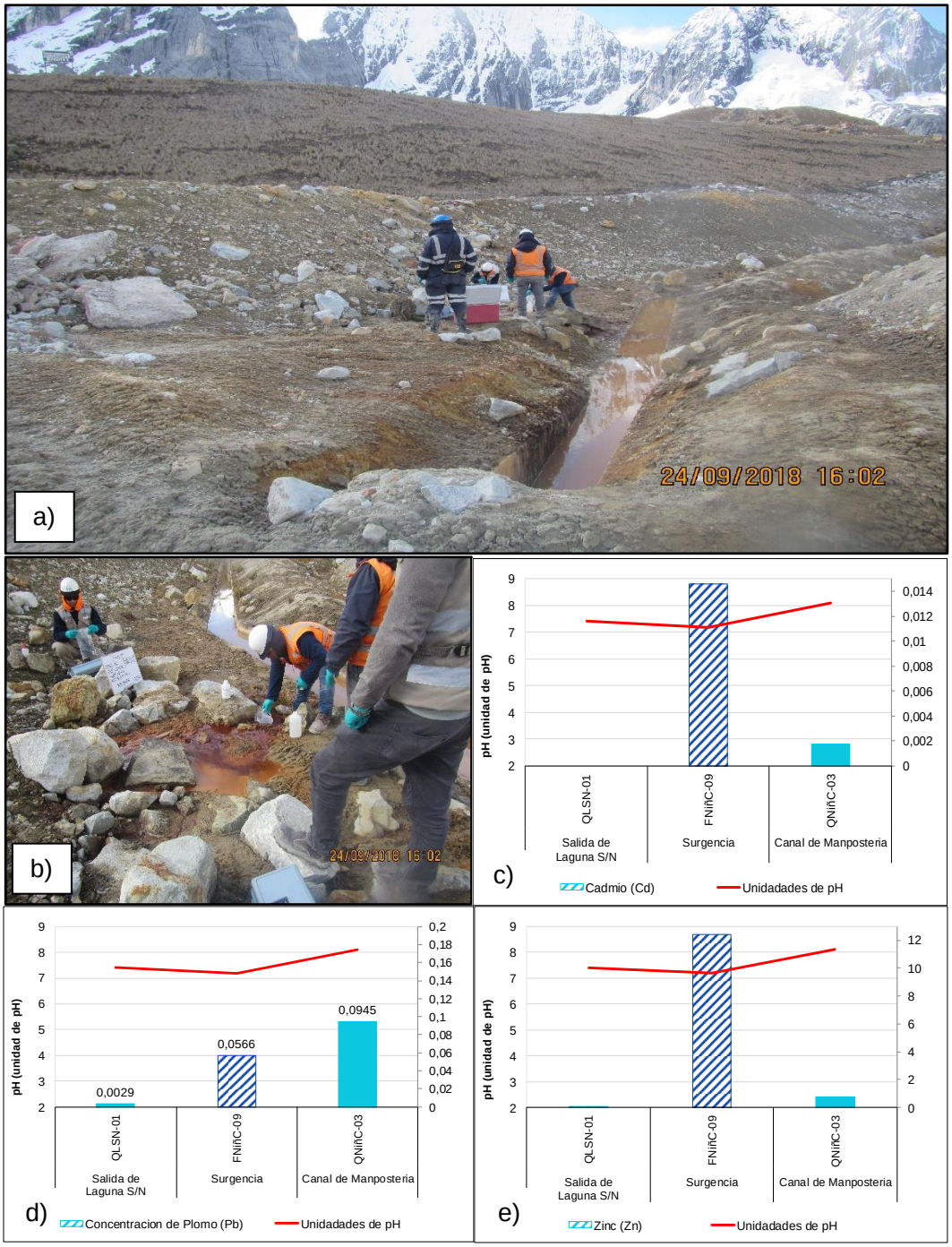


Figura 7-18. a) Vista panorámica de la surgencia FNiñC-09, b) Muestreo de la surgencia FNiñC-09, ubicado en la parte baja del depósito de desmonte Niñococha, y sus concentraciones de c) cadmio, d) plomo y e) zinc con valores de pH en los puntos ubicados aguas arriba (QLSN-01) y aguas abajo (QNiñC-03) de la misma

Al comparar los valores obtenidos del efluente FNiñC-09 con el LMP para Efluente Minero– Metalúrgico, se evidenció que este excedió los valores para los parámetros SST en 22%, hierro disuelto en 116,6 % y zinc en 728,7 %, lo cual representa un riesgo ambiental.

Por otro lado, de acuerdo al ITS[72], en la zona contigua a la quebrada S/N 1, aguas abajo de la confluencia con la quebrada S/N 9, el área aledaña al depósito de desmonte Niñococha y tajo Primavera correspondería a la asociación de suelo Central-Raura; es decir, un suelo Mollisols[73] - Inceptisols[74]. Sin embargo, durante la evaluación ambiental se advirtió que el 41% de esta área se encuentra cubierto por materiales líticos heterogéneos con cierto grado de compactación, con concentraciones mayoritarias de hierro, calcio, aluminio, magnesio, cobre y plomo.

Además, las líneas de tomografía eléctrica LTR-5 y LTR-6 cercanos al tajo primavera presentan 3 zonas con amplio rango de resistividad (zonas A, B y C), de las cuales, la zona A presenta valores bajos de resistividad que varían entre 8 Ω.m a 120 Ω.m y 32 Ω.m a 120 Ω.m en ambas líneas, que están relacionados a materiales antrópicos con espesores que varían de 4 m (LTR-5) a 14 m (LTR-6) (Figura 7-19).

72 Segunda Informe Técnico Sustentatorio, aprobado con la resolución Directoral N.° 157-2015-MEM-DGAAM.

73 Mollisols que tiene un régimen de temperatura del suelo cryico (temperatura media anual entre 0 y 8 °C) con un régimen de humedad ústico (una estación lluviosa de 3 meses o más)

74 Inceptisols que tiene un régimen de temperatura de suelo cryico (temperatura media anual entre 0 y 8 °C) con un epipedon mólico o úmbrico. Con un contacto lítico dentro de los 0.50 m de la superficie del suelo mineral.

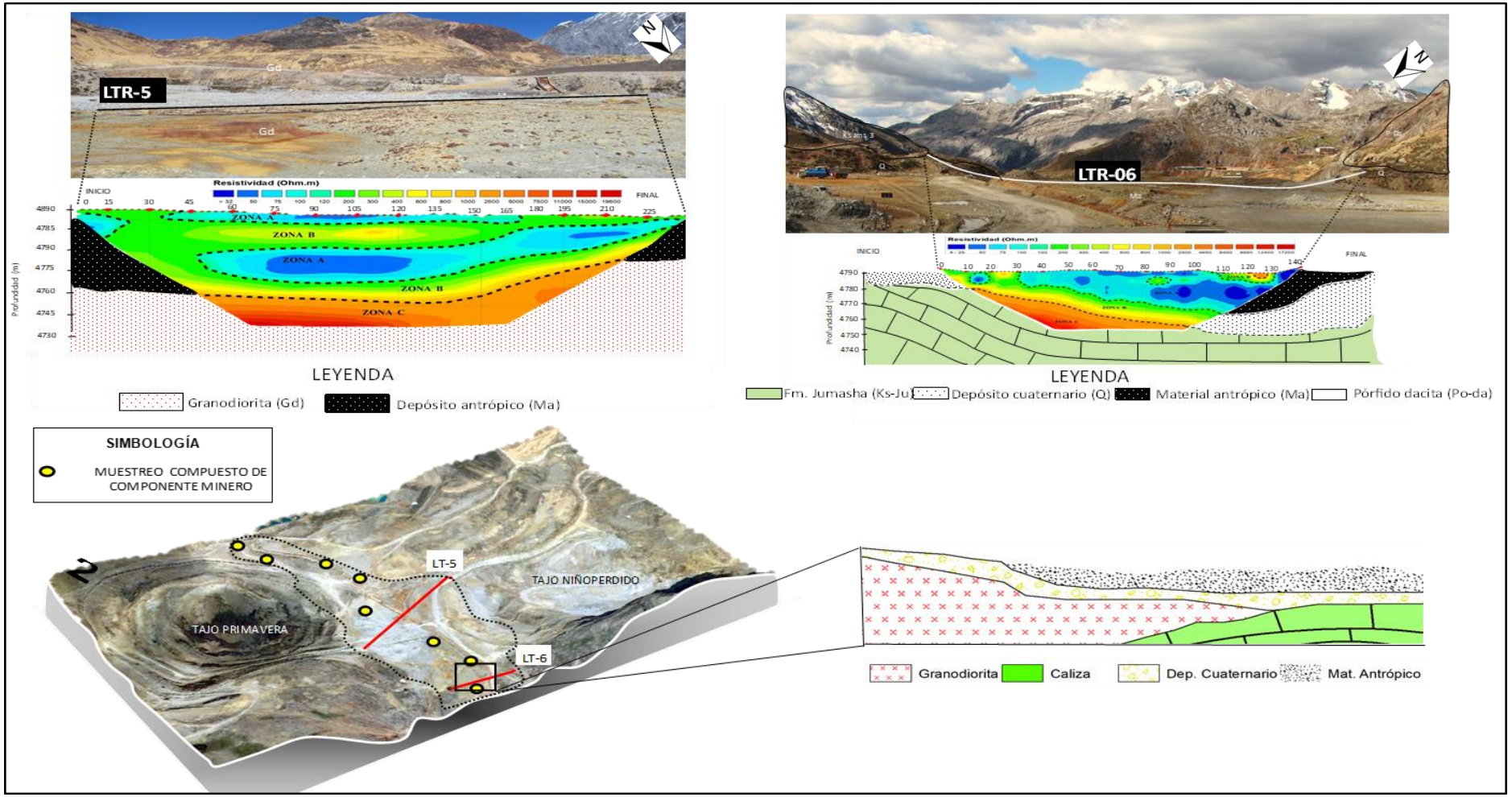


Figura 7-19. Perfil geológico de dirección de N-S de las líneas de tomografía eléctrica a) LTR-5 y b) LTR-6, y c) puntos de muestreo de componentes mineros en el material ajeno

En ese sentido, de la caracterización geoquímica y del perfil tomográfico se evidencia la presencia de material ajeno dispuesto sobre suelo natural declarado por la CMR S.A. en su ITS.

En adición a lo anterior, del análisis de los perfiles longitudinales obtenidos de la misión SRTM (Misión topográfica Radar Shuttle), se advierte que en el año 2000 el perfil longitudinal de esta zona se encontró en la cota 4776 m s.n.m., y del análisis del perfil longitudinal calculado con el Radiómetro Espacial Térmico de Reflejo Avanzado (ASTER), en el año 2010, se aprecia que este perfil longitudinal se incrementó hasta una cota de 4792 m s.n.m (Figura 7-20), espesor que correspondería a material antrópico, lo cual se desprende de la línea de tomografía LTR-6 que muestra valores bajos de resistividad con espesores que varían entre 10 a 25 m aproximadamente (Figura 7-19).

Es decir, entre los años 2000 y 2010, se advierte un incremento en la disposición del material ajeno sobre suelo natural declarado por la CMR S.A. en su ITS, lo cual refuerza los resultados de los estudios de caracterización geoquímica y de perfil tomográfico anteriormente presentados.

De manera complementaria, las pruebas de SPLP realizadas sobre el material ajeno indican mayor movilidad del calcio en comparación al hierro, manganeso, cobre, plomo, zinc, entre otros. Además, el análisis de extracción secuencial en el material indicó que el hierro, plomo, cobre, zinc y manganeso se encuentran biodisponibles en la fracción 2 (*i.e.* enlazado a carbonatos) y según la prueba ABA este material es generador de acidez, lo que se evidenció en el empozamiento de agua (Poza-TP) cuyas características son de pH ácido (2,17 unidades de pH) y concentraciones de metales (Figura 7-20).

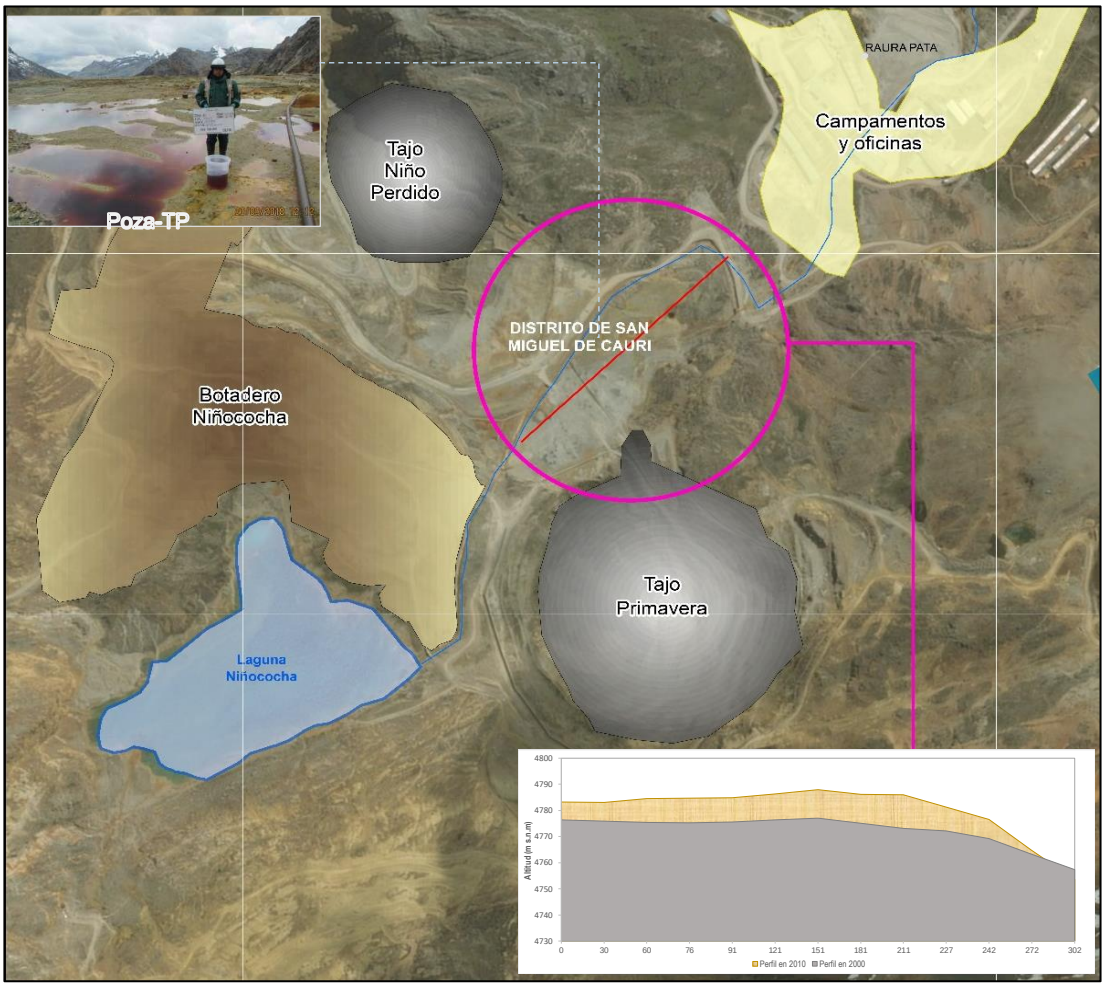
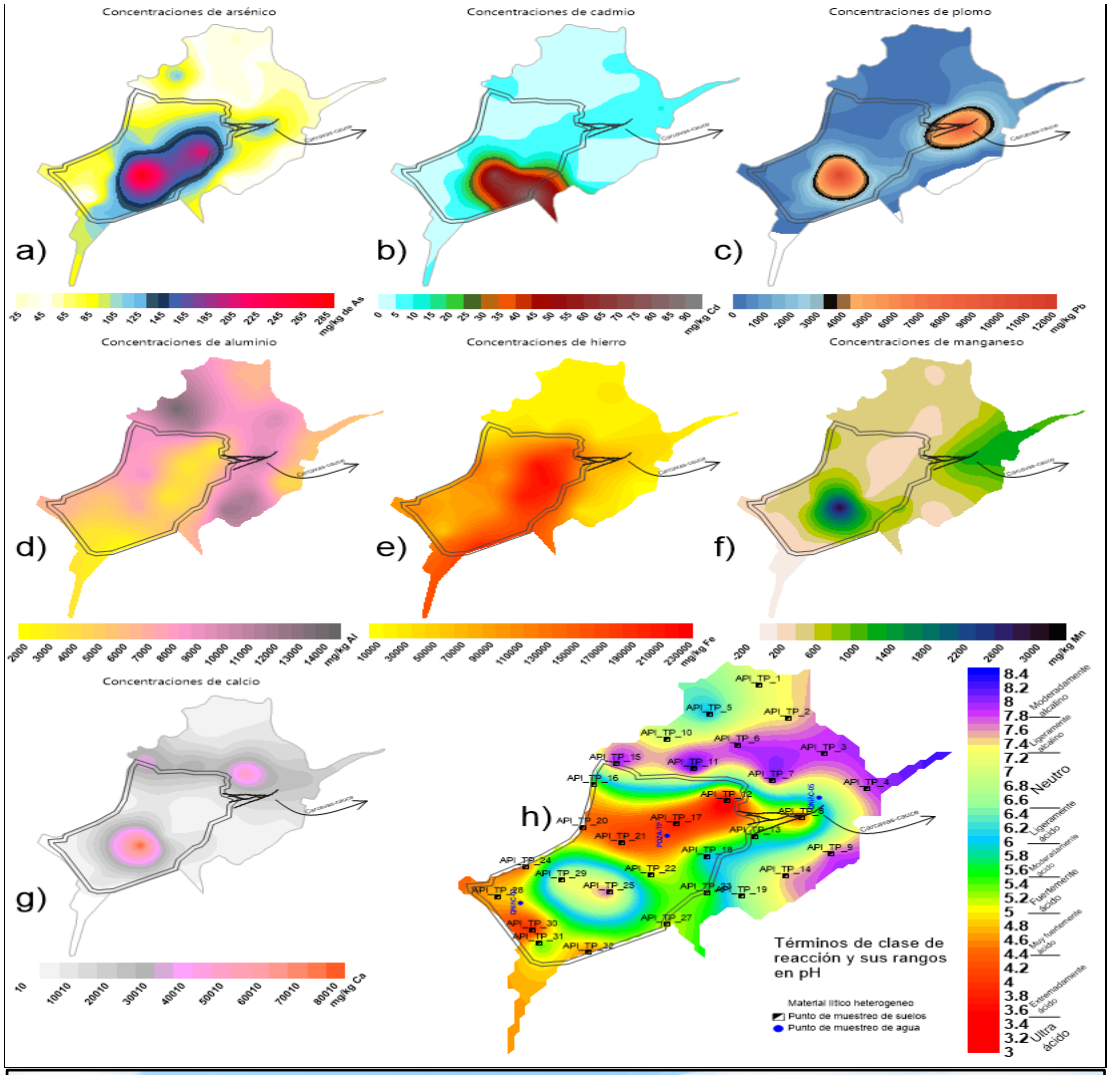


Figura 7-20. Perfil longitudinal en el área contiguo a al tajo Primavera en 2000 y 2010 y poza-TP

Dado las características del material ajeno previamente descritas, se realizó la evaluación del suelo en esta área sobre el API Primavera, el cual presentó mayores concentraciones de arsénico, cadmio y plomo, que incumplieron los ECA para suelo de uso industrial (2013). En la Figura 7-21 se presentan los isovalores de las concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, aluminio, hierro y manganeso, elementos generadores de acidez (Zapata, 2004).



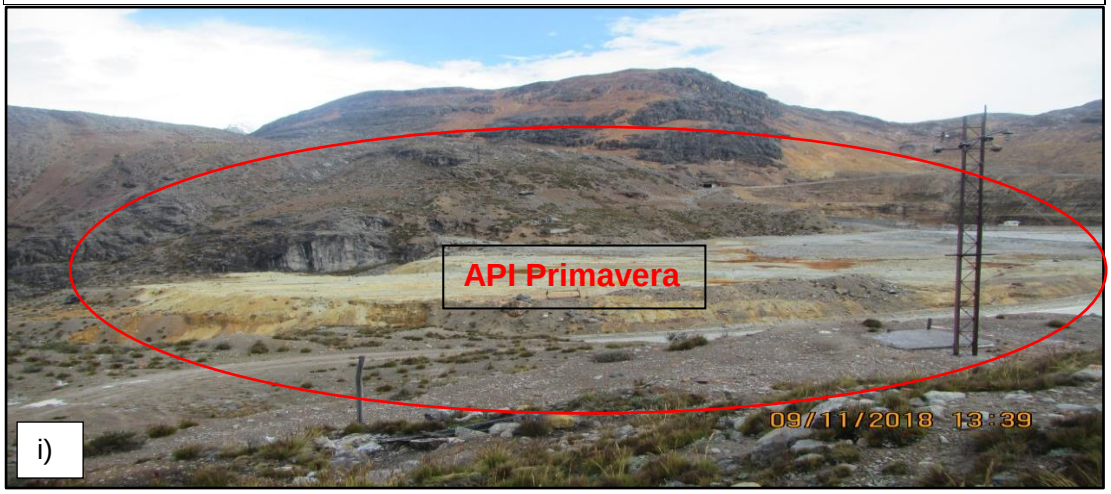


Figura 7-21. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) plomo, d) aluminio, e) hierro, f) manganeso, y g) calcio; y valores de h) pH, y i) vista panorámica del API Primavera

Los metales presentes en el API Primavera también se presentaron en los depósitos de desmonte Niño Perdido y Niñococha, conforme a lo establecido en el PAMA (1997) y en el Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura de la CMR S.A. (2008), respectivamente.

En efecto, durante la evaluación ambiental se registró valores promedio de plomo, cadmio y arsénico en el API Primavera (material ajeno delimitado [Figura 7-21]) de 1527, 18,77 y 124,48 mg/Kg, respectivamente. Asimismo, los valores del depósito de desmonte Niño Perdido (obtenido del PAMA[75] [1997]) fueron de 1995, 5 y 30 mg/Kg; mientras que, del depósito de desmonte Niñococha (PCM [2008: 6][76]), de 150, 8 y 30 mg/Kg.

Según la Primera Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura presentada por CMR. S.A. (mediante Resolución Ministerial N.° 523-2014-MEM-DGAAM, aprobado el 17 de octubre de 2014, en el Anexo 2-4: Estudio de predicción de drenaje ácido, folio: 000519), las pruebas ABA practicado en el depósito de desmonte Niñococha (EG-1) presentó un Potencial neto de neutralización de -160,2 KgCaCO3/Tn y una ratio PN/PAM de 0,64, lo que evidencia que es generador de acidez. En otras palabras, el API Primavera presentó condiciones de potenciales generadores de acidez similares[77] a las del depósito de desmonte Niñococha.

En suma, todos los estudios anteriormente desarrollados[78] permiten afirmar que el material depositado entre los tajos Primavera y Niño Perdido corresponden a desmonte de mina.

De otra parte, se determinó que la laguna Santa Ana recibe los aportes de las quebradas S/N 1 (QSanAB-01) y S/N 10 (QSanAB-02) (Figura 7-22).

75 Anexo 4: Análisis del potencial de drenaje ácido en muestras de desmontes y relaves del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la Unidad de Producción Raura.

76 La información se extrajo del documento “Potencial Neto de Neutralización de Ocho Muestras Procedentes de la Cía. Minera Raura” elaborado por el Laboratorio de Espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería y presentado para la aprobación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. (2008).

77 El detalle de los valores obtenidos se encuentra en el Anexo 3: Reporte de resultados del presente informe.

78 Caracterización geoquímica, perfil tomográfico, análisis del perfil longitudinal, pruebas SPLP, ABA y extracción secuencial.

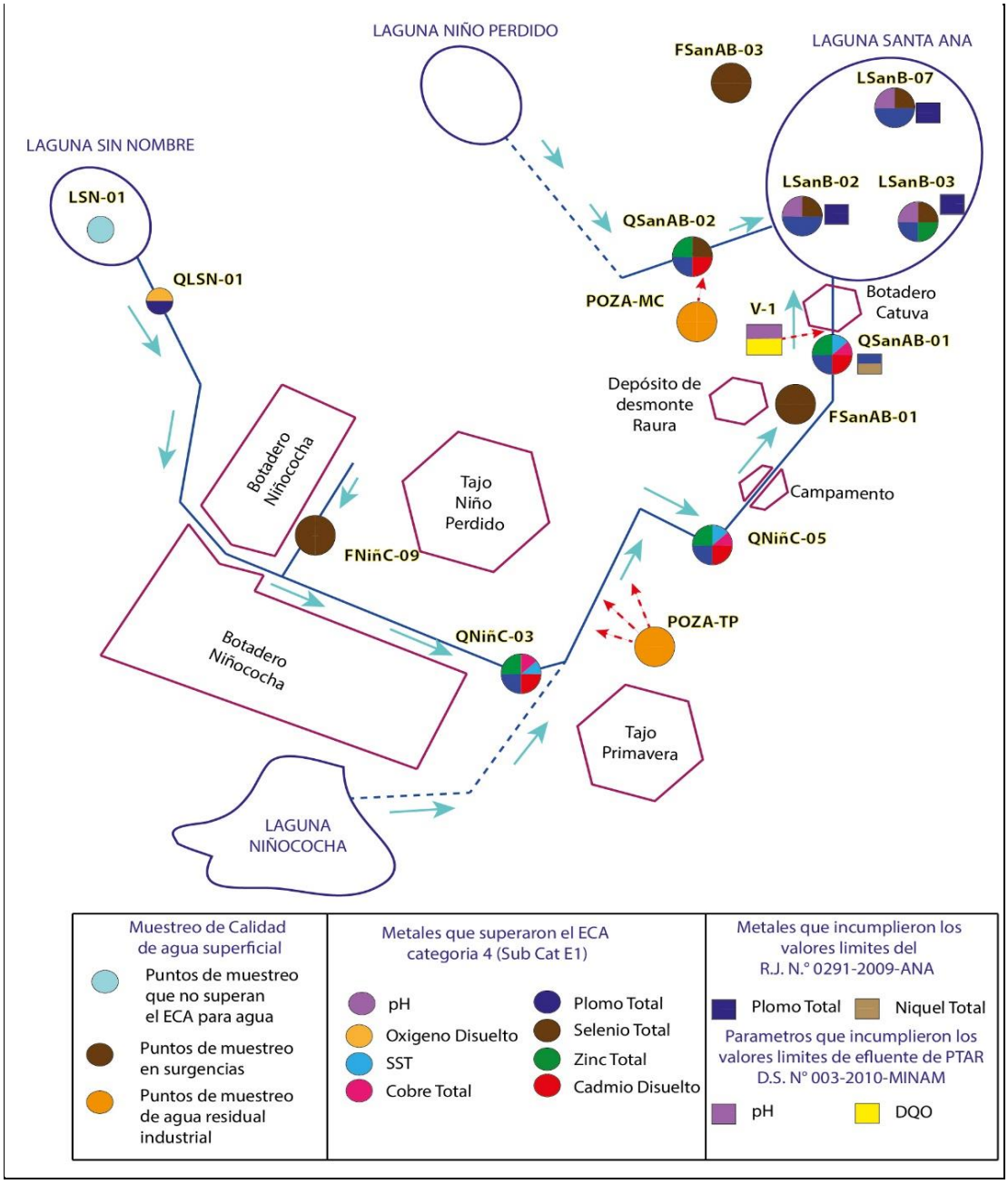


Figura 7-22. Distribución de puntos en el ámbito de la laguna Santa Ana

En relación con la parte baja de la quebrada S/N 1, entre los puntos QSanAB-01 (ingreso a la laguna Santa Ana) y QLSN-01 (naciente de la quebrada S/N 9, tributario a la quebrada S/N 1), se muestra un incremento en la concentración de níquel (de <0,0002 mg/L a 0,0033 mg/L) y plomo (de 0,0029 mg/L a 0,3641 mg/L); dichas concentraciones incumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA). Además, al compararse referencialmente con los valores de los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, excedió las

concentraciones de sólidos suspendidos totales, cobre, plomo (Figura 7-23), zinc y cadmio disuelto.

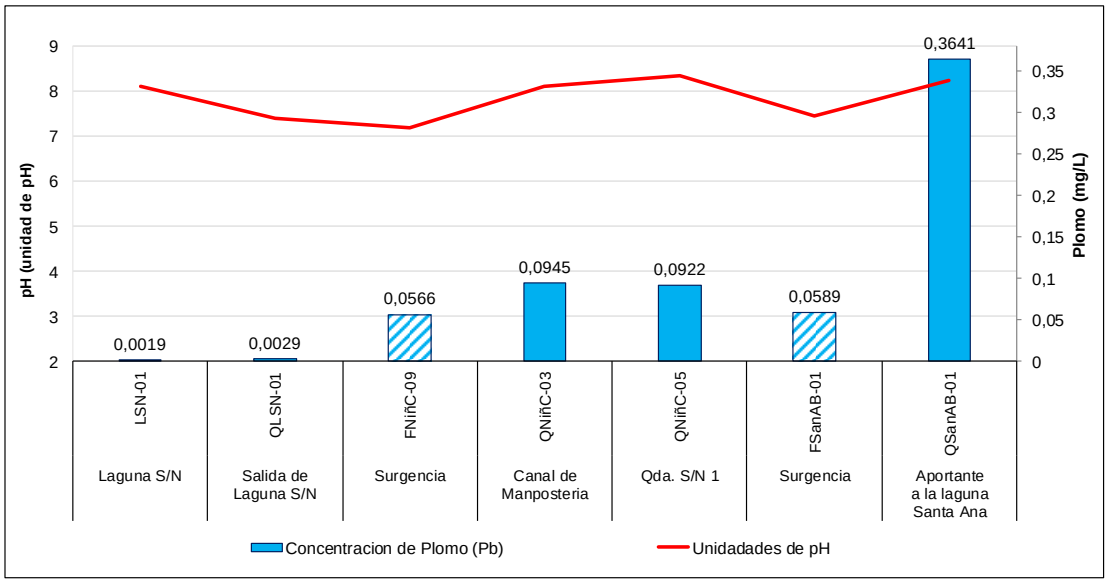


Figura 7-23. Incremento de la concentración de plomo en la quebrada S/N 1 y aportantes (FNiñC-09 y FSanAB-01)

Si bien el efluente FNiñC-09 (0,0566 mg/L) y la surgencia FSanAB-01 (0,0589 mg/L) aportan plomo a la quebrada S/N 1 (QSanAB-01: 0,3641 mg/L), es importante destacar que no se descartan otras posibles fuentes de aporte de dicho metal. Cabe mencionar que, de la evaluación ambiental, no fue posible determinar el origen la surgencia FSanAB-01 por lo que se requieren mayores estudios técnicos para determinar su procedencia.

Asimismo, el punto QSanAB-01 registró un predominio de las especies de microalgas tales como *Nitzschia palea* y *Synechococcus elongatus* las cuales son resistentes a elevadas concentraciones de metales (Szabo *et al*., 2005; Lopez, 2005). A su vez, los puntos QNiñC-HB-05 y QSanAB-HB-01 registraron predominio de las especies *Phormidium* sp*., Pseudanabaena catenata, Nitzschia palea* y *Synechococcus elongatus* (microalgas).

Mientras que solo el punto QSanAB-HB-01 registró la taxa *Psichodidade* ND (macroinvertebrados bentónicos), los cuales son resistentes a elevadas concentraciones de metales (Ferreira *et al*., 2007; Szabo *et al*, 2005; Lopez, 2005; Vinagre *et al*., 2008), presentando menor densidad, riqueza y diversidad al compararlos con el punto QLSN-HB-01 (Figura 7-24).

Asimismo, del análisis de ACP y ACC (anexo 3), se desprende que los metales disueltos (cobre, plomo y zinc) en el punto QSanAB-HB-01 está influyendo en el desarrollo de las comunidades hidrobiológicas.

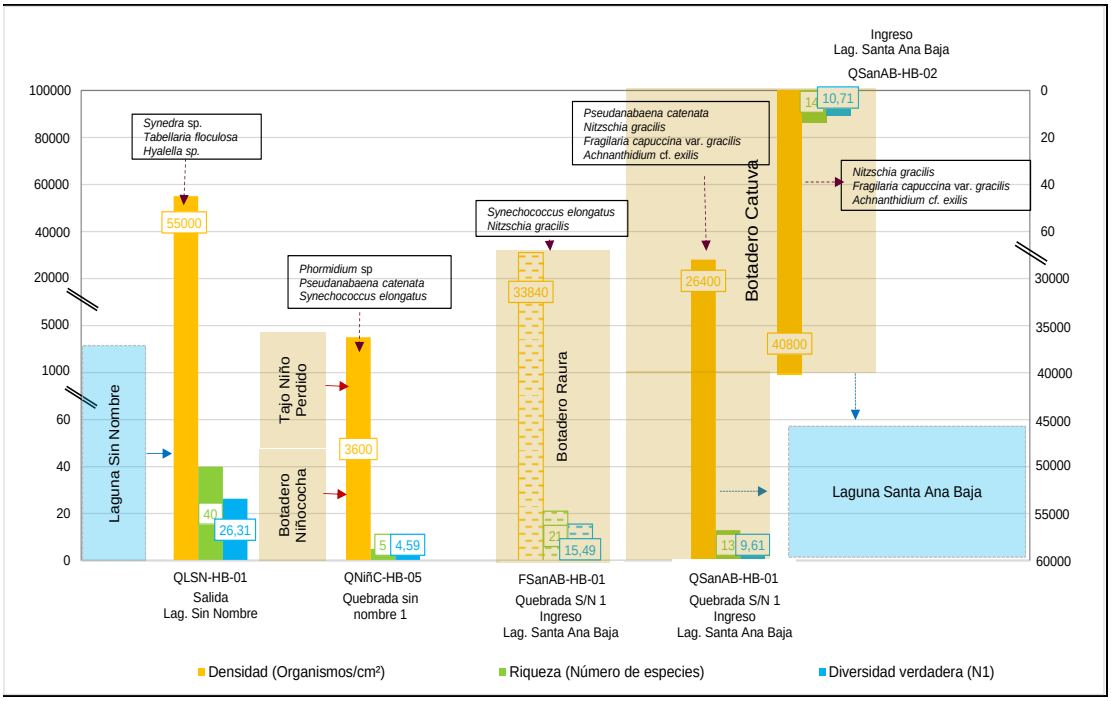


Figura 7-24. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios a la laguna Niño

Por otro lado, durante la evaluación del 27 de junio de 2018, en la quebrada S/N 1 se identificó un vertimiento no autorizado de agua residual doméstica (V-1)[79], proveniente del rebose de la pozo séptico, que presentó un valor de pH ligeramente ácido (5,72[80] pH) que incumplió los Límites Máximos Permisible para descarga de efluentes líquidos minero metalúrgicos (D.S. N.° 010-2010-MINAM) y una concentración de DQO (1104 mgO_2/L) que excedió referencialmente lo establecido en los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (D.S. N.° 003-2010-MINAM), además presentó oxígeno disuelto de 0,47 mg/L. Este vertimiento ingresa a la quebrada S/N 1 que tributa directamente a la laguna Santa Ana como se observa en la Figura 7-25 (Anexo 6: videos).

Según el Primer Informe Técnico Sustentatorio: «Modificación de la infraestructura, sistemas de tratamiento de agua y transporte de relaves» de la UM Raura, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 060-2015-MEM-DGAAM del 29 de enero de 2015 y sustentado en el Informe N.° 105-2015-MEM/DGAAM/DGAM/DNAM/A, el agua residual doméstica debe ser tratada en la planta de tratamiento de agua residual doméstica; el efluente generado servirá para el riego de áreas verdes y caminos en el área de

79 Cabe precisar que, mediante correo electrónico del 28 de junio de 2018, la CMR S.A. comunicó a la Dirección de Evaluación Ambiental las medidas adoptadas en relación con el vertimiento no autorizado. Asimismo, se debe indicar que este incidente fue reportado a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minería, mediante Memorando N.° 881-2018-OEFA/DEAM del 20 de agosto de 2018.

80 La incertidumbre de la medición de pH fue de ±0.1 unidades de pH, conforme se aprecia del Anexo 4: Ficha de verificación y ajuste de equipos del Informe N.° 249-2018-OEFA/DEAM-STEC.

operaciones y contarán con monitoreos de control interno para asegurar la calidad del efluente.



Figura 7-25. Vertimiento V-1, que ingresa a la laguna Santa Ana

Otro de los aportantes a la laguna Santa Ana, es la quebrada S/N 10 (QSanAB-02) que presentó concentraciones que cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA). Asimismo, la concentración de plomo, selenio, zinc y cadmio disuelto, al ser comparados referencialmente con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, excedieron los valores establecidos en dicha norma. Sin embargo, producto de la evaluación, no fue posible determinar las causas de la excedencia en la quebrada S/N 10 (QSanAB-02).

Asimismo, el sedimento de este punto presentó concentraciones de arsénico (114,5 mg/Kg PS), cadmio (28,4 mg/Kg PS), cobre (487,2 mg/Kg PS), plomo (2880 mg/Kg PS) y zinc (7007 mg/Kg PS) que superaron el valor PEL de la guía canadiense. Este resultado concuerda con los estudios de comunidades hidrobiológicas que registraron especies de *Fragilaria capuccina y Phormidium* sp. (microalgas) y la familia *Chironomidae* (macroinvertebrados bentónicos) que son resistentes a elevadas concentraciones de metales (Ferreira, 2007; Adlassnig *et al*., 2013; Herrero, 2014).

En el año 2018, se realizó la caracterización del material fino depositado dentro de la poza de recirculación Catuva (POZA-MC). El referido material de la poza presentó concentraciones de arsénico (113,1 mg/Kg PS), cadmio (27,1 mg/Kg PS), cobre (631,8 mg/Kg PS), plomo (4263 mg/Kg PS) y zinc (7014 mg/Kg PS).

En adición a ello, se identificaron 2 tuberías[81] sin flujo de agua, pero con presencia de material fino (lodo) (con codificación POZA-MC-A), en dirección a la quebrada S/N 10, que también presentaron similares características al material de la poza (con codificación POZA-MC) (Figura 7-26).

[81] Cabe precisar que durante la evaluación no se pudo identificar el origen de dichas tuberías, debido a que estas se encontraban enterradas.



Figura 7-26. a) Vista panorámica de la poza de recirculación Catuva y la quebrada S/N 10, b) y c) Tuberías sin flujo con lodo en dirección a la quebrada S/N 10 (POZA-MC-A) con presencia de material plomizo.

Es decir, tanto el material de la poza (POZA-MC) como el proveniente de las 2 tuberías halladas (POZA-MC-A) presentaron similares concentraciones de los mismos metales del sedimento en la quebrada S/N 10 (QSanAB-02), descritos en los párrafos precedentes. Por lo tanto, el material presente en la quebrada procedería de la poza de recirculación Catuva. No obstante, actualmente no se cuenta con elementos suficientes para demostrar dicha procedencia.

Por último, en el lado norteoeste de la laguna Santa Ana, se observó un canal de concreto contiguo a la poza de recirculación Esperanza, separadas por un bloque también de concreto. Cabe precisar que dicho canal presentó un tramo en tierra con dirección a la laguna Santa Ana, en el cual se observó presencia de agua (FSanAB-03[82]) que se infiltraba en su recorrido, con concentraciones de níquel (0,0093 mg/L) y plomo

[82] Respecto a este punto, cabe precisar que, en las hojas de campo de la presente evaluación, se consignó este como una surgencia. No obstante, de la revisión en gabinete, se advirtió que esta no tiene dicha condición.

(2,129 mg/L) (Figura 7-27 a) y b)); sin embargo, no se evidenció el origen de dicha agua ni la descarga a la laguna Santa Ana. Sin perjuicio de ello, durante las épocas de avenida podría representar un riesgo de descarga a dicha laguna.



Figura 7-27. Acumulación de agua en canal entre la poza de recirculación Esperanza y laguna Santa Ana.

Sobre la calidad de agua en la laguna Santa Ana, la concentración de plomo en los niveles superficial (3 de 3 puntos), medio (2 de 2 puntos) y fondo (2 de 2 puntos) incumplieron los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA); además, al compararse referencialmente con los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1, excedió los valores de pH y concentraciones de selenio, plomo y zinc.

Además, de la comparación de los valores máximos reportados para el mes de setiembre en el PAMA (1997) y los reportados por el OEFA (2018), se observó un incremento en las concentraciones de plomo (de 0,03 a 0,0357 mg/L), zinc (de 0,03 a 0,09 mg/L), y los valores de pH (de 9,0 a 9,36 unidades de pH). Asimismo, en la Figura 7-28 se muestra el análisis temporal correspondiente al mes de setiembre de las concentraciones de plomo en la laguna Santa, tomando como referencia los valores del punto E-2/RCH-9 (Rebose de la laguna Santa Ana) reportados en el PAMA (1997) y del Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura (2015)[83]; y el valor promedio de plomo total correspondiente a las muestras de agua superficial tomadas durante las evaluaciones ambientales del 2017 y 2018.

[83] Aprobado por Resolución Directoral N.° 157-2015-MEM-DGAAM.

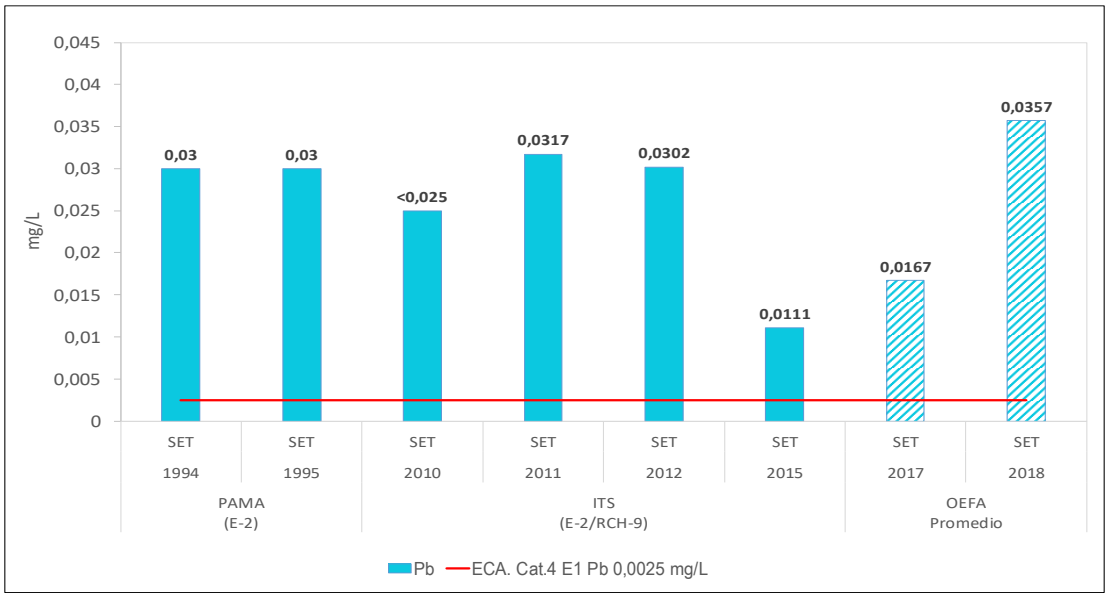


Figura 7-28. Análisis temporal correspondiente a setiembre desde 1994 hasta 2018, de las concentraciones de plomo en la laguna Santa

Estos valores estarían asociados al efluente FNiñC-09, la surgencia FSanAB-01 y otras fuentes no identificadas que aportan plomo a la quebrada S/N 1 (QSanAB-01), y en menor medida, a la quebrada S/N 10 (QSanAB-02) (Figura 7-29). Además, en el Informe N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME se indicó que las mayores concentraciones de plomo se encuentran próximos a la descarga de las mencionadas quebradas.

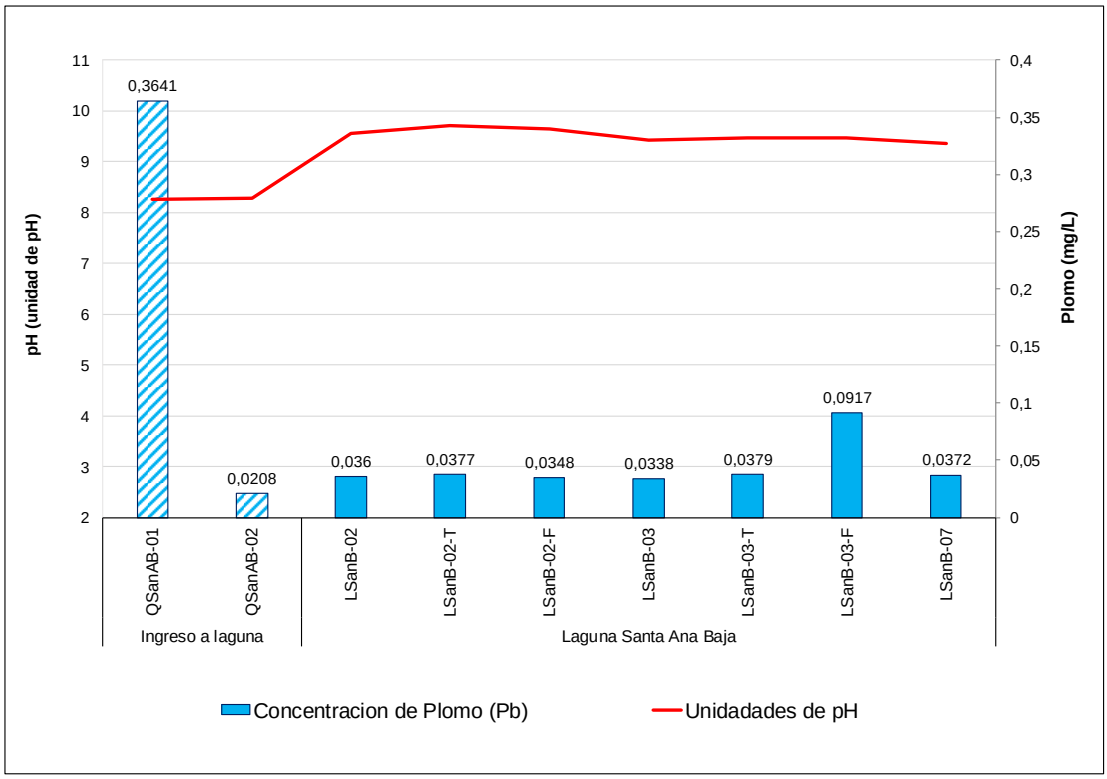


Figura 7-29. Concentraciones de plomo en las quebradas aportantes y de la laguna Santa Ana

Sobre las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en el sedimento de esta laguna, se excedieron los valores PEL de la guía canadiense en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (7 puntos) y 2018 (2 puntos). Además, de acuerdo con el índice de geoacumulación, los sedimentos se clasifican como «*No contaminado a moderadamente contaminado*» por arsénico en 3 de 9 puntos; y de «*Moderadamente contaminado a fuertemente contaminado*» por cadmio en 7 de 9 puntos y zinc en 8 de 9 puntos, y como «*Fuertemente contaminado*» en 1 punto por cadmio y todos los puntos por plomo (Figura 7-30)

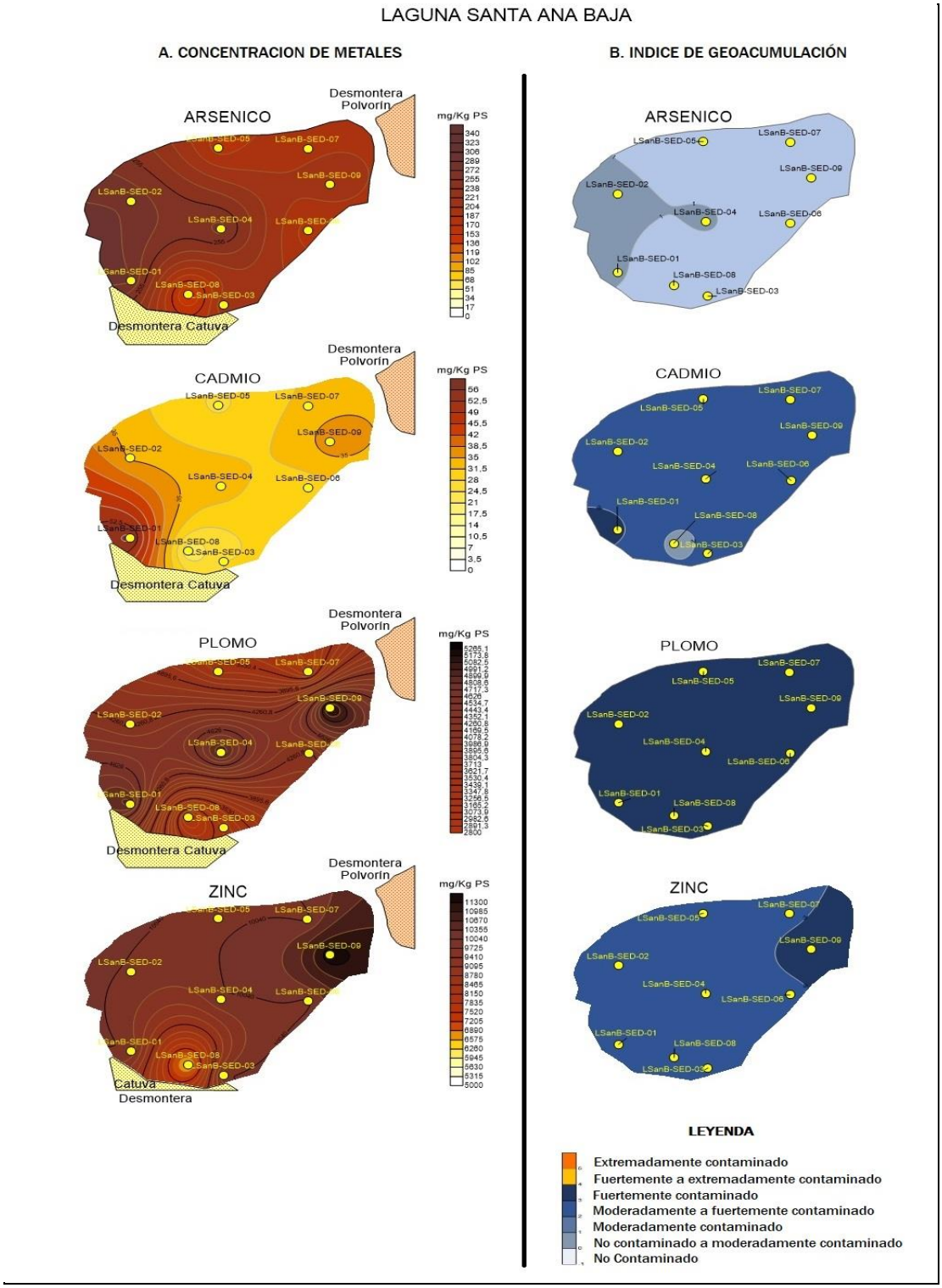


Figura 7-30. a) Concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc, e b) índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Santa Ana

Cabe indicar, que la mayor concentración de arsénico y cadmio en sedimentos se encuentra próximo a la descarga de la quebrada S/N 10 y la mayor concentración de plomo y zinc en sedimento se encuentra próximo a la zona de rebose (LSanB-SED-09). Al respecto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en el sedimento de la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

En la laguna Santa Ana se evaluó el plancton en 3 niveles: superficial, medio y fondo. En el nivel superficial, se registró la menor riqueza de fitoplancton, siendo el punto LSan-HB-07, el de menor abundancia en fitoplancton, pero el mayor en zooplancton. El rol de los consumidores primarios (zooplancton) podría estar influenciando la disponibilidad de abundancia en ciertos puntos de muestreo, por lo que al comparar la riqueza de especies del fitoplancton entre el 2017 y el 2018, se observa cierta disminución en algunos puntos.

Además, el zooplancton ha incrementado considerablemente en el acumulado total de la laguna de 3 a 9 especies. El ciclo de vida de los copépodos, que presentan estados de latencia y diferentes fases de desarrollo, se habría visto favorecido por las condiciones ambientales del 2018 ya que se registró disminución de las concentraciones de zinc respecto al 2017.[84]

Asimismo, las concentraciones de plomo, zinc y selenio presentes en la laguna Santa Ana, en determinadas especies químicas, afectan desde la división celular hasta la dominancia de ciertos grupos algales en la comunidad del plancton (EPA822-R-16-006, 2016; Rand *et al.*, 2010).

Cabe mencionar que la laguna Santa Ana es la única que presenta valores de eutrofización para el Índice de Estado Trófico y, de acuerdo con el Comité de Eutrofización de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE), se encontraría en un estado hipereutrófico. No obstante, debido a los bajos valores de nitrógeno total en todos los puntos evaluados, esta laguna se encontraría más cercano a un estado meso-eutrófico[85].

7.2 Zona 2 - Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha

Para el análisis de las discusiones de la zona 2 se consideró los ámbitos de las lagunas Siete Caballeros, Caballococha y Nieve Ucro, además, los depósitos de relave Nieve Ucro I y Nieve Ucro II; así como, la laguna Tinquicocha, bocamina y depósito de desmonte Tinquicocha. En la Figura 7-31 se observa la distribución de puntos de muestreo de agua en la zona 2.

84 Las concentraciones promedio de zinc del 2017 y 2018 fueron 0,1770 y 0,1021 mg/L, respectivamente.
85 De los estudios realizados, no fue factible determinar si esta condición (estado meso-eutrófico) es anterior al PAMA (1997) o se debe a actividades posteriores a dicho instrumento.

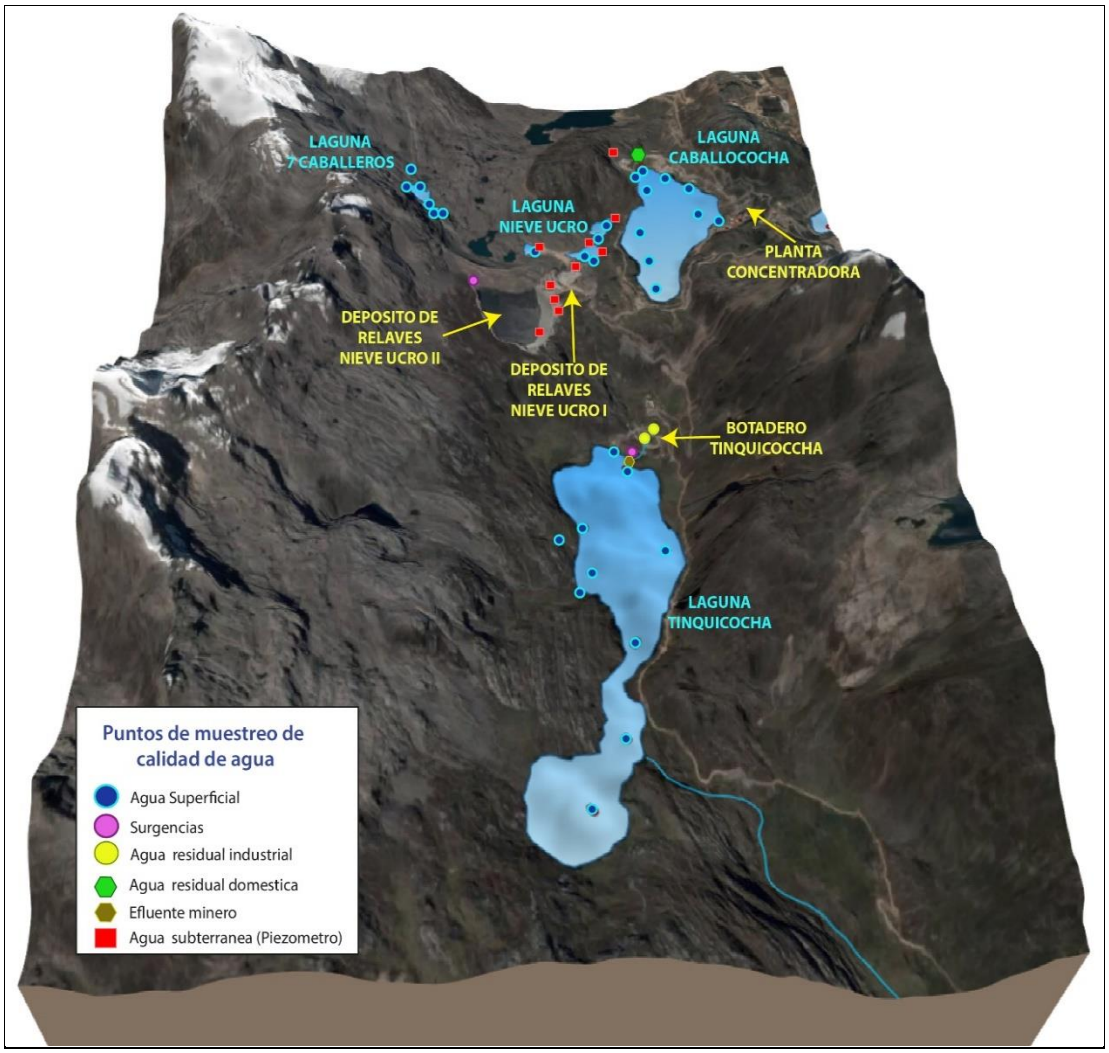


Figura 7-31. Distribución de puntos de muestreo de agua en la zona 2

Ámbito de las lagunas Siete Caballeros, Caballococha y Nieve Ucro

En cuanto a la evaluación de agua superficial, se realizó el muestreo de 19 puntos en la laguna Caballococha, 5 puntos en la laguna Nieve Ucro, 4 puntos en la laguna Siete Caballeros, 1 punto de efluente[86] (EFCaba-01), 2 puntos en surgencias (FNievU2-01 y QCaba-03) y 3 puntos de muestreo en quebradas (Q7Caba-01, Q7Caba-02 y QCaba-01), que se presentan en la Figura 7-32.

[86] Se debe precisar que este punto corresponde a un flujo de agua proveniente de un canal de concreto tapado que ingresa a la laguna Caballococha. De la información recaba en campo, este flujo presentó características similares al agua residual doméstica (concentraciones de OD cercanas a 3 y olor fétido); no obstante, no fue posible determinar su origen. (Anexo 6 [videos])

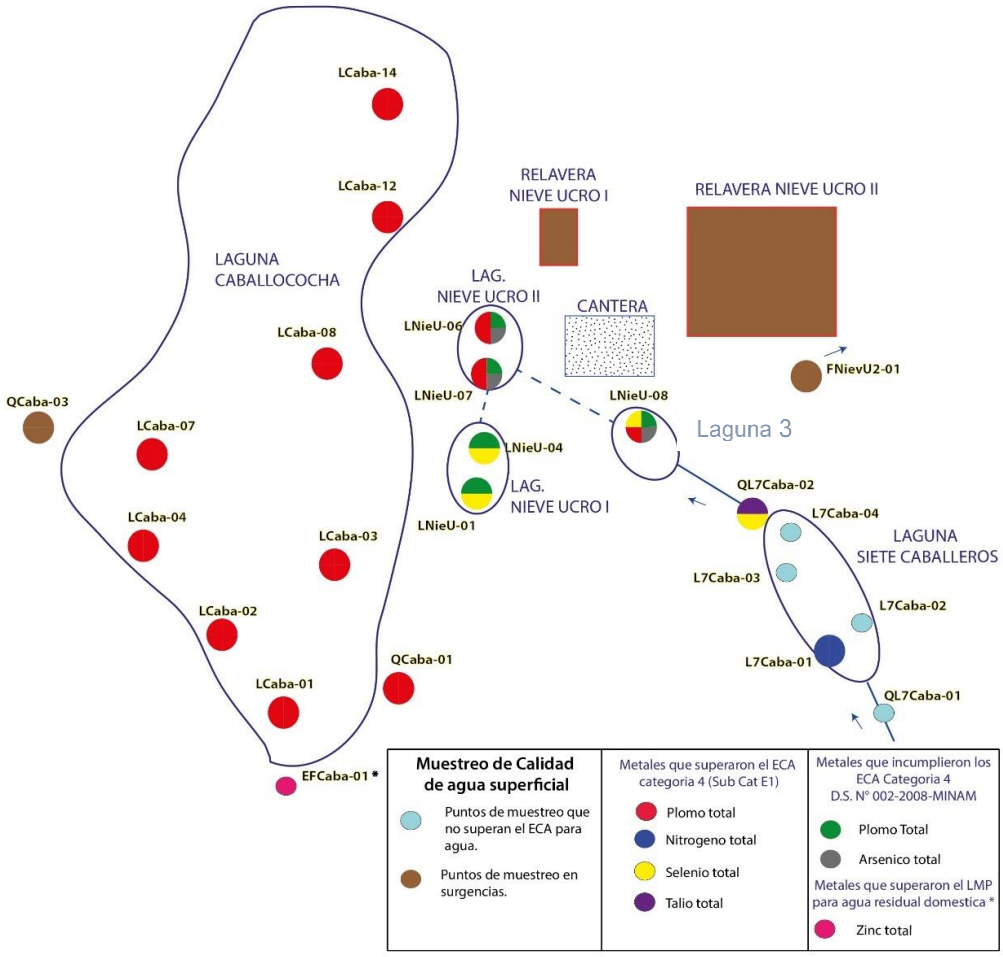


Figura 7-32. Distribución de puntos de muestreo en el ámbito de las lagunas Caballococha, Nieve Ucro y Siete Caballeros

La laguna Siete Caballeros se ubica debajo del nevado del mismo nombre, el cual por deshielo aporta sus aguas a este cuerpo. Los puntos de muestreo en la laguna Siete Caballeros (L7Caba-01, L7Caba-02, L7Caba-03 y L7Caba-04) y en la quebrada S/N 2 (QL7Caba-01) presentaron parámetros que no excedieron los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1; a excepción del punto QL7Caba-02 (salida de la laguna Siete Caballeros), que presentó selenio y talio (0,0091 y 0,00082 mg/L) y el punto L7Caba-01 que presentó nitrógeno (0,691 mg/L) que excedieron el referido estándar de comparación.

El sedimento en la laguna Siete Caballeros presentó concentraciones de arsénico y mercurio que superaron referencialmente los valores PEL de la norma canadiense en los puntos L7Caba-SED-01, L7Caba-SED-02, L7Caba-SED-03 (laguna Siete Caballeros) y QL7Caba-02 (quebrada S/N 2). El cadmio, plomo y zinc en el punto L7Caba-SED-02, según la prueba de extracción secuencial, el cobre y plomo en la laguna (L7Caba-SED-01 y L7Caba-SED-03) se encuentran en la fracción 1 y 2, respectivamente (i.e. iones intercambiables y enlazados a carbonatos).

La presencia de los referidos metales en las muestras de agua y sedimento estaría asociada a la mineralización característica de la zona donde no se evidenció actividades mineras. En ese sentido, constituye un cuerpo de agua de origen natural no alterado por la actividad minera de la CMR S.A.

Las concentraciones de estos metales en el agua y sedimento en la quebrada S/N 2 no impidieron el desarrollo de las comunidades de microalgas en los puntos QL7Caba-HB-01 y QL7Caba-HB-02, los cuales registraron una similar riqueza y diversidad (Figura 7-33). Asimismo, para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, se registraron especies tales como *Cailloma sp.* y *Hyalella sp.*, las cuales pertenecen a familias taxonómicas que se desarrollan en condiciones oligotróficas y ambientes no perturbados (Encalada, 2011).

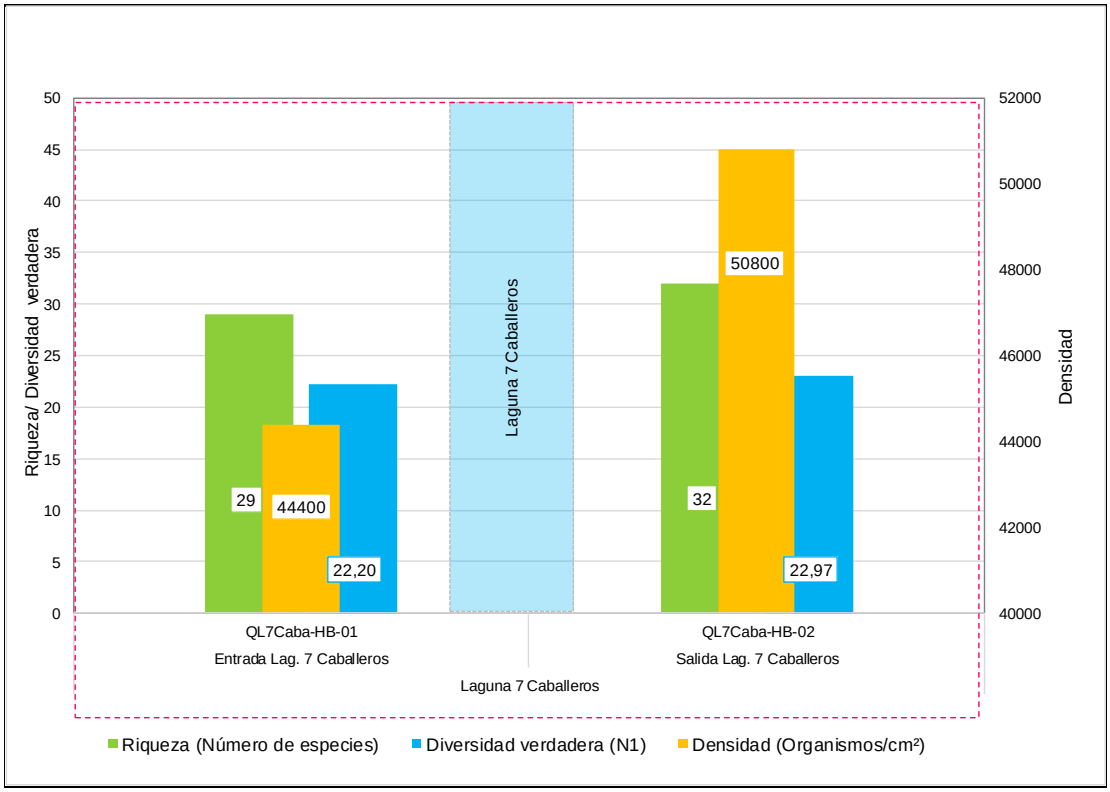


Figura 7-33. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios de la laguna Siete Caballeros

De acuerdo con la clasificación del Índice de Estado Trófico (ITS) de Carlson (1977), utilizando fósforo y los valores del Comité de Eutrofización de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE), se obtuvo que la laguna Siete Caballeros se encuentra en un estado oligotrófico y mesotrófico. Además, debido a los bajos valores de nitrógeno total para los puntos L7Caba-HB-02, L7Caba-HB-03 y L7Caba-HB-04, estos puntos deben encontrarse más cercano a un estado oligo-mesotrófico; mientras que, el punto L7Caba-HB-01 está más cercano a un estado mesotrófico.

El fitoplancton en la laguna registró menor valor de riqueza de especies en el acumulado total para esta zona; sin embargo, el punto L7Caba-HB-01 presentó el mayor valor de

nitrógeno y una mayor riqueza y densidad de especies y se encuentran más cercanos a la quebrada proveniente del nevado cercano a la laguna (QL7Caba-HB-01); además, fue el único que registró valores de fósforo dando como resultado un estado en el límite entre mesotrófico y eutrófico según la OCDE. Este mismo punto mostró en el zooplancton una mayor abundancia de la especie *Keratella quadrata*, este género muestra patrones de adaptación en condiciones mesotróficas y de altitud (Galkovskaya y Mityanina,1989; Segers y De Smet, 2008).

Por otro lado, la laguna Caballococha fue empleada como depósito de relaves desde la década del 60 hasta 1996. Posteriormente, estos relaves fueron removidos y utilizados como relleno en las labores subterráneas y dispuestos en el depósito de relave Nieve Ucro II. En el 2000, en previsión de la colmatación del área destinada a la disposición de relaves en el depósito de relaves Nieve Ucro II, la CMR S.A. solicitó una consultoría para la elaboración de un estudio de alternativas para la determinación de un nuevo depósito de relaves. De esta manera, se procedió con el diseño de estudio de impacto ambiental, denominado «Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha»[87], en atención al cual se autorizó la disposición subacuática de relaves mineros; por lo cual, dicha laguna presenta mayoritariamente relave como material sedimentario[88].

Los aportantes a la laguna Caballococha son la quebrada S/N 11 (QCaba-01), rebose por un costado del canal tapado que ingresa a la laguna Caballococha (EFCaba-01), y la surgencia (QCaba-03) (Anexo 6 [videos]). El punto QCaba-01, de facies bicarbonatada cálcica, presentó concentraciones de metales que cumplieron los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA).

Además, al compararse referencialmente con los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1, solo excedió la concentración de plomo (0,0076 mg/L), predominando la especie *Encyonema minutum,* el cual se desarrolla en ambiente oligo-mesotrófico (Mora, 2017). La concentración de plomo en el punto QCaba-01 estaría asociada a la mineralización, cuyo origen es natural. En consecuencia, dicha excedencia no se asociaría a la actividad minera de la CMR S.A.

La surgencia (QCaba-03, ver Figura 7-35 a)) presentó concentraciones elevadas de plomo (0,1424 mg/L), zinc (1,999 mg/L) y cadmio disuelto (0,00553 mg/L) en relación con el punto QCaba-01, lo que se evidenció con el predominio de microalgas del género *Phormidium* y *Xenococcus* en el punto QCaba-HB-03, las cuales son resistentes a elevadas concentraciones de metales (Adlassnig *et al.,* 2013). A su vez, este mismo punto presentó una menor densidad, riqueza y diversidad en relación con el punto QCaba-HB-01 (Figura 7-34). Cabe precisar que el punto QCaba-03 corresponde a la surgencia de agua que ingresa a la laguna Caballococha, en el sector donde se ubica la zanja de infiltración – Planta concentradora, cuyo origen no fue identificado, por tanto, se requieren mayores estudios técnicos a efectos de determinar su procedencia.

87 Estudio de Impacto Ambiental del Deósito de relaves Caballococha, aprobado mediante la Resolución Directoral N.° 2007-2003-EM/DGAA.

88 La información sobre los antecedentes de la unidad minera Raura se han extraído del Escrito 2257522 (f. 53-54) presentados en la Actualización del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura de Compañía Minera Raura S.A., aprobado mediante Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AAM del 9 de julio de 2013.

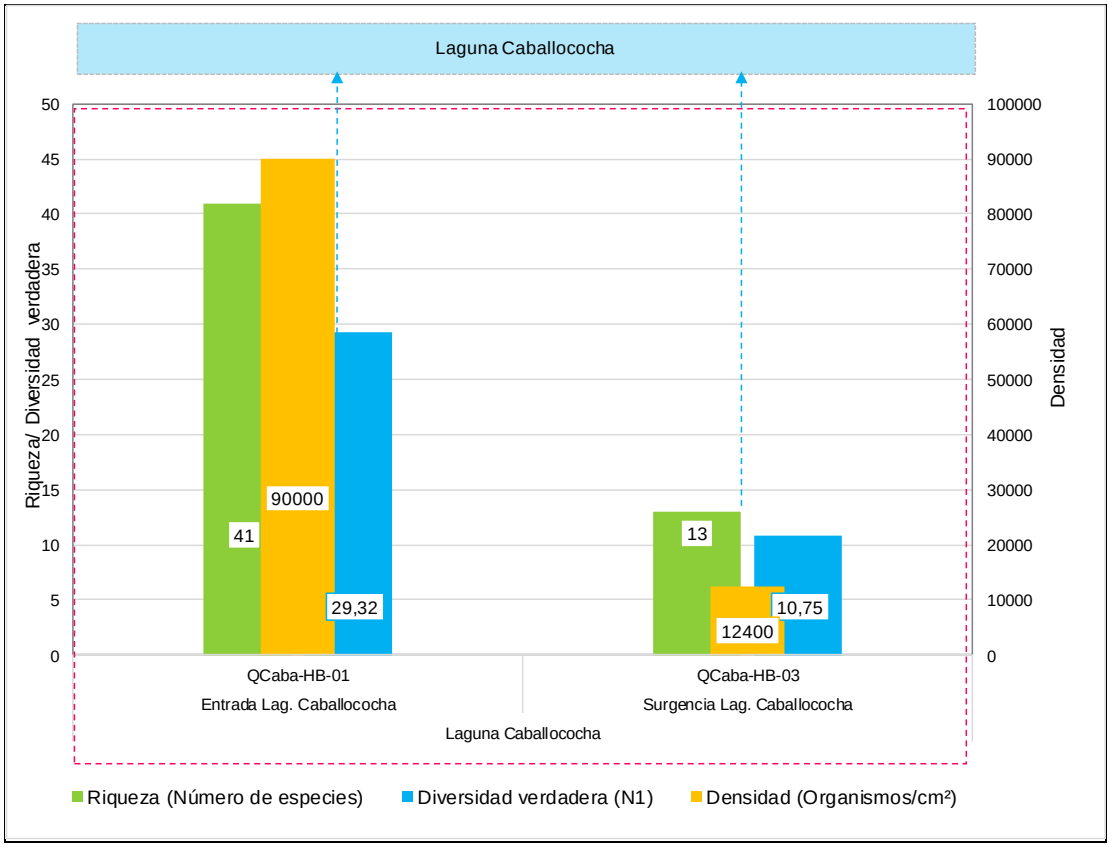


Figura 7-34. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en los tributarios de la laguna Caballococha

Asimismo, las aguas en el punto EFCaba-01, ubicado en el rebose del canal tapado que ingresa a la laguna Caballococha (Figura 7-35 b)), presentó características organolépticas de aguas servidas con concentraciones de plomo (0,1098 mg/L), zinc (0,2257 mg/L) y níquel (0,0032 mg/L), y bajo valor de oxígeno disuelto de 3,56 mg/L. Sin embargo, de las acciones en campo, no fue posible determinar el origen de esta descarga de agua, debido a que este canal se encontraba enterrado[89].

[89] Si bien en el acápite 5.1.2. Ubicación de Puntos – Metodología del presente informe se consignó que el punto EFCaba-01 corresponde a "agua residual doméstica" en función a las características organolépticas, sin embargo, conforme se ha descrito en el presente informe, no fue posible determinar su origen.

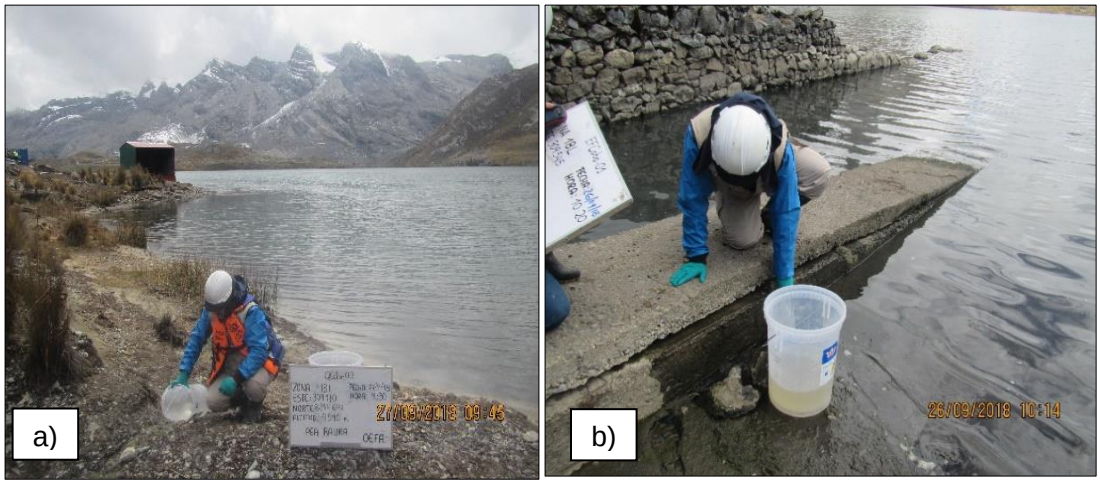


Figura 7-35. a) Surgencia QCaba-03, contiguo a la zanja de infiltración de la planta concentradora, y b) Rebose por un costado del canal tapado que ingresa a la laguna Caballococha EFCaba-01.

En la laguna Caballococha se realizó el muestreo en 3 niveles en la columna de agua; la primera denominada superficial; la segunda, medio (que coincide con el límite de la zona fótica y afótica); y, la tercera, fondo. Cabe mencionar que las muestras del nivel de fondo fueron tomadas a 0,5 m de altura sobre el sedimento.

Los parámetros evaluados en la laguna Caballococha cumplieron los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA). Además, al ser comparado referencialmente con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, el plomo excedió dicha norma en los 3 niveles superficial (8 de 8 puntos), medio (5 de 5 puntos) y fondo (6 de 6 puntos). Además, la concentración de plomo en dicha laguna se encontró en mayor porcentaje en la fracción suspendida (sólido) que varió de 63 a 92%, respecto a la fracción disuelta de 8 a 37% (Figura 7-36).

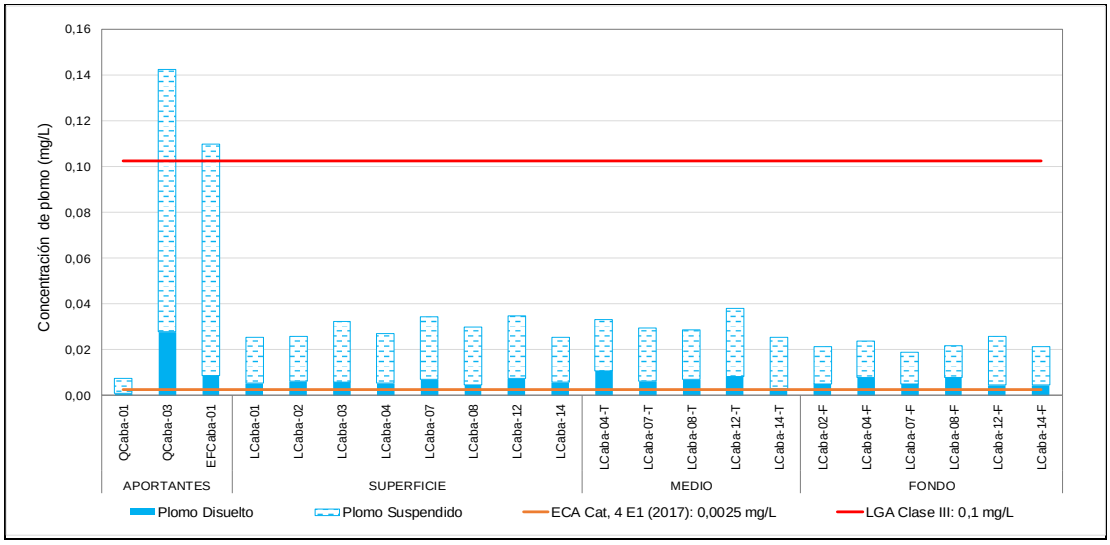


Figura 7-36. Concentración de plomo en la laguna Caballococha y aportantes

Asimismo, del análisis comparativo de la concentración de plomo entre 2017 y 2018, se observó un incremento solo en el nivel superficial (LCaba-02, LCaba-03, LCaba-04) próximos a la zona donde se realizó la disposición de material plomizo, y en el nivel superficial y fondo cercanos a la zona de rebose (LCaba-08, LCaba-12, LCaba-14, LCaba-08-F) (Figura 7-37 a)). Sin embargo, se observó una disminución de zinc total y cadmio disuelto en los tres niveles evaluados en esta laguna.

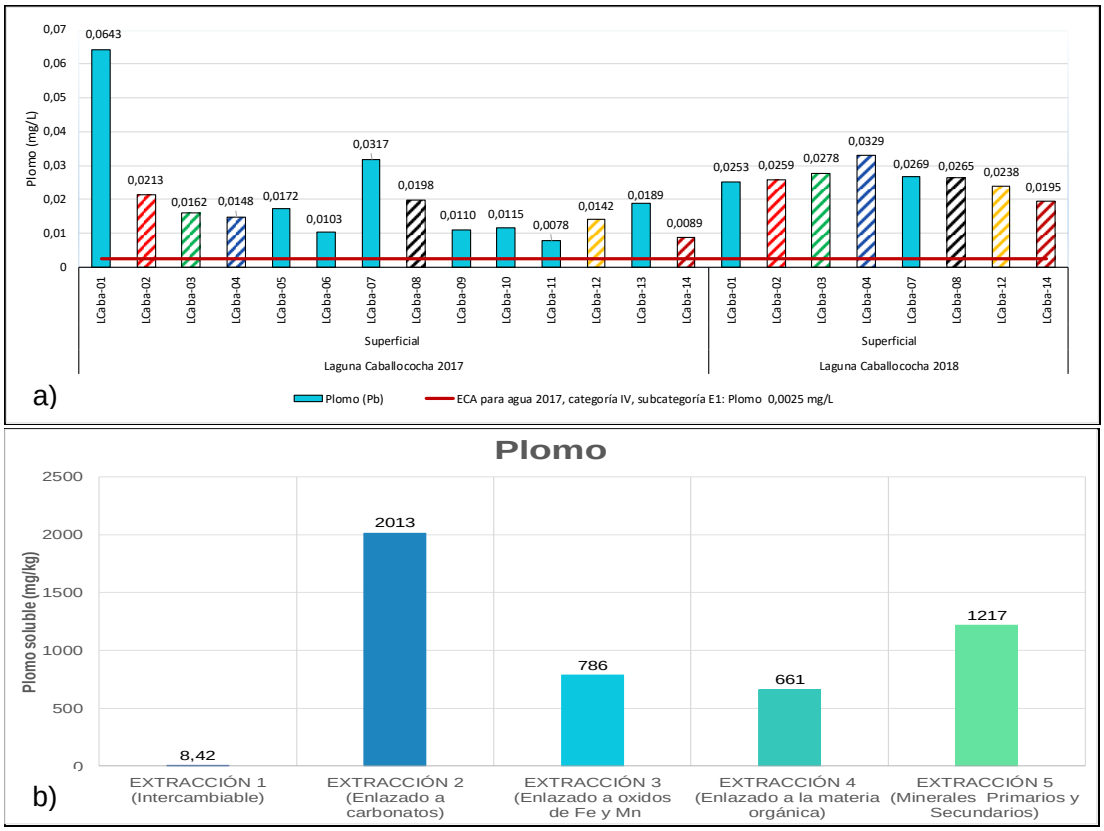


Figura 7-37. a) Incremento de concentración de plomo en la laguna en los puntos cercanos a la disposición de material y cercanos al rebose de la laguna, b) Extracción secuencial (Tessier) del material plomizo dispuesto QCaba-05

El incremento de plomo en la laguna estaría asociado principalmente a la disposición de material plomizo. En efecto, durante la evaluación ambiental, se observó material dispuesto de coloración plomiza (mineral fino)—cuya extensión no fue posible determinar— en la orilla de la laguna Caballococha (QCaba-05), verificándose las mayores concentraciones de plomo en los puntos cercanos a este material (LCaba-02, LCaba-03, LCaba-04) (Figura 7-38 a) y b)) y (Anexo 6 [videos]).

De acuerdo con el análisis de extracción secuencial (Tessier), este material fino presentó 43 % (2013 mg/kg) de plomo asociado a carbonatos (biodisponible) y 0,2% como ión intercambiable, a diferencia del zinc total y cadmio disuelto que se encontró en un 5 % y 4%, respectivamente. Es decir, la incorporación del plomo a la laguna Caballococha es a través del material fino (carbonatos), el cual, mediante los procesos

de resuspensión (Figura 7-38 c)), se estarían incorporando al agua en su forma suspendida (Bloesch, 2009).

En cambio, este fenómeno no se observa para el zinc total y cadmio disuelto toda vez que se encuentran principalmente asociados a minerales primarios y secundarios (Fracción residual), que tienden a sedimentarse. Esto explicaría por qué entre el 2017 y 2018, se vio una disminución de estos metales (zinc total y cadmio disuelto) y, contrariamente, un incremento del plomo en la laguna Caballococha.

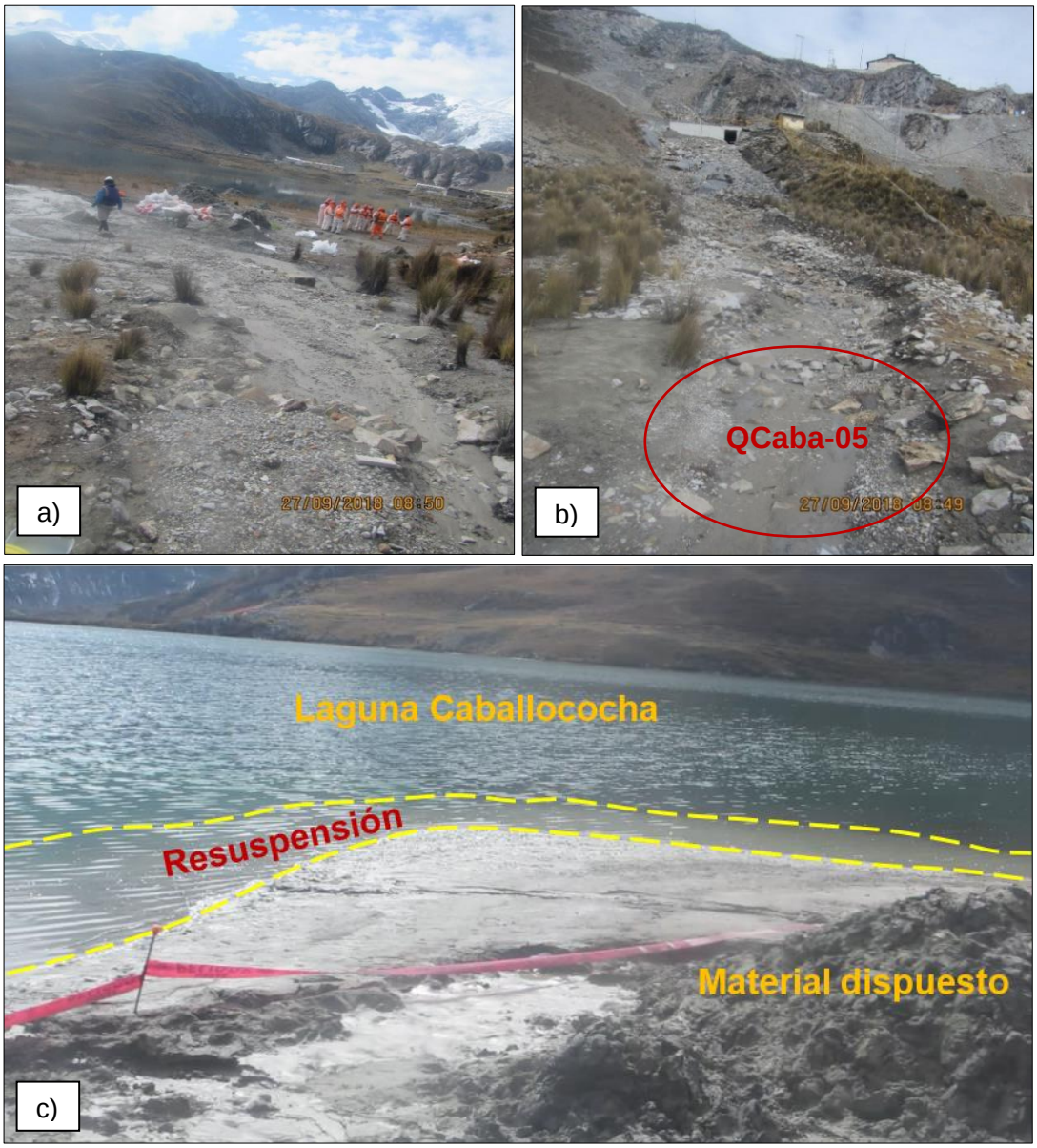


Figura 7-38. a) Vista panorámica del material de coloración plomiza acumulado en la orilla de la laguna Caballococha; b) material acumulado contiguo a punto QCaba-05, y c) resuspensión del material acumulado en la orilla de la laguna Caballococha

En la Actualización del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura presentado por Compañía Minera Raura S.A.[90], aprobado por Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AAM, indica que:

> La estabilidad de los relaves dispuestos en el depósito de relaves subacuático de la «Laguna Caballococha», está garantizada por estar emplazado en un vaso de roca caliza, el cierre de este depósito consiste en mantener una cubierta mínima de 3,00 m de agua sobre los relaves, debiendo asegurar una cubierta mínima de 2,80 m en épocas de estiaje, donde la evaporación baja el nivel del agua de la laguna hasta 23 cm aproximadamente, para evitar la presencia de oxígeno del aire que ingresa a través del agua y exista riesgo de generar drenaje ácido de roca.

No obstante, se advirtió que, al momento de realizar el muestreo de agua, la profundidad en los puntos LCaba-01, LCaba-02 y LCaba-04 fueron de 0,8, 2,7 y 2,4 m[91], respectivamente (Ver Anexo 2. Reporte de campo). Asimismo, de los resultados del estudio «Levantamiento Batimétrico del Embalse Caballococha»[92] (2015: 8-9), se advierte que la laguna Caballococha presenta profundidades menores a 3,00 m (Figura 7-39). En ese sentido, se constató que la zona sur oeste de la laguna Caballococha presenta profundidades menores a 3,00 m. Al respecto en la actualización del Plan de Cierre[93], se señala que, a fin de evitar el riesgo de generación de drenaje ácido, se debe asegurar una cubierta mínima de 2,8 m en época de estiaje. Cabe precisar que, de las acciones de evaluación dichos puntos presentaron valores de pH de 8,84 (LCaba-01), 8,23 (LCaba-02) y 8,03 (LCaba-04).

90 La información se ha extraído del Escrito 2257522 (f. 547) presentado en la Actualización del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura de Compañía Minera Raura S.A., aprobado mediante Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AAM del 9 de julio de 2013.

91 Cabe aclarar que, conforme se observa en el reporte de campo, el punto LCaba-04 se realizó el muestreo en 3 niveles en la columna de agua (desde el espejo de agua hasta 0,5 m del sustrato), la primera LCaba-04 denominada superficial (0 metros); la segunda LCaba-04-T, medio (que coincide con el límite de la zona fótica y afótica: 1,5 m); y, la tercera LCaba-04-F, fondo (1,9 m); no obstante, la profundidad en el mencionado punto desde el espejo de agua hasta el sustrato fue de 2,4 m.

92 Estudio proporcionado por la CMR S.A. a través del correo institucional Legalregulatorio@raura.com.pe del 3 de enero de 2019.

93 Aprobado mediante Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AMM.

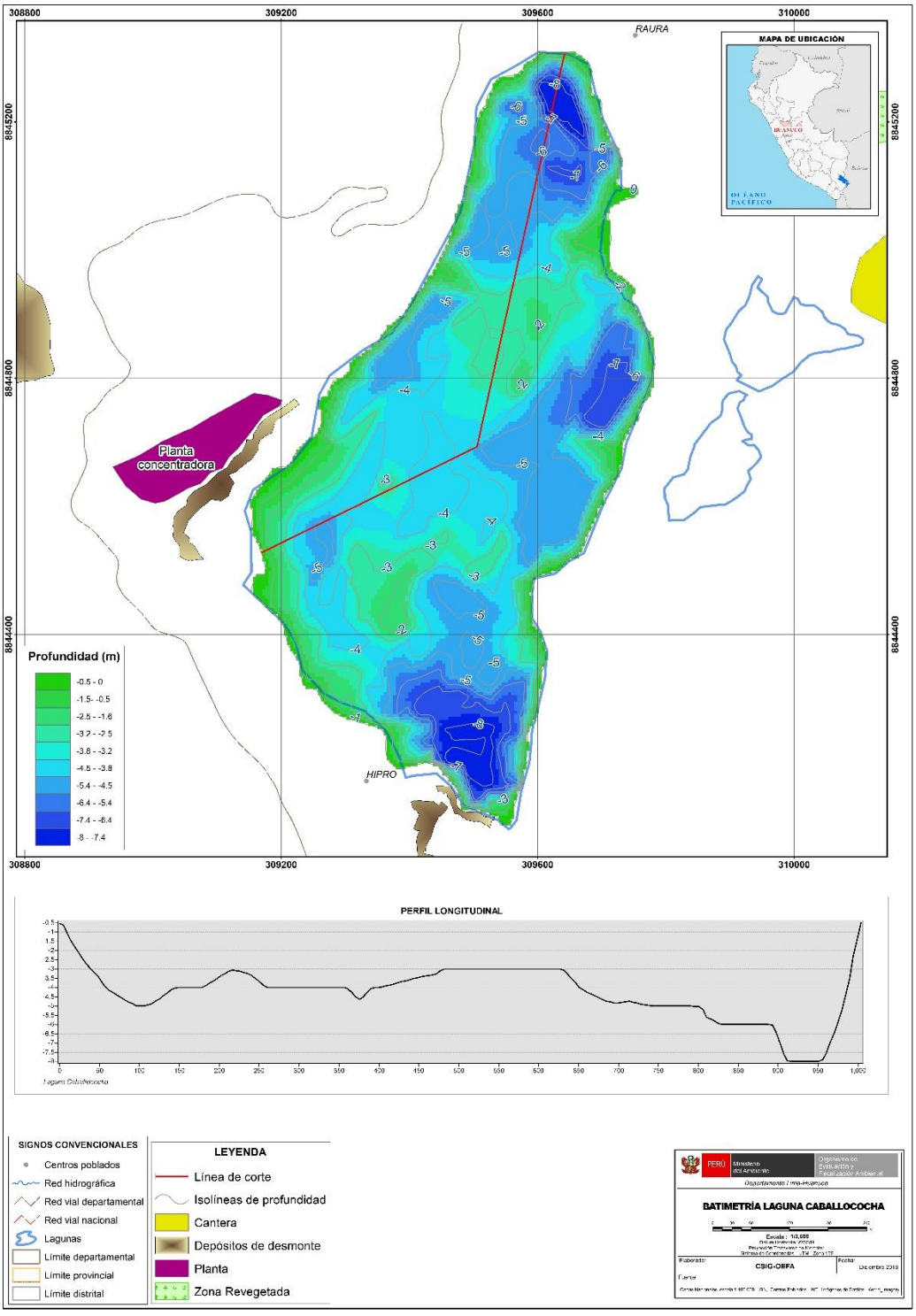


Figura 7-39. Resultados del estudio «Levantamiento Batimétrico del Embalse Caballococha» realizado por CMR S.A.

En la laguna Caballococha el fitoplancton y zooplancton mostraron un incremento de especies para ambos grupos en el acumulado total. En el 2018, la riqueza fue mayor en el nivel superficial respecto al fondo, a excepción del punto LCaba-HB-12. Los puntos LCaba-HB-01 y LCaba-HB-14-F presentaron una disminución de riqueza de especies en entre el 2017 y 2018. Para el agua en el nivel de fondo (LCaba-14-F) el plomo disminuyó de 1,168 mg/L en 2017 a 0,0214 mg/L en 2018 y el selenio de 0,0027 mg/L a <0,0004 mg/L. Si bien hay una disminución de riqueza de especies, se observa un aumento en la riqueza a nivel de *phyla* que se registra en LCaba-HB-14-F; mientras que, en 2017 fue solo 1 en 2018 se registró 5, como ya se ha mencionado la relación de plomo, zinc y selenio en agua afectan desde la división celular hasta la dominancia de ciertos grupos algales en la comunidad del plancton (EPA822-R-16-006, 2016; Rand *et al.*, 2010), también este punto coincidió con la mayor densidad del zooplancton, dominado por el copepodo *Boeckella* sp. que puede haber ejercido presión en la densidad del fitoplancton en este punto y los alrededores.

La menor densidad de fitoplancton se observó al sur de la laguna próximo al rebose del canal que ingresa a la laguna Caballococha (EF-Caba-01) y la quebrada S/N 11 (QCaba-HB-01) y, esto coincidió con la mayor riqueza del zooplancton; por otro lado, en el punto de muestreo LCaba-HB-04 ubicado entre las descargas QCaba-HB-01, QCaba-HB-02, y el ingreso de la quebrada sin nombre 12 (QCaba-05) la riqueza del fitoplancton presentó el mayor valor predominando entre los 5 phyla registrados el phylum Bacillariophyta, el cual aumentó de 6 a 15 especies (Figura 7-40).

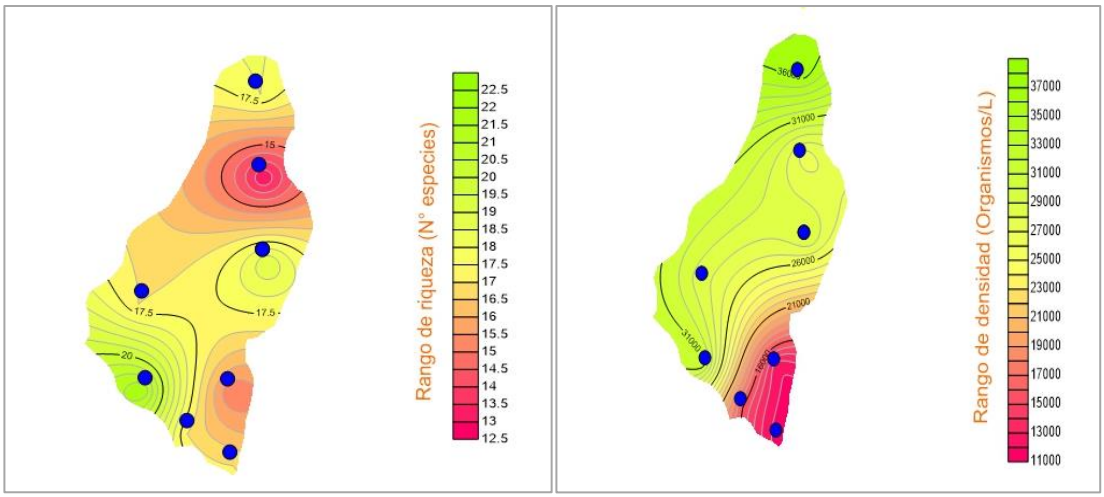


Figura 7-40. Distribución de la riqueza y densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Caballococha

Entre las lagunas Caballococha y Nieve Ucro se evaluaron los piezómetros AS-02 y PZ-06, de facies bicarbonatada cálcica, cuyas concentraciones de iones mayoritarios fueron menores a 5 meq/L (Figura 7-41). El piezómetro AS-02 registró concentraciones manganeso en su fase disuelta; asimismo, no se registró altas concentraciones de este metal en ambas lagunas, por tanto, este metal sería propio de la zona. Además, los afloramientos de caliza de la Formación Jumasha estarían relacionadas a las altas resistividades (zona C) registrados en los perfiles de las líneas de tomografía eléctrica LTR-8 (Figura 7-42), los cuales estarían actuando como una barrera natural y poseen

una conductividad hidráulica moderadamente alta en los primeros metros decreciendo en profundidad ($8x10^{-2}$ a $1x10^{-3}$ m/d)[94].

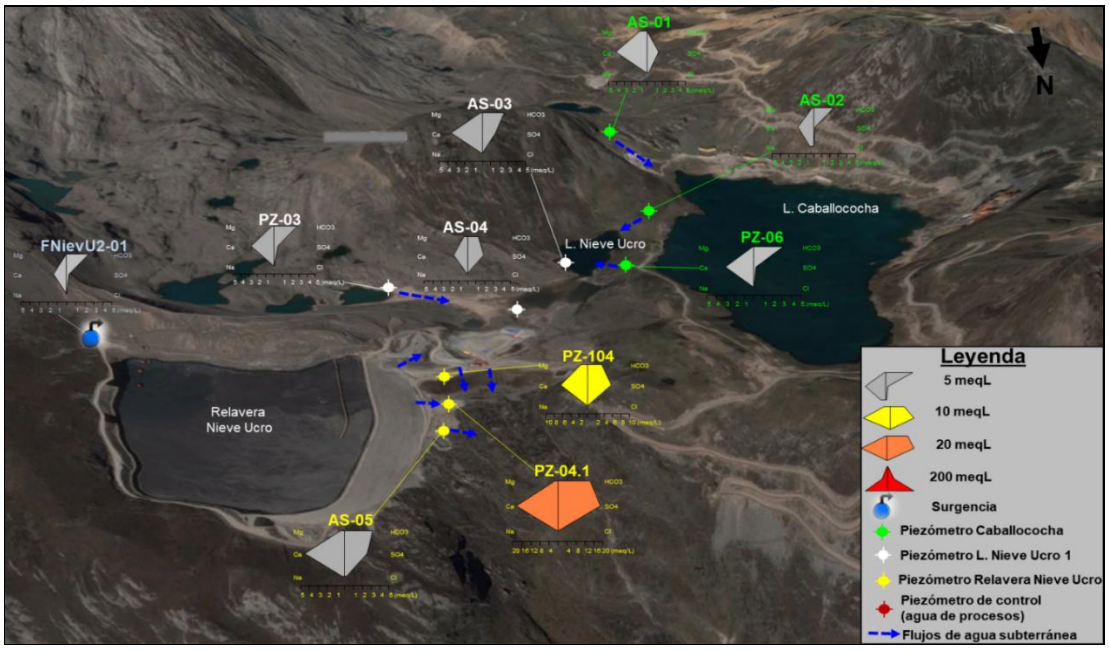


Figura 7-41. Distribución de los piezómetros y su clasificación hidroquímica en los sectores de Caballococha y Nieve Ucro

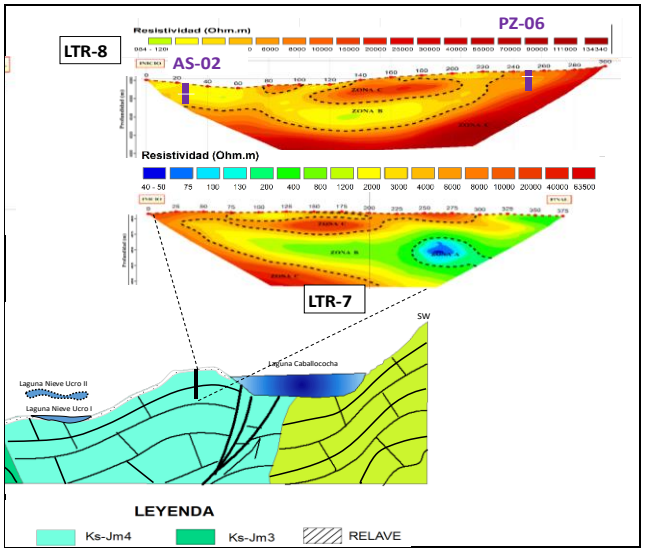


Figura 7-42. Representación esquemática del perfil geológico NW-SE con las líneas tomografía eléctrica LTR-8

94 Estudio Hidrogeológico Detallado en el Entorno del Depósito de Relaves Nieve Ucro II Informe Técnico, abril 2016, página 24.

En relación con la evaluación de agua superficial en la laguna Nieve Ucro y Laguna 3, está compuesta por tres subzonas, las cuales para una mejor interpretación se han denominado:

- zona I-Niue, es aquella que está próxima a la laguna Caballococha, por donde se encuentra el dique de contención que alimenta hídricamente a este sector. Comprende los puntos LNieU-01 y LNieu-04.

- zona II-NieU, ubicada hacia el norte aproximadamente a 120 m de la laguna Caballococha. Comprende los puntos LNieU-06 y LNieU-07. Cabe precisar, que en 2017 se evaluó el punto LNieU-05; además, en esta zona se ubica la estación de monitoreo PMW-02 (laguna Nieve Ucro) declarado por la CMR S.A en la «Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves-Nieve Ucro II».

- zona III-NieU[95], esta última recibe los aportes de la quebrada S/N 2 (QL7Caba-02). Comprende el punto LNieU-08, ubicado a 300 m al sur del depósito de relaves Nieve Ucro II. Cabe precisar, que en 2017 se evaluaron los puntos LNieU-09 y LNieU-10; además, en esta zona se encuentra la estación de monitoreo PMW-09 (Laguna 3) declarado por la CMR S.A en la «Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves-Nieve Ucro II».

Las concentraciones de plomo (4 de 4 puntos) y arsénico (2 de 4 puntos) en la Laguna Nieve Ucro, y el pH básico, arsénico y plomo (1 de 1 punto) en la Laguna 3 incumplieron los ECA para Agua (2008) Cat.4; además, al compararse referencialmente con los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1, las concentraciones de plomo y selenio[96] (Laguna Nieve Ucro: 2 de 4 puntos y Laguna 3: 1 de 1 punto) excedieron dicha norma.

De otra parte, mediante R.D. N.° 312-2013-MEM/AAM del 21 de agosto de 2013, se aprobó la Modificación del Estudio de impacto Ambiental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves-Nieve Ucro II. Del estudio de Línea Base Ambiental de la referida modificación, se reportó que las concentraciones en el punto PMW-02 (laguna Nieve Ucro) fueron de 0,0199 y de 0,0086 mg/L para plomo; y, de 0,0084 y 0,0080 mg/L, para arsénico, durante los monitoreos de mayo y agosto de 2011, respectivamente. A su vez, el punto PMW-09 (Laguna 3) reportó concentraciones de 0,0016 y 0,0013 mg/L para plomo; y, 0,0133 y 0,0372 mg/L, para arsénico, durante los monitoreos de mayo y agosto de 2011, respectivamente.

Asimismo, el Plan de Manejo Ambiental contenido dentro de la referida resolución estableció que las estaciones de monitoreo de calidad de agua PMW-02 y PMW-09 (antes mencionadas) deben ser monitoreadas. Del análisis de la información de los reportes de monitoreo de CMR S.A se advierte un incremento de las concentraciones de plomo (PMW-09) y arsénico (PMW-02) entre setiembre de 2015 y mayo de 2018, hecho que fue

95 La zona III-NieU, corresponde a la Laguna 3, conforme a la «Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Recrecimiento del Depósito de Relaves-Nieve Ucro II», aprobado mediante la Resolución Directoral N.° 312-2013-MEM/AAM con fecha 21 de agosto de 2013.

96 El valor de pH (LNieU-08) y selenio total (LNieU-01, LNieU-04 y LNieU-08) en la laguna estaría asociado al aporte de la quebrada S/N 2 (Q7Caba-02) que presentó un valor de pH de 8,52 unidades y concentración de selenio total de 0,0091 mg/L, es decir, a un aporte de la zona mineralizada.

corroborado con los resultados obtenidos de las evaluaciones ambientales de 2017 y 2018 (Figura 7-43).

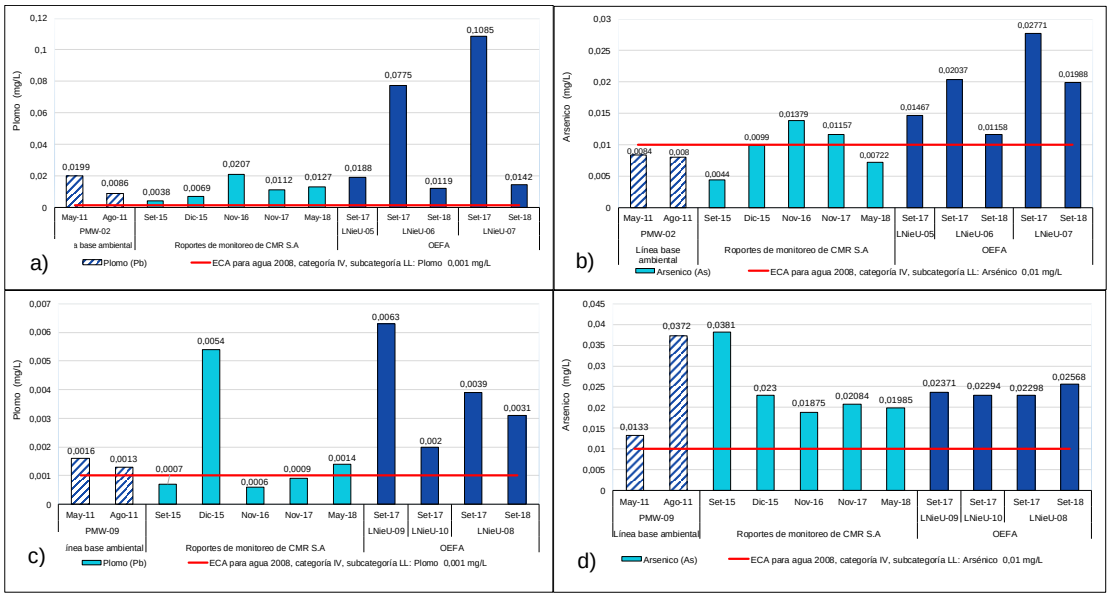


Figura 7-43. Incremento de las concentraciones de plomo y arsénico en la laguna Nieve Ucro para la estación PMW-02 y PMW-09

En efecto, las concentraciones de plomo (Laguna 3) y arsénico (Laguna Nieve Ucro) se incrementaron al comparar los resultados de la línea base ambiental de la Modificación del Estudio de Impacto ambiental del proyecto de recrecimiento del depósito de relaves Nieve Ucro II (2013) con los resultados de las evaluaciones 2017 y 2018. La presencia de plomo estaría asociada a la resuspención del sedimento en la Laguna 3. No obstante, de los resultados de la evaluación no se ha identificado el origen del plomo en el sedimento (Laguna 3) ni la fuente de arsénico para la laguna Nieve Ucro, por lo que se mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en dichas lagunas, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Por otro lado, los resultados de sedimento en la laguna Nieve Ucro presentaron concentraciones de metales que superaron el valor PEL de la norma canadiense, en el nivel superficial: arsénico en 3 de 3 puntos; cadmio, cobre, cromo, plomo, zinc en 2 de 3 puntos y mercurio en 1 de 3 puntos; además, en el nivel medio y fondo de 1 punto se registró concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, zinc, cobre, cromo, cadmio que superaron la referida norma.

En relación al sedimento del punto LNieU-SED-01-C[97] registraron concentraciones de plomo que superaron el valor PEL de la norma canadiense y, según el índice de geoacumulación, la zona I-NieU es «fuertemente contaminado» por plomo y «extremadamente contaminado» por cobre, cromo y zinc (Figura 7-44).

97 Respecto LNieU-SED-01-C, perfil superiror, cabe precisar que el Informe N.º 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME, fue codificado como LNieU-SED-01.

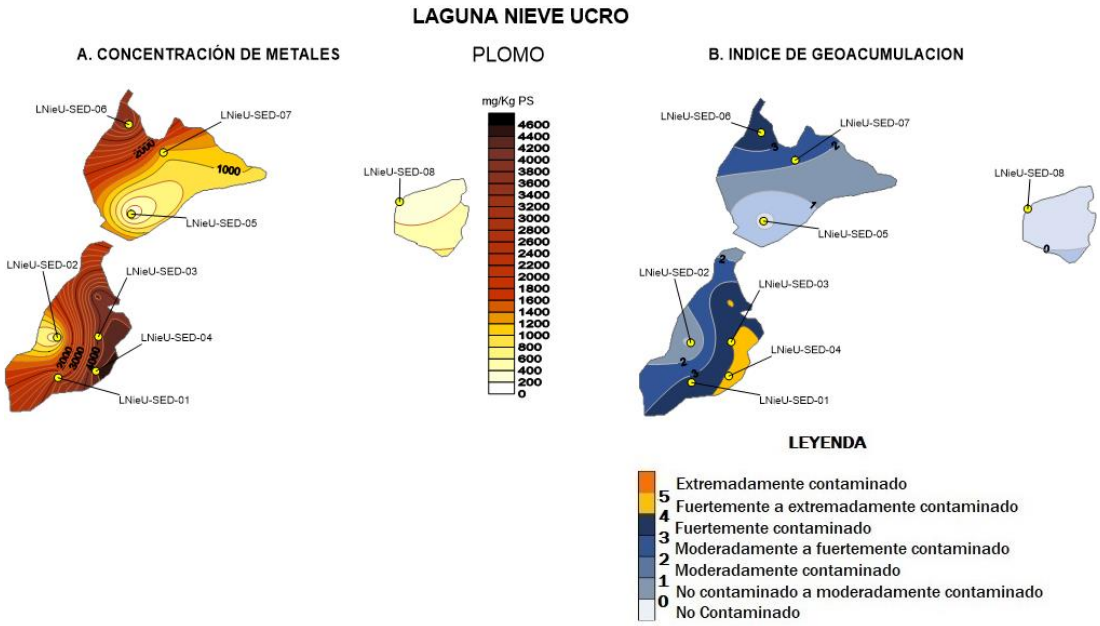


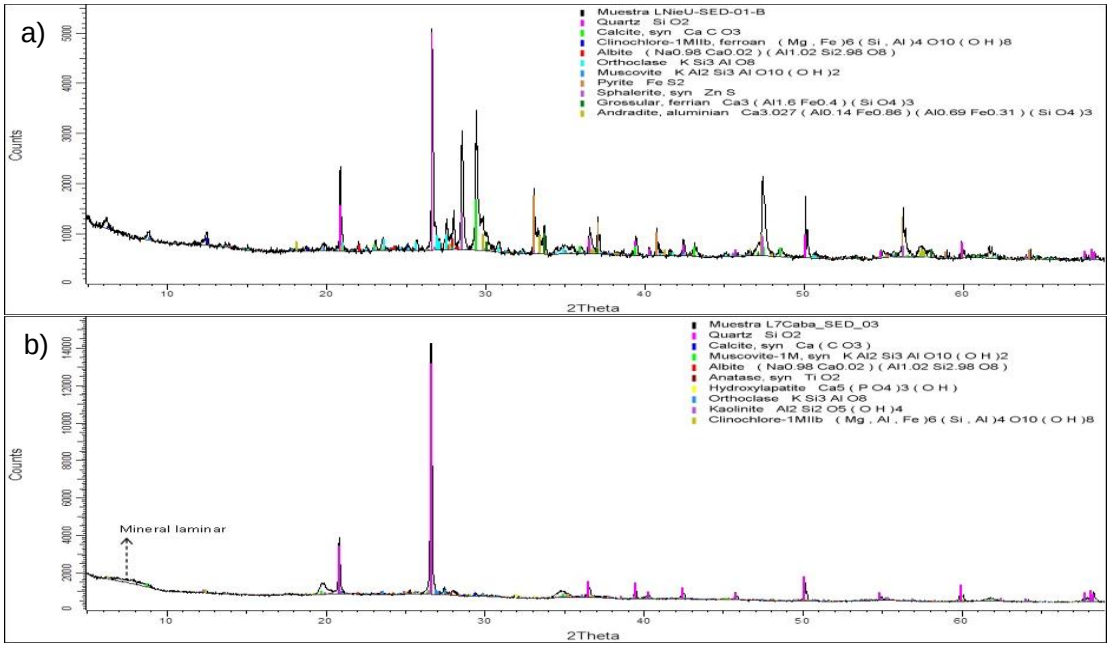
Figura 7-44. Concentración e índice de geoacumulación de plomo en sedimento de la laguna Nieve Ucro y Laguna 3

Además, del análisis mineralógico de la muestra LNieU-SED-01-B, perfil medio (Figura 7-45), se advierte presencia de pirita y esfalerita, entre otros, similar a lo registrado en el sedimento de la laguna Caballococha (LCaba-SED-15: esfalerita y pirita)[98] en comparación a la laguna Siete Caballeros (L7Caba_SED_03) que no presentó estos minerales (Figura 7-46).

98 En este extremo cabe considerar que en la Actualización del plan de cierre de minas de la unidad minera Raura, aprobado el 9 de julio 2013 con R.D N.° 239-2013-MEM/AAM. Folio 114, se señala que el depósito de relaves Caballococha presentó minerales tales como esfalerita (ZnS), pirita (FeS2), entre otros.



Figura 7-45. Perfil medio del sedimento en el punto LNieU-SED-01-B, medio (con un espesor de 8 cm aprox.)



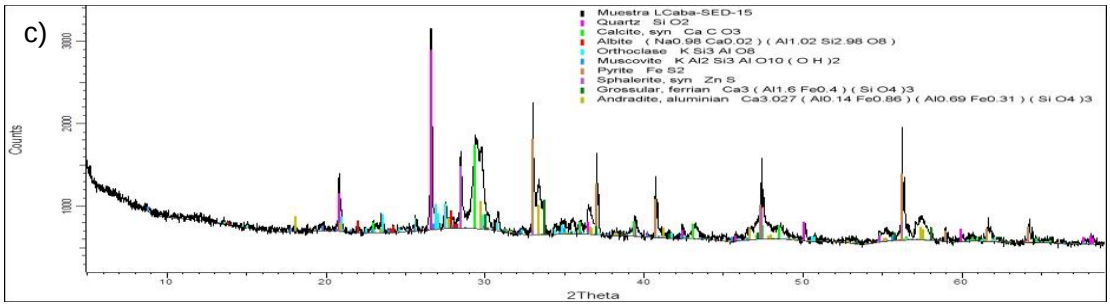


Figura 7-46. Difractograma de los sedimentos en las lagunas a) Nieve Ucro, b) Siete Caballeros y c) Caballococha

El incremento de arsénico en la laguna Nieve Ucro se debería a la resuspensión del sedimento presente en esta laguna. El sedimento (perfil medio) identificado en la laguna Nieve Ucro es similar a lo registrado en el material sedimentario compuesto principalmente por relave de la laguna Caballococha. En este extremo, resulta pertinente señalar que durante las acciones de evaluación no se evidenció disposición de relave en la laguna Caballococha ni en laguna Nieve Ucro; asimismo, no fue posible determinar el mecanismo de transporte del material sedimentario con presencia de relaves entre ambas lagunas.

Los piezómetros ubicados en el ámbito de la laguna Nieve Ucro de acuerdo a la clasificación hidroquímica presentaron facies bicarbonatadas cálcicas (PZ-03), bicarbonatadas sulfatadas cálcicas (AS-03) y sulfatada bicarbonatada cálcica (AS-04), con concentraciones de iones mayoritarios menores a 5 meq/L (Figura 7-41); de acuerdo al diagrama de Piper los piezómetros AS-03 y AS-04 se clasifican como aguas de mezcla y la presencia de sulfato en estos piezómetros se debería al aporte de las lagunas Nieve Ucro y Laguna 3 la que se clasificó como sulfatada cálcica, cuya presencia de sulfato estaría relacionado a material de relave.

En los piezómetros PZ-03 y AS-04 se registraron concentraciones elevadas de arsénico, adicionalmente en el PZ-03 se registró una elevada concentración de manganeso[99], en comparación a los demás metales. La presencia de arsénico está asociada al aporte de las lagunas Nieve Ucro y Laguna 3 que, por mecanismos de infiltración sobre los materiales coluviales, (próximos a la superficie) compuestos por grava arcillosa, arena y limo con permeabilidades variables entre $1x10^{-1}$ y $1x10^{-2}$ m/d (acuífero poroso) asociado a flujos subsuperficiales, permite el transporte de estos metales hacia el agua subterránea.

En cuanto a la evaluación de calidad de suelos se determinaron las áreas de potencial interés Caballococha (API_CABA) y Nieve Ucro (API_NIEV) que se emplazan sobre las unidades de suelos Caballococha (Typic Humicryepts)/Raura y Misceláneo Roca (MR), respectivamente[100]. En relación al API Nieve Ucro, esta se ubicó entre las lagunas Nieve Ucro y Laguna 3, sobre una extensión que evidencia una recarga de agua en época de avenida; sin embargo, no se observó durante las evaluaciones del 2017 y 2018, por lo cual para esta zona la comparación con los ECA suelo será referencial. Además, se

99 Cabe precisar que la presencia de manganeso en el pizómetro PZ-03 esta asociada al aporte natural de la zona.
100 Información extradida del Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Raura, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 157-2015-MEM-DGAAM.

observó la construcción de un dique de contención en la zona de rebose de la laguna Caballococha, esta laguna alimentaba naturalmente por rebose a la laguna Nieve Ucro. (Figura 7-47).

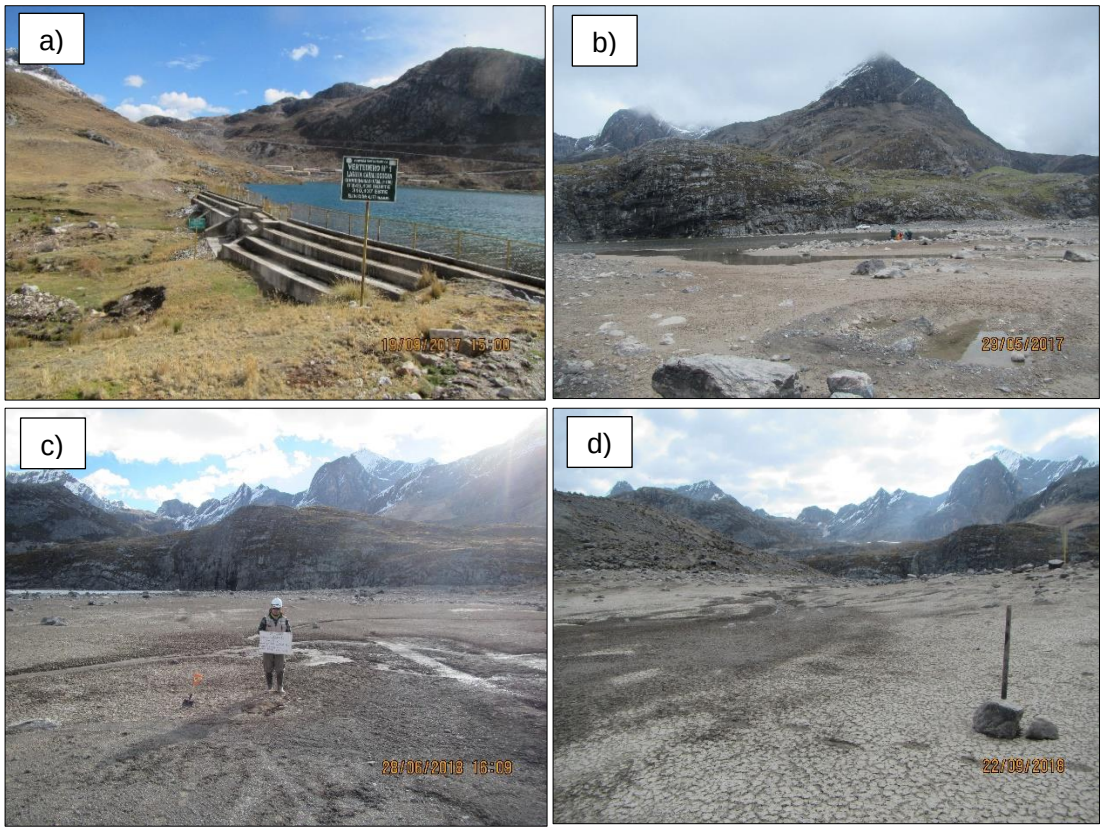


Figura 7-47. a) Dique de contención en la laguna Caballococha, y ubicación del API Nieve Ucro ubicado en superficie seca en b) mayo 2017, c) mayo 2018 y d) setiembre 2018

La textura superficial de la muestra compuesta API_NIEV_33 de origen lacustre es franco arcilloso, estos materiales finos de alta capacidad de intercambio catiónico se extienden entre las lagunas Nieve Ucro y Laguna 3. Para determinar el aporte de metales al API Nieve Ucro a través del sedimento, se caracterizó el sedimento de la laguna Siete Caballeros, cuyos resultados se muestran a continuación (Figura7-48), se observa que las concentraciones promedio de arsénico, cromo y plomo en el sedimento de la laguna Siete caballeros fue 129,67; 4,6 y 111,67 mg/Kg, respectivamente.

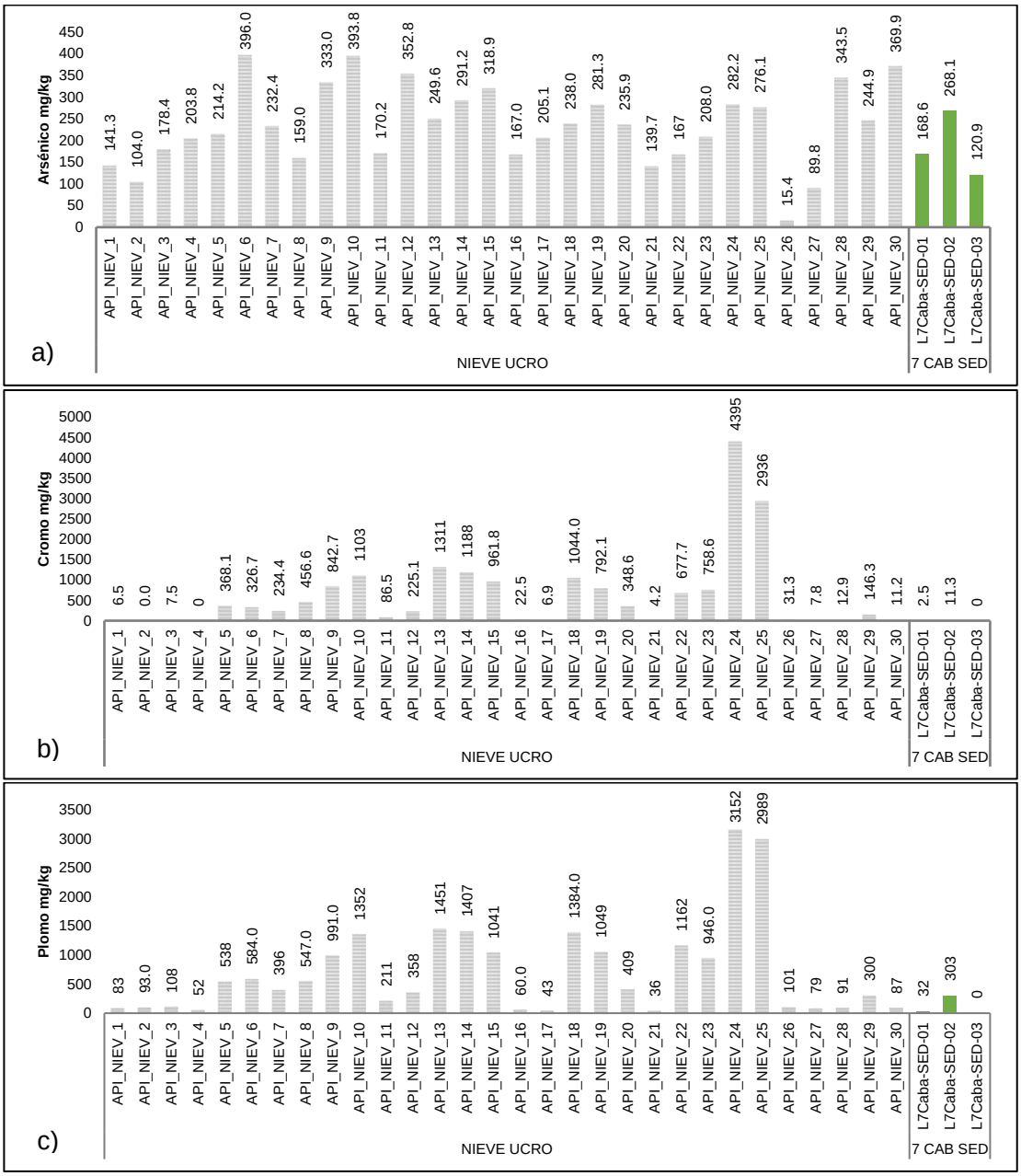


Figura 7-48. Concentración de a) arsénico, b) cromo y c) plomo en el API Nieve Ucro, y en el sedimento de la laguna Siete Caballeros

En la Figura 7-49 a), b), c) y d) se presenta los isovalores de las concentraciones de arsénico, cadmio, cromo y plomo que superaron los ECA para suelos (2013) de uso industrial/extractivo en el API Caballococha y Nieve Ucro; así como, las concentraciones de estos metales en el sedimento de las lagunas Caballococha y Siete Caballeros.

En el API Caballococha, se presentaron concentraciones de arsénico (6 de 16 puntos) que incumplieron el ECA para Suelo (2013) de uso industrial/extractivo, registrando la

concentración máxima una excedencia de 77% en el punto API_CABA_15. Asimismo, se registró un punto (API_CABA_13) que incumplió la referida norma de comparación para el parámetro plomo. Al respecto, las concentraciones de arsénico estarían asociadas al material sedimentario propio del entorno; en relación con el plomo, sin embargo, no fue posible determinar su origen.

Las mayores concentraciones de arsénico se registraron en los puntos API_NIEV_9, API_ NIEV _10, API_ NIEV _15, y de cadmio y plomo, en el punto API_NIEV_24, cercanos a la laguna Nieve Ucro (zona II-NieU). Estos metales identificados en el suelo del API Nieve Ucro y en el sedimento de la laguna Nieve Ucro, estarían asociados al material sedimentario (que contiene pirita, esfalerita, entre otros) presente en dicha laguna. El mecanismo de transporte de plomo, cromo y cadmio de la laguna Nieve Ucro (zona II-NieU) hacia el API_Nieve Ucro (API_NIEV_24 y API_NIEV_25) sería a través de la fracción sólida Figura 7-49 e), f), los que se están acumulando en la parte baja de la laguna Nieve Ucro, esto es, zona de menor pendiente (cota de punto API_NIEV_25: 4554 m s.n.m) o zona de rebose de dicha laguna.

Por último, como se desarrolló anteriormente, la presencia de metales en el agua de la laguna Nieve Ucro, se debería a la presencia de material sedimentario depositado en esta laguna; condición que, a su vez, favorece el transporte de metales hacia el suelo (API_Nieve Ucro) que se están acumulando en la zona de menor pendiente de la laguna.

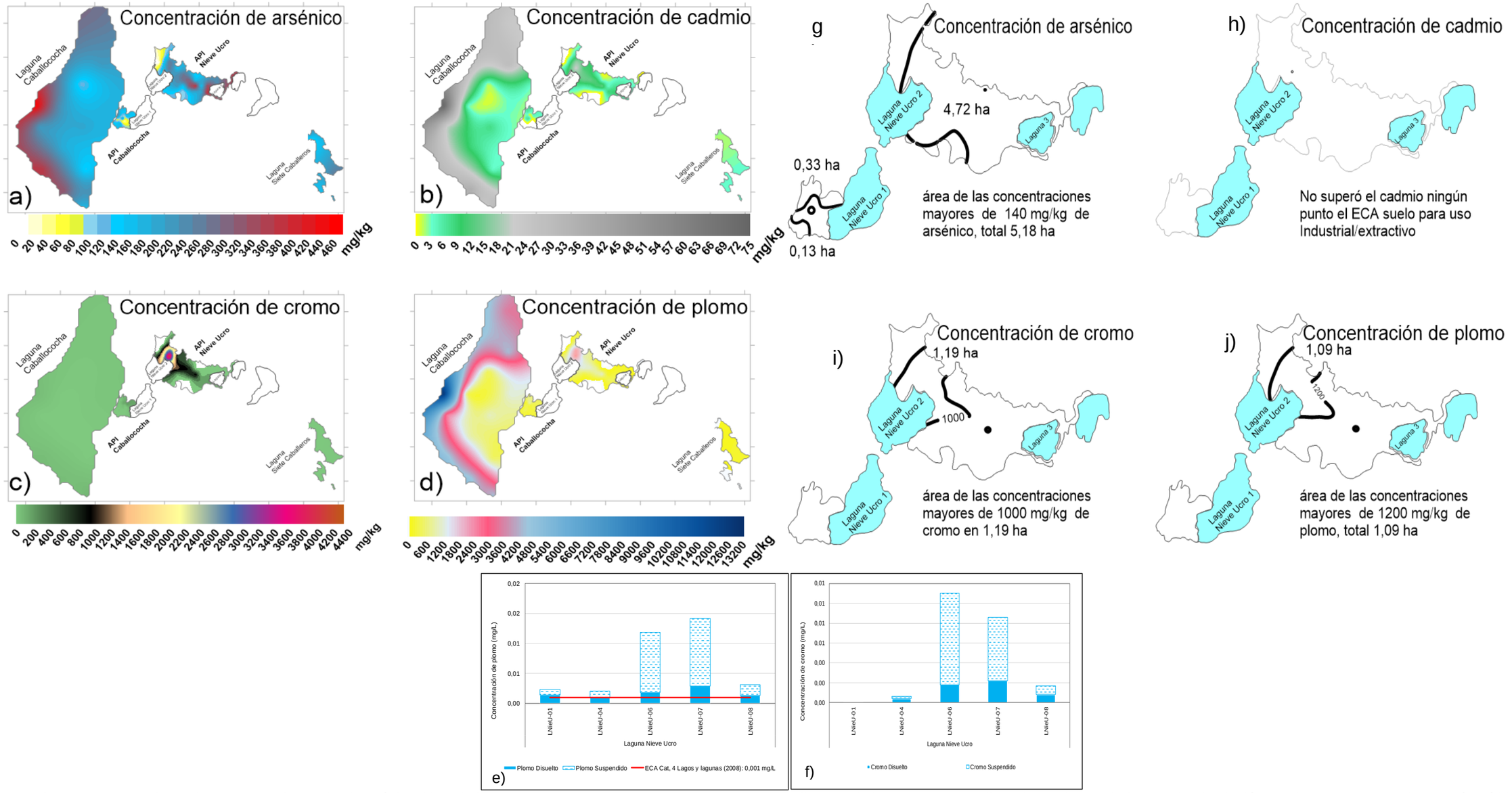


Figura 7-49. Isovalores de concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) cromo y d) plomo en el API Nieve Ucro y sedimento de las lagunas Caballococha y Siete Caballeros, e) y f) relación de plomo y cromo en la fracción sólida y disuelta en el agua de la laguna Nieve Ucro y área de concentraciones de f) arsénico, g) cadmio, h) cromo y i) plomo que excedieron ECA para suelo de uso extractivo 2013

Depósito de relaves Nieve Ucro I

La caracterización geoquímica del depósito de relave Nieve Ucro I en el punto C-NV3, presenta mayor concentración de calcio, hierro, aluminio, en comparación a otros metales y según la extracción secuencial de metales el hierro, plomo, manganeso y zinc se encuentran biodisponibles en la fracción 2 (i.e. enlazado a carbonatos), la prueba ABA indicó que este componente no es generador de acidez.

El agua subterránea del piezómetro PZ-104 (ubicado a 20 m aproximadamente de este depósito Nieve Ucro I) (Figura 7-50) de facies sulfatada cálcica presentó concentraciones de iones mayoritarios (SO_4^{-2}, HCO_3^-, Ca^{2+} y Mg^{2+}) menores a 10 meq/L (Figura 7-51) con concentraciones de sulfatos de 275,4 mg/L y hierro disuelto (0,2 mg/L), en comparación con los piezómetros PZ-03, AS-03 y PZ-06 con concentraciones de iones mayoritarios menores a 5 meq/L y sulfatos que varía entre 11,38 a 74,64 mg/L. Además, la prueba de lixiviación de este componente nos indica la movilidad de azufre, lo que podría estar afectando a este piezómetro por su proximidad a este componente.

La presencia del sulfato y hierro en el PZ-104 estaría asociados al agua proveniente de las precipitaciones que se infiltran a través de la zona revegetada y materiales coluviales con permeabilidad entre $1x10^{-1}$ y $1x10^{-2}$ m/d comportándose como un acuífero poroso[101] y asociados a flujos subsuperficiales, por lo cual las aguas subterráneas podrían llegar a las calizas fuertemente fracturadas con presencia de humedad de la Formación Jumasha desprendido a través del perfil de tomografía eléctrica LTR-9 (Figura 7-52. c)) entre las estaciones 280 a 320 m que muestra una zona de bajas resistividades.

[101] Estudio Hidrogeológico y Manejo de Aguas, compañía Minera Raura S.A. 266_15-ITE-002 Revisión: 1 noviembre 2016. Página 142



Figura 7-50. Piezómetro PZ-104 ubicado aguas abajo del depósito de relaves Nieve Ucro I y II

Depósito de relaves Nieve Ucro II

El relave del depósito Nieve Ucro II (C-NV1 y C-NV2) es potencial generador de acidez y presenta altas concentraciones de calcio, hierro, aluminio y magnesio en comparación a otros metales y la prueba de lixiviación nos indica la movilidad de elementos a partir de las muestras extraídas de este componente, donde el azufre y calcio tienen mayor tendencia a lixiviarse que otros elementos.

Este componente está emplazado sobre la formación Jumasha (calizas), la dirección de flujo del agua subterránea esta favorecida por la pendiente y estratificación E-W. En la parte baja del dique de este depósito se evaluaron los piezómetros AS-05, PZ-04.1 y PZ-104, de acuerdo a la clasificación hidroquímica corresponden a facies bicarbonatada cálcica (AS-05) y sulfatada cálcica (PZ-04.1 y PZ-104) con concentraciones de iones mayoritarios (SO_4^{-2}, HCO_3^-, Ca^{2+} y Mg^{2+}) de hasta 5 meq/L (AS-05), 10 meq/L (PZ-104) y 20 meq/L (PZ-04.1) como se muestra en la Figura 7-51.

Las facies bicarbonatadas cálcicas estarían relacionadas a la disolución de las rocas sedimentarias de la Formación Jumasha (calizas); mientras que, las facies sulfatadas cálcicas podrían estar relacionadas a los desmontes y relaves (con alto contenido de

sulfuros), debido a que los aportes secundarios de sulfatos en el agua se pueden dar por la oxidación de sulfuros[102].

Las elevadas concentraciones de sulfato (911,4 mg/L), zinc disuelto (1,026 mg/L) y conductividad eléctrica (1612 µS/cm) del piezómetro PZ-04.1 en comparación a los demás piezómetros; y según el diagrama de Ficklin se clasifican como cercanos a la neutralidad con alta concentración de metales disueltos (1,033 mg/L), estos elementos estarían llegando al agua subterránea a través de los afloramientos rocosos fracturados (calizas de la formación Jumasha) cuyas estratificaciones podrían favorecer el flujo de agua subterránea registrado en el piezómetro PZ-04.1 (nivel freático a 28,36 m); desprendido a través del perfil tomográfico LTR-9 (Figura 7-52 c)) representado por resistividades intermedias (zona B).

Respecto a los piezómetros PZ-104 y PZ-04.1, se requiere mayores estudios para evaluar el comportamiento en el tiempo de los parámetros registrados (aumento o disminución de concentraciones).

[102] Hidrología subterránea (Custodio y Llamas, 1976) volumen 1. Página 1011.

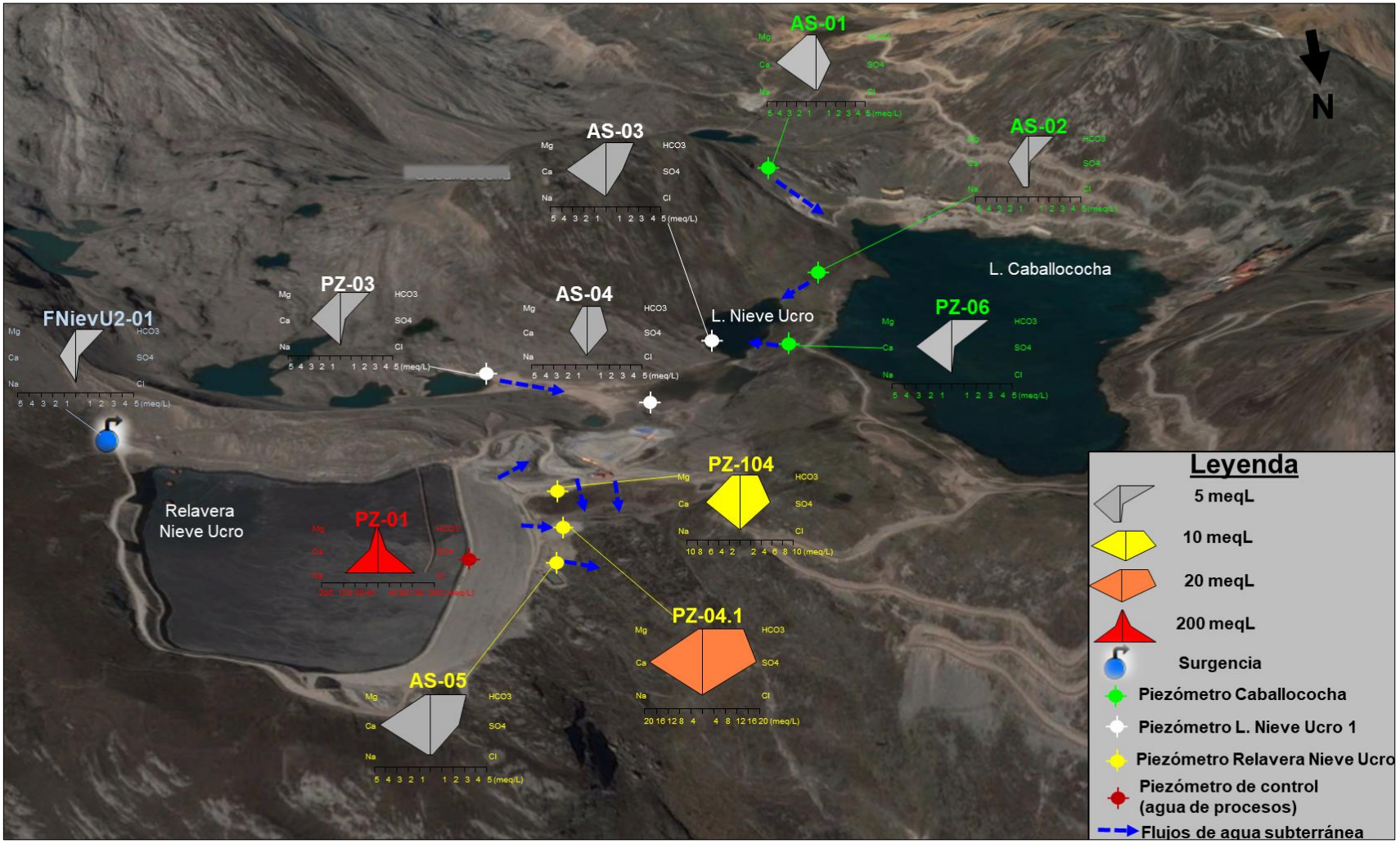


Figura 7-51. Distribución de los piezómetros y su clasificación hidroquímica en los sectores de Caballococha y Nieve Ucro 1,2 y 3

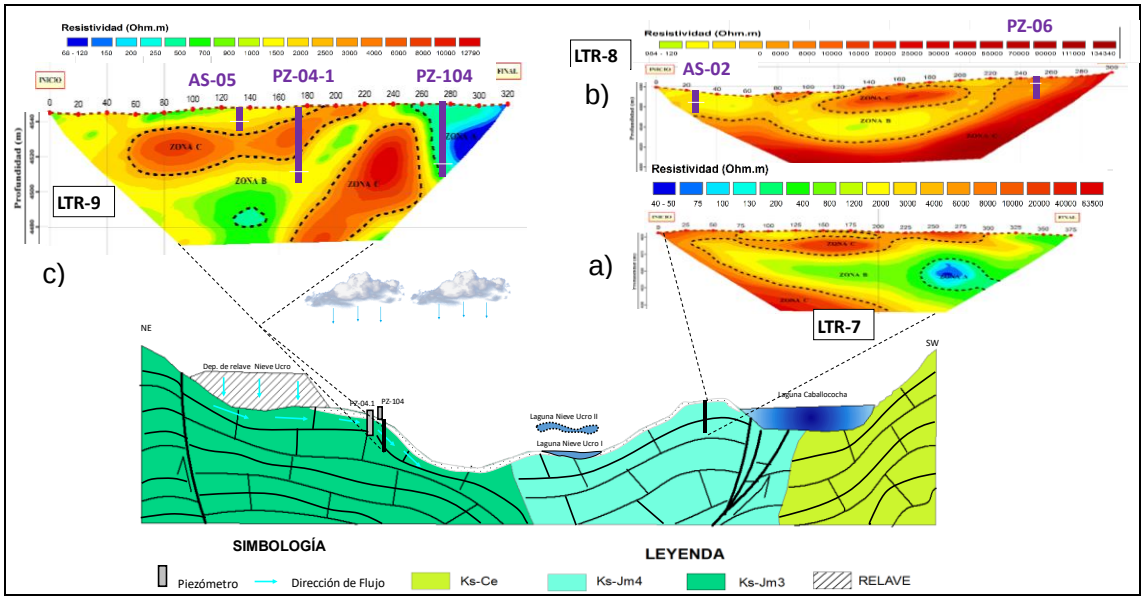


Figura 7-52. Representación esquemática del perfil geológico NW-SE con las líneas tomografía eléctrica a) LTR-7, b) LTR-8 y c) LTR-9

Ámbito de la laguna Tinquicocha

La caracterización geoquímica del depósito de desmonte Tinquicocha[103], presentó concentraciones de arsénico, cadmio, cromo, plomo, entre otros; y, según la extracción secuencial (Tessier), el cobre, manganeso, níquel, plomo y zinc están asociados a la fracción 2, por lo que se encuentran biodisponibles. Además, la prueba ABA de este componente nos indica que el desmonte no es generador de acidez; en tanto que, la prueba de lixiviación (SPLP) indicó la movilidad de azufre y calcio en medio ácido.

Asimismo, durante la evaluación ambiental, se observó que el referido depósito de desmonte presentó una cobertura parcial en el talud contiguo al suelo (más de 30% de material desnudo en contacto directo con el suelo), Figura 7-53 a). Además, se observó material del talud del depósito de desmonte Tinquicocha desprendido sobre el suelo contiguo a dicho depósito, que se habría producido por las aguas de escorrentía, lo cual se evidencia con las huellas producidas por estas y la coloración de la vegetación cercana al depósito de desmonte (Figura 7-53 b)).

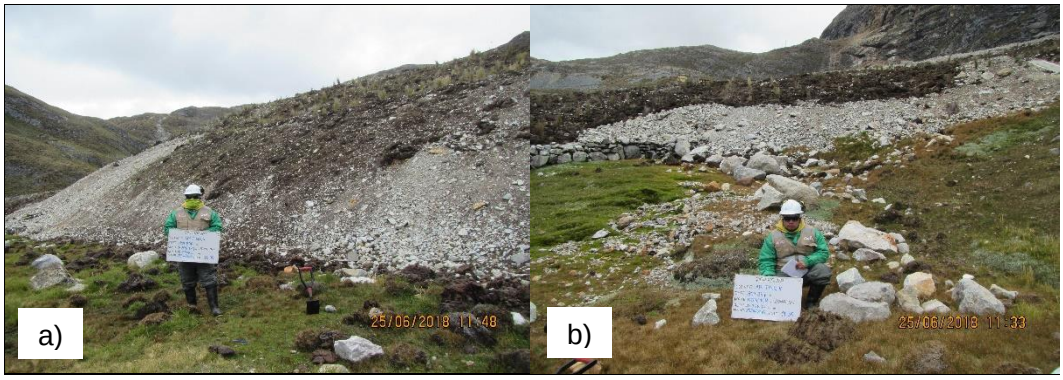
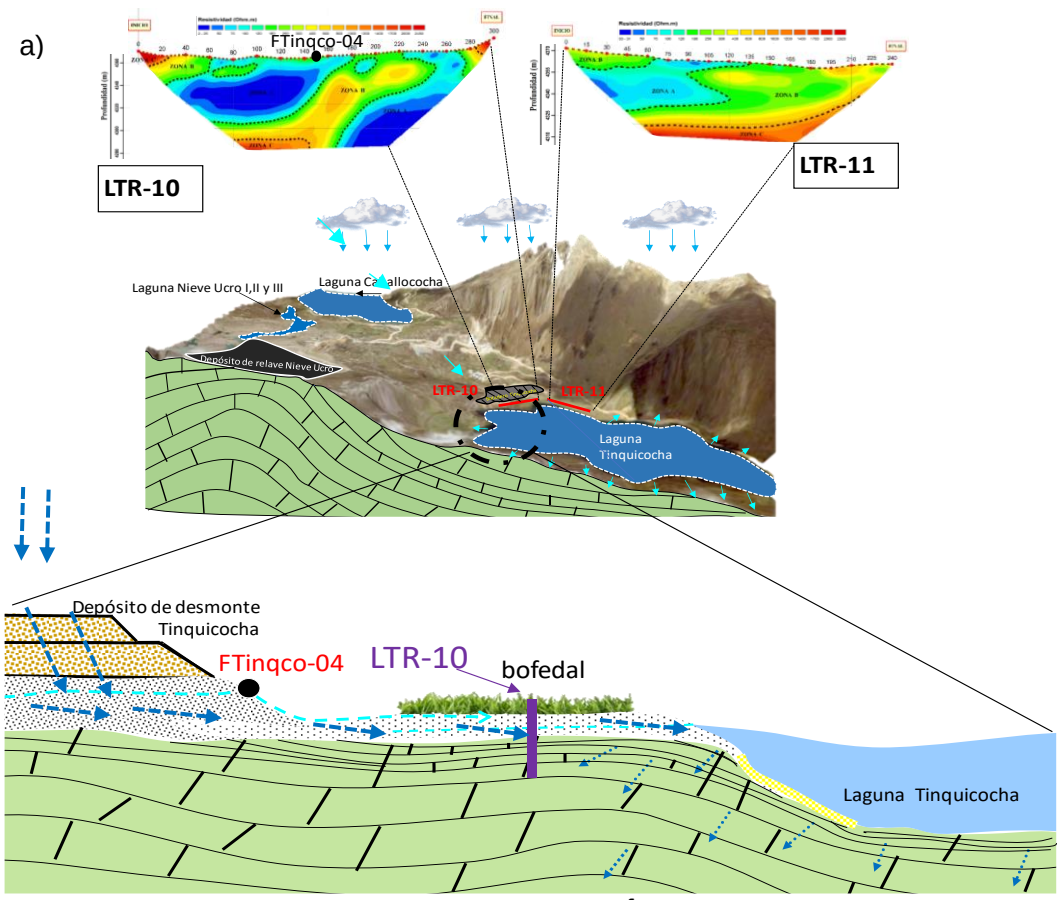


Figura 7-53. a) Desmonte Tinquicocha sin cobertura vegetal, próximo al punto API_TINQ_7 y b) Cauce de escorrentía entre el desmonte Tinquicocha y la laguna Tinquicocha.

En la parte baja del depósito de desmonte Tinquicocha se identificó una surgencia FTinqco-04. La surgencia FTinqco-04 es producida por la infiltración de las aguas de lluvia en el depósito de desmontes, las cuales fluyen a nivel subsuperficial y, posteriormente, emergen a la superficie (Figura 7-54 b), c), d), e), f)). Además, dicha surgencia presentó mayores concentraciones de cobre (0,24454 mg/L), plomo (0,1168 mg/L) y zinc (16,67 mg/L), así como, cadmio disuelto (0,02984 mg/L) en comparación con el punto FNievU2-01 ubicado en el mismo entorno geológico (formación Jumasha). Las concentraciones de dichos metales, se reflejaron en el predominio de especies de microalgas como *Achnanthidium altergracillima*, *Achnanthidium* cf. *atomus*, *Achnanthidium* cf. *exilis, Pseudanabaena catenata, Pseudanabaena sp. 1, Leptolyngbya sp. 1* que pueden encontrarse en ambientes con concentraciones de metales.

[103] Corresponde a la escombrera Tinquicocha, según el Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha, aprobado mediante R.D N.° 207-2003-EM/DGAA de fecha 28 de abril de 2003, folio 1124.





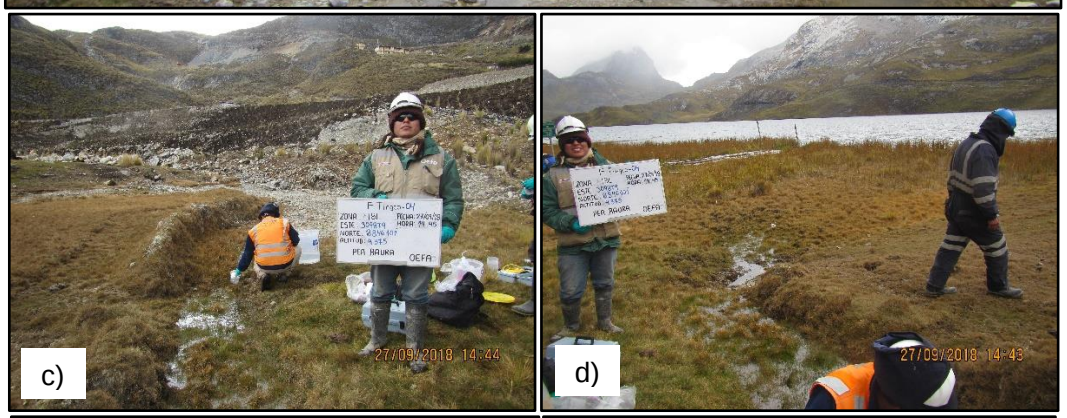




Figura 7-54. Representación esquemática del perfil de tomografía LTR-10 con la litología, surgencia b) Vista panorámica del punto FTinqco-04 (2017), c) y e) Surgencia FTinqco-04 (2017 y 2018), d) y f) Recorrido de la surgencia FTinqco-04 hacia a laguna Tinquicocha (2017 y 2018).

Esto se sustenta, debido a que la unidad minera Raura, explota un yacimiento skarn polimetálico de zinc y plomo[104], de acuerdo al análisis mineralógico realizado en el depósito de desmonte Tinquicocha en la muestra R4, este componente contiene minerales como esfalerita, pirita, calcopirita, galena, entre otros[105]. La esfalerita (ZnS), es un mineral común en los depósitos de skarn (Chang y Meinert, 2008; Love et al.,2004). Dicho mineral se oxida cuando el desmonte se expone a la atmósfera, liberando zinc en la solución (Borden, 2003). Una vez móvil en una solución con pH cercano a la neutralidad, el zinc puede ser adsorbido por minerales de filosilicato (Manceau et al., 2000), precipitando como un mineral secundario de hidróxido o carbonato (Gupta et al., 1987), o adsorbido en hierro o aluminio – óxidos u oxihidróxidos (Trivedi y Ax, 2000) como el registrado en el API Tinquicocha. Esto se corrobora en la concentración de sulfatos (773,4 mg/L) y zinc total (16,67 mg/L) y un pH cercano a neutralidad (pH: 7,49) presente en la surgencia FTinqco-04, identificada durante la evaluación ambiental.

De otra parte, tanto la surgencia de la parte baja del depósito de desmonte Tinquicocha (FTinqco-04), así como los desmontes, presentan la misma composición de metales (cobre, cadmio, plomo y zinc). Asimismo, la presencia parcial de cobertura vegetal favorece la infiltración del agua de lluvia y la proximidad del punto de origen de la surgencia al depósito de desmonte permiten concluir que dicha surgencia sería un flujo de sustancia líquida[106] que se estaría vertiendo al suelo en su calidad de cuerpo receptor, en consecuencia, tiene la condición de Efluente Líquido de Actividades Minero-Metalúrgicas de conformidad con el Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Al comparar los valores obtenidos del efluente FTinqco-04 con el LMP para Efluente Minero– Metalúrgico, se evidenció que este excedió el valor para el parámetro zinc total en 1011%, teniendo este parámetro un riesgo ambiental. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

Respecto a la evaluación de suelos, en la zona contigua al depósito de desmonte Tinquicocha, se delimitó el área de potencial interés Tinquicocha (API_TINQ)[107]. El API_TINQ se encuentra sobre la asociación de suelo Quiscay (Ustic Haplocryolls) y misceláneo Roca, en una proporción de 50-50%[108]. Sobre esta asociación de suelos se reporta una textura Franco arenosa de la muestra compuesta API_TINQ_38.[109]

Las concentraciones de arsénico (30 de 33 puntos), cadmio (9 de 33 puntos), cromo (1 de 33 puntos) y plomo (15 de 33 puntos) en la zona contigua al depósito de desmonte Tinquicocha incumplieron los ECA para suelo (2013) de uso industrial/extractivo en la mayoría de los puntos ubicados en la parte baja del depósito

104 Información extraída de «Boletín Especial- Proyecto de inversión Minera y Prospección de Estudio del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico» (2001: 114).

105 La información se extrajo del documento “Potencial Neto de Neutralización de Ocho Muestras Procedentes de la Cía. Minera Raura” elaborado por el Laboratorio de Espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería y presentado para la aprobación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura de la Compañía Minera Raura S.A. (2008).

106 Dicho flujo se observó durante las evaluaciones del 2017 y 2018, por lo que tendría una condición regular; sin embargo, no se midió el caudal debido a que la parte baja del depósito de desmonte se encontraba saturado con presencia de flujos dispersos.

107 Para la conformación del API Tinquicocha se distribuyó homogéneamente los puntos de muestreo exploratorio en forma de grilla, que comtempló puntos cercanos a los componentes mineros (depósito de desmonte y bocamina Tinquicocha), y puntos ajelados de dicho componente minero para su delimitación.

108 Extraido del Segundo Informe Técnico Sustentatorio, aprobado con la resolución Directoral N.° 157-2015-MEM-DGAAM.

109 Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha, aprobado mediante R.D N.° 207-2003-EM/DGAA de fecha 28 de abril de 2003, folio 1107.

de desmonte Tinquicocha; en contraste con los puntos alejados a dicho componente, como se observa en la Figura 7-55.

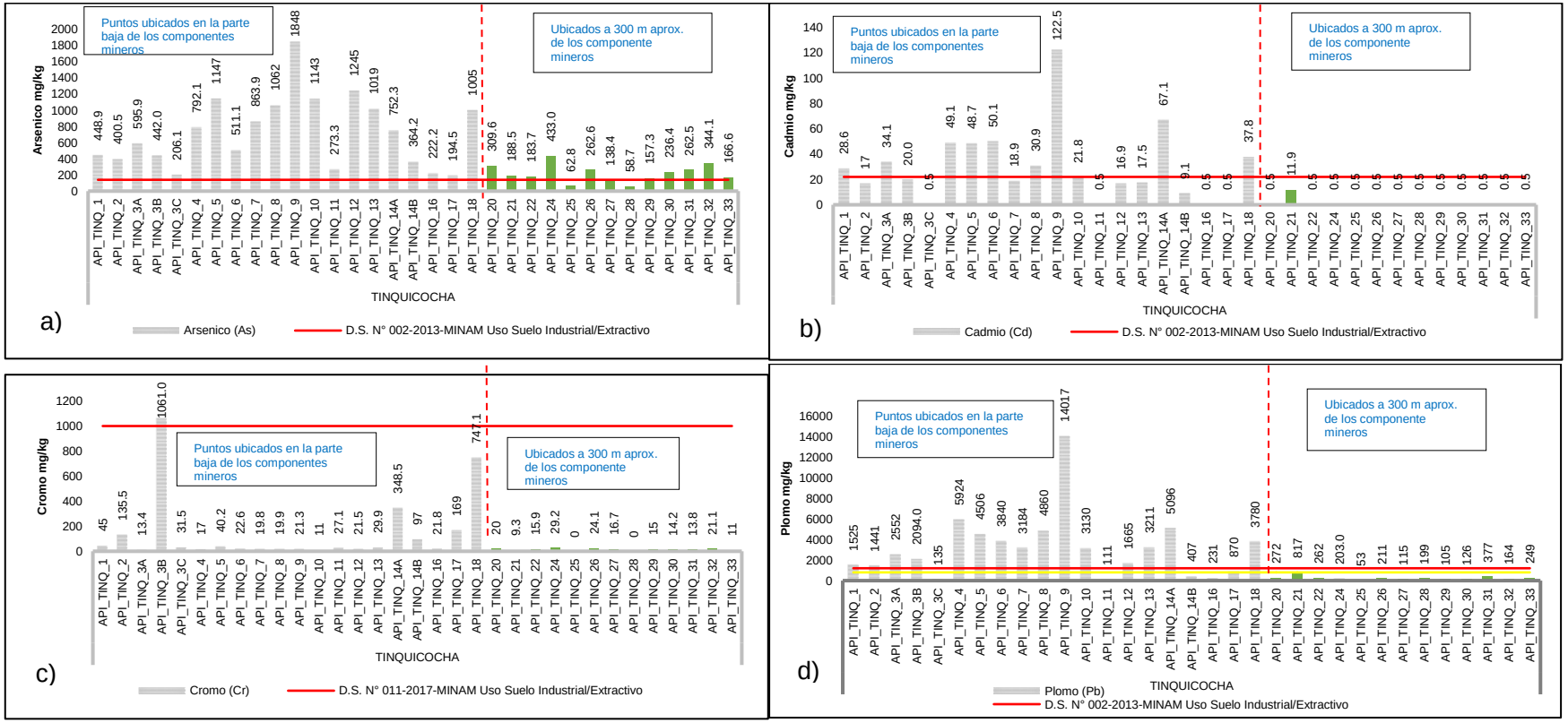


Figura 7-55. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) cromo y d) plomo en el suelo del API Tinquicocha, dividido en puntos de muestreo cercanos y alejados a depósito de desmonte Tinquicocha.

En la Figura 7-56 se presentan los isovalores de las concentraciones de arsénico, cadmio, cromo y plomo, y se observa la delimitación del API_TINQ en dos áreas, diferenciadas por la influencia del depósito de desmontes Tinquicocha y el efluente FTinqco-04, la textura de suelo reportada influye en la infiltración y enriquecimientos de las aguas del efluente. Cabe precisar, que en ambas áreas se han tomado muestras compuestas API_TINQ_38 (puntos ubicados en la parte baja de depósito de desmonte Tinquicocha) y API_TINQ_34 (puntos alejados del componente minero).

En la Figura 7-57, también, se presentan la comparación de los ensayos de las extracciones secuenciales (Tessier) de las muestras compuestas (API_TINQ_34 Y API_TINQ_38) diferenciadas por la influencia del efluente (FTinqco-04).

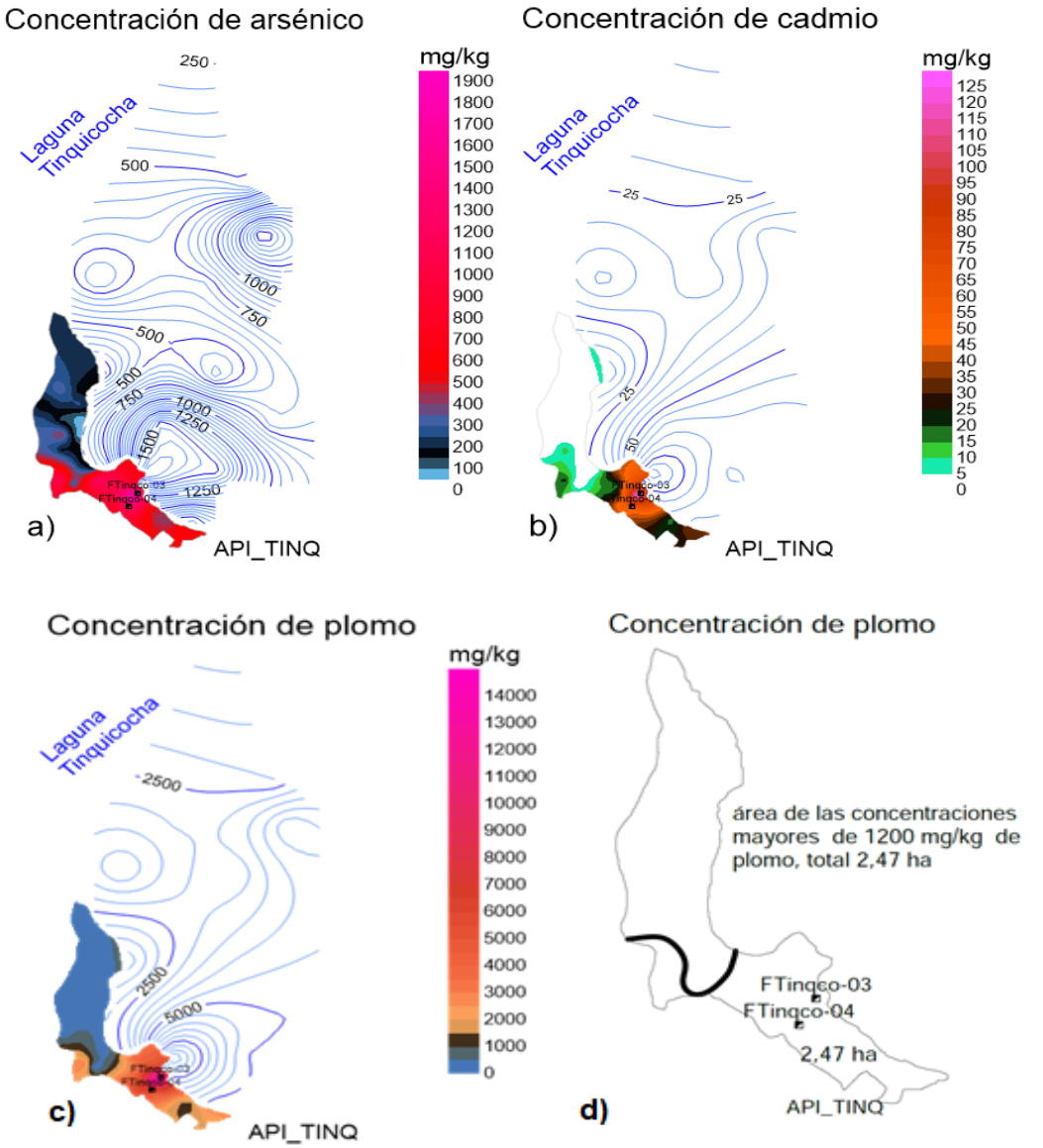
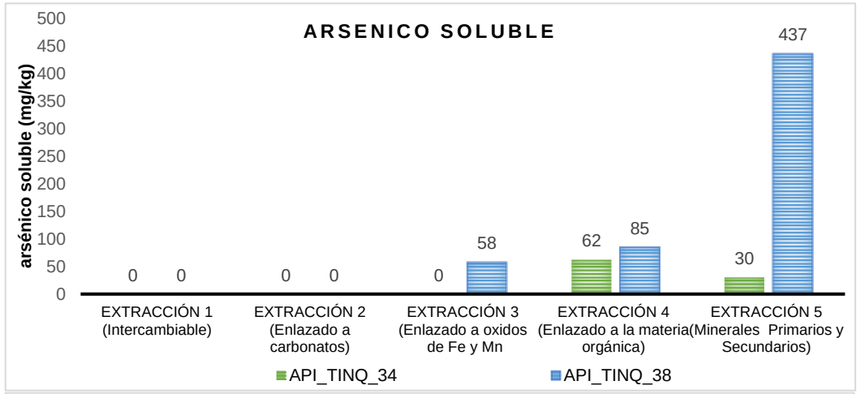
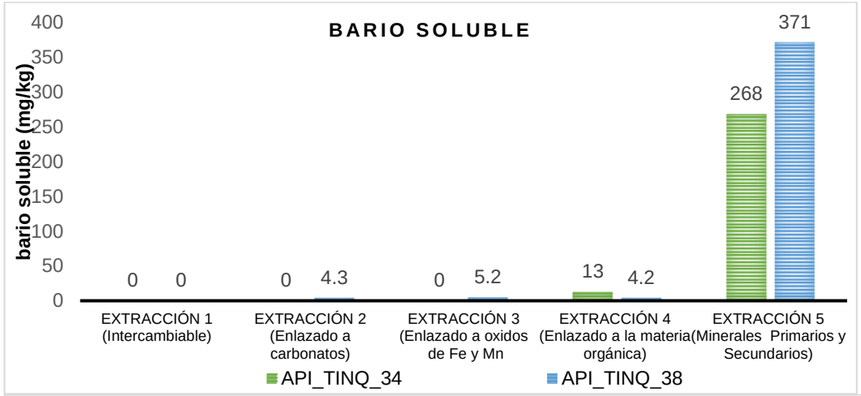
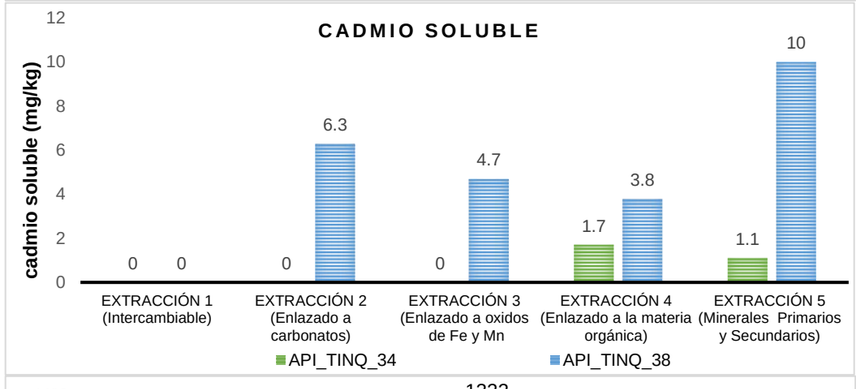
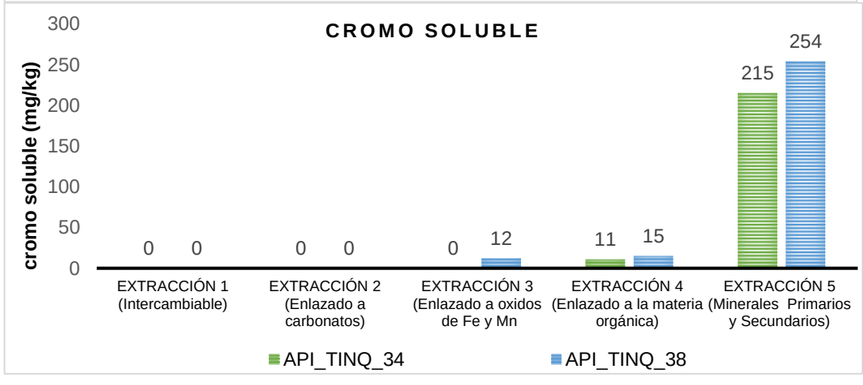


Figura 7-56. a), b), c) Isovalores de las concentraciones de metales totales del arsénico, cadmio, cromo y plomo del API_TINQ y la concentración de metales en la Laguna Tinquicocha y c) Área de suelo afectado por plomo









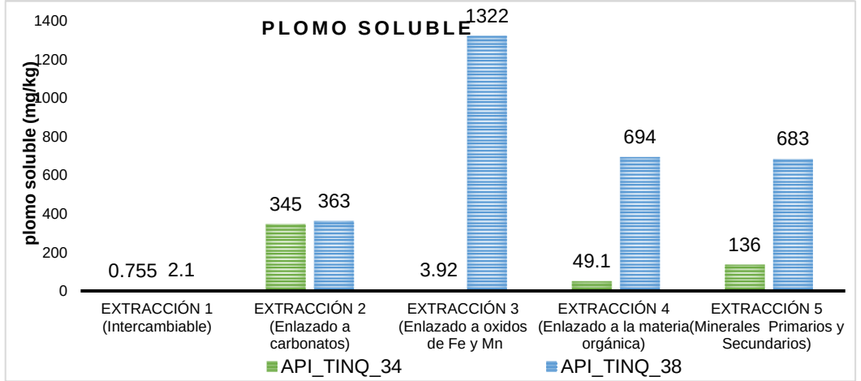


Figura 7-57. Análisis de extracciones secuenciales de las muestras compuestas API_TINQ_34 y API_TINQ_38.

La muestra compuesta API_TINQ_38 presentó un medio con elevadas concentraciones de hierro y manganeso (asociados a la Extracción 3) y calcio (asociados a la Extracción 2), debido a la influencia del depósito de desmontes Tinquicocha y el efluente FTinqco-04 (Figura 7-58). Estas concentraciones están relacionadas con las pruebas de extracciones secuenciales de arsénico, cadmio, cromo y plomo solubles.

El medio orgánico donde se tomó la muestra compuesta API_TINQ_34 y API_TINQ_38 presenta al arsénico, cadmio, cromo y plomo ligados a la fracción orgánica, es decir, a los mecanismos de enlace de estos metales con la fracción de materia orgánica incluyen procesos tales como acomplejamiento, adsorción y quelación (Yong et al., 1993). Estos procesos le dan movilidad hacia el próximo receptor que es la laguna Tinquicocha, como se puede observar en la Figura 7-58. A diferencia de la muestra compuesta API_TINQ-34 que presenta el mismo medio orgánico y no transporta elemento metálico asociados al componente minero.

De la extracción secuencial (Tessier) de los metales traza en las fracciones de óxidos y oxihidróxidos metálicos de Fe y Mn principalmente se presentaron para la muestra compuesta API_TINQ_38 influenciada por el efluente (Figura 7-57)), lo que se verifica con las concentraciones de estos metales en los puntos donde se tomaron sus compósitos (API_TINQ-34 y API_TINQ-38) (Figura 7-58 f) y g)).

Dado que los minerales de carbonatados presentes en suelos y sedimentos son susceptibles a los cambios de pH, los metales asociados a la fracción carbonatada (es decir, precipitados o coprecipitados con carbonatos) se suelen solubilizar empleando soluciones reactivas con pH ácidos y de diversa composición. El cadmio soluble ligado a la fracción carbonatos se presentó solo para la muestra compuesta API_TINQ_38 ubicado en el área que presentó las mayores concentraciones de calcio total entre 100000 a 180000 mg/kg y no en la muestra compuesta API_TINQ_34 donde existen menores en relación con el anterior compósito (concentraciones entre 10000 y 20000 mg/kg). En estas mismas condiciones el plomo soluble se encuentra ligada a la fracción carbonatada sujeto a cambios de pH. Como se observa en la Figura 7-57, se están dando condiciones para la migración de este plomo hacia la laguna Tinquicocha.

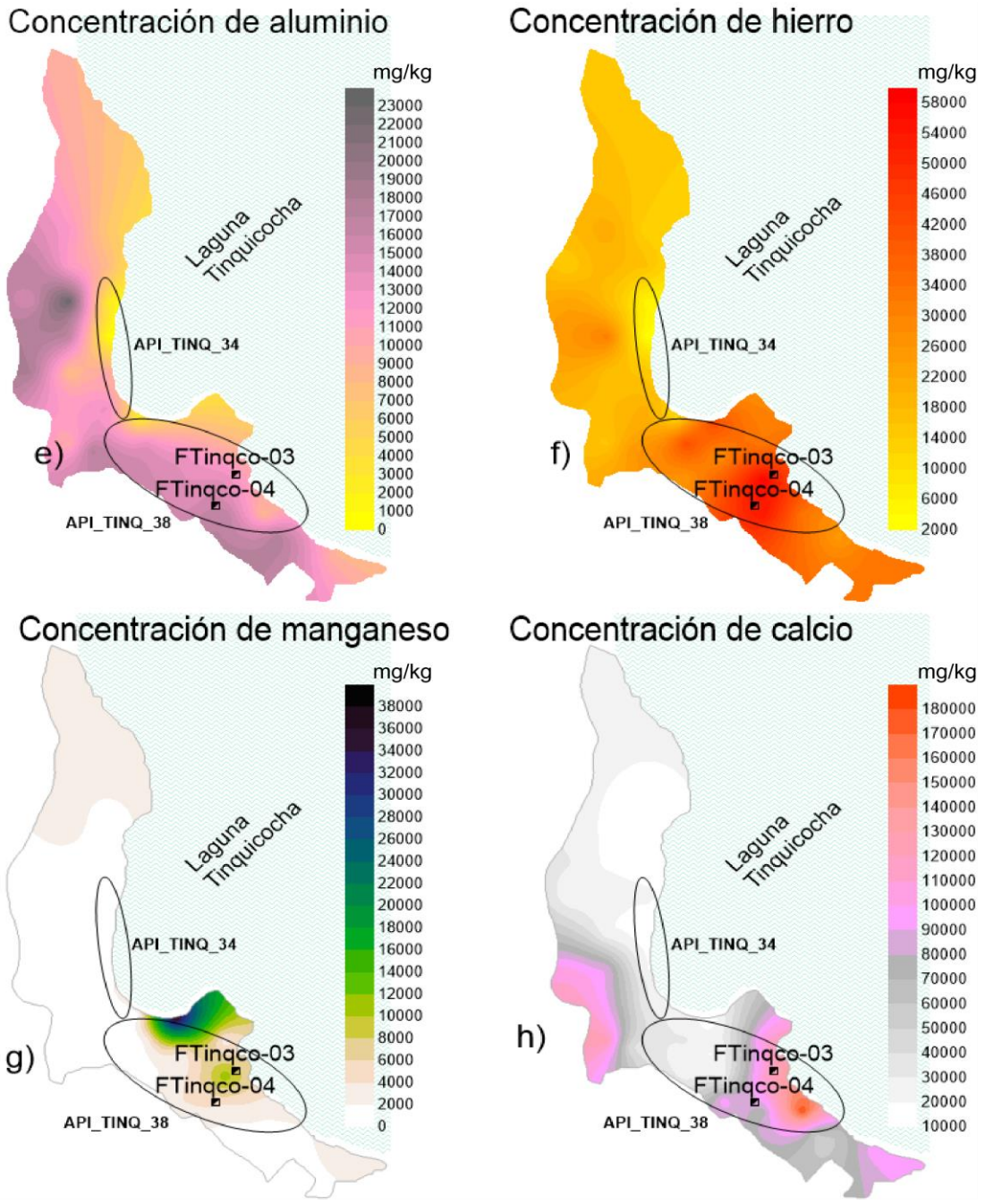


Figura 7-58. e), f), g), h) Isovalores con las concentraciones de aluminio, hierro, manganeso y calcio con el área representada por las muestras compuestas API_TINQ_34 y API_TINQ_38 e i) Área de afectado por plomo en el API Tinquicocha.

En efecto, la excedencia de dichos metales en el suelo se debe al transporte del material fino proveniente de los taludes del depósito de desmontes Tinquicocha y al material desnudo en contacto directo con el suelo, condiciones que se describieron anteriormente.

Además, de conformidad con el estudio de sitios contaminados presentado por CMR S.A., los puntos MIC-RA-2013(1) y MIC-RA-2013(2) (ubicados próximos al API Tinquicocha) presentaron concentraciones promedio de arsénico, cadmio y plomo de

219,87; 4,055 y 380,565 mg/Kg; respectivamente. A su vez, de la evaluación ambiental realizada por el OEFA, las veinte (20) muestras ubicadas en la parte baja del depósito de desmonte Tinquicocha presentaron concentraciones promedio mayores de arsénico, cadmio y plomo de 726,8; 29,605 y 3128,95 mg/Kg, en comparación con lo reportado por CMR S.A. En ese sentido, se verificaría la presencia de un área de suelo afectado por plomo de 2,47 ha aproximado (Figura 7-56 i)).

Cabe precisar que, en adición a los aportes de metales actuales identificados durante la evaluación, las descargas pasadas del efluente de la bocamina Tinquicocha, según lo reportado en el EIA del Depósito de Relaves Caballococha, la zona de descarga de la bocamina Tinquicocha (E-4, código del administrado) presentó sedimentos provenientes de dicha bocamina (ver Figura 7-59 a) y b)), los cuales se habrían acumulado en el tiempo en el suelo contiguo.

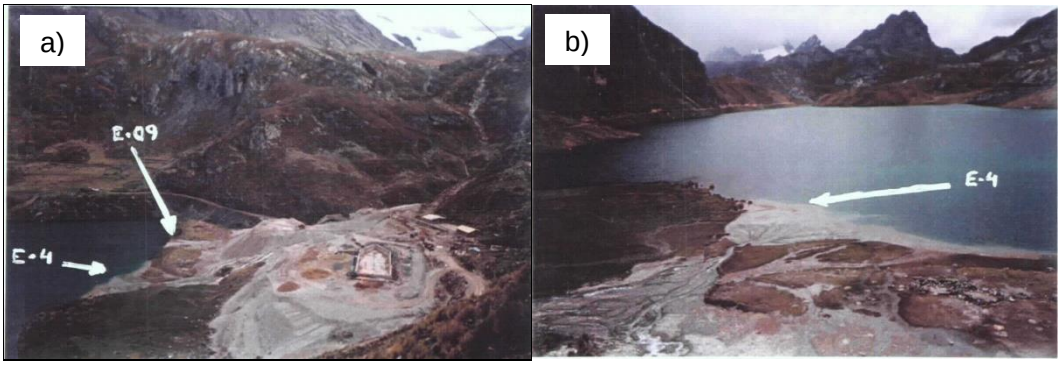


Figura 7-59. a) Estación Hidrobiológica- Laguna Tinquicocha (E-9) y descarga de la bocamina Tinquicocha (E-4), sobre el depósito de desmonte Tinquicocha se observa la construcción del sedimentador y b) Delta formado por el efluente de la bocamina Tinquicocha (E-4), se observa sedimentos depositados en la orilla de la laguna (fuente: EIA Caballococha)

En cuanto a la evaluación de agua superficial de la laguna Tinquicocha, se realizó el muestreo de 14 puntos en la laguna Tinquicocha, 2 puntos de agua residual industrial (AMTinq-1 y FTinqco-06), 1 punto en efluente (FTinqco-03) y 2 puntos en quebradas (QLTinq-01 y QLTinq-02), que se presentan en la Figura 7-60.

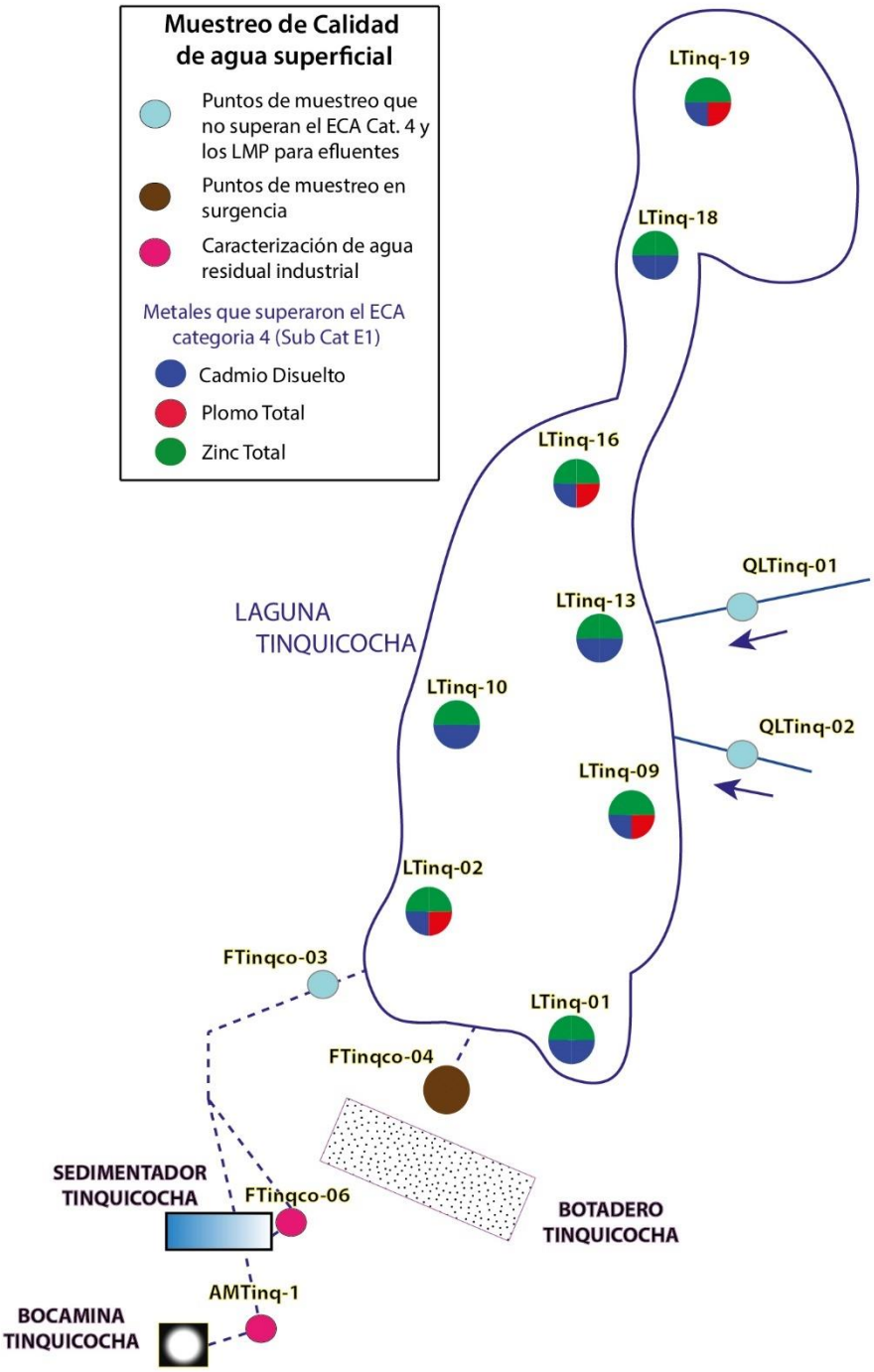


Figura 7-60. Esquema de puntos de muestreo en el ámbito de la laguna Tinquicocha

Se caracterizó el agua de mina proveniente de la bocamina Tinquicocha (AMTinq-1) y la zona de purga (FTinqco-06) que presentó concentraciones similares de plomo (0,007 mg/L y 0,0071) y zinc (0,121 mg/L y 0,1401 mg/L) Figura 7-61.

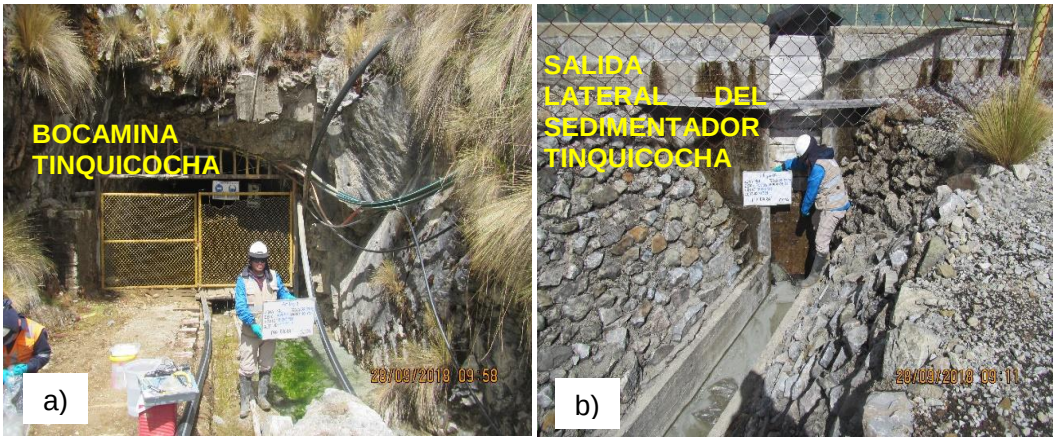


Figura 7-61. a) Bocamina Tinquicocha. b) Salida de agua por zona de purga del sedimentador Tinquicocha, se observa lodo de color plomizo.

El efluente del rebose del sedimentador Tinquicocha (FTinqco-03[110]) presentó concentraciones que cumplen con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM); sin embargo, el lodo en este punto presentó concentraciones elevadas de arsénico (701 mg/kg PS), cadmio (37,8 mg/kg PS), cobre (2010 mg/kg PS), mercurio (0,55 mg/kg PS), plomo (4004 mg/kg PS) y zinc (10691 mg/kg PS) (Figura 7-62); y microalgas con predominio del género *Achnanthidium* (A. *altergracillima*, A. cf. *atomus* y A. cf. *exilis*) y especies como *Leptolyngbya* sp. *1, Pseudanabaena catenata* las cuales son resistentes a elevadas concentraciones de metales (Gonzales e*t al*., 2016); asimismo se registraron similares microalgas en el punto AMTinq-HB-01 (agua de mina). Cabe precisar, el lodo caracterizado en este punto presentó similares características a los puntos AMTinq-1, FTinqco-06.



Figura 7-62. Muestreo de lodo de color plomizo en el punto FTinqco-03 en el a) 2017 y b) 2018, se encuentra sedimentado en la base del canal.

Los puntos de muestreo en la laguna Tinquicocha registraron concentraciones que cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA); además, al compararse referencialmente con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, excedieron las concentraciones de cadmio disuelto y zinc en todos los puntos de muestreo y plomo en

[110] Cabe precisar, que el efluente fué evaluado en el punto FTinqco-03 (canal de concreto aproximadamente a 11m de la laguna Tinquicocha), luego del aporte de agua de la zona de purga (FTinqco-06).

los puntos LTinq-02, LTinq-02-T, LTinq-09-T, LTinq-16 y LTinq-19-T. Las concentraciones de metales en la laguna estarían asociadas a los aportes de la surgencia (FTinqco-04) y el efluente (FTinqco-03), en comparación a la quebrada S/N 3 (QLTinq-01) y quebrada S/N 4 (QLTinq-02), que presentaron parámetros que cumplieron los ECA para agua (2017) Cat.4:E1 (Figura 7-63), lo que se evidenció en los puntos de muestreo (LTinq-HB-02 y LTinq-HB-09) próximos a las descargas de los aportantes presentaron menor riqueza de especies del fitoplancton en el fondo en relación con los valores de superficie. Este comportamiento no se observó en el punto LTinq-HB-19, el cual se encuentra en la zona más alejada de los afluentes a la laguna.



Figura 7-63. Concentración de metales en agua a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto.

En general se observa que el fitoplancton presenta los menores valores de riqueza y densidad en el punto LTinq-HB-01 y ha disminuido de 10 a 7 especies entre el 2017 al 2018; además este punto es el más cercano a la zona de ingreso de FTinqco-04 el cual excede los valores del ECA para agua Cat.4:E1 en cadmio total y disuelto, cobre, plomo y zinc; como se ha mencionado el cadmio y el zinc en elevadas concentraciones afecta el crecimiento y desarrollo de los organismos, lo que perjudica el crecimiento de diferentes grupos de algas y plantas (Sigel, Sigel & Sigel, 2013); así también se observó que los valores de sedimento del punto LTinq-SED-02 se han incrementado entre el 2017 al 2018 para arsénico (266%), cadmio (288%), cobre (304%), plomo(360%), zinc (257%) y mercurio (247%) (Figura 7-64).

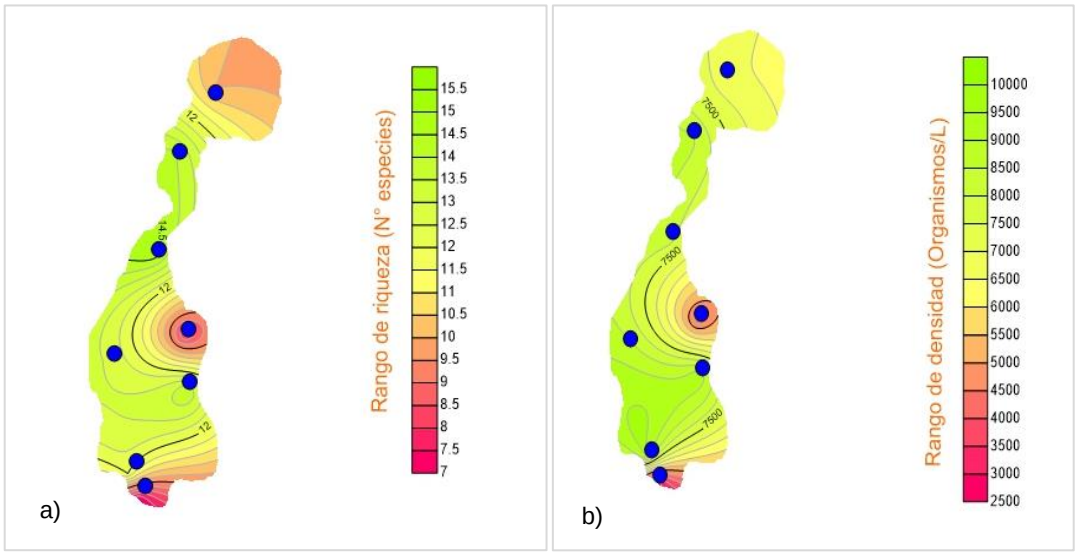


Figura 7-64. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Tinquicocha.

Las mayores concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc en el sedimento se registraron en los puntos LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20 (próximos al canal de concreto de descarga del efluente FTinqco-03, y a la descarga del efluente FTinqo-04 (Figura 7-65 a) y b)) respecto a los demás puntos en la laguna Tinquicocha. El lodo del punto FTinqco-03 (Descarga del sedimentador Tinquicocha) presentó concentraciones de cadmio (37,8 mg/kg PS), cobre (2010 mg/kg PS), plomo (4004 mg/kg PS) y zinc (10691 mg/kg PS), similares a las concentraciones de metales registradas en los puntos FTinqco-06 (Descarga de agua y lodo por tapón del sedimentador Tinquicocha) y AMTinq-1 (Agua de la bocamina Tinquicocha). Los índices de geoacumulación en esa zona de la laguna indican que el sedimento se encuentra de *«Fuerte a extremadamente contaminado»* por cadmio (*4<Igeo*<5) y *«Extremadamente contaminado»* (5<Igeo) por cobre, plomo y zinc (Figura 7-65 c) y d)).

.

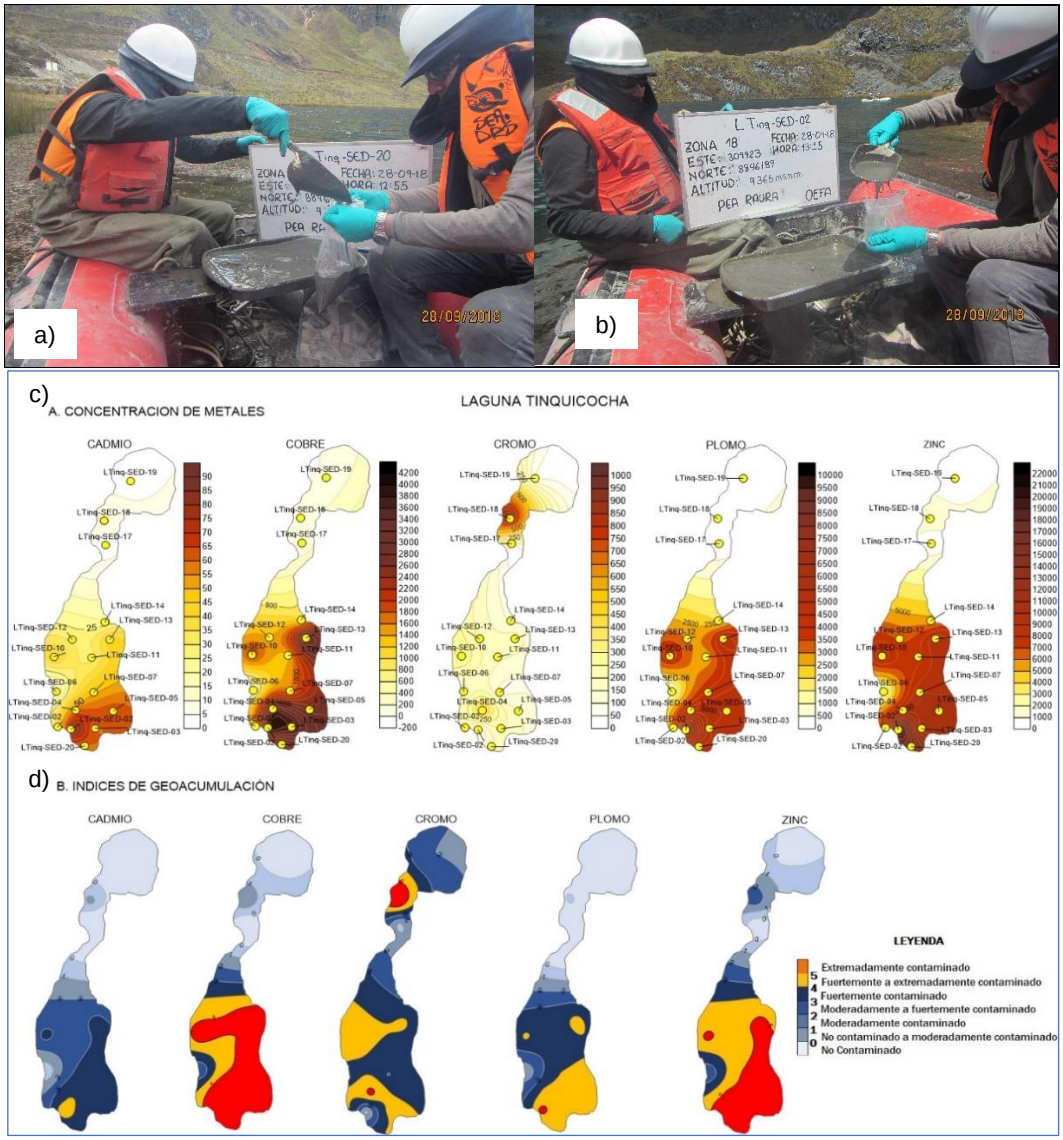


Figura 7-65. a) Sedimento en el punto LTinq-SED-20, b) Sedimento en el punto LTinq-SED-02 y c) y d) Concentración e índice de geoacumulación de cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc en sedimento de la laguna Tinquicocha.

En cuanto al análisis comparativo de las concentraciones de plomo total, zinc total, y cadmio disuelto entre 2017 y 2018 (Figura 7-66), se observa el incremento de las concentraciones de plomo total y cadmio disuelto de los puntos cercanos a la descarga del efluente FTinqco-03, en el punto LTinq-02 el plomo total aumentó de 0,0021 a 0,0029 mg/L, en el punto LTinq-01 el cadmio disuelto aumentó de 0,0068 a 0,0084 mg/L, además, en los puntos LTinq-16, LTinq-18, LTinq-19 (zona de rebose de la laguna) y en los puntos LTinq-13 y LTinq-18 (zona media y rebose de la laguna) se incrementó las concentraciones de plomo total y cadmio disuelto respectivamente; sin embargo, disminuyeron las concentraciones de los metales en el resto de puntos evaluados.

La concentración de zinc total en el agua de la laguna disminuyó en todos los puntos evaluados durante el 2018. Cabe precisar que, según el Estudio de Impacto Ambiental

del Depósito de Relaves Caballococha[111], la CMR S.A. se comprometió a reducir la concentración de zinc por debajo de 0,13 mg/L en la laguna Tinquicocha, hecho que no se verificó durante las evaluaciones ambientales del 2017 y 2018 (concentración media del zinc total: 0,2974 mg/L).



Figura 7-66. Concentraciones a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto, entre el 2017 y 2018

111 Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha, aprobado mediante la Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAA, aprobado el 28 de abril de 2003.

Resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos (vigilancia ambiental) para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua

7.3 Zona 3 - Microcuenca de la laguna Rupahuay

Para el análisis de las discusiones de la zona 3 se consideró el ámbito de las lagunas Yanacocha y Rupahuay, donde se ubican la bocamina, depósito de desmontes, poza de lodos y sedimentador Shucshapá; así como, el ámbito del río Quichas y la laguna Rumbrococha. En la Figura 7-67 se observa la distribución de puntos de muestreo de agua en la zona III.

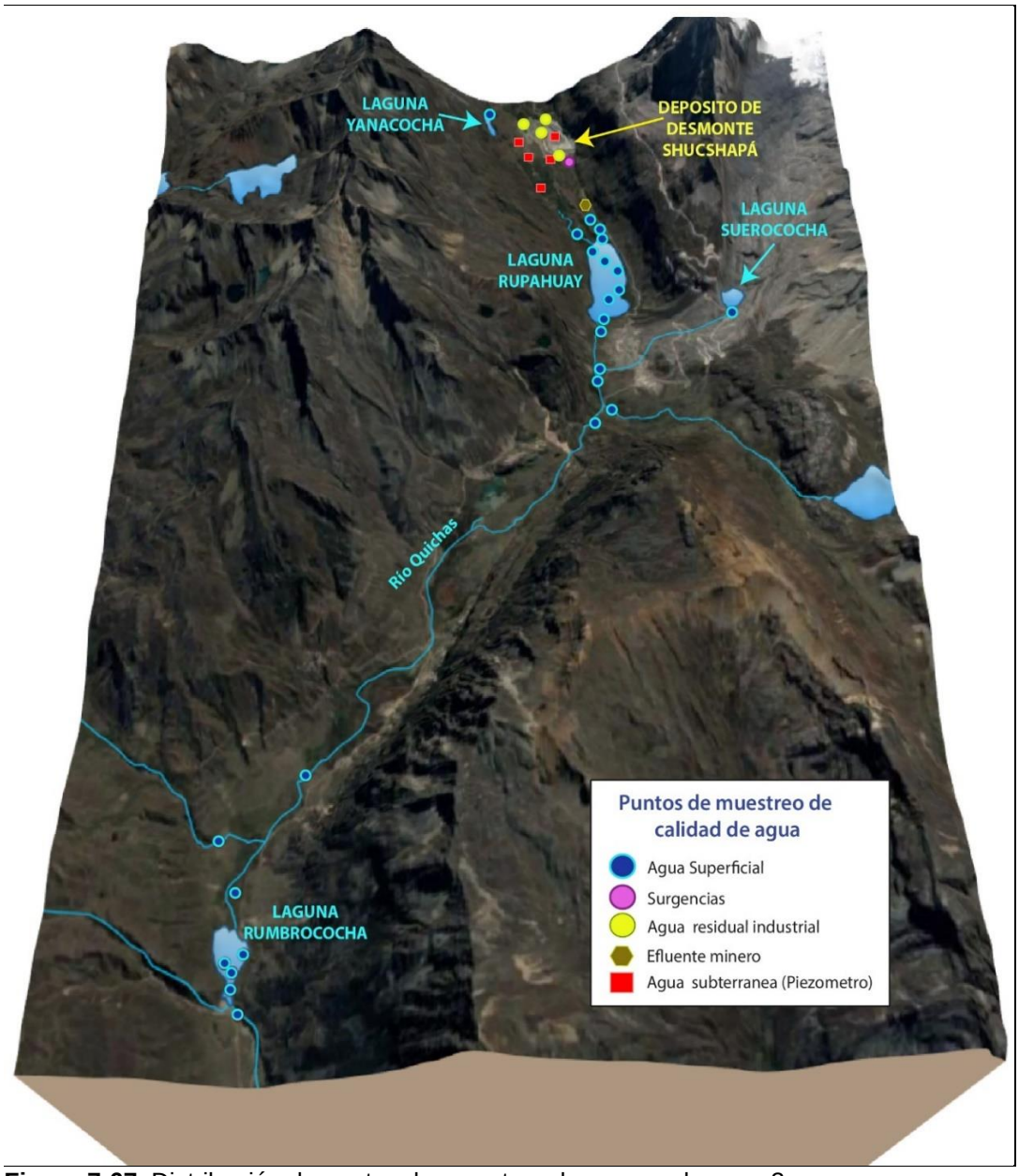


Figura 7-67. Distribución de puntos de muestreo de agua en la zona 3

Área de potencial interés Rupahuay (API_RUPA): Depósito de desmontes Shucshapá y poza de secado

El área de potencial interés Rupahuay (API_RUPA) se encuentra sobre la consociación de suelo Lluta, de orden Histosols y sub grupo Hydric Cryohemists, es decir, un suelo con materiales hémicos, de grado de descomposición entre materiales fíbricos menos descompuestos y materiales sápricos más descompuestos, con un régimen de temperatura cryico (temperatura entre 0° C a 8°C) y con una capa de agua dentro de la sección de control, debajo de la franja superficial, dicho de otro modo el API Rupahuay corresponde a un bofedal de relieve plano a ligeramente inclinado.[112]

En el API Rupahuay, se realizó una grilla regular para determinar la distribución de los contaminantes a través de toda la unidad de suelo natural Lluta. Se presenta la reacción del suelo orgánico y el porcentaje de materia orgánica, observándose la relación indirecta entre ambos parámetros (Figura 7-68). Al respecto, Bohn (2002) afirma que la acidez se produce por residuos vegetales o desperdicios orgánicos que se descomponen en condiciones un tanto reductoras, propiciando la formación de ácidos orgánicos, los cuales generan en parte la disolución y movimiento del hierro, aluminio y manganeso a través del perfil del suelo; por tanto, la quelación o formación de complejos por las moléculas orgánicos solubles también contribuyen al transporte de metales a través de suelo. Es decir, el suelo es capaz de captar metales que se concentrarán de manera focalizada.

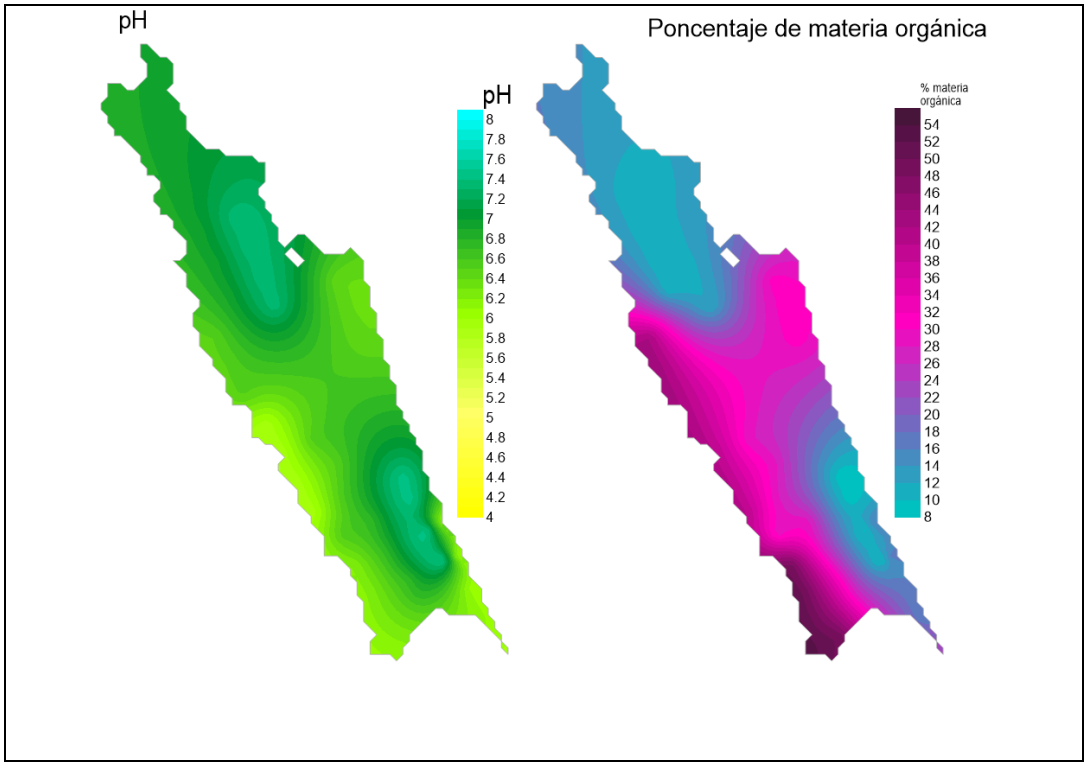


Figura 7-68. Reacción del suelo orgánico en el API Rupahuay y porcentaje de materia orgánica

El área de potencial interés Rupahuay (API Rupahuay), ubicado sobre un bofedal de relieve plano a ligeramente inclinado, presentó concentraciones de arsénico (18 de 89

[112] Información obtenida del Capítulo 8 (pp. 118) la Segundo Informe Técnico Sustentatorio aprobado con la Resolución Directoral N.° 157-2015-MEM-DGAAM.

puntos), cadmio (5 de 89 puntos) y plomo (12 de 89 puntos) que incumplieron los ECA para suelo de uso industrial extractivo (2013), abarcando un área aproximadamente de 14,39 ha. Asimismo, el arsénico, cromo se encuentran asociados a los óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica y como parte de la estructura del mineral, el cadmio se encuentra asociado a los carbonatos, óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica y como parte de la estructura del mineral y el plomo se encuentra asociado a todas las extracciones (Figura 7-70). En la Figura 7-69 en a), b), c), d), e) y f) se presenta los isovalores de las concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, pH y materia orgánica.

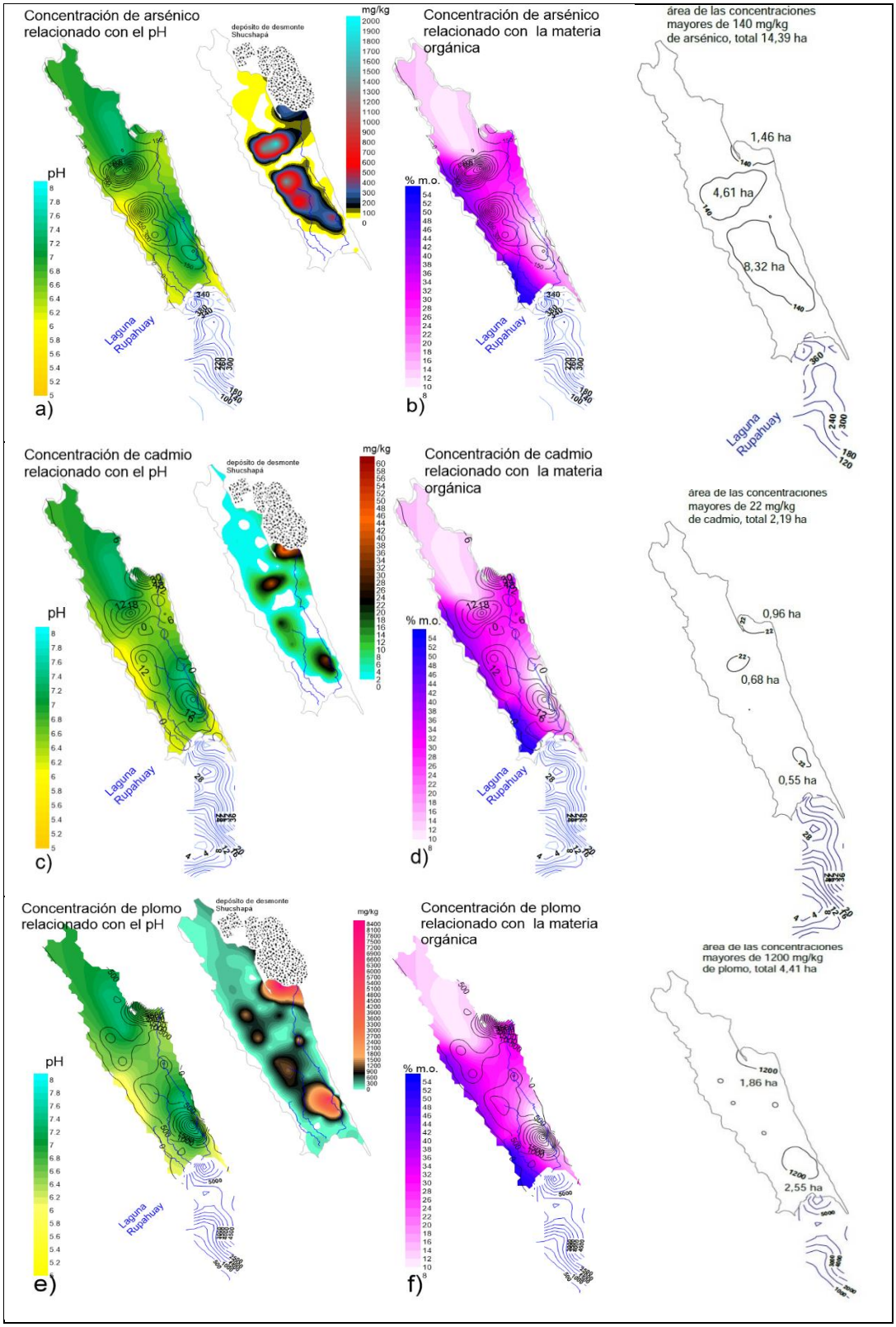


Figura 7-69. Concentración de arsénico, cadmio, plomo, pH y materia orgánica.

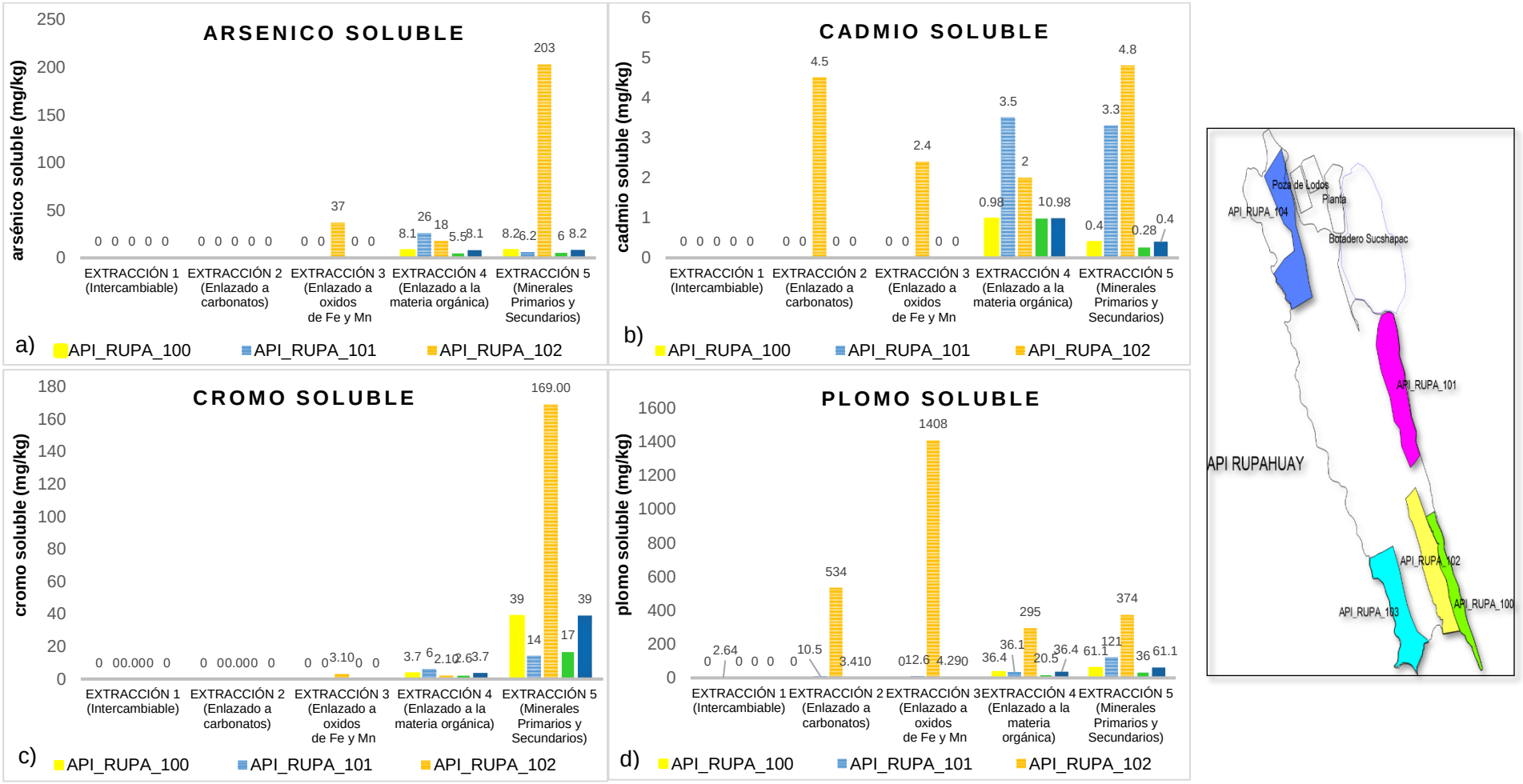


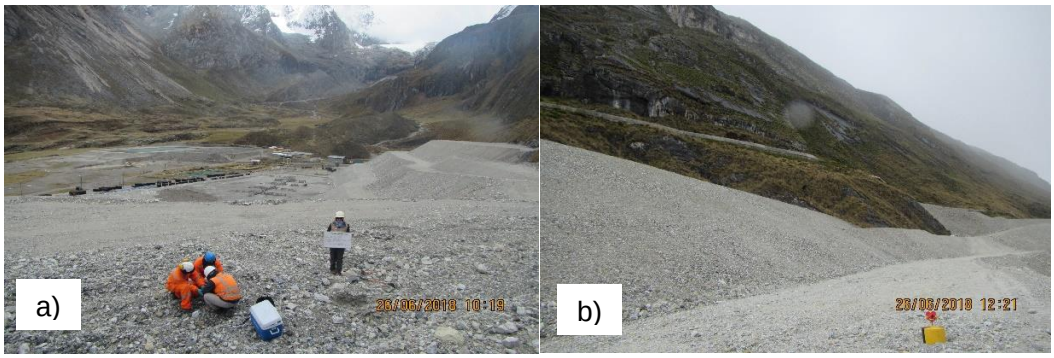
Figura 7-70. a), b), c) y d) Análisis de extracciones secuenciales de las muestras compuestas del API Rupahuay y e) Distribución de muestras compuestas API_RUPA_100, API_RUPA_101, API_RUPA_102 en el API Rupahuay.

En el suelo contiguo al depósito de desmontes Shucshapá[113], las concentraciones de arsénico, plomo (API_RUPA_5, API_RUPA_21 y API_RUPA_59) y cadmio (API_RUPA_5, API_RUPA_21) excedieron los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013). Asimismo, dichos metales también se encontraron en las muestras compuestas C-R1 (As: 158,0 mg/Kg PS; Cd: 14,2 mg/Kg PS; Pb: 2023 mg/Kg PS) y C-R2 (As: 134,2 mg/Kg PS; Cd: 15,7 mg/Kg PS; Pb: 2191 mg/Kg PS) extraídas del depósito de desmontes Shucshapá. La presencia de metales en el suelo se debe al mecanismo de transporte que se produce por el contacto del agua de escorrentía con el material de desmonte.

Por otro lado, respecto al punto FRupa-01, ubicado en la parte baja del depósito de desmonte Shucshapá (denominado por CMR S.A. como filtro de percolación), presentó concentraciones de sulfatos (959 mg/L) y zinc total (2,267 mg/L); lo cual se debería al contacto del agua de escorrentía (con pH cercano a la neutralidad) y el material de desmonte que estaría reaccionando formando una solución con presencia de zinc y sulfatos.

Lo mencionado líneas arriba se sustenta, con el análisis mineralógico del depósito de desmonte Shucshapá[114] (muestra compuesta, C-R1), que presentó esfalerita, pirita, entre otros. La esfalerita (ZnS), es un mineral común en los depósitos de skarn (Chang y Meinert, 2008; Love *et al*.,2004), dicho mineral se oxida cuando el desmonte está expuesto al ambiente, liberando zinc en la solución (Borden, 2003). Una vez móvil en una solución con pH cercano a la neutralidad, el zinc puede ser adsorbido por minerales de filosilicato presentes en las arcillas, serpentinas y micas (Manceau et al., 2000).

Asimismo, producto de la evaluación, se observó que el depósito de desmonte Shucshapá (Figura 7-71) no cuenta con canales de derivación para el manejo de aguas de escorrentía ni se encuentra contemplado dentro del instrumento de gestión ambiental.



113 La unidad minera Raura, explota un yacimiento skarn polimetálico de zinc y plomo, según lo reportado en el «Boletín Especial- Proyecto de inversión Minera y Prospección de Estudio del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico» (2001: p. 114)

114 Según la prueba ABA, no presentó condiciones de potencial generador de acidez (debido a la abundancia de carbonatos).

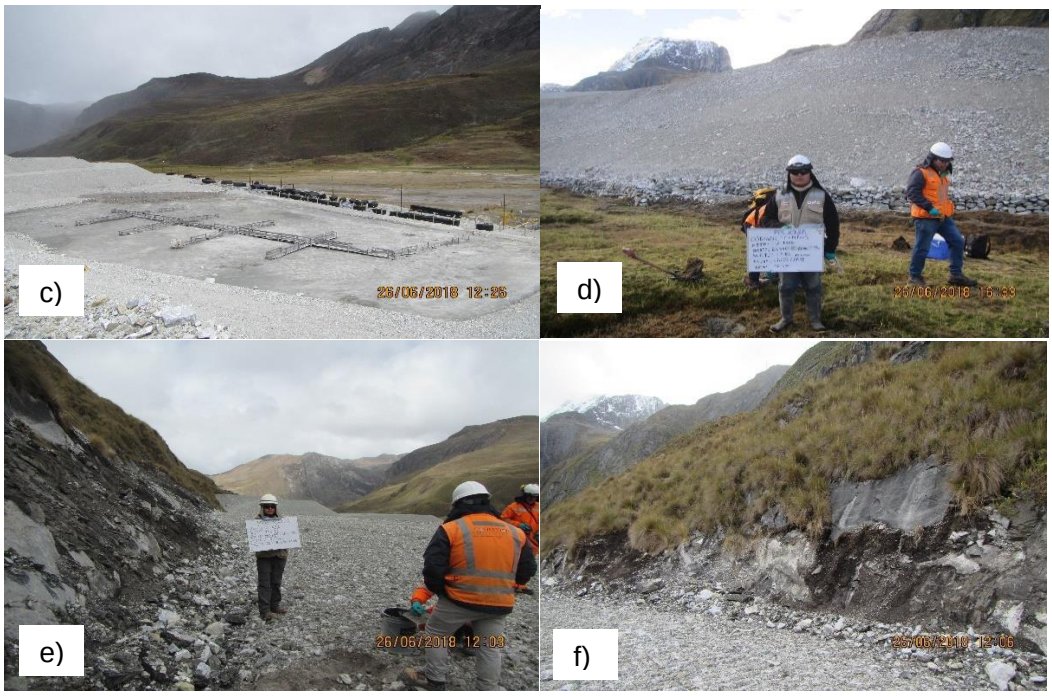


Figura 7-71. a), b), c), e) y f) Vistas del depósito de desmonte Shucshapá, sin canales para el manejo de aguas de escorrentía, d) Vista de la base de depósito de desmontes Shucshapá.

En adición, durante la supervisión regular del 2013[115], se constató que CMR S.A. no adoptó las medidas necesarias para evitar el desplazamiento del material de desmonte sobre un pastizal (Figura 7-72). Esto evidenciaría la influencia de este depósito sobre el suelo contiguo.



HALLAZGO 04: Al pie del talud del botadero Sucshapa se encuentran rocas impactando el pastizal y en la salida del agua del filtro de percolación (punto de control E-20-B, coordenadas UTM WGS 84 N: 8839620, E: 308218).

ACCION REALIZADA: En atención al hallazgo encontrado, se realizó la limpieza del área (pastizal) que se encontraba con rocas producto de la estabilización física de la desmontera Sucshapa; asimismo, se ha realizado un pircado al pie del talud de este botadero para evitar impactos en la zona del pastizal.

Figura 7-72. Vistas fotográficas obtenida de la Resolución Directoral N.° 699-2017-OEFA-DFSAI, relacionado a la disposición de material de desmonte del depósito de desmonte Shucshapá sobre el pastizal (página 21 de 40).

115 De conformidad con los hechos descritos en la Resolución Directoral N.° 699-2017-OEFA/DFSAI (f. 21-22).

Asimismo, en la parte baja de depósito de desmonte Shucshapá, se identificó material plomizo no orgánico superficial con 10 a 15 cm de espesor en una de las calicatas y en las demás calicatas se observó capas de este material con espesores variables sobre suelo orgánico dentro de 0,8 ha aproximada[116], que presentó minerales como feldespato, granate (andradita y grosularia) en una muestra compuesta (API_RUPA_102) y concentraciones de arsénico, cadmio y plomo que excedió el ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013). Asimismo, el suelo orgánico presentó minerales de cuarzo y mica (Figura 7-73). Cabe precisar, que no se pudo identificar la procedencia del material plomizo en el suelo de este API, debido a que no se cuenta con línea base ambiental, por lo que se requiere mayores estudios técnicos.

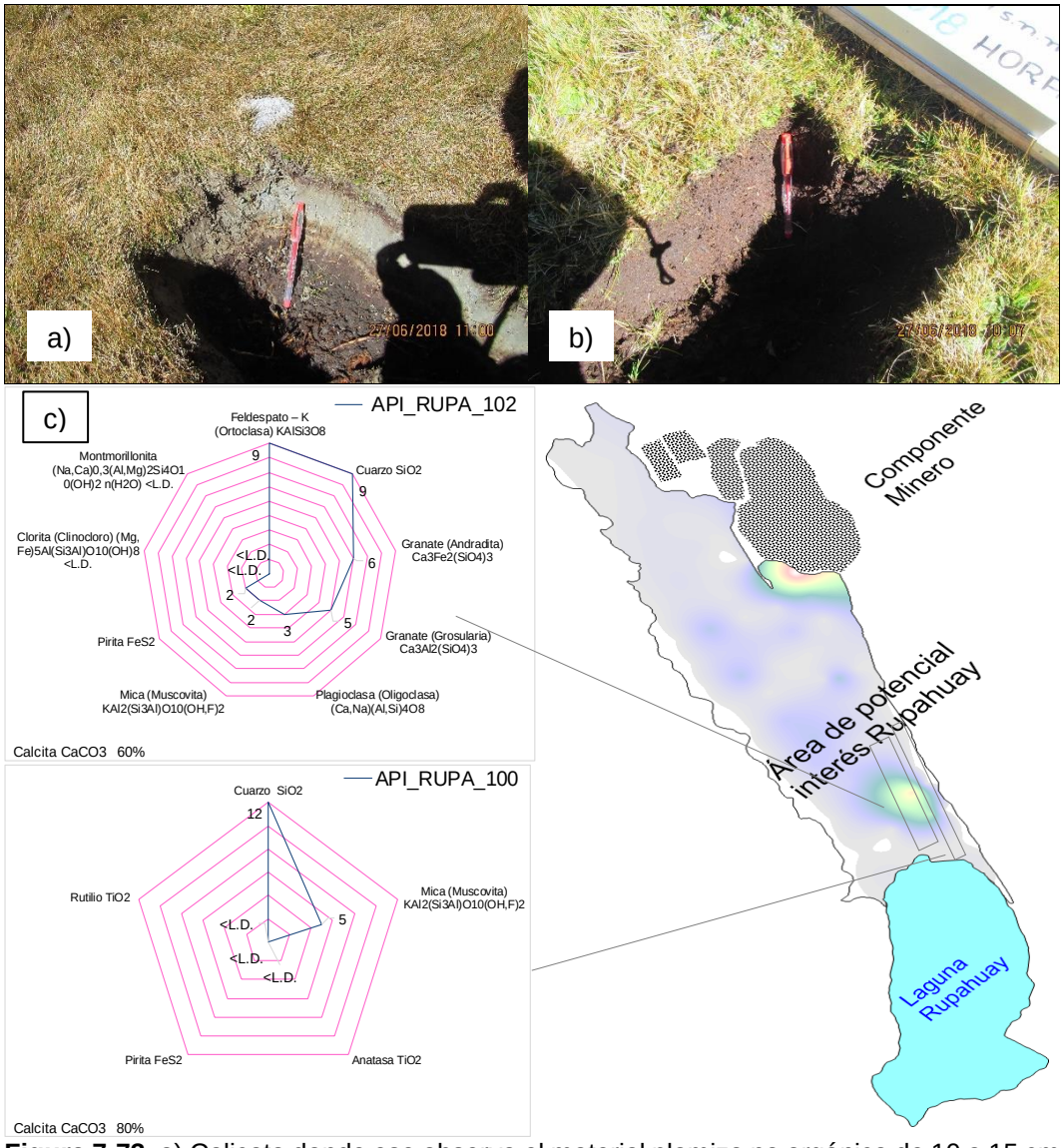


Figura 7-73. a) Calicata donde ese observa el material plomizo no orgánico de 10 a 15 cm sobre el suelo orgánico en el punto API_RUPA_36, b) Calicata donde se observa el perfil orgánico característico del Histosol y c) Análisis mineralógico comparativo del material plomizo y suelo orgánico en el API Rupahuay.

116 Estimación realizada apartir de los puntos API_RUPA_36, API_RUPA_47 y API_RUPA_53 puntos que excedieron el ECA para suelo (2013) de uso extractivo/industrial para plomo y arsénico.

De otra parte, en el ámbito del depósito de desmonte Shucshapá, se han realizado 3 líneas de tomografía eléctrica LTR-1 (Figura 7-74 a)), LTR-2 (Figura 7-74 b)) y LTR-3 (Figura 7-74 c)), las cuales se relacionan con los piezómetros PR-104, PR-101 y PR-105, respectivamente.

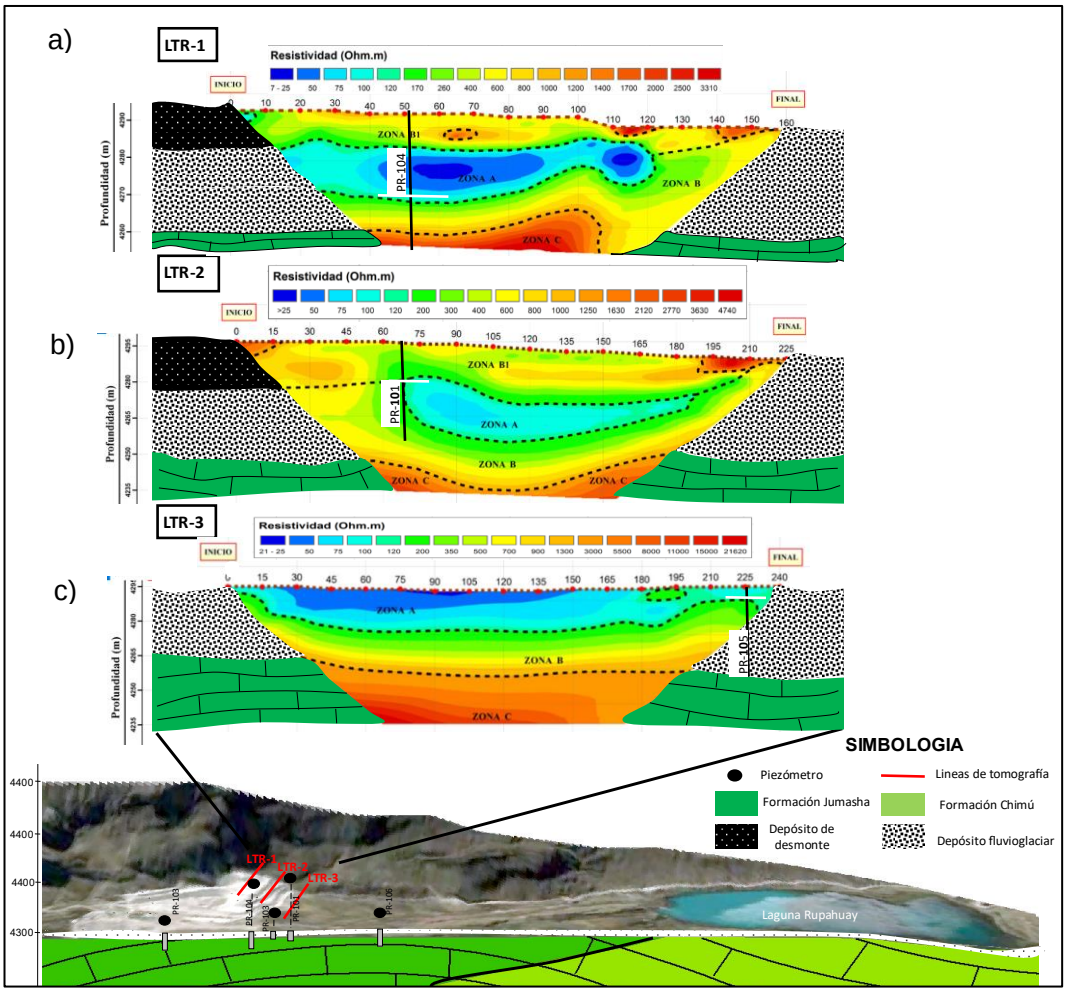


Figura 7-74. Comparación de los perfiles de tomografía eléctrica con la litología de la zona de Shucshapá a) LTR-1, b) LTR-2 y c) LTR-3

En estas líneas, la zona A corresponde a valores bajos de resistividad que varían entre 7Ω.m a 120 Ω.m, que corresponden a materiales cuaternarios conformado por intercalaciones de arenas con arcillas y limos; y lentes de gravas con presencia de alta humedad que coinciden con los niveles freáticos de los piezómetros PR-104, PR-101 y PR-105 (24, 15,9 y 3,1 m, respectivamente).

Cabe precisar que la calidad de agua subterránea en el piezómetro PR-104 presentó concentraciones de arsénico, hierro y manganeso que, al ser comparados referencialmente con los ECA para Agua (2008) Cat.3, excedieron los valores de esta norma; mientras que los piezómetros PR-101 y PR-105, solo el arsénico.

En las líneas LTR-1 y LTR-2 la zona B1 (próximo a la superficie) estaría relacionado a resistividades intermedias entre 121 a 1000 Ω.m, que correspondería a desmonte de mina (materiales antrópicos); además, según el logueo litológico del PR-RA17-

104[117] realizado a este componente minero por CMR S.A., indica presencia de material fino (relave) dispuesto en este depósito a diferencia de otros registros litológicos.

La zona B (similares resistividades a la zona B1), corresponde a materiales cuaternarios compuestos por gravas pobremente gradada intercalas con lentes de áreas y limos con menor grado de humedad, litología que es concordante con los PR-RA17-104, PR-RA17-103 y PR-RA17-101. La zona C corresponde a valores altos de resistividad entre 1001 a 3310 Ω.m, que corresponden a materiales cuaternarios compuesto por gravas pobremente gradada en contacto con las calizas de la Formación Jumasha (PR-RA17-104, PR-RA17-103 y PR-RA17-101).

La zona de recarga de este sector posiblemente este asociado a dos fuentes, la primera corresponde a la escorrentía superficial proveniente del nevado Brazzini transportándose en la dirección preferencial NNW – SSE y a la precipitación pluvial en época de avenida, alimentando al agua subterránea por infiltración el cual podría atravesar los materiales cuaternarios (depósitos fluvioglaciares). Asimismo, la infiltración en el depósito de desmonte en donde se observó una poza de secado que contiene material fino, el cual no se encuentra operativo estaría aportando arsénico, hierro, manganeso y otros al agua subterránea (PR-104 y PR-105) (Figura 7-74). Al respecto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos (vigilancia ambiental) para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en el agua subterránea, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

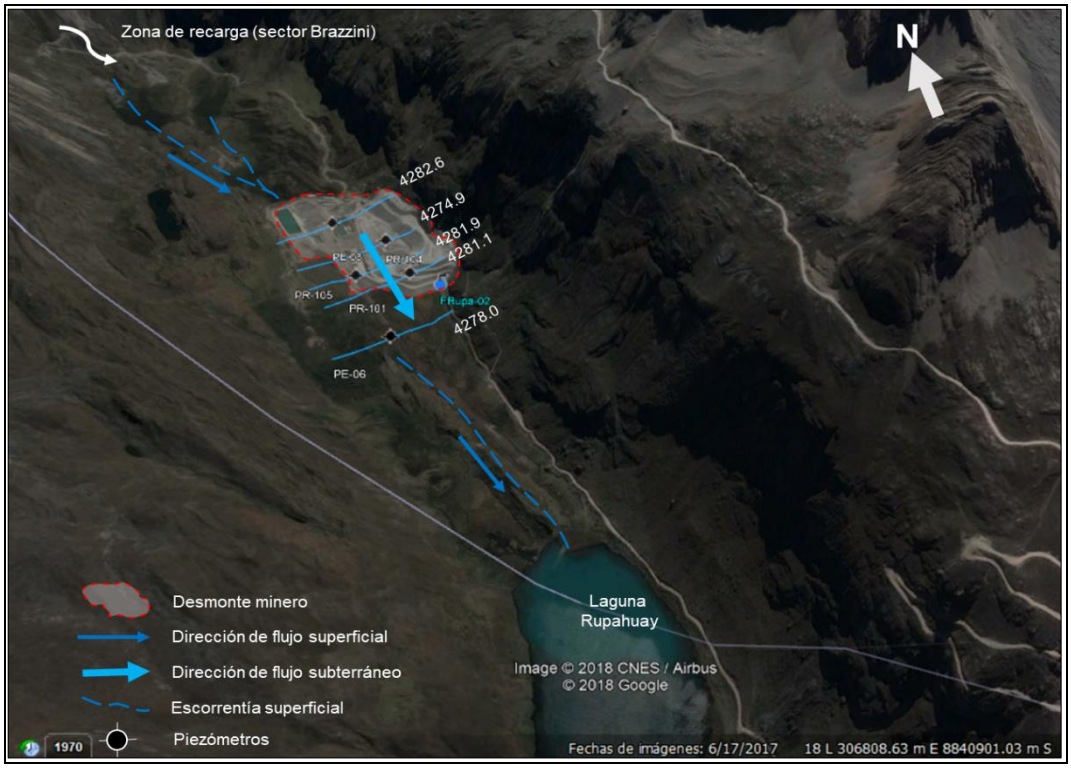


Figura 7-75. Dirección de flujo del agua superficial y subterránea en el sector Shucshapá

117 El Sondaje PR-RA17-104(A) realizado por la CMR S.A. fue proporcionado por el propio administrado a través del correo electrónico institucional del 26 de julio de 2018.

En la Figura 7-76 se observa una sección transversal a las líneas LTR-1, LTR-2 y LTR-3, la cual muestra cuatro zonas B1, A, B, y C, donde la zona B1 está compuesta por materiales antrópicos (desmonte y relaves mineros) cercanos a la superficie registrados en las líneas LTR-1 (Figura 7-74 a)) y LTR-2 (Figura 7-74 b)); una zona A que se caracterizó por presentar material cuaternario compuesto por arenas, gravas y limos con presencia de humedad, siendo esta zona favorable para el transporte de agua subterránea; una zona B correspondiente a material cuaternario propio de la zona; y finalmente, una zona C que representa materiales sedimentarios (calizas) que se evidencia en las líneas LTR-2 y LTR3 (Dentith y Mudge, 2014; Reynolds, 2011).

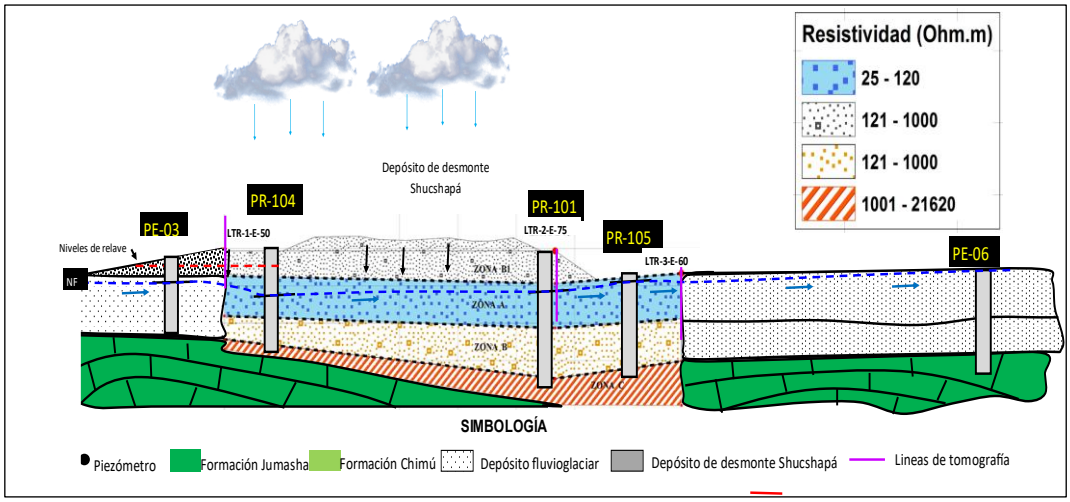


Figura 7-76. Perfil esquemático de litología y perfiles de tomografía eléctrica

En cuanto a la evaluación de agua superficial en el ámbito de la laguna Yanacocha y Rupahuay, se realizó el muestreo de 1 punto en la laguna Yanacocha (LYana-01), 10 puntos en la laguna Rupahuay, 2 puntos de agua residual industrial (ARRupa-1 y AMRupa-1), 1 punto en efluente (EFRupa-02)[118], 1 punto de surgencia (FRupa-02), ubicada en la parte baja del depósito de desmontes Shucshapá, y 5 puntos en quebradas (QRupa-01, QRupa-03, Drupa-01, QRupa-04 y QRupa-02). En la Figura 7-77 se presentan la distribución de puntos de muestreo en el ámbito de la laguna Yanacocha y Rupahuay.

118 Cabe precisar que el efluente EFRupa-02 recibe los aportes de los puntos EFRupa-1 y FRupa-1, correspondientes aguas industriales, el agua residual industrial del punto FRupa-1 se mezcla con el agua residual industrial correspondiente al punto EFRupa-1 (código del administrado E-20A).

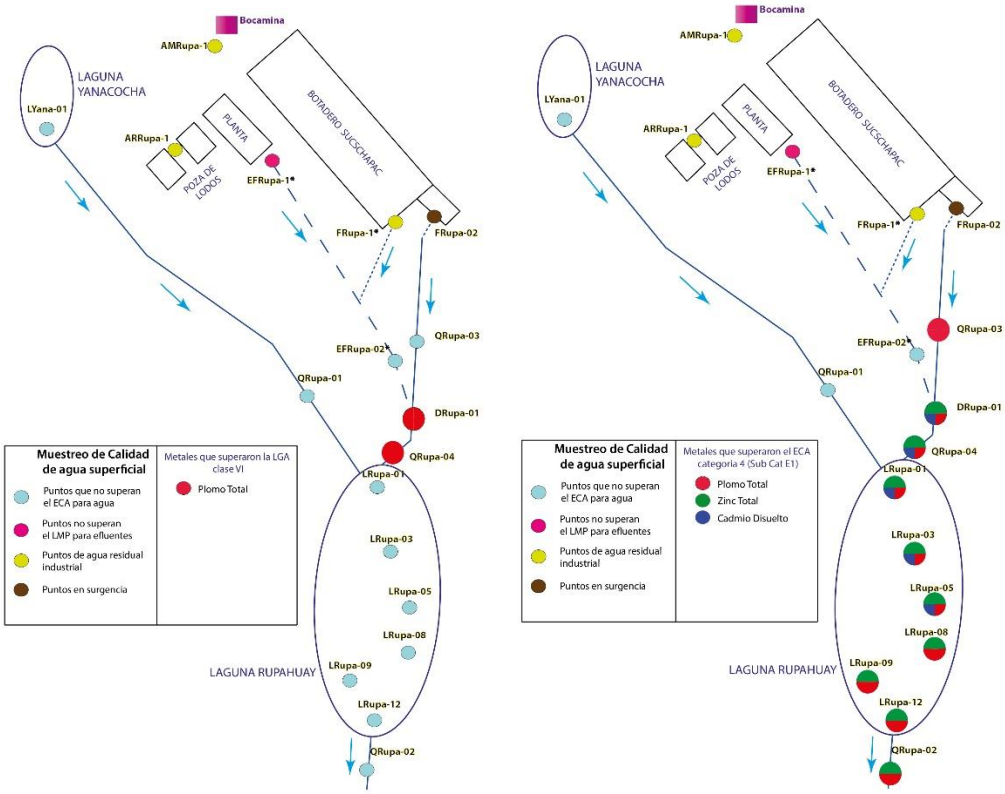


Figura 7-77. Distribución de puntos de muestreo en el ámbito de las lagunas Yanacocha y Rupahuay a) con la LGA para clase VI y b) Con el ECA para agua 2017.

Los parámetros de la laguna Yanacocha (LYana-01), de facies bicarbonatada cálcica, cumplieron los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1. En esta laguna se colectó un pez de la especie *Oncorhynchus mykiss* «trucha», y se realizó el análisis de metales en tejidos (muscular y hepático), presentando una concentración de cadmio (0,0568 mg/kg) en el hígado que superó los contenidos máximos de metales para consumo humano de acuerdo con el Sanipes (2016).

La bioacumulación se define como la capacidad de una sustancia de ser concentrada en los organismos, en función del tiempo (Corrales, 2013); por lo cual, el organismo colectado al tener más tiempo de vida (longitud total de 52,5 cm y un peso de 1.5 kg) podría desarrollar la mayor bioacumulación de cadmio, lo cual estaría asociado a la presencia de este metal en el sedimento que superó el valor PEL en los puntos LYana-SED-02 y LYana-SED-03, y de acuerdo a la prueba de extracción secuencial el cadmio se encontró asociado a los carbonatos (LYana-SED-03). Cabe indicar, que debido a que se capturó un solo individuo se requiere de más muestras de tejido muscular y hepático a fin de confirmar la presencia de este metal en las truchas.

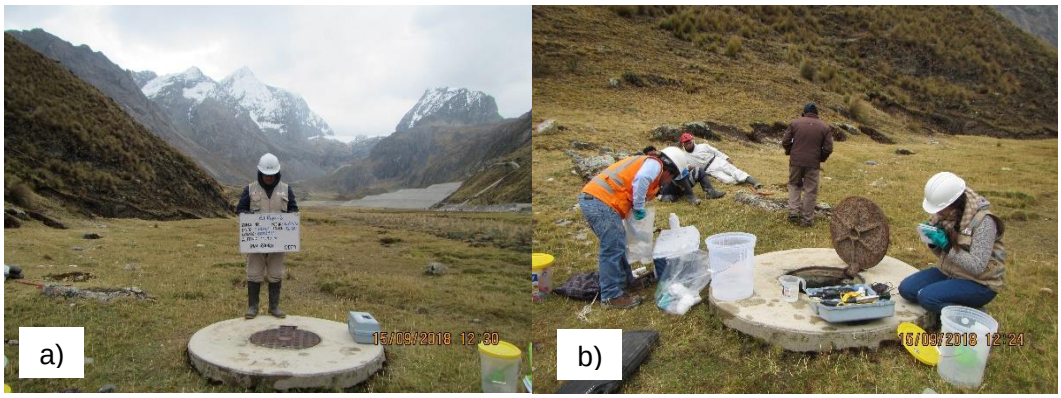
De acuerdo con la clasificación del Índice de Estado Trófico (ITS) y a los valores del Comité de Eutrofización de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE), la laguna Yanacocha se clasifica en mesotrófico y eutrófico, respectivamente. El fitoplancton de la laguna Yanacocha presentó mayor diversidad en los phyla Charophyta y Cianobacteria; sin embargo, se encuentra dominado por especies del phylum Bacillariophyta, predominando el género *Fragilaria* sp.

Por otro lado, el agua de mina proveniente de la bocamina Shucshapá (AMRupa-1), de facies sulfatada cálcica, presentó principalmente concentraciones de plomo

(2,273 mg/L) y zinc (2,138 mg/L), relacionados a la mineralogía de la zona, registrándose especies de las comunidades de perifiton (AMRupa-HB-01) como *Achnanthidium* cf. *exilis* y *Achnanthidium sp*. *1*, los cuales podrían habitar en aguas limpias y contaminadas incluyendo el drenaje ácido de mina (Ponader y Potapova, 2007); además, se registró la especie de alga filamentosa *Stigeoclonium* sp., la cual puede llegar a cubrir todo el sustrato en aguas frías, presenta tolerancia a la contaminación orgánica y de metales pesados.

Las aguas de la bocamina (AMRupa-1) son dirigidas hacia el sedimentador Shucshapá para su tratamiento, cuya descarga fue evaluada en el punto EFRupa-1, de facies sulfatadas cálcicas y en su recorrido a través de una tubería ingresa las aguas del drenaje del depósito de desmontes Shucshapá FRupa-01 (E-20B, código del administrado), de facies sulfatada cálcica, que presentó concentraciones de zinc total (2,267 mg/L), sulfato (959 mg/L) y pH (7,57 unidades) característico de un drenaje neutro de mina (Tame et al., 2017). Asimismo, de acuerdo al diagrama de Ficklin, las aguas de este drenaje se clasificaron como cercano a la neutralidad y con alto contenido de metales. Este drenaje se estaría formando por el contacto del agua de precipitación con el material del depósito[119] de desmonte Shucshapá que presentó esfalerita[120], pirita, entre otros.

En cuanto al perifiton el punto FRupa-HB-01 presentó una de las menores riquezas en 2017 y 2018, esto posiblemente se deba a la elevada conductividad eléctrica de 1501 y 1760 µS/cm, respectivamente, asociada a altas concentraciones de metales. La mezcla de la descarga de la planta de tratamiento con las aguas del drenaje fue evaluada en el punto EFRupa-02 (Figura 7-78 a) y b)), de facies sulfatada cálcica, cuyos parámetros evaluados cumplieron los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM). Es importante mencionar, que este efluente descarga por debajo del espejo de agua de la quebrada S/N en el punto DRupa-01 Figura 7-78 c) y d) por lo que no fue posible la toma de muestra en este punto.



119 Según la prueba ABA, no presentó condiciones de potencial generador de acidez (debido a la abundancia de carbonatos).

120 La esfalerita (ZnS), es un mineral común en los depósitos de skarn (Chang y Meinert, 2008; Love et al.,2004), dicho mineral se oxida cuando el desmonte está expuesto al ambiente liberando zinc en la solución (Borden, 2003).

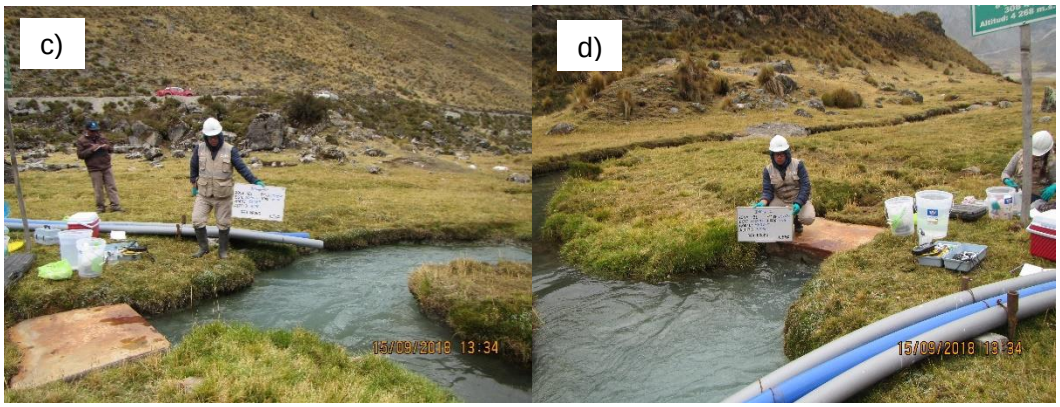


Figura 7-78. a) y b) Vistas fotográficas del punto EFRupa-02, c) y d) vistas fotográficas del punto de vertimiento DRupa-01 que descarga por debajo del espejo de agua de la quebrada S/N.

La concentración de plomo en el punto QRupa-03 de la quebrada S/N de facie bicarbonatada cálcica se incrementó hasta exceder los ECA para agua (2017) Cat.4:E1(comparado referencialmente) en relación al punto aguas arriba, luego de recorrer por el costado izquierdo del API Rupahuay que presentó concentraciones de plomo, arsénico y cadmio. Asimismo, en esta quebrada aguas abajo (QRupa-04) de la descarga del efluente minero (EFRupa-2), las concentraciones de cadmio disuelto (0,00043 mg/L), plomo total (0,0623 mg/L) y zinc total (0,326 mg/L) se incrementaron excediendo dicha norma en comparación con el punto aguas arriba (QRupa-03) tal como se observa en la Figura 7-79 a), b) y c). Cabe aclarar, que todos los puntos evaluados en la quebrada S/N cumplieron con los valores límites establecidos en la LGA para clase III (R.J. N.º 291-2009-ANA). Además, se observa el incremento en las concentraciones de plomo y zinc en el sedimento del punto QRupa-04 hasta exceder el valor PEL de la CEQG en comparación con el punto QRupa-03 (Figura 7-79 d)).

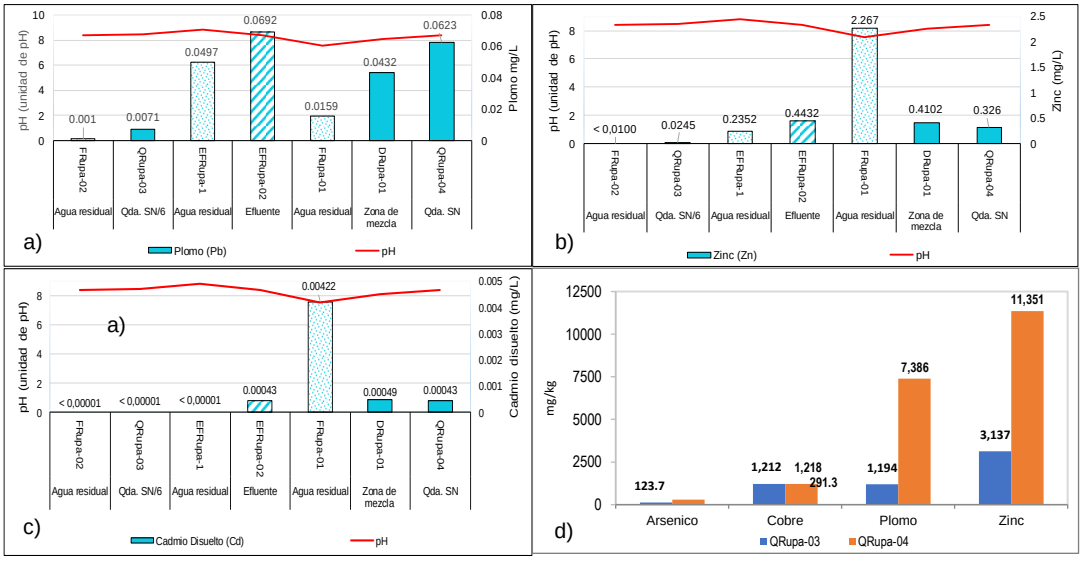


Figura 7-79. Concentraciones de metales en agua a) plomo, b) zinc, c) cadmio disuelto y en sedimento d) arsénico, cobre, plomo y zinc en los puntos aguas arriba (QRupa-03) y aguas abajo (QRupa-04) del vertimiento

Con respecto a la evaluación de la comunidad de perifiton, el punto QRupa-HB-04 registró menor riqueza, diversidad y densidad (Figura 7-80) en comparación con el

punto QRupa-HB-03[121]; esta disminución se debería al aporte de las aguas del efluente EFRupa-02.

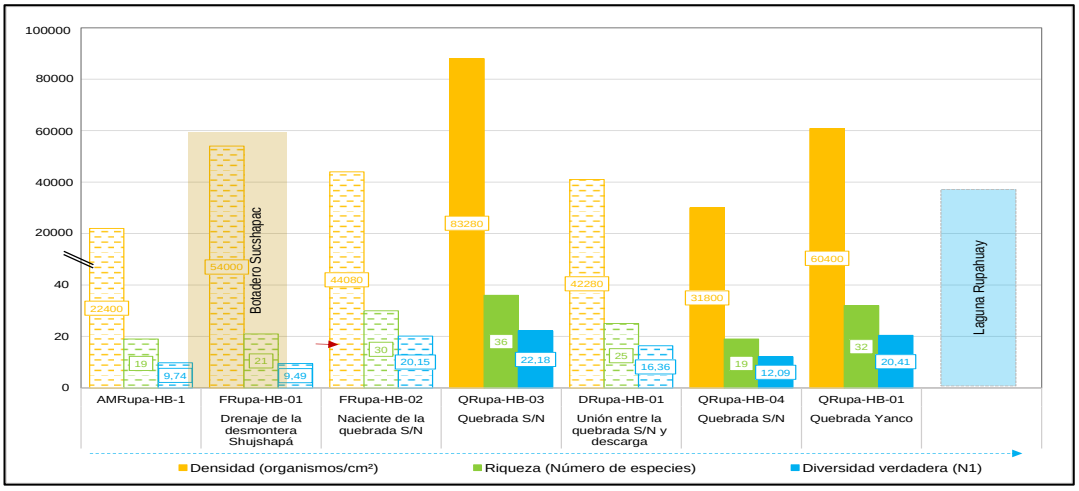


Figura 7-80. a) Densidad, Riqueza y diversidad de las comunidades de perifiton en quebradas tributarias a la laguna Rupahuay

Cabe señalar que, el punto (EFRupa-1) cuenta con autorización de vertimiento hacia la laguna Rupahuay, según Resolución Directoral N.° 199-2017-ANA-DGCRH[122] otorgado por la Autoridad Nacional del Agua, en dicha resolución el caudal autorizado para el vertimiento es de 577,60 L/s, no obstante, de las acciones de evaluación se registró un caudal de 615,1 L/s.

Por otro lado, la laguna Rupahuay recibe los aportes de la quebrada S/N (QRupa-04) y quebrada Yanco (QRupa-01) ambos tributan por la margen izquierda y derecha de esta laguna, en donde los parámetros evaluados en ambos tributarios cumplieron con los valores de la LGA para clase III (Valores Límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA). Además, de la comparación referencial con los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1, las concentraciones de metales evaluados en el punto QRupa-01 no excedieron los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1 (comparado referencialmente), lo que coincidió con los mayores valores de riqueza, densidad y diversidad de especies de microalgas en dicho punto (QRupa-HB-01); no obstante, en el punto QRupa-04, presentó concentraciones plomo, zinc total, y cadmio disuelto que excedió dicha norma.

Todos los parámetros evaluados en la laguna Rupahuay en los 3 niveles cumplieron los valores establecidos en la LGA para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA); además, al comparar referencialmente con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, las concentraciones de plomo, zinc (nivel superficial: en 6 de 6 puntos, nivel medio: en 1 de 1 punto y nivel fondo: en 4 de 4 puntos) y cadmio disuelto (nivel superficial: en 2 de 6 puntos, nivel medio: en 1 de 1 punto y nivel fondo en 3 de 4 puntos) excedieron dicha norma (Figura 7-81).

121 Cabe precisar que, en los puntos DRupa-HB-1 y QRupa-HB-4 se registró la dominancia de la especie del género *Stigeoclonium*, el cual es resistente a concentraciones elevadas de metales. En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos colectados en el punto QRupa-HB-03 se observó la gran dominancia del orden tricóptero de la especie *Anomalocosmoecus sp.*, que se caracteriza por desarrollar en aguas de bajas temperaturas y buena oxigenación (Lanza *et al,* 2000).

122 Autorización mediante la cual se declara procedente prorrogar por un plazo de 3 años computados a partir de 31 de enero de 2018, la autorización de vertimiento de aguas residuales industriales tratadas procedentes de la bocamina Shucshapá (EFRupa-1/E-20A) hacia la laguna Rupahuay.

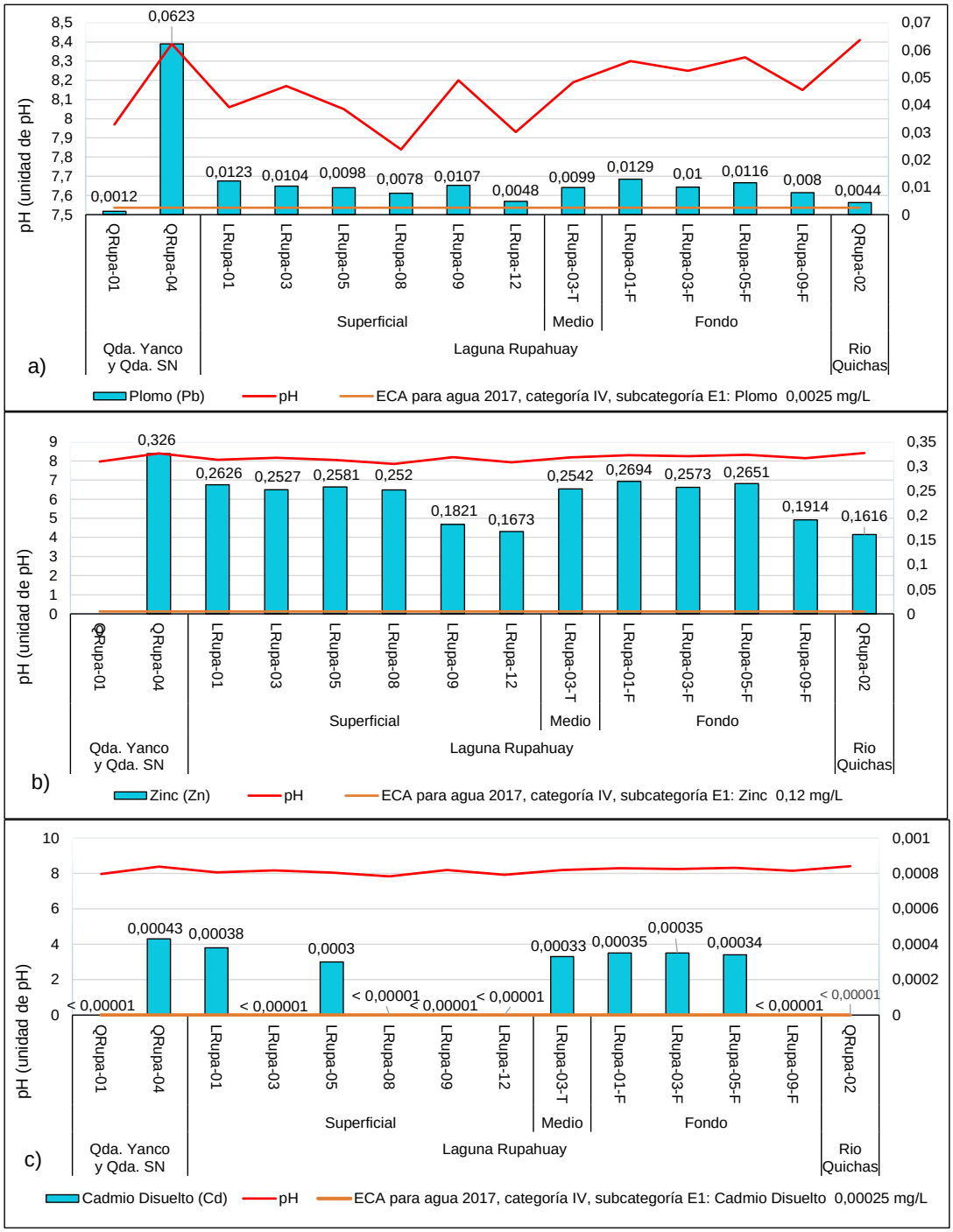


Figura 7-81. Concentración de metales en la laguna Rupahuay: a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto

Resultados similares fueron reportados en la evaluación de 2017[123], no obstante, de la comparación de las concentraciones obtenidas el 2018, en la Figura 7-82 se observa una disminución de las concentraciones de plomo y zinc total, y cadmio disuelto.

[123] Informe N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME

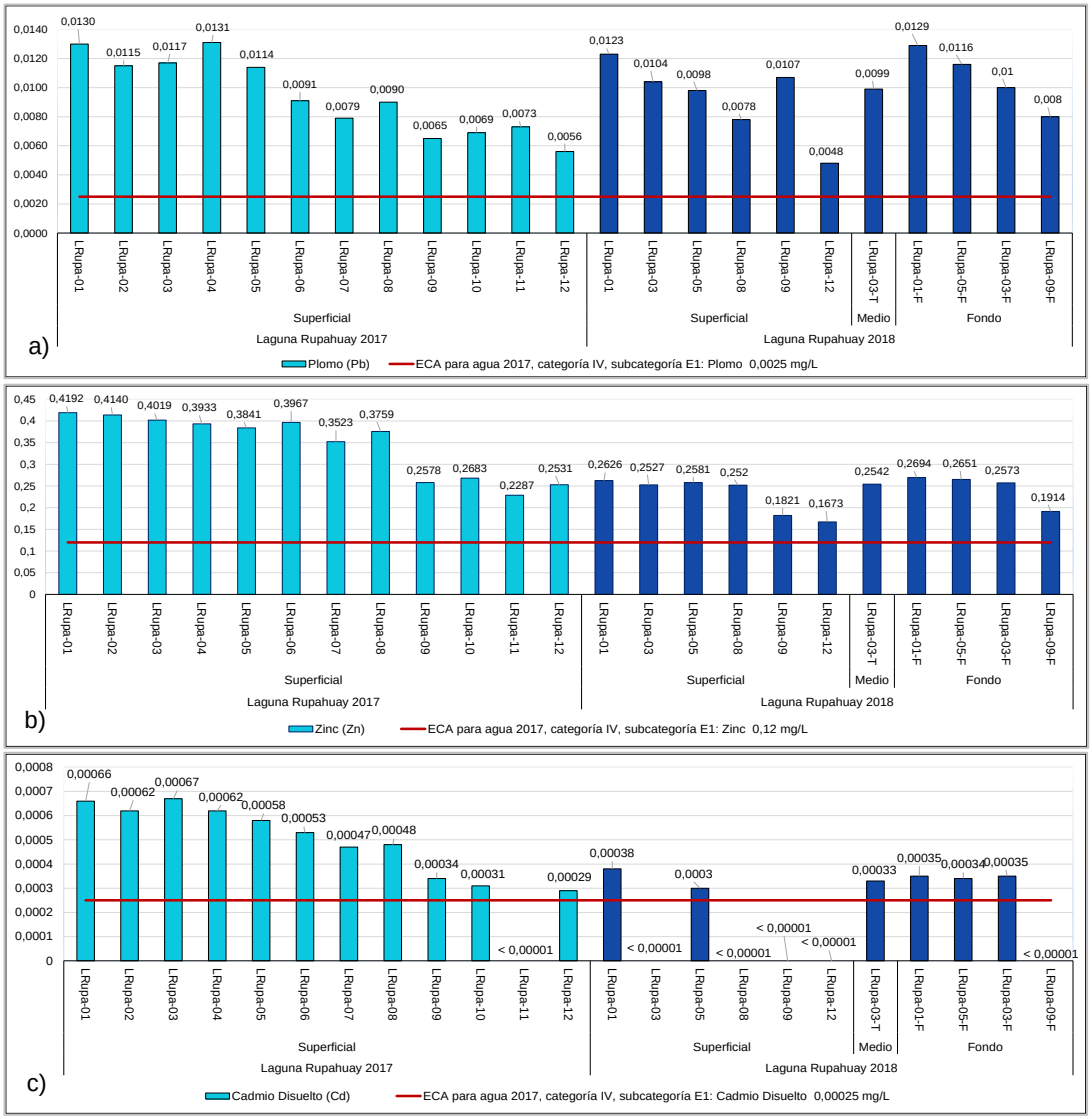


Figura 7-82. Concentración de a) plomo, b) zinc y c) cadmio disuelto; en la laguna Rupahuay realizados en los años 2017 y 2018

Por otro lado, los sedimentos de la laguna Rupahuay presentaron concentraciones de arsénico, plomo y zinc (4 de 4 puntos), cadmio (3 de 4 puntos) y cobre (2 de 4 puntos) que superaron referencialmente los valores PEL de la guía canadiense, lo que se complementa con lo mencionado en el Informe N.º 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME; asimismo, las mayores concentraciones de cobre (1333 mg/kg PS), plomo (8590 mg/kg PS) y zinc (11956 mg/kg PS) en el sedimento se registraron en el punto LRupa-SED-14 (próximos al aporte de la quebrada S/N), en relación a los demás puntos de la mencionada laguna.

Cabe precisar que, similares concentraciones de cobre (1218 mg/kg PS), plomo (7386 mg/kg PS) y zinc (11351 mg/kg PS) se registraron en el punto de muestreo QRupa-04 (Quebrada S/N que recibe la descarga del efluente EFRupa-02), así como en el lodo de la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá (C-R4): cobre (974,9 mg/kg PS), plomo (6591 mg/kg PS) y zinc (11644 mg/kg PS) y el material del depósito de desmonte Shucshapá (C-R1): cobre (832 mg/kg PS), plomo (2023 mg/kg PS) y zinc (3336 mg/kg PS). Además, el sedimento próximo a la descarga de la quebrada S/N

(LRupa-SED-14) presentó similares características mineralógicas con la poza de secado de la planta de tratamiento Shucshapá (C-R4) y el material de desmonte de depósito de desmonte Shucshapá (C-R1), Figura 7-83.

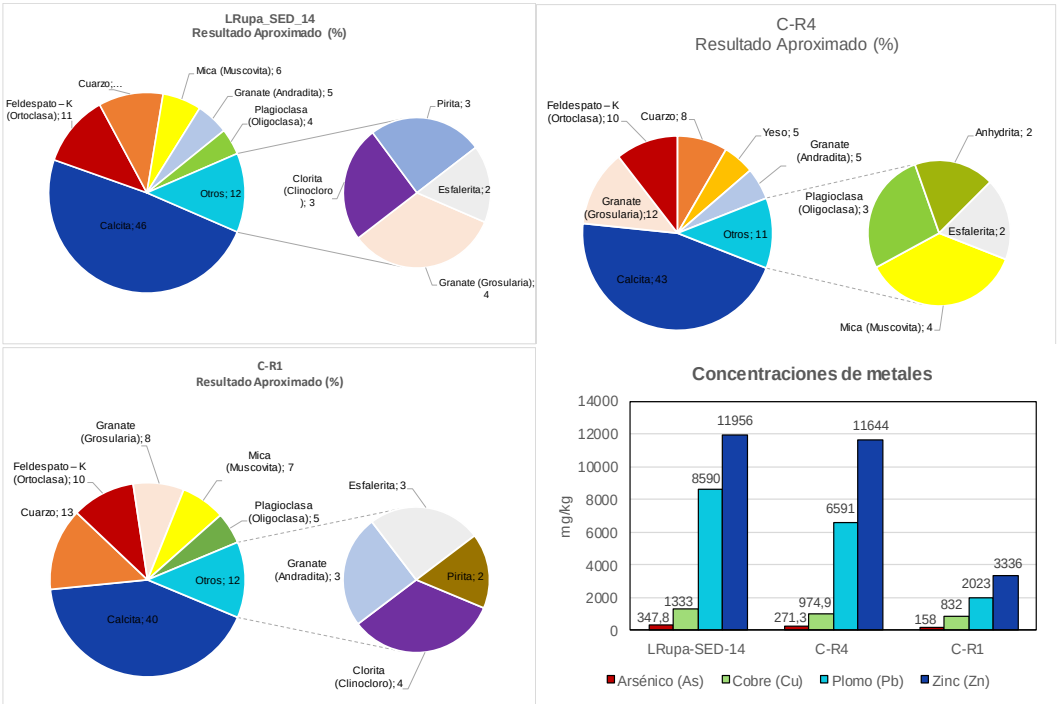


Figura 7-83. Análisis mineralógico del a) sedimento (LRupa-SED-14) de la laguna, b) lodos de la poza de sacado de la planta de tratamiento Shucshapá (C-R4), c) material del depósito de desmonte Shucshpá (C-R1) y d) Concentración de arsénico, cobre, plomo y zinc en el los puntos LRupa-SED-14, C-R4 y C-R1.

Considerando, que poza de secado (C-R4) y el depósito de desmonte constituyen materiales residuales producto de la explotación del material extraído de la zona mineralizada - asociado a la actividad minera, por lo cual, presentan similares características mineralógicas-geoquímicas, que también fueron registrados en los sedimentos de la laguna Rupahuay; es posible que los metales y minerales presentes en el sedimento (LRupa-SED-14) de la laguna provengan de materiales residuales asociados a la actividad minera. Sin embargo, de las acciones de evaluación no se identificó medios de transporte que permitan que en la actualidad dichos materiales se estén depositando en la laguna Rupahuay.

Asimismo, de acuerdo al índice de geoacumulación, la laguna se clasifica como *«Fuerte a extremadamente contaminado»* por plomo en 1 de 14 puntos (LRupa-SED-14) y fuertemente contaminado en 6 de 14 puntos, y se clasifica como *«Moderadamente contaminado»* por zinc en 6 de 14 puntos (Figura 7-84 a) y b)).

De lo expuesto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

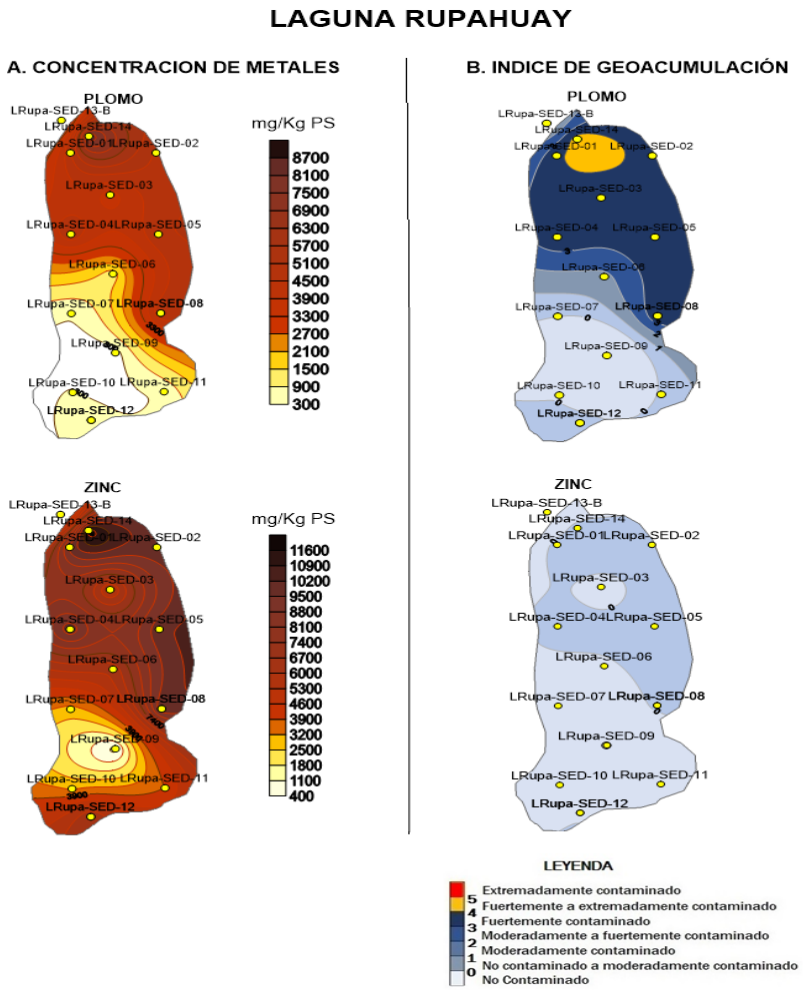


Figura 7-84. a) Concentraciones de plomo y zinc y b) índice de geoacumulación en sedimento de la laguna Rupahuay

El fitoplancton de la zona superficial de la laguna Rupahuay presentó los menores valores de riqueza y densidad y las mayores concentraciones de plomo, zinc y cadmio disuelto en los puntos cercanos al aporte de la quebrada S/N, mientras se aleja del lugar de aporte los valores de riqueza y densidad se incrementaron y las concentraciones de metales mencionados disminuyeron (Figura 7-85); similar comportamiento se observó en el 2017. Sigel, Sigel & Sigel (2013) indicaron que el cadmio en elevadas concentraciones afecta el crecimiento y desarrollo de los organismos. Sin embargo, al disminuir la concentración de cadmio, el número de especies de fitoplancton aumentaron de 46 a 75 entre 2017 a 2018.

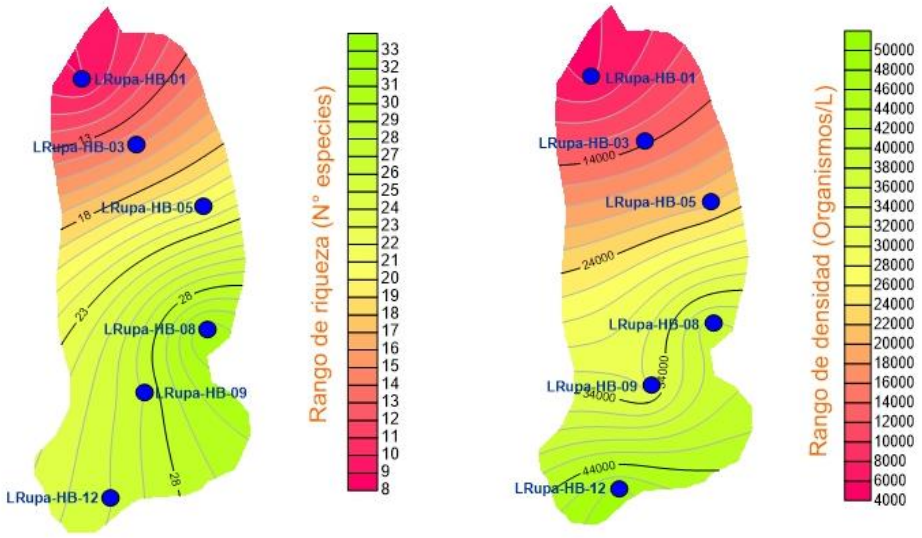


Figura 7-85. Distribución de la a) riqueza y b) densidad de la comunidad de fitoplancton en la laguna Rupahuay

El valor obtenido del análisis de la condición de hábitat en las evaluaciones realizadas en el 2017 y 2018 fue favorable para el desarrollo de la especie *Oncorhynchus mykiss* «trucha»; sin embargo, esta especie posee una excelente capacidad de expansión territorial y una alta sobrevivencia por su facilidad de adaptarse a cambios en el ambiente y tolerar concentraciones significativas de metales pesados (Ortega *et al.,* 2012) tal es el caso, que en el análisis de metales en tejido de músculo e hígado de «trucha» 1 muestra de músculo y 3 de hígado incumplieron el CMP de Sanipes (2016) para cadmio en 2017.

Ámbito del río Quichas

En cuanto a la evaluación de agua superficial, se realizó el muestreo de 3 puntos en el río Quichas (QRupa-02, QRupa-08 y QRupa-05), 2 puntos en la quebrada S/N 8 (QLSuer-02 y QRupa-06) y un punto en la quebrada Chaco (QVeta-01). En la Figura 7-86 se presentan la distribución de puntos de muestreo en el ámbito del río Quichas.

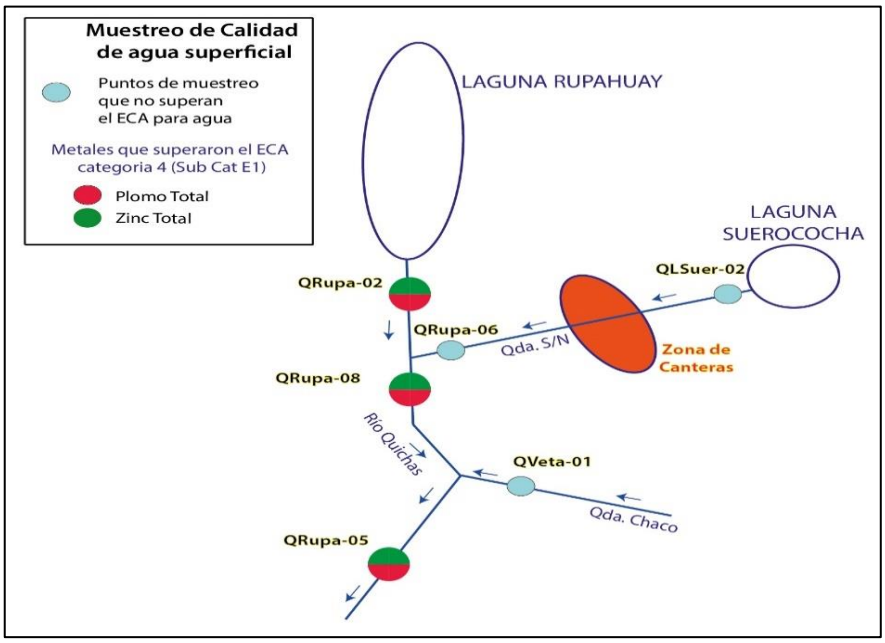


Figura 7-86. Distribución de puntos de muestreo en el ámbito del río Quichas

El plomo y zinc total evaluado en el río Quichas incumplieron los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1 (Figura 7-87), cuya excedencia está asociada a la carga másica que aporta el efluente EFRupa-02 a la quebrada S/N y laguna Rupahuay.

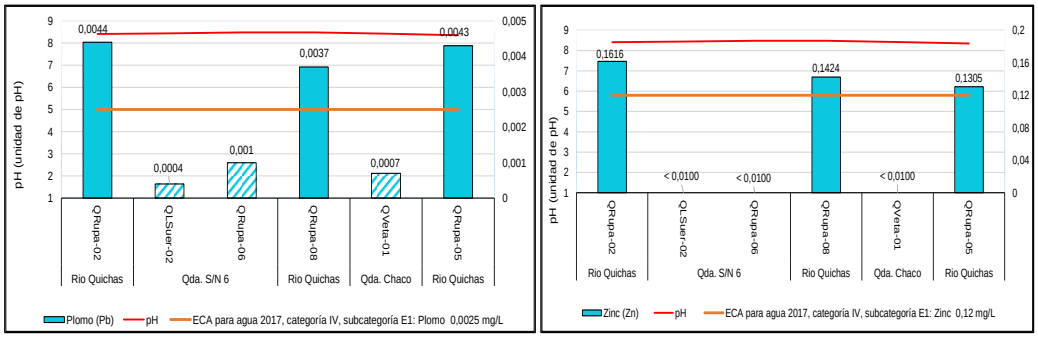


Figura 7-87. Concentración de metales totales en el rio Quichas y tributarios: a) plomo total, b) zinc total

Sin embargo, los puntos de muestreo de las quebradas tributarias al río Quichas por la margen izquierda QLSuer-02 (salida de la laguna Suerococha), QRupa-06 (aguas abajo de la zona de canteras) de facies sulfatada cálcica y QVeta-01 (quebrada Chaco) de facie bicarbonatada cálcica, cumplieron con la LGA para agua clase VI (valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA) y los ECA para agua (2017) Cat.4:E1. En la quebrada S/N 8, los macroinvertebrados bentónicos en el punto QLSuer-HB-02, ubicado aguas arriba de la zona de extracción de material, registraron mayor riqueza y densidad de especies, en comparación con el punto QRupa-HB-06 que se ubica aguas abajo, esta reducción de especies se debería a las concentraciones de arsénico que superó el valor PEL de la guía canadiense.

En todos los puntos del río Quichas y sus tributarios se registró la especie *Andesiops* sp., efemeróptero que sólo es encontrado en zonas de mucha corriente con sustrato pedregoso (Domínguez y Fernández, 2009); así como, las especies de dípteros simúlidos *Gigantodax* sp. y *Simulium* sp., que se caracterizan por habitar ecosistemas de diversas características (Moncada *et al,* 2018). Como se observa en la figura 7-88,

los tributarios (Quebradas S/N 6 y Chaco) no aportan carga metálica significativa al río Quichas, sino, las aguas provenientes de la laguna Rupahuay. La carga metálica del río Quichas disminuye a medida que se aleja de la Laguna Rupahuay.

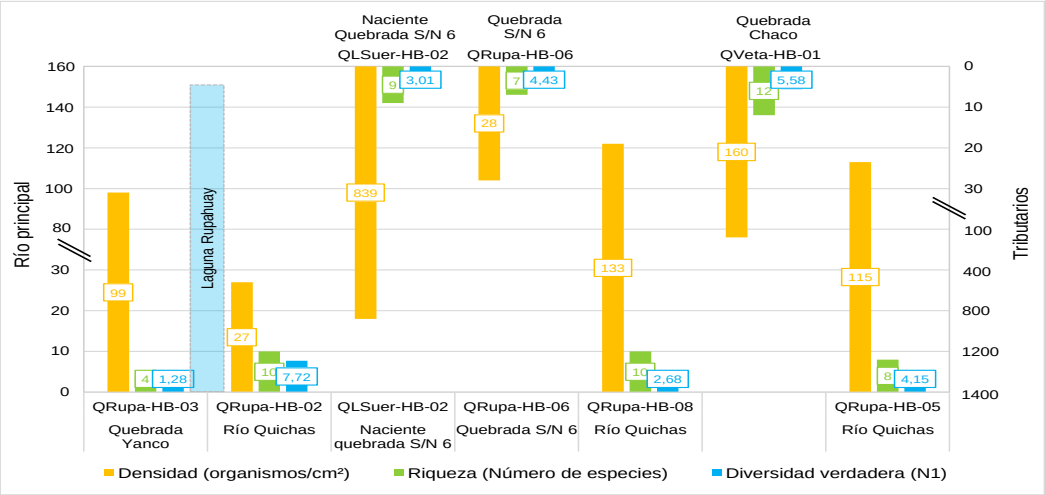


Figura 7-88. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en el río Quichas y sus tributarios

Ámbito de la laguna Rumbrococha

En cuanto a la evaluación de agua superficial, se realizó el muestreo de 4 puntos en la laguna Rumbrococha (LRumb-01, LRumb-03, LRumb-05 y LRumb-06) y 4 puntos en quebradas (QLRumb-01, QLRumb-02, QLRumb-03 y QLRumb-04). En la Figura 7-89 se presenta la distribución de puntos de muestreo en el ámbito de la laguna Rumbrococha.

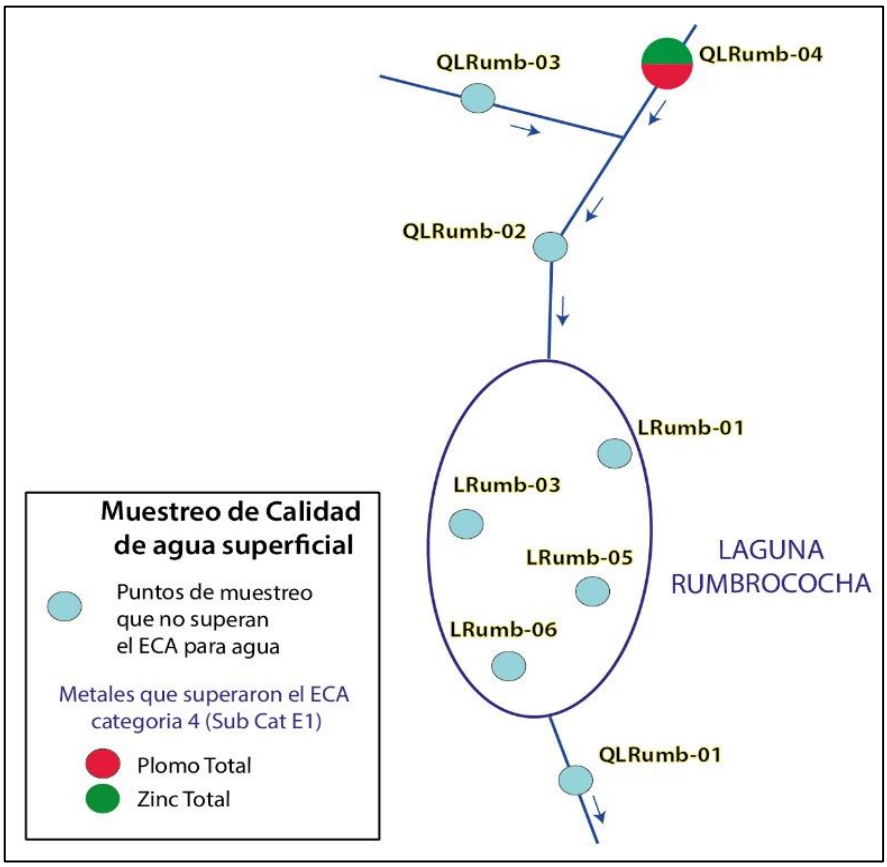


Figura 7-89. Esquema de puntos de muestreo en el ámbito de la laguna Rumbrococha

El punto QLRumb-04, ubicado en el río Quichas antes de la confluencia con la quebrada S/N 7, presentó concentraciones de plomo total (0,0028 mg/L) y zinc total (0,1298 mg/L) que exceden los ECA para Agua (2017) Cat.4:E1; sin embargo, este punto se registró la mayor riqueza y diversidad de especies en las comunidades de macroinvertebrados bentónicos y perifiton en esta zona (Figura 7-93 y Figura 7-94), registrando en su mayoría especies del orden Díptera como *Cricotopus* sp., *Podonomus* sp. *Simulium* sp. y *Gigantodax* sp., la presencia de estos géneros posiblemente se deba a que dichos organismos son euritópicos, es decir, que pueden ocupar un amplio espectro de hábitats y condiciones ambientales, incluso son tolerantes a metales (Roldán, 1988; Janssens y Gerhardt, 2005; Domínguez y Fernández, 2009).

Asimismo, los cuerpos de agua lóticos relacionados a la laguna Rumbrococha QRumb-02 (río Quichas, al ingreso de la laguna Rumbrococha), QRumb-01 (río Quichas, a la salida de la laguna Rumbrococha) y QLRumb-03 (quebrada S/N 7, tributario por la margen derecha del río Quichas), presentaron concentraciones que cumplen con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1. Como se observa en la Figura 7-90, la fuente de carga metálica proviene del río Quichas, sin embargo, este disminuye después de la confluencia con la quebrada S/N 7.

Con respecto a la comunidad de perifiton se registró similares valores de riqueza de especies en los puntos QRumb-HB-02 y QRumb-HB-01, mientras que los macroinvertebrados bentónicos registraron mayor riqueza, densidad y diversidad de especies en la quebrada de salida de la laguna (QRumb-HB-01).

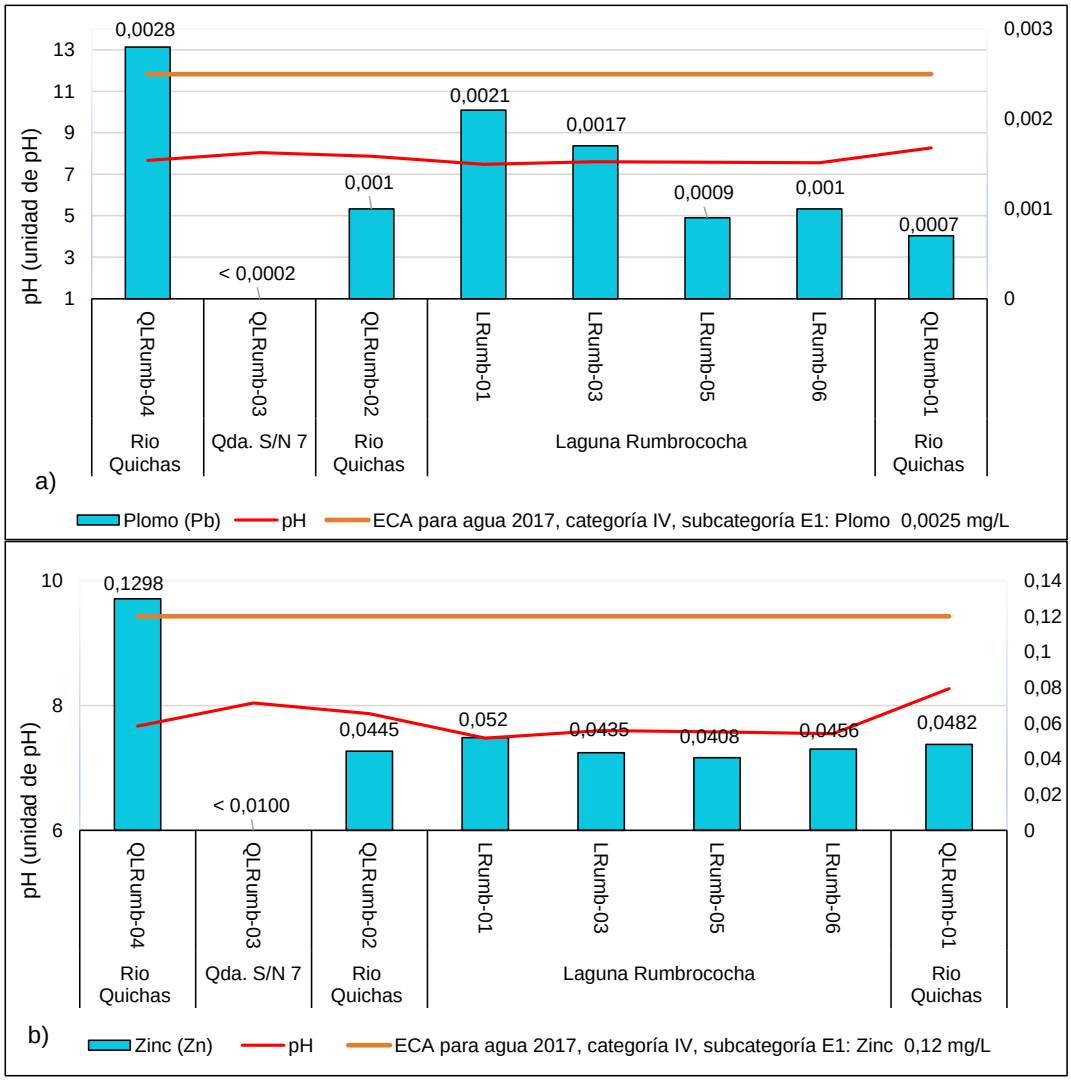


Figura 7-90. Concentración de metales totales en el río Quichas, tributarios y la laguna Rumbrococha: a) plomo total y b) zinc total

De acuerdo a la evaluación realizada en setiembre de 2017 en la laguna Rumbrococha al compararse referencialmente con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, presentaron plomo total que exceden el estándar de comparación en todos sus puntos, a diferencia de los resultados obtenidos en el muestreo realizado en el 2018 (Figura 7-91), que coincidió con que las comunidades hidrobiológicas registraron mayor riqueza, densidad y diversidad de especies en la evaluación realizada en 2018, en comparación con el 2017 en estos puntos de muestreo.

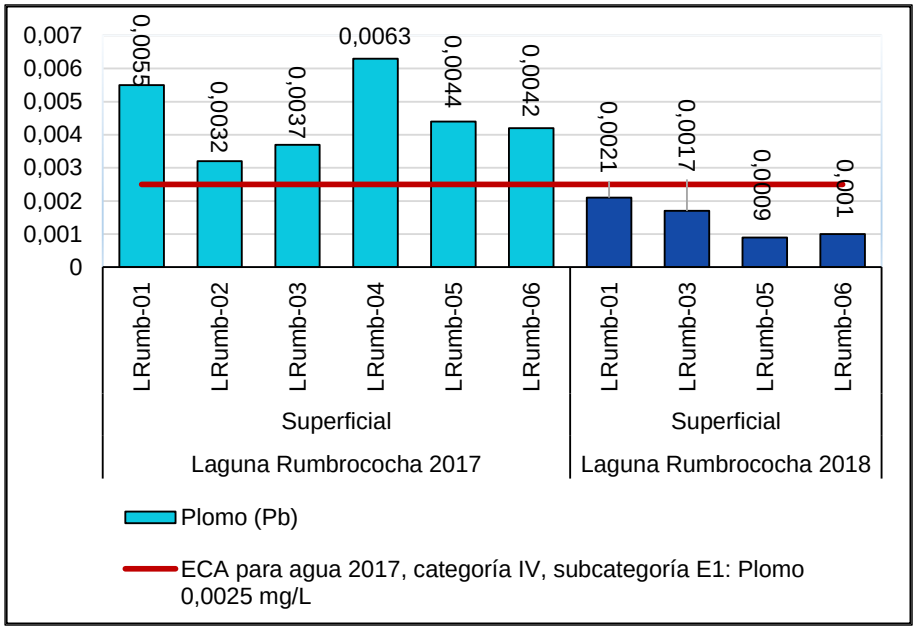


Figura 7-91. Concentración de plomo total en los muestreos realizados en 2017 y 2018.

En la laguna Rumbrococha, se ha realizado el muestreo de sedimento a tres niveles de profundidad (LRumb-SED-07) y los resultados arrojan concentraciones de arsénico, cadmio, plomo y zinc que superan el PEL de la norma canadiense para los niveles fondo (LRumb-SED-07-A) y superficial (LRumb-SED-07-C), mientras que en la parte media (LRumb-SED-07-B), el resultado para el metal arsénico solo supera el nivel ISQG de la referida norma.

Las concentraciones de cadmio, plomo y zinc al ser comparados referencialmente con el valor ISQG de la guía canadiense excedieron los valores establecidos en esta norma en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (6 puntos) y 2018 (1 punto) Figura 7-92. Asimismo, a la salida del dique de contención, en el punto QLRumb-01, las concentraciones de arsénico, plomo y zinc, superan el valor ISQG de la norma canadiense. Respecto a la evaluación de sedimentos, las mayores concentraciones de plomo (LRumb-SED-02 y (LRumb-SED-03) y zinc (LRumb-SED-03 y (LRumb-SED-05) en la laguna Rumbrococha, se registraron en la parte media de la laguna; por lo que para determinar su procedencia se requiere mayores estudios.

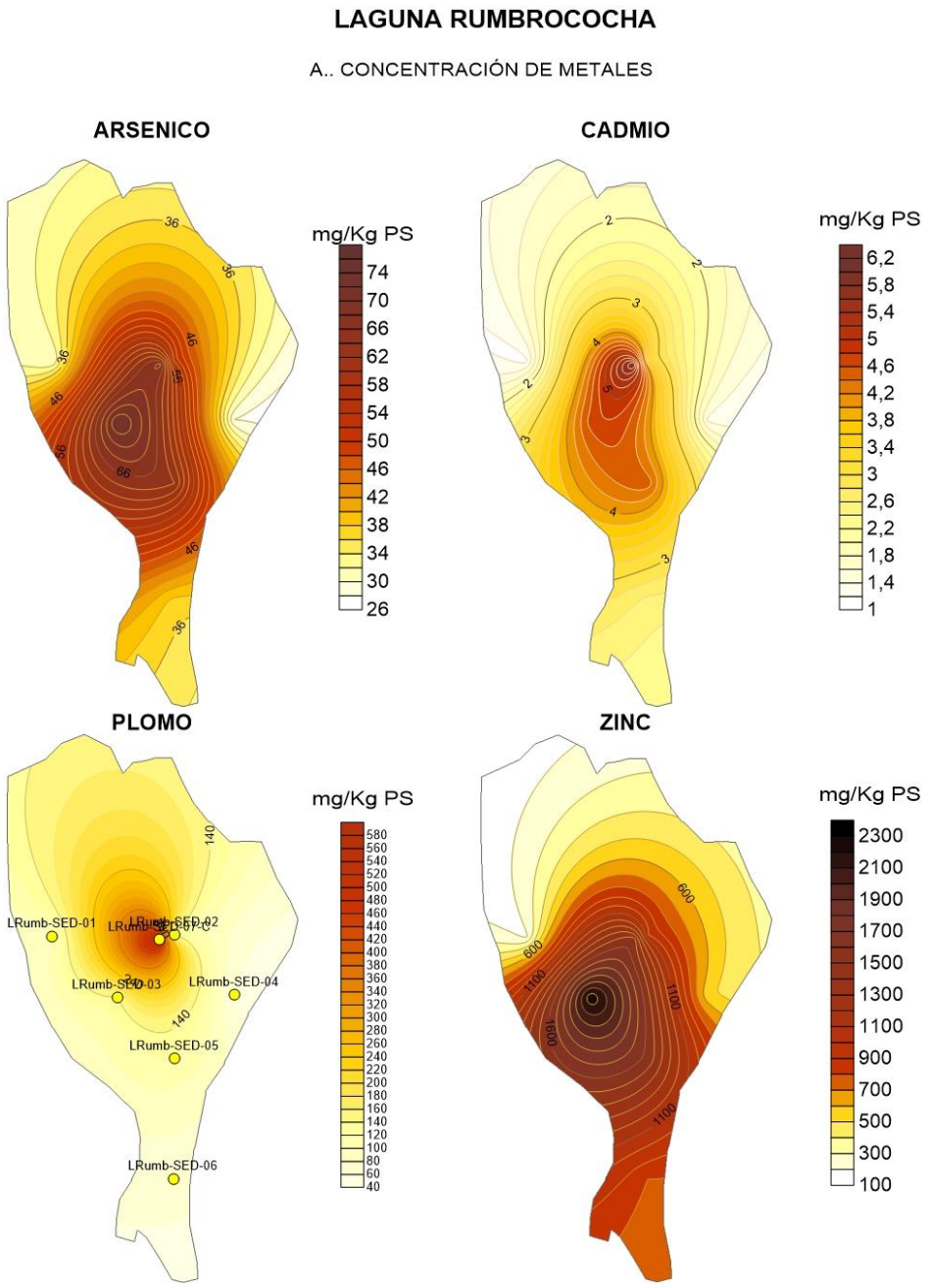


Figura 7-92. Concentraciones de a) arsénico, b) cadmio, c) plomo y d) zinc en el sedimento de la laguna Rumbrococha.

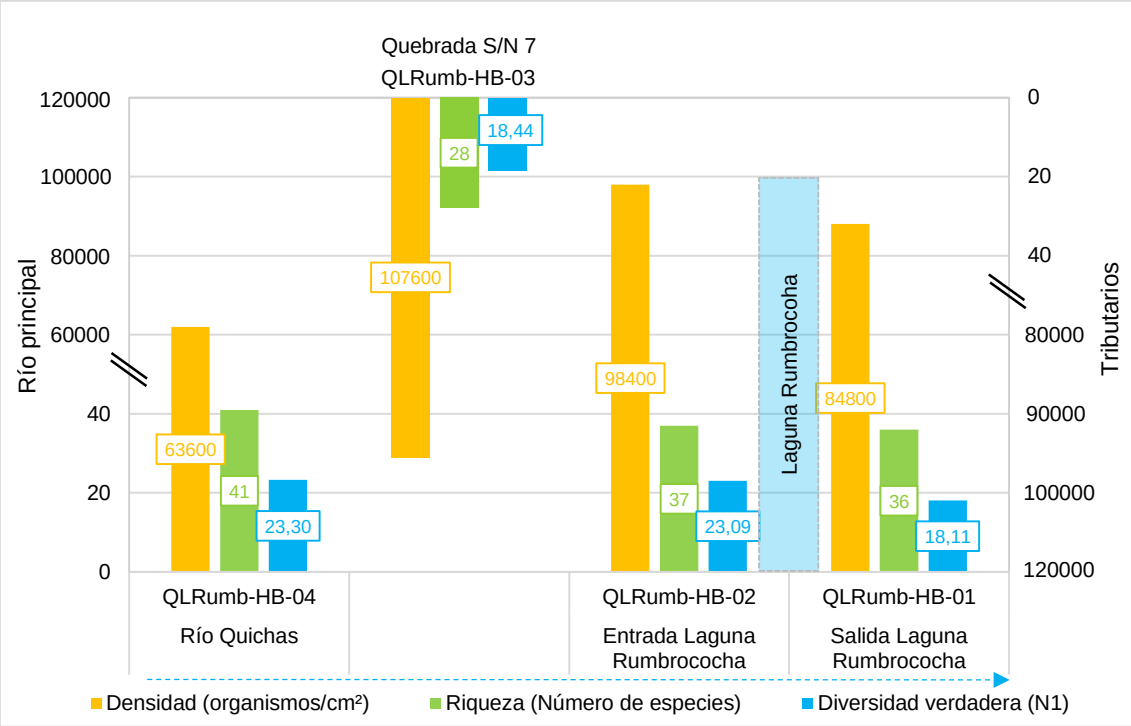


Figura 7-93. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de microalgas en las quebradas asociada a la laguna Rumbrococha

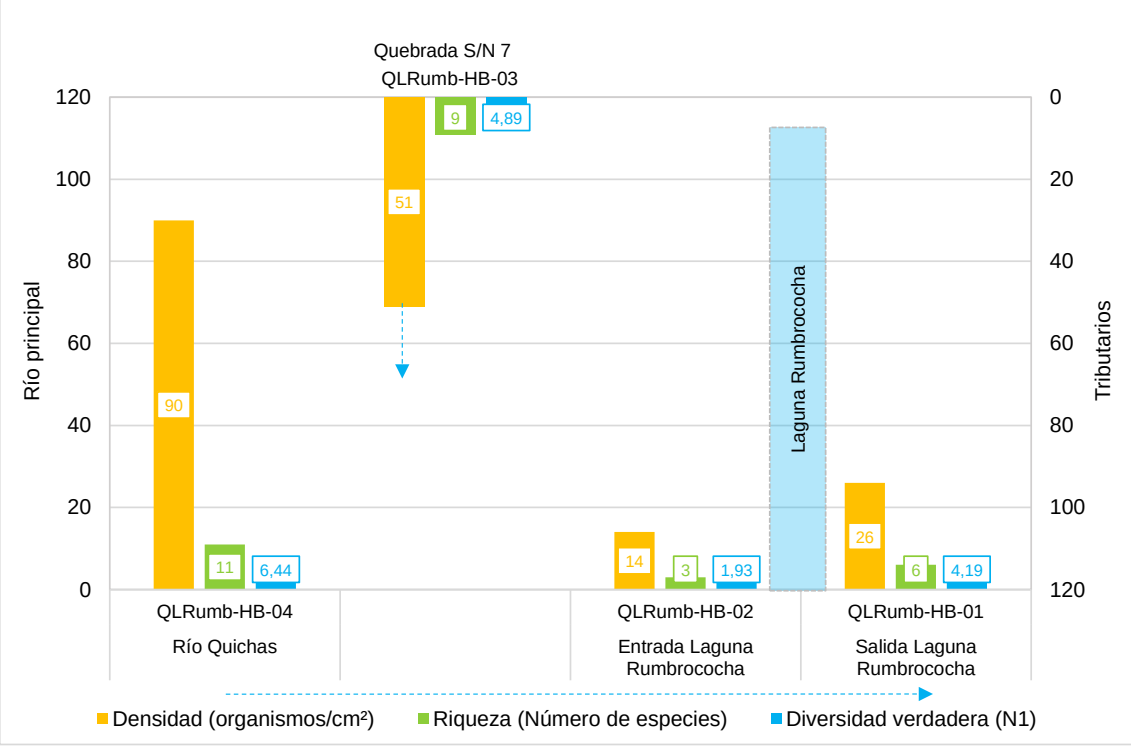


Figura 7-94. Comportamiento de la riqueza, densidad y diversidad verdadera de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en las quebradas asociadas a la laguna Rumbrococha

Finalmente, las especies de macroinvertebrados bentónicos *Andesiops* sp y *Cricotopus* sp. fueron las que dominaron en todos los puntos, a excepción de la

quebrada de salida de la laguna Rumbrococha (QLRumb-HB-01), este cambio en la composición de especies podría estar relacionado a la velocidad de descarga del dique construido en el rebose de la laguna Rumbrococha. *Cricotopus* sp. es una especie tolerante de agua de mala calidad en aguas corrientes (Pinilla et al., 1993), además de adaptarse a un amplio rango de variaciones (Fittkau, 1986).

8. CONCLUSIONES

8.1 Zona 1 – Microcuenca de la laguna Santa Ana

Laguna Niño Perdido

En la laguna Niño Perdido, las concentraciones de metales cumplieron con los valores límites establecidos en la LGA Clase VI (R.J. N.° 291-2009-ANA); además, de la comparación referencial con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), la concentración de plomo excedió en todos los puntos evaluados el valor establecido en dicha norma. Asimismo, se observó una disminución de la concentración del plomo y otros metales en comparación con los resultados obtenidos en el 2017.

Al ser comparadas referencialmente con la guía canadiense (CEQG), las concentraciones de plomo, zinc y cadmio en el sedimento de dicha laguna, excedieron los valores establecidos en la referida norma. Además, estos metales se encuentran clasificados como «no contaminado a moderadamente contaminado» en los 6 puntos evaluados en esta laguna; a excepción del plomo en el punto LNiñP-SED-04 que se clasificó como «moderadamente contaminado».

En este extremo, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

Sin perjuicio de lo anterior, el efluente FNiñP-1, ubicado al pie del depósito de desmonte Niño Perdido, presentó concentraciones de sólidos suspendidos totales y plomo, que excedieron los Límites Máximos Permisibles para Efluente Minero–Metalúrgico (D.S. N.° 010-2010-MINAM) en 750 % y 83,1 % respectivamente, teniendo estos parámetros un riesgo ambiental.

Las concentraciones de arsénico y cadmio en el punto API_NNP_6 (1 de 34 puntos), en el suelo contiguo al depósito de desmonte Niño Perdido, excedieron los Estándares de Calidad Ambiental para suelo de uso industrial/extractivo (2013).

Laguna Niñococha

Los puntos de muestreo en la laguna Niñococha cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA); además, de la comparación referencial con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), las concentraciones de zinc total y cadmio disuelto en los 6 puntos de muestreo, de plomo en 2 y de selenio en 1 excedieron los valores establecidos en dicha norma.

En la parte baja del depósito de desmonte Niñococha se identificó el efluente FNiñC-1 que descarga a la laguna Niñococha, el cual no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A. Este efluente presentó concentraciones de sulfato (715,3 mg/L), cadmio disuelto (0,00085 mg/L), níquel (0,0052 mg/L), plomo (0,0072 mg/L), y zinc (1,28 mg/L). Asimismo, en la laguna Niñococha se observa un incremento de la

concentración de sulfato, plomo y zinc en agua superficial en comparación con los resultados obtenidos entre el 2017 y 2018, lo que estaría asociado principalmente al aportante FNiñC-1.

Las concentraciones de cobre, plomo, y zinc en sedimento al ser comparados referencialmente con el valor PEL de la guía canadiense excedieron los valores establecidos en esta norma en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (5 puntos) y 2018 (2 puntos). De acuerdo al índice de geoacumulación, la presencia de estos metales en 3 puntos de sedimento (LNiñC-SED-07, LNiñC-SED-05 y LNiñC-SED-02) alcanzó la clasificación de «*moderadamente contaminado*» por zinc y un punto LNiñC-SED-07, por cobre y plomo. Cabe precisar que, las mayores concentraciones de los metales mencionados se registraron cerca a la descarga del efluente FNiñC-1.

Al respecto, cabe mencionar que es pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en el sedimento de la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Laguna Santa Ana

La concentración de plomo en la laguna Santa Ana en los niveles superficial (3 de 3 puntos), medio (2 de 2 puntos) y fondo (2 de 2 puntos) incumplieron los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA); además, al compararse referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), excedió los valores de pH y concentraciones de selenio, plomo y zinc. Asimismo, las concentraciones de plomo, zinc, y los valores de pH se incrementaron en comparación con los valores reportados en el mes de setiembre del PAMA.

Se identificó en la parte baja del depósito de desmonte Niñococha Etapa II – Depósito 2 (sector norte), el efluente FNiñC-09, que vierte al canal de derivación de aguas de escorrentía que confluye con la quebrada S/N 9 el cual tributa en la quebrada S/N 1. Al comparar los valores obtenidos con los Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM), se evidenció que este excedió los valores para los parámetros SST en 22%, hierro disuelto en 116,6 % y zinc en 728,7 %. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

Adicional a ello, la quebrada S/N 1, principal aportante de la laguna Santa Ana, presentó concentraciones de níquel y plomo que incumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA). Si bien el efluente FNiñC-09 aporta plomo (0,0566 mg/L) a la quebrada S/N 1, es importante destacar que no se descartan otras posibles fuentes de aporte de dicho metal.

Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en el sedimento de esta laguna excedieron los valores PEL de la guía canadiense en todos los puntos de muestreo evaluados en el 2017 (7 puntos) y 2018 (2 puntos). Además, de acuerdo con el índice de geoacumulación, los sedimentos se clasifican como «*no contaminado a moderadamente contaminado*» por arsénico en 3 de 9 puntos; y de «*moderadamente contaminado a fuertemente contaminado*» por cadmio en 7 de 9 puntos y zinc en 8 de 9 puntos, y como «*fuertemente contaminado*» en 1 punto por cadmio y todos los puntos por plomo. Cabe indicar que, la mayor concentración de

arsénico y cadmio se encuentra próximo a la descarga de la quebrada S/N 10 y la mayor concentración de plomo y zinc se encuentra próximo a la zona de rebose. Al respecto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en el sedimento de la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Asimismo, de los resultados de la evaluación ambiental, se verificó dentro del API Primavera material acumulado sobre suelo que, por sus características geoquímicas y condiciones distintas al suelo declarado en el ITS de CMR S.A., corresponde a desmonte de mina.

8.2 Zona 2 – Microcuencas de las lagunas Caballococha y Tinquicocha

Laguna Caballococha

Los parámetros evaluados en la laguna Caballococha cumplieron los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para clase III (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA). Además, al ser comparado referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), el plomo excedió dicha norma en los 3 niveles superficial (8 de 8 puntos), medio (5 de 5 puntos) y fondo (6 de 6 puntos). Además, la concentración de plomo en dicha laguna se encontró en mayor porcentaje en la fracción suspendida (sólido) que varió de 63 a 92 %, respecto a la fracción disuelta de 8 a 37 %.

Del análisis comparativo de la concentración de plomo entre 2017 y 2018, se observó un incremento en el nivel superficial (LCaba-02, LCaba-03, LCaba-04) y en el nivel superficial y fondo cercanos a la zona de rebose (LCaba-08, LCaba-12, LCaba-14, LCaba-08-F) de la laguna Caballococha; lo cual, se debe a la resuspensión del material fino de coloración plomiza acumulado en la orilla de la laguna. Sin embargo, se observó una disminución de zinc total y cadmio disuelto en los tres niveles evaluados en esta laguna.

La profundidad en los puntos LCaba-01, LCaba-02 y LCaba-04 fueron de 0,8, 2,7 y 2,4 m respectivamente, los cuales fueron corroborados con los resultados del estudio «Levantamiento Batimétrico del Embalse Caballococha», en donde se reportó profundidades menores a 3,0 m en los puntos mencionados y en otros lugares de la laguna; al respecto en la actualización del Plan de Cierre, se señala que, afín de evitar el riesgo de generación de drenaje ácido, se debe asegurar una cubierta mínima de 2,8 m en época de estiaje. Cabe precisar que, de las acciones de evaluación dichos puntos presentaron valores de pH de 8,84 (LCaba-01), 8,23 (LCaba-02) y 8,03 (LCaba-04).

En este extremo, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos (vigilancia ambiental) para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

Laguna Nieve Ucro y Laguna 3

Las concentraciones de plomo (4 de 4 puntos) y arsénico (2 de 4 puntos) en la laguna Nieve Ucro, y el pH básico, arsénico y plomo (1 de 1 punto) en la Laguna 3 incumplieron los ECA para agua (2008) Cat.4: LyL; además, al compararse referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), las concentraciones de

plomo y selenio (laguna Nieve Ucro: 2 de 4 puntos y Laguna 3: 1 de 1 punto) excedieron dicha norma. Asimismo, solo las concentraciones de plomo (Laguna 3) y arsénico (laguna Nieve Ucro) se incrementaron al comparar los resultados de la línea base ambiental de la Modificación del Estudio de Impacto ambiental del proyecto de recrecimiento del depósito de relaves Nieve Ucro II (2013) con los resultados de las evaluaciones 2017 y 2018. La presencia de plomo estaría asociada a la resuspensión del sedimento en la Laguna 3. No obstante, de los resultados de la evaluación no se ha identificado el origen del plomo en el sedimento (Laguna 3) ni la fuente de arsénico para la laguna Nieve Ucro, por lo que se requiere mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en dichas lagunas, a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A.

Por otro lado, los resultados de sedimento en la laguna Nieve Ucro presentaron concentraciones de metales que superaron el valor PEL de la norma canadiense, en el nivel superficial: arsénico en 3 de 3 puntos; cadmio, cobre, cromo, plomo, zinc en 2 de 3 puntos y mercurio en 1 de 3 puntos; además, en el nivel medio y fondo de 1 punto se registró concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, zinc, cobre, cromo, cadmio que superaron la referida norma. Además, en el nivel medio del punto LNieU-SED-01-B se registró una capa de material con un espesor de 8 cm aproximado, con presencia de minerales como esfalerita, pirita, entre otros, similares a lo registrado en el material sedimentado compuesto principalmente por relave de la laguna Caballococha. Cabe señalar que, durante las acciones de evaluación no se evidenció disposición de relave en la laguna Caballococha ni en laguna Nieve Ucro; asimismo, no fue posible determinar el mecanismo de transporte del material sedimentario con presencia de relaves entre ambas lagunas.

Las concentraciones de arsénico (24 de 30 puntos), cadmio (1 de 30 puntos), cromo y plomo (6 de 30 puntos) en el API Nieve Ucro, comparados referencialmente con los ECA para suelo de uso industrial/extractivo (2013) excedieron la referida norma. El mecanismo de transporte de plomo, cromo y cadmio de la laguna Nieve Ucro (zona II-NieU) hacia el API_Nieve Ucro (API_NIEV_24 y API_NIEV_25) sería a través de la fracción sólida, los que se están acumulando en la zona de menor pendiente o zona de rebose de la laguna Nieve Ucro.

Laguna Tinquicocha

Los parámetros evaluados en los niveles superficial, medio y fondo de la laguna Tinquicocha registraron concentraciones que cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI (Valores límites establecidos en la R.J. N.° 291-2009-ANA); además, al compararse referencialmente con los ECA para agua Cat.4:E1 (2017), las concentraciones de cadmio disuelto y zinc en los 3 niveles y plomo en el nivel superficial (2 de 8 puntos) y medio (3 de 3 puntos) excedieron dicha norma.

En relación con la calidad del sedimento, las mayores concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc se registraron en los puntos LTinq-SED-02 y LTinq-SED-20 (próximos al canal de concreto de descarga del efluente FTinqco-03), y a la descarga del efluente FTinqco-04. Los índices de geoacumulación en esa zona indican que el sedimento se encuentra de *«Fuerte a extremadamente contaminado»* por cadmio en 1 de 15 y *«Extremadamente contaminado»* por cobre y zinc en 7 de 15 puntos, plomo en 1 de 15 puntos y cromo en 2 de 15 puntos. Resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos (vigilancia ambiental) para evaluar el comportamiento a lo largo del

tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

En la parte baja del depósito de desmonte Tinquicocha se identificó el efluente FTinqco-04, la cual es producto de la infiltración de las aguas de precipitación en el depósito de desmontes, las cuales fluyen a nivel subsuperficial y, posteriormente, emergen a la superficie. Este efluente presentó mayores concentraciones de cobre (0,24454 mg/L), plomo (0,1168 mg/L) y zinc (16,67 mg/L), así como, cadmio disuelto (0,02984 mg/L). Asimismo, al comparar los valores obtenidos del efluente FTinqco-04 con los Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM), se evidenció que este excedió el valor para el parámetro zinc total en 1011%. Cabe precisar que, dicho efluente no se encuentra contemplado en los IGA aprobados de CMR S.A.

Las concentraciones de arsénico (30 de 33 puntos), cadmio (9 de 33 puntos), cromo (1 de 33 puntos) y plomo (15 de 33 puntos) en la zona contigua al depósito de desmonte Tinquicocha incumplieron los ECA para suelo (2013) de uso industrial/extractivo en la mayoría de los puntos cercanos al depósito de desmonte Tinquicocha; en contraste con los puntos alejados a dichos componentes, que sí cumplieron dicha norma; cabe señalar que, el área de suelo afectado fue de 2,47 ha.

La excedencia de dichos metales en el suelo se debe al transporte del material fino proveniente de los taludes del depósito de desmontes Tinquicocha, el cual se encuentra desnudo y en contacto directo con el suelo, por medio de las aguas de escorrentías; además, otro aportante de metales (cadmio disuelto, plomo y zinc) al suelo es el efluente FTinqco-04, que descarga sus aguas al suelo contiguo al depósito de desmonte en su calidad de cuerpo receptor.

8.3 Zona 3- Microcuenca de la laguna Rupahuay

Laguna Rupahuay

En el área de potencial interés Rupahuay (API Rupahuay), ubicado sobre un bofedal de relieve plano a ligeramente inclinado, las concentraciones de arsénico (18 de 89 puntos), cadmio (5 de 89 puntos) y plomo (12 de 89 puntos) incumplieron los ECA para suelo de uso industrial extractivo (2013). Cabe precisar que, el material del depósito de desmonte Shucshapá contiene dichos metales, los que mediante el mecanismo de la escorrentía estarían transportándose al suelo principalmente en la época de avenida acumulándose el arsénico en la parte media-baja del API y el cadmio y plomo en el suelo próximo al depósito de desmontes. Lo que indica que una de las fuentes de aporte de estos metales en el suelo es el depósito de desmonte Shucshapá. Cabe indicar que este depósito no cuenta con canales de derivación para el manejo de aguas de escorrentía ni se encuentra contemplado dentro del instrumento de gestión ambiental.

Asimismo, en la parte baja del API Rupahuay en 3 de 5 calicatas se observó un perfil de material fino (color plomizo) de espesores variables dispuestos sobre suelo orgánico dentro de un área aproximada de 0,8 ha, el cual contiene arsénico, cadmio y plomo en los puntos API_Rupa_47 y API_Rupa_36, y solo arsénico y plomo en el punto API_Rupa_53. Cabe precisar, que no se pudo identificar la procedencia del material plomizo en el suelo de este API, por lo que se requiere mayores estudios técnicos.

Todos los parámetros evaluados en la laguna Rupahuay en los 3 niveles y tributarios cumplieron los valores establecidos en la Ley General de Aguas para clase VI y III respectivamente (Valores límites establecidos en la R.J. N.º 291-2009-ANA); además, al comparar referencialmente con los ECA para agua (2017) Cat.4:E1, esta laguna presentó concentraciones de plomo, zinc (nivel superficial: en 6 de 6 puntos, nivel medio: en 1 de 1 punto y nivel fondo: en 4 de 4 puntos) y cadmio disuelto (nivel superficial: en 2 de 6 puntos, nivel medio: en 1 de 1 punto y nivel fondo en 3 de 4 puntos) que excedieron dicha norma. Al respecto, de los cursos de agua que tributan a la laguna, se debe mencionar que la quebrada S/N (o Shucshapá) (QRupa-04), presentó concentraciones de plomo, zinc total, y cadmio disuelto que excedieron los ECA para agua (2017) Cat.4:E1; cabe señalar que a dicha quebrada se vierte el efluente EFRupa-02, el cual presentó concentraciones de metales que no excedieron los Límites Máximos Permisibles, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Además, respecto a la quebrada Yanco (QRupa-01) las concentraciones de metales registrados no excedieron los ECA para agua (2017) Cat.4:E1.

Además, el punto EFRupa-1 (E-20A: código del administrado) cuenta con autorización de vertimiento hacia la laguna Rupahuay, según Resolución Directoral N.° 199-2017-ANA-DGCRH otorgado por la Autoridad Nacional del Agua, en dicha resolución el caudal autorizado para el vertimiento es de 577,60 L/s, no obstante, de la evaluación se registró un caudal de 615,1 L/s.

Los sedimentos de la laguna Rupahuay presentaron concentraciones de arsénico, plomo y zinc (4 de 4 puntos), cadmio (3 de 4 puntos) y cobre (2 de 4 puntos) que superaron referencialmente los valores PEL de la guía canadiense; asimismo, las mayores concentraciones de cobre, plomo y zinc en el sedimento se registraron en el punto LRupa-SED-14 (próximos al aporte de la quebrada S/N), en relación a los demás puntos de la mencionada laguna. Además, similares características mineralógicas-geoquímicas de la poza de secado (C-R4) y el depósito de desmonte (C-R1), ambos materiales residuales producto de la explotación del material extraído de la zona mineralizada - asociado a la actividad minera, fue registrado en el sedimento (LRupa-SED-14) de la laguna Rupahuay; por lo que es posible que los metales y minerales presentes en los sedimentos de la laguna provengan de materiales residuales asociados a la actividad minera. Sin embargo, de las acciones de evaluación no se identificó medios de transporte que permitan que en la actualidad dichos materiales se estén depositando en la laguna Rupahuay.

De lo expuesto, resulta pertinente realizar mayores estudios técnicos para evaluar el comportamiento a lo largo del tiempo de estos metales (disminución o aumento de concentraciones) en la laguna (agua y sedimento), a fin de determinar el grado de influencia de las actividades de CMR S.A. sobre dicho cuerpo de agua.

Laguna Rumbrococha

Los parámetros evaluados en los cuerpos de agua relacionados a la laguna Rumbrococha (QLRumb-04, QLRumb-03, QLRumb-02 y QLRumb-01) no excedieron los valores establecidos en los ECA para agua Cat.4:E1 (2017); sin embargo, el punto QLRumb-04, ubicado en el río Quichas que nace del rebose de la laguna Rupahuay, excedió los metales plomo y zinc total; Además presentó especies de dípteros como Cricotopus sp., Podonomus sp. Simulium sp. y Gigantodax sp. que pueden desarrollarse en un amplio rango de variables ambientales.

9. RECOMENDACIONES

Remitir a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas para los fines que se estimen convenientes.

10. ANEXOS

ANEXO 1:	**Mapas**
Anexo 1.1:	Mapa de ubicación
Anexo 1.2:	Mapa de zonas de evaluación
Anexo 1.3:	Mapas de puntos de monitoreo por componente evaluado
Anexo 1.4:	Mapa hidroquímico
ANEXO 2:	**Reporte de campo**
Anexo 2.1:	Reporte N.° 036-2018-STEC (junio 2018)
Anexo 2.2:	Reporte N.° 051-2018-STEC (setiembre 2018)
ANEXO 3:	**Reporte de resultados**
Anexo 3.1:	Reporte N.° RL 045-2018-STEC (junio y setiembre 2018)
Anexo 3.2:	Reporte N.° RL 056-2018-STEC (tomografía geoeléctrica – setiembre 2018)
Anexo 4:	**Informe N.° 100-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME (CD)**
Anexo 5:	**Informe N.° 91-2018-OEFA/DEAM-STEC (CD)**
Anexo 6:	**Videos (CD)**
Anexo 7:	**Documentos proporcionados por CMR S.A.**

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Actualización del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura presentado por Compañía Minera Raura S.A., aprobado mediante Resolución Directoral N.° 239-2013-MEM/AAM.
- Acosta, R.; Ríos, B.; Rieradevall, M. & Prat, N. (2009*). Propuesta de un Protocolo de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (C.E.R.A) y su Aplicación a dos Subcuencas en Ecuador y Perú.* Limnética, 28(1): 35-64.
- Adlassnig W., Sassmann S., Lendl T., Wernitznig S., Hofhansl F., Lang I. y Lichtscheidl I. (2013). *Metal contamination and retention of the former mining site Schwarzwand.* Australia. http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.04.012.
- ANA-D. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos.* Resolución Jefatural N°010-2016-ANA, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Lima-Perú.
- ANA-D. (2018). *Clasificacion de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales.* Resolución Jefatural N°056-2018-ANA, Autoridad Nacional del Agua (ANA), Lima-Perú.
- APHOS 21 (2016). *Estudio Hidrogeológico y Manejo de Aguas*. Preparado para la Compañia Minera Raura S.A.
- Alva J. Castillo; Aurora B. Piña (2015). Curso de sedimentos en minería a Cielo Abierto. Técnicas para el control de sedimentos.

- Bagenal, T. & Tesch, F. (1978). *Age and growth. En: T. Begenal (Ed.), Methods for assessment of fish production in fresh waters* (pp. 101-136). UK, Oxford: Blackwell Science Publications.
- Blackwell, B., Seamans, T., Helon, D. & Dolbeer, R. (2000). *Early loss of Herring Gull glutches after egg-oiling*. Wildlife Society Bulletin 28(1):70-75.
- Bloesch J. (2009). Sediments of Aquatic Ecosystems, Zwitzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Bray J. & Curtis J. (1957). An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs, 27,* 325-349.
- Bohn, H. (2002). *Química de suelo*. Grupo Noriega Editores. México.
- Borden, R.K., 2003. Environmental geochemistry of the Bingham Canyon porphyry copper deposit. Utah. Environ. Geol. 43, 752e758. http://dx.doi.org/10.1007/s00254-002-0698-5.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr., 22: 361-369.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (2001). Canadian Sediment Quality of Aquatic Life, Summary Tables. 1.
- Chang, Z., Meinert, L.D., 2008. The empire Cu-Zn mine, Idaho: exploration implications of unusual skarn features related to high fluorine activity. Econ. Geol. 103, 909e938. http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.103.5.909.
- Cifuentes, R.; Gonzalez, J.; Montoya, G.; Jara, A.; Ortíz, N.; Piedra, P & Habit, E. (2012). *Relación Longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro cuenca del río Valdivia, Chile.* Gayana 76 (Número Especial): 101-110.
- Cobbing J. (1973) *Geología del cuadrángulo de Barranca, Ambar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta.* INGEMMET. Boletín, N ro 26: Carta Geológica Nacional, 19 a 31 p.
- Corrales D. (2013). *Estudio del contenido de metales pesados en dos especies de peces de la zona costera de Montevideo, Uruguay.* Tesis para optar por el grado de licenciado en Ciencias Biológicas. Universidad de la República de Uruguay.
- Crisci, J. & López, F. (1983). *Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica. Secretaría General de la O.E.A.*, Washington D.C.
- Custodio, E. & Llamas, M. R. (1976). *Hidrología Subterránea*. Segunda Edición.
- Da Costa, M. & Gerson, F. (2003). *Lengthweight relationship and condition factor of Micropogonias furnieri (Desmarest) (Perciformes, Sciaenidae) in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro State, Brazil. Revista Brazileira de Zoología*, 20(4), 685-690.
- Dávila, J. (2011) *Diccionario Geológico.* INGEMMET.
- De La Lanza G., Hernández S., Carbajar J. (2000). *Organismos indicadores de calidad del água y de la contaminación (bioindicadores)*. México, ed. Plaza y Valdés, S.A. de C.V.
- Domínguez, E. & H. R. Fernández. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología.* Tucumán, Fundación Miguel Lillo.

- Encalada, A. C., M. Rieradevall, B. Ríos-Touma, N. García y N. Prat (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluaciones de la calidad de ríos andinos (CERA-S).* Quito: USFQ, UB, AECIO, FONAG.

- Estudio de Impacto Ambiental del Depósito de Relaves Caballococha, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 207-2003-EM/DGAA de fecha 28 de abril de 2003.

- Ferreira, E., S. F. P. Almeida, M. L. Nunes, A. T. Luís, F. Borg, M. Hedlund, C. Marques, C. Patinha y P. Teixeira. (2009). *Heavy metal pollution downstream the abandoned Coval da Mó mine (Portugal) and associated effects on epilithic diatom communities.* Science of Total Environment, 407(21), 5620–5636. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.047.

- Fitikau, E. J. (1986). *Conocimiento actual sobre la colonización de la región tropical sudamericana por insectos acuáticos y su historia evolutiva, con especial referencia a los Quironómidos.* Anales del Museo de Historia Natural (Valparaiso) 17: 97-103.

- Ficklin, W., Plumlee, G., Smith, K., & McHugh, J. (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. (Y. Kharaka, & A. Maes, Edits.) *Proceedings of water-rock interaction no 7, Vol I. Balkema, Rotterdam*, 381-394.

- Froese, R. (2006). *Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations*. Journal of Applied Ichthyology 22: 241-253.

- Halffter, G. y Moreno, C. (2005). *Significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma*, En Halffter, G.; Soberón J.; Koleff, P. & Melic, A. (Eds.), *Sobre el significado biológico de las diversidades alfa, beta y gamma* (pp. 1-18). México: CONABIO.

- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001). PAST: *Paleontological statistics Software* (Version 3.12) [Software]. Disponible desde http://folk.uio.no/ohammer/past/

- González A. G., L. Fernández-Rojo, J. Leflaive, OS Pokrovsky y J. Rols. (2016). *Response of three biofilm-forming benthic microorganisms to Ag nanoparticles and Ag+:the diatomNitzschia palea, the green alga Uronema confervicolum and the cyanobacteria Leptolyngbya sp.* Environmental Science and Pollution Research, 23(21), 22136–22150. doi: 10.1007/s11356-016-7259-z.

- Gupta, R.K., Den Elshout, S., van, Abrol, I.P., 1987. Effect of pH on zinc adsorptionprecipitation reactions in an alkali soil. Soil Sci. 143.

- Gupta S. y Agrawal S. (2011). *Survival of diatoms Synedra, Gomphonema and Fragilaria species in nature and in presence of different chemical and physical stress factors*. J. Algal Biomass Utln. 2011, 2 (1): 52 – 76. India.

- Herrero T. (2014). *Impacto de los drenajes ácidos en los ecosistemas acuáticos producidos por la minería del carbón en el bierzo: bioacumulación de metales pesados y evolución de las comunidades biológicas*. Tesis doctoral. España.

- Hydro-Geo Consultores SAC (2015). *Levantamiento Batimétrico del Embalse Caballococha*. Preparado para la Compañia Minera Raura.

- Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura. *Modificación de Infraestructura, Sistema de Tratamiento de Agua y Transporte de Relaves*. Aprobado mediante Resolución Directoral N.° 060-2015-MEM-DGAAM com fecha 29 de enero de 2015.

- INGEMMET *Proyecto de inversión minera y prospectos de estudio*, Boletín especial 114 a 115 p.
- Janssens de Bisthoven, L., Gerhardt, A. & Soares, A. M. V. M. (2005). *Chironomidae larvae as bioindicators of an acid mine drainage in Portugal*. Hydrobiologia 532, 181–191.
- Jiménez R., Conde P., Martín J., García R. (2010). *Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafogeoquímicas de base de suelos seleccionados de Castilla-La Mancha*. España. 124.
- Jost, L. (2006). *Entropy and diversity*. Oikos, 113, 363-375.
- Ladouche B., W. P. (2005). *Hydrochemical assessment of the Rochefort marsh: Role of surface and groundwater in the hydrological functioning of the wetland*. Journal of Hydrology, 314, 22-42. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.03.018
- López L. (2005). *Resistencia a metales en la cianobacteria Synechocystis sp. PCC 6803.* Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas por el Licenciado. Sevilla - España.
- Love, D.A., Clark, A.H., Glover, J.K., 2004. The lithologic, stratigraphic, and structural setting of the giant Antamina copper-zinc skarn deposit, Ancash, Peru. Econ. Geol. 99, 887e916. http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.99.5.887.
- Manceau, A., Lanson, B., Schlegel, M.L., Harge, J.C., Musso, M., Eybert-Berard, L., Hazemann, J.-L., Chateigner, D., Lamble, G.M., 2000. Quantitative Zn speciation in smelter-contaminated soils by EXAFS spectroscopy. Am. J. Sci. 300, 289e343. http://dx.doi.org/10.2475/ajs.300.4.289.
- Modificción del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la Compañía Minera Raura S.A. correspondiente a su Unidad de de Producción Raura, aprobado mediente Resolución Directoral N.° 077-2002-EM/DGAA de fecha 05 de marzo de 2002.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2014). *Inventario de Lagunas Glaciares del Perú. Unidad de Glaciologia y Recursos Hídricos UGRH* – Huaraz, Ancash, Perú.
- Ministerio del Ambiente (Minam). (2012). *Lista Anotada de los Peces de Aguas Continentales del Perú*. (2da. Edición). Lima. Por Ortega, T.H., Hidalgo M., Correa, E., Trevejo, G., Meza, V., Cortijo, A.M. y Espino, J.
- Ministerio del Ambiente (Minam). (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú.* Lima. Por Samanez, V.I., Rimarachín, C.V., Palma G.C., Arana, M.J., Ortega T.H., Correa, R.V. & Hidalgo.
- Mora D., Carmona J., Jahn R., Zimmermann J. y Abarca N. (2017*). Epilithic diatom communities of selected streams from the Lerma-Chapala Basin*, Central Mexico, with the description of two new species. Phytokeys 88: 39 - 69. México.
- Moreno, C. & Halffter, G. (2001). *Spatial and temporal analysis of alpha, beta and gamma diversities of bats in a frag of alpha, beta and gamma diversities of bats in a fragmented landscape*. Biodiversity and Conservation, 10, 367-382.
- Moncada L., Cuadrado L., Pinilla G. (2018). *Biodiversidad de simúlidos (Diptera: Simuliidae) de Colombia: estado del conocimiento*. Biota Colombia 18 (2) -2017.

- Moreno E., Argota G., Alfaro R., Aparicio M., Atencio S., Goyzueta G. (2018). *Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú.* Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno Perú; Centro de investigaciones avanzadas y formación superior en educación, salud y medio ambiente - AMTAWI, Puno Perú.
- *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos* (OCDE). (1982). *Eutrophisation des eaux. Metodes de surveillance d`evaluation et de lutte*. París.
- Ortega, H., & Hidalgo, M. (2008). *Freshwater fishes and aquatic habitats in Peru: Current knowledge and conservation*. Aquatic Ecosystem Health & Management, 11(3), 257–271. https://doi.org/10.1080/14634980802319135
- Ortega H., Hidalgo M., Trevejo G., Correa E., Cortijo A., Meza V. & E. (2012). *Lista anotada de los peces de aguas continentales del Perú: Estado actual del conocimiento, distribución, usos y aspectos de conservación.* Ministerio del Ambiente, Dirección General de Diversidad Biológica - Museo de Historia Natural, UNMSM.
- Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura, aprobado mediente Resolución Directoral N.° 312-2008-MEM/AAM de fecha 17 de diciembre de 2018.
- Peet, R. (1974). *The measurement of species diversity. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 5, 285-307.
- Penalta M y Lopez C. (2007). *Diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central Gallego (Ourense, N.O. España) mediante la aplicación de índices diatomológicos*. Limnetica, 26 (2): 351-358 (2007). España.
- Pielou, E. (1975). *Ecologycal Diversity*. Jhon Wiley, New York. 165 pp.
- Pinilla A. & Gabriel, A. (1993). *Ecología de pequeños lagos artificiales en la microcuenca de la quebrada La Playa (Caldas-Boyacá).* Banco de la República, Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, La Fundación.
- Primera Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera RauraS.A., aprobado mediente Resolución Directoral N.° 523-2014MEM-DGAAM.
- Plumlee, G., Smith, K., Montour, M., Ficklin, W., & Mosier, E. (1999). Geologic Controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types. (L. Filipek, & G. Plumlee, Edits.) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part B: case studies and research topics, vol 6B. Society of Economics Geologists*, 373-432.
- Ponader K y Potapova M. (2007). *Diatoms from the genus Achnanthidium in flowing waters of the Appalachian Mountains (North America): Ecology, distribution and taxonomic notes*. Limnologica 37 (2007) 227–241. USA.
- Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la unidad minera Raura, aprobado mediante Resolución Directoral N. 266-1997-EM-DGM, de fecha 21 de julio de 1997.
- Prasad M.N.V. (Ed.) (2001). *Metal in the environment: Analysis by biodiversity*. USA: CRC Press.

- Rainbow P. (2018). *Trace Metals in the Environment and Living Organisms: The British Isles as a case study*. Inglaterra.
- Rand G.M., Hoang T. C., Brausch J.M. (2010). *Effects of Zn on Freshwater Microcosms. Ecotoxicology* & Risk Assessment Southeast Environmental Research Center. Florida International University
- Rennie, M. & Verdon, R. (2008). *Development and evaluation of condition indices for the lake whitefish, Coregonus clupeaformis*. North American Journal of Fisheries Management 28, 127-1293.
- Reynolds C. (*2006*). *Ecology of phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation).* Ed. Cambridge Univ. Press, New York. 535 pp.
- Ricker, W. (1975). *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations.* Bulletin Fisheries Research. Board of Canada, 191, 382.
- Ríos-Touma, Blanca; Acosta, Raúl; Prat, Narcís. (2014). *The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation.* Revista de Biología Tropical, Abril, 249-273 pp.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioqui*a. Universidad de Antioquia.Bogota, Colombia. p.216
- Segunda Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Raura, presentada por Compañia Minera Raura S.A., aprobado mediante Resolución Directoral N.° 128-2017-MEM/DGAAM.
- Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura. Modificación de componentes principales y auxiliares. Aprobado mediante Resolución Directoral N.° 157-2015-MEM-DGAAM con fecha 01 de abril de 2015.
- Sexto Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Raura, aprobado mediante la Resolución Directoral N.° 073-2018-SENACE-JEF/DEAR com fecha 30 de mayo de 2018.
- Sigel, A., Sigel, H., & Sigel, R. K. O. (2013). *Cadmium: From Toxicity to Essentiality.* (Vol. 11). https://doi.org/10.1007/978-94-007-5179-8.
- Sokal, R. y Michener, C. (1958). *A statistical method for evaluating systematic relationships.* University of Kansas Science Bulletin, 38: 1409-1438.
- Sokal, R. y Sneath, P. (1963). *Principles of numerical taxonomy*. W. H. Freeman, San Francisco.
- Soto, P. (2013). *Diplomado Virtual de Hidrología Subterránea del Centro de Capacitación Minera* - CECAMIN. *IX. Tratamiento de Datos Químicos I*. Lima, Perú.
- Szabó K., Kiss K., Taba G. y Ács E. (2005). *Epiphytic diatoms of the Tisza River, Kisköre Reservoir and some oxbows of the Tisza River after the cyanide and heavy metal pollution in 2000*. Acta Bot. Croat. 64 (1), 1–46, 2005. Hungria.
- Trivedi, P., Axe, L., 2000. Modeling Cd and Zn sorption to hydrous metal oxides. Environ. Sci. Technol. 34, 2215e2223. http://dx.doi.org/10.1021/es991110c.

- Trudel, M.; Tucker, S.; Morris, J.; Higgs, D. & Welch, D. (2005). *Indicators of energetic status in juvenile coho and chinook salmon*. North American Journal of Fisheries Management 25: 374-390.
- Trujillo J., Torres M. (2015). *Niveles de contaminación en tres sectores de Villavicencio, a través del índice de geo-acumulación* (I-geo). Colombia. 112.
- United States *Environmental Protection Agency* (USEPA). (2016). Aquatic Life Ambient Water Quality Criterion for Selenium– Freshwater, *2nd*, 339. https://doi.org/EPA 822-R-16-006.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2017*). Soil Sourvey Manual. Soil Conservation Service* - Soil Survey Division Staff U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- Usero J. (2015). Estudio de la Calidad Ambiental de los Sedimentos de las bahías de Cádiz Y Algeciras mediante un Método Integrado. 10.
- Verb, R.G. & Vis, M.L. (2001). *An examination of macroalgal communities from an acid mine drainage impacted watershed.* Aquatic Botany 71, 93-10.
- Villegas Y., P. P. (2011). *Agua y SIG - Los diagramas más usados para la interpretación de análisis hidroquímicos*. Recuperado el 01 de Agosto de 2017, de http://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html.
- Vinagre C., Cabral H. y Cacądor I. (2007). *Influence of halophytes and metal contamination on salt marsh macro-benthic communities. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76* (2008) 715 – 722. Portugal.
- Wong, P. T. and Chau, Y. K. (1990), Zinc toxicity to freshwater algae. Environ. Toxicol. Water Qual., 5: 167-177. doi:10.1002/tox.2540050205.

"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando los dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. Nª 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: 03678889"

03678889