2020-I01-041699

INFORME N° 00255-2020-OEFA/DEAM-STEC

A	:	**FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN** Director de Evaluación Ambiental
DE	:	**LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS** Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica **LUIS ÁNGEL ANCCO PICHUILLA** Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y Energía **KAREN ELÍZABETH MARTÍNEZ OZEJO** Especialista de Evaluaciones Ambientales
ASUNTO	:	Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del depósito de desmonte Rumiallana, Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y polvorín, de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco, en el 2020
CUE	:	2020-01-0056
CÓDIGO DE ACCIÓN	:	0004-8-2020-412, 0006-9-2020-412, 0011-9-2020-412
REFERENCIA	:	Memorando N.° 00670-2020-OEFA/DSEM Memorando N.° 02266-2020-OEFA/DSEM
FECHA	:	Lima, 30 de diciembre de 2020

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

1. INFORMACIÓN GENERAL

Los aspectos generales de la evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del depósito de desmonte Rumiallana, Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y polvorín, de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco, en el 2020; se presentan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Datos generales de la actividad realizada

a.	Tipo de evaluación	Evaluación ambiental de causalidad
b.	Zona evaluada	Ámbito del depósito de desmonte Rumiallana, Miraflores, *Stock piles*, tajo Raúl, polvorín, río Ragra y lagunas Yanamate y Cuchis, ubicado en el distrito Simón Bolívar, provincia Pasco, departamento Pasco.
c.	Unidades fiscalizables o actividades económicas en la zona	Unidad fiscalizable Cerro de Pasco de Empresa Administradora Cerro S.A.C.
d.	Problemática identificada	Presunta alteración del agua, aire y suelo por el *Stock piles*, depósitos de desmontes Rumiallana, Miraflores y polvorín, afectando al ambiente y la salud de las personas.
e.	La actividad se realizó en el marco de	La DSEM solicita a la DEAM efectuar estudios para determinar la causalidad de las actividades mineras que podrían estar influenciando a los componentes ambientales: agua, sedimento, suelo y aire, mediante: - Memorando N.° 00670-2020-OEFA/DSEM - Memorando N.° 02266-2020-OEFA/DSEM
f.	Periodo de ejecución	Del 5 al 24 de agosto, y del 16 al 27 de setiembre de 2020

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

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.°	Nombres y apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero químico	Gabinete
2	Luis Angel Ancco Pichuilla	Ingeniero químico	Gabinete
3	Karen Elízabeth Martínez Ozejo	Ingeniera ambiental	Campo y gabinete
4	Herver Arturo Acuña Bardales	Ingeniero ambiental	Campo y gabinete
5	Américo Huayllas Navarro	Biólogo	Campo y gabinete
6	Jacqueline Pechuga Melgar	Ingeniera geóloga	Campo y gabinete
7	Iris Roxana Ruiz Clavijo	Ingeniera química	Campo y gabinete
8	Carlos Alberto Santa Cruz Becerra	Bachiller en agronomía	Campo y gabinete
9	Mighael Yosimar Choquehuanca Corimanya	Ingeniero geofísico	Campo y gabinete
10	Kilmenia Luna Campos	Biólogo	Gabinete
11	Jorge Luis Peralta Argomeda	Biólogo con mención en Zoología	Gabinete
12	Fernando Ore Díaz	Ingeniero en recursos naturales renovables	Gabinete

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros y matrices evaluados en el ámbito del depósito de desmonte Rumiallana, Miraflores, *Stock piles*, tajo Raúl y polvorín, de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco, se presentan en la Tabla 2.1

Tabla 2.1. Parámetros y matrices evaluadas

Matriz evaluada	Mes	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos
Agua superficial	Agosto	pH, T, CE, OD,TSS, STD, cloruros, fluoruros, nitratos, nitritos, sulfatos, cianuro wad, cromo IV, bicarbonatos, carbonatos, acidez, metales disueltos, metales totales	16
		DBO, DQO, aceites y grasas	4
		Coliformes termotolerantes, pruebas de ecotoxicología	3
	Setiembre	pH, T, CE, OD,TSS, STD, cloruros, fluoruros, nitratos, nitritos, sulfatos, cianuro wad, cianuro total, cromo IV, bicarbonatos, carbonatos, metales disueltos, metales totales	4
Sedimento	Agosto	Metales totales, mercurio total, cromo IV	10
		Análisis granulométrico	9
		Tessier	7
		Pruebas de ecotoxicología	2
		Mineralógico MEB	1
Comunidades hidrobiológicas	Agosto	Perifiton	7
		Plancton	3
		Macroinvertebrados	10
		Macrófitas acuáticas	1
Agua residual industrial	Agosto	pH, T, CE, OD,TSS, STD, cloruros, nitratos, nitritos, sulfatos, cianuro total, cianuro wad, cromo IV, bicarbonatos, carbonatos, metales disueltos, metales totales	8
		Acidez, Pruebas de ecotoxicología	2
	Setiembre	pH, T, CE, OD,TSS, STD, cloruros, fluoruros, sulfatos, cianuro wad, cianuro total, cromo IV,	5

		bicarbonatos, carbonatos, metales disueltos, metales totales	
		Nitratos, nitritos	4
Agua subterránea	Setiembre	pH, T, CE, OD, STD, cloruros, fluoruros, sulfatos, nitratos, nitritos, cianuro wad, cromo IV, bicarbonatos, carbonatos, metales disueltos, metales totales	2
Roca y componente minero	Agosto	Shake flash aniones, ABA, Shake flask metales	15
		Mineralógico por MEB	7
		Microscopía optica	5
		Metales totales y mercurio	34
	Setiembre	Metales totales y mercurio, ABA	1
Aire[1]	Agosto	PM_{10}	1
		Metales en PM_{10}	1
		Mineralógico por MEB en PM_{10}	1
		Polvo sedimentable, metales en polvo sedimentable	20
Suelo	Agosto	Cromo IV, Tessier	20
		Mineralógico por MEB	9
		Caracterización de suelo	100
		Metales totales y mercurio	135
	Setiembre	Metales totales y mercurio, ABA	2
Tomografía eléctrica	Setiembre	Resistividad	3 líneas

Los parámetros que excedieron la normativa en la evaluación ambiental de causalidad en el el ámbito del depósito de desmonte Rumiallana, Miraflores, *Stock piles*, tajo Raúl, polvorín de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco, en el 2020, se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros que exceden normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ localidad/ poblado	Código OEFA	Norma ambiental					
			IGA				Vigente[6]	
			LGA[1] / NMP[2]		ECA 2008[3]/ LMP[4]/ECA 2013[5]			
			Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20
Agua superficial	Río Ragra	E-215	$N\text{-}NO_3$, Ni	**	CE, SO_4^{-2}, As, Cd, Ca, Fe, Mg, Mn, Zn	**	CE, SO_4^{-2}, Cd, Fe, Mg, Mn, Zn	**
		PC-02	$N\text{-}NO_3$, Ni	Ni	pH, CE, $N\text{-}NO_2$, SO_4^{-2}, Cd, Ca, Fe, Mg, Mn	CE, F, SO_4^{-2}, Cd, Ca, Fe, Mg, Mn	pH, CE, SO_4^{-2}, Fe, Mg, Mn	CE, F, SO_4^{-2}, Cd, Mg, Mn
		PC-01	OD, Ni, Pb	Ni	OD, HCO_3^-, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn	CE, SO_4^{-2}, As, Cd, Ca, Fe, Mg, Mn, Pb	OD, As, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn	SO_4^{-2}, Fe, Mn, Pb
		E-02A	$N\text{-}NO_3$, Pb	**	OD, HCO_3^-, SO_4^{-2}, Ca, Fe, Mn, Pb, Zn	**	OD, HCO_3^-, Fe, Mn, Pb, Zn	**

[1] En el matriz aire, los parámetros PM10 y metales en PM10 se monitorearon para un periodo de 24 horas entre el 6 de agosto al 16 de agosto 2020.

Matriz	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ localidad/ poblado	Código OEFA	Norma ambiental					
			IGA				Vigente[6]	
			LGA[1] / NMP[2]		ECA 2008[3]/ LMP[4]/ECA 2013[5]			
			Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20
		RRag-03	Ni	**	OD, Fe, Mn, Pb, Zn	**	OD, Fe, Mn, Pb, Zn	**
		RRA-01	DBO_5, CF, Ni, Pb	**	OD, AyG, DQO, DBO_5,CF, Fe, Mn, Pb, Zn	**	OD, AyG, DQO, DBO_5,CF, Fe, Mn, Pb, Zn	**
		E-01	DBO_5, CF	**	pH, AyG, DQO, DBO_5,CF, Mn, Pb	**	pH, AyG, DQO, DBO_5,CF, Mn, Pb	**
	Quebrada s/n	ESP-2	Cu, Ni	**	pH, N-NO_2, SO_4^{-2}, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn	**	pH, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn	**
	Bofedal s/n	ESP-BK	--	N-NO_3	--	Fe, Mn	--	Mn
	Río San Juan	E-214	N-NO_3, Ni	**	CE, OD, SO_4^{-2}, Ca, Fe, Mg, Mn	**	CE, OD, SO_4^{-2}, Mn	**
		E-213	--	**	pH	**	pH	**
	Laguna Cuchis	LCuc-1	--	**	pH, As	**	pH	**
	Laguna Quicamachay	LQui-02	--	**	Cu, Pb	**	Pb	**
		LQui-01	--	**	Pb	**	--	**
		LQui-03	**	--	**	As, Cu, Pb, Zn	**	Pb, Zn
Agua Subterránea	Al pie del *Stock pile* Aeropuerto	PZ-1	**	NA	**	pH, CE, OD, F, SO_4^{-2}, Al, As, Cd, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Hg, Ni, Zn	**	pH, CE, OD, F, SO_4^{-2}, Al, As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Hg, Ni, Se Zn
	Botadero MIraflores	DH-18-02	**	NA	**	OD, As, Fe, Mn	**	OD, As, Fe, Mn
Efluente	Río Ragra	EO-01	pH	--	pH	--	NA	NA
	Laguna Yanamate	DAAYH	NA	**	pH, As, Cd, Cu, Zn, Fe(dis)	**	NA	NA
		LYA-6A	NA	**	pH, As, Cd, Cu, Pb, Zn, Fe(dis)	**	NA	NA
		DAAY	NA	**	pH, As, Cu, Pb, Zn, Fe(dis)	**	NA	NA
	Laguna Quilcamachay	ESP-POL	NA	NA	pH, As, Cu, Pb, Zn, Fe(dis)	pH, As, Cu, Pb, Zn, Fe(dis)	NA	NA
Sedimeto[7]	Río Ragra	PC-02	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
		PC-01	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
		E-215	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**

Matriz	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ localidad/ poblado	Código OEFA	Norma ambiental					
			IGA				Vigente[6]	
			LGA[1] / NMP[2]		ECA 2008[3]/ LMP[4]/ECA 2013[5]			
			Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20
	Río San Juan	E-213	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
		E-214	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
	Laguna Chilcamachay	LQui-01	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
		LQui-02	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
	Laguna Yanamate	DAAYH	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
		LYA-6A	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
		DAAY	NA	**	NA	**	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	**
Aire[8, 9]	Centro poblado Paragsha	CA-SB-01	NA	**	NA	**	Mn	**
	Centro poblado Paragsha	PS-01-1	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-01-3	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-02-1	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-02-2	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-02-3	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-02-4	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-02-5	NA	**	NA	**	MPS	**
	AA.HH J.C. Mareategui-Hanancocha	PS-03-0	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-03-1	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-03-2	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-03-3	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-03-5	NA	**	NA	**	MPS	**
	AA.HH J.C. Mareategui-Rumiallana	PS-04-1	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-04-2	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-04-4	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-04-5	NA	**	NA	**	MPS	**
		PS-04-6	NA	**	NA	**	MPS	**
Suelo[10]	Línea de relave	SU-1	**	NA	**	As, Cd, Pb	**	As, Cd, Pb
		SU-2	**	NA	**	As, Cd, Pb	**	As, Cd, Pb
	Nivel de fondo ANF-CS-CP[11]	CS-CP1	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP2	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP3	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP4-OA	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP4-A	NA	**	NA	**	Pb	**
		CP4-Bw	NA	**	NA	**	Pb	**
		CP4-Cg	NA	**	NA	**	Pb	**
		CS-CP5	NA	**	NA	**	Pb	**
		CP9-A	NA	**	NA	**	Pb	**
		CP9-AC	NA	**	NA	**	Pb	**
		CS-CP10	NA	**	NA	**	As, Pb	**

Matriz	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ localidad/ poblado	Código OEFA	Norma ambiental					
			IGA				Vigente[6]	
			LGA[1] / NMP[2]		ECA 2008[3]/ LMP[4]/ECA 2013[5]			
			Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20
		CP11-Oe	NA	**	NA	**	As	**
		CP11-Oi1	NA	**	NA	**	As Cd, Pb	**
		CP11-Oi2	NA	**	NA	**	As Cd, Pb	**
		CP11-Oa1	NA	**	NA	**	As Cd, Pb	**
		CP11-Oa2	NA	**	NA	**	Ba, Cd, Pb	**
		CP11-Cg	NA	**	NA	**	Ba, Pb	**
		CS-CP12	NA	**	NA	**	Pb	**
		CS-CP15	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP16	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP17-A1	NA	**	NA	**	As Cd, Pb	**
		CP17-A2	NA	**	NA	**	Pb	**
		CP17-Bw	NA	**	NA	**	Pb	**
		CS-CP18	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP19	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP23	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP24-OA	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP24-OA/C-OA	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP24-OA/C-C	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP24-C1	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP24-C2	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP24-Cg3	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP25	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP26	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP31-A	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP32	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP33-A	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP39	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP41	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP45-OA	NA	**	NA	**	As, Cd, Pb	**
		CP45-C1	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP45-C2	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP46-A	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP46-C1	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP48-A	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP48-C	NA	**	NA	**	As	**
		CP53-AC	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP54	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP55-A1	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP55-A2	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP55-C1	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP55-C2	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP70-OA	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP76	NA	**	NA	**	Pb	**
		CS-CP74	NA	**	NA	**	Pb	**

Matriz	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ localidad/ poblado	Código OEFA	Norma ambiental					
			IGA				Vigente[6]	
			LGA[1] / NMP[2]		ECA 2008[3]/ LMP[4]/ECA 2013[5]			
			Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20
	API-CS-CP[12]	CS-CP6	NA	**	NA	**	As, Pb, Cd	**
		CS-CP6-1	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP75	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP72	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP71	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP73	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP7	NA	**	NA	**	As, Pb, Cd	**
		CP8-Ap	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP8-C	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP13	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP21	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP27	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP28-A	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP28-CR	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP29	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP30	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP34	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP35-Ap	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP35-M	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP35-Ab	NA	**	NA	**	As	**
		CP35-C	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP36	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP37	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP38	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP42	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP43	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP44	NA	**	NA	**	As	**
		CP49-Ap	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP49-2C1	NA	**	NA	**	As, Hg, Pb	**
		CS-CP50	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP51	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP52	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP56	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP57-Ap	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP57-C1	NA	**	NA	**	As, Cd, Pb	**
		CP57-C2	NA	**	NA	**	As, Ba, Cd, Pb	**
		CP57-C3	NA	**	NA	**	As, Ba, Pb	**
		CP57-C4	NA	**	NA	**	As, Ba, Cd, Pb	**
		CP57-C5	NA	**	NA	**	As, Ba, Cd, Pb	**
		CP57-2C1	NA	**	NA	**	As, Ba, Cd, Pb	**
		CP57-2Cg2	NA	**	NA	**	Cd, Pb	**
		CS-CP58	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP59-OA	NA	**	NA	**	As, Cd, Hg, Pb	**

Matriz	Cuerpo de agua/ cuerpo receptor/ localidad/ poblado	Código OEFA	Norma ambiental					
			IGA				Vigente[6]	
			LGA[1] / NMP[2]		ECA 2008[3]/ LMP[4]/ECA 2013[5]			
			Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20	Ago-20	Set-20
		CP59-A	NA	**	NA	**	As, Cd, Hg, Pb	**
		CP59-M1	NA	**	NA	**	As, Ba, Cd, Hg, Pb	**
		CP59-M2	NA	**	NA	**	As, Cd, Pb	**
		CP60-Ap	NA	**	NA	**	As, Ba, Cd, Pb	**
		CP60-M1	NA	**	NA	**	As, Ba, Pb	**
		CP60-M2	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP61	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP62	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP63	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP65	NA	**	NA	**	As, Cd, Pb	**
		CP66-AC	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP67	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP68	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP69-A	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP69-AC	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP69-Cr	NA	**	NA	**	As, Pb	**
	API-CS-CP[11]	CP20-Oi	NA	**	NA	**	Pb	**
		CP20-Oe	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP20-Cg	NA	**	NA	**	Pb	**
		CS-CP40	NA	**	NA	**	As, Cd, Pb	**
		CS-CP47	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP64	NA	**	NA	**	As, Pb	**
	API-CS-CP[13]	CS-CP7	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP8-Ap	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CP8-C	NA	**	NA	**	As, Pb	**
		CS-CP13	NA	**	NA	**	As	**
		CS-CP65	NA	**	NA	**	As, Cd, Pb	**

[1] Reglamento de los Títulos I, II, y III de la Ley General de Aguas, clase III Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 261-69-AP, modificado por Decretos Supremos N.º 007-83-SA y N.º 003- 2003-SA.

[2] Niveles Máximos Permisibles (NMP) para efluentes líquidos minero-metalúrgicos, aprobado mediante Resolución Ministerial N.° 011-96-EM/VMM.

[3] Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3: riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y bebida de animales, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM.

[4] Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM.

[5] Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, uso agrícola y uso industrial, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 002-2013-MINAM.

[6] Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.

[7] Canadian Council of Ministers of the Environment (2002). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment. Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life of Freshwater* (Valores de la guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos de aguas continentales). De uso referencial al no contar con normativa nacional.

[8] *Ontario's Ambient Air Quality Criteria* (2012) fueron desarrollados por el Ministerio del Ambiente de Ontario y en ellos se establecen estándares para un gran número de agentes tóxicos del aire. De uso referencial al no contar con normativa nacional para manganeso.

[9] *New South Wales Environment Protection Authority's* (2016), se establecen valores para material particulado sedimentable. De uso referencial al no contar con normativa nacional.

[10] Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, uso agrícola, residencial y uso industrial, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.
[11] Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, uso agrícola, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.
[12] Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, uso residencial, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.
[13] Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, uso industrial, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.

NA: No aplica
MPS: Material particulado sedimentable
--: No excedió ningún parámetro
**: No se tomó muestra

3. CONCLUSIONES

Influencia del Polvorín

El vertimiento no autorizado ESP-POL, proveniente de la infraestructura del polvorín, presenta pH ácido de 3,03 (agosto 2020) y 2,87 (setiembre 2020), con concentraciones de arsénico total, cobre total, plomo total, zinc total y hierro disuelto que superaron los LMP para efluentes minero-metalúrgicos (2010). Dicho flujo entra en contacto con el material de relleno sobre el que está edificado el cerco perimetrico del polvorín, el cual tiene altas concentraciones de arsénico, plomo, cadmio y cobre. Tanto el vertimiento ESP-POL como el material de relleno en la cimentación del polvorín alteran la quebrada s/n, la laguna Quilcamachay (agua, sedimento) y suelos aledaños.

Influencia de stock pile Aeropuerto y Pampa Seca

Del estudio de tomografía de resistividad eléctrica se infirió la existencia de humedad y lixiviados del stock pile Aeropuerto, los cuales profundizan y se desvían atravesándolo por debajo del lecho del canal del río Ragra. Según el administrado, estos lixiviados (agua de contacto) se originan del riego y la precipitación pluvial sobre los *stock pile*. Dicha información es consistente con los resultados del piezómetro denominado PZ-1, ubicado al pie del talud del stock pile Aeropuerto, el cual presentó agua ácida, facie sulfatada magnésica y alta concentración de metales como arsénico total (11,174 mg/L), cadmio total (4,4179 mg/L), calcio total (352 mg/L), cobalto total (0,32130 mg/L), cobre total (78,57 mg/L), entre otros; dichas características fisicoquímicas fueron similares al agua de contacto muestreada en el canal de aguas ácidas (ESP-3).

De igual forma, en el sector Pampa Seca, el EIA (2008) menciona que el agua subterránea en el pozo PM06-7 y en el piezómetro Pampa Seca (410) indican altos niveles de contaminación del agua subterránea debido a lixiviados de los *stock piles*. Estos lixiviados afloran al pie de la vía de acceso principal del PAM depósito de desmonte Excelsior, según lo detallado en el Informe N° 00244-2020-OEFA/DEAM-STEC. Se precisa que estas aguas de contacto que afloran a la altura del PAM Excelsior, no cuentan con una adecuada infraestructura para su colección y conducción.

Influencia de los depósitos de desmonte al aire y material de polvo sedimentado (MPS)

La concentración de material particulado con diámetro menor a 10 micras PM_{10} en la estación CA-SB-01, presentó concentraciones entre 11,5 a 65,4 µg/m3, las cuales no superaron el valor establecido en los ECA para aire 2001 de PM_{10} (150 µg/m^3), para un periodo de 24 horas.

El 85% de los receptores de material particulado sedimentable sobrepasaron el nivel referencial establecido por la New South Wales de la EPA Australia, siendo el valor más alto registrado frente a la planta Paragsha (20,60 g/m2.mes). Del mismo modo, las mayores concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc y mercurio, en material particulado sedimentable se presentaron frente a la planta Paragsha; además, en el parque infantil y estadio del centro poblado de Paragsha. Dichos metales provienen desde los componentes planta Paragsha, botadero Miraflores y stock Piles, favorecidos por la acción del viento predominante en dirección norte-noreste (NNE) y noreste (NE).

Influencia de los depósitos de desmonte al suelo

Los suelos ubicados en el Estadio del C.P. Paragsha, Colegio San Andrés del C.P. Paragsha, zona aledaña al Centro de Salud Paragsha (frente a la planta concentradora), zona aledaña a la Municipalidad de Paragsha y en el Sector 2 del AA. HH. José Carlos Mariátegui y los suelos aledaños al polvorín, sufrieron una fuerte degradación debido a que sobre ellos se depositó material mineral ajeno al suelo natural de la zona y que se asemeja geoquímicamente al material de los componentes mineros (botadero Hanancocha, *stock piles*, botadero Miraflores, Tajo Raúl Rojas y botadero Rumiallana) que rodean al API-CS-CP, formando suelos jóvenes conocidos como suelos degradados, mineros o antrópicos que tienen propiedades que difieren drásticamente de los suelos naturales desarrollados en el lugar (ANF-CS-CP). Actualmente dicho transporte es facilitado por los vientos predominantes de dirección norte-noreste (NNE) y noreste (NE), que producen erosión eólica de los componentes y transportan material hacia los suelos. Se resalta que las mayores concentraciones de metales en componente minero se registraron en el material dispuesto en la planta concentradora Paragsha, el cual cuenta con un cerco perimétrico tipo malla, que no evita ni minimiza la dispersión del material particulado desde este componte.

Estos suelos degradados presentan altas concentraciones de arsénico, plomo, bario, cadmio, mercurio, cobre, plata, talio, zinc y manganeso, que, en algunos casos se encuentran en su forma disponible y son superiores a los niveles de fondo, a los niveles de referencia y a los estándares de calidad ambiental nacional o internacional, presentando índices que refieren contaminación y enriquecimiento.

Influencia de canal de conducción de relave

Se observó que el canal de contención de la línea de conducción de relaves se encontraba colmatado, producto de ello, parte de este material de relave fue identificado sobre el suelo aledaño, impactando un área aproximada de 6m^2, incumpliendo lo señalado en su plan de manejo ambiental respecto a las inspecciones y limpieza de canales de contención. Los resultados en el suelo afectado reflejaron concentraciones de plomo, cadmio y arsénico superiores al ECA para suelo de uso industrial 2013, metales en concentraciones similares a los registrados en el material de relave. Además, en época de lluvias se pueden generar arrastres de este material hacia el canal del río Ragra, ubicado a pocos metros.

Depósito de aguas ácidas Yanamate

El depósito de aguas ácidas Yanamate genera aportes al agua subterránea señaladas en los instrumentos del administrado (EIA 2008). Sin embargo, estos flujos no se dirigen hacia la laguna Cuchis, la cual presentó características hidroquímicas y fisicoquímicas diferentes al depósito de aguas ácidas Yanamate. Sin embargo, las concentraciones de metales en el sedimento de Yanamate son un aportante continuo de metales al agua subterránea.

Influencia de río Ragra al río San Juan

Las aguas del rio Ragra al ser influenciadas por las actividades mineras (Empresa Administradora Cerro SAC y Óxidos de Pasco SAC), PAM depósito de relave Quiulacocha, sedimentos fluvio aluvial mezclado con residuos mineros dispuestos en ambas márgenes del río Ragra y compañía minera Aurex, afectan la calidad del agua por el incremento en las concentraciones de sulfatos y metales; además de los aportes de contaminantes orgánicos de los centros poblados ubicados en la provincia de Cerro de Pasco. Y este rio al ser tributario al rio San Juan, estarían ocasionando cambios desfavorables que se evidenciaron en el análisis de los resultados de calidad de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el punto E-214 (aguas abajo) con respecto a E-213 (aguas arriba).

4. RECOMENDACIONES

- Aprobar el informe de la Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del depósito de desmonte Rumiallana, Miraflores, Stock piles, tajo Raúl y polvorín, de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco, en el 2020; en vista que cuenta con el sustento técnico requerido.

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

Atentamente:

Oefa
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

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

Oefa
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: ANCCO PICHUILLA Luis Angel FAU 20521286769 hard
Cargo: Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Mineria y Energia
Empresa: ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL - OEFA
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: MARTINEZ OZEJO Karen Elizabeth FIR 45893709 hard
Cargo: Especialista de Evaluaciones Ambientales - Especialista 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 FAU 20521286769 hard
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: 07714462"

07714462

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE CAUSALIDAD EN EL ÁMBITO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE RUMIALLANA, MIRAFLORES, *STOCK PILES,* TAJO RAÚL Y POLVORÍN, DE LA UNIDAD FISCALIZABLE CERRO DE PASCO, EN EL 2020

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2020

Profesionales que aportaron a este documento:



Firmado digitalmente por: MARTINEZ OZEJO Karen Elizabeth FIR 45893709 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29/12/2020 21:54:49-0500



Firmado digitalmente por: HUAYLLAS NAVARRO Americo FIR 42910852 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29/12/2020 22:01:39-0500



Firmado digitalmente por: ACUÑA BARDALES Herver Arturo FIR 41302793 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29/12/2020 22:10:14-0500



Firmado digitalmente por: SANTA CRUZ BECERRA Carlos Alberto FIR 45036525 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29/12/2020 22:28:43-0500



Firmado digitalmente por: PERALTA ARGOMEDA Jorge Luis FIR 44384768 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29/12/2020 22:42:37-0500



Firmado digitalmente por: LUNA CAMPOS Kilmenia FIR 43499977 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29/12/2020 22:47:27-0500



Firmado digitalmente por: ORE DIAZ FERNANDO FIR 44814575 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29/12/2020 23:25:18-0500

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 1
3. OBJETIVOS 3
3.1. Objetivo general 3
3.2. Objetivos específicos 3
4. ÁREA DE ESTUDIO 4
4.1. Climatología y geología regional 5
4.2. Contexto social 5
5. METODOLOGÍA 5
5.1. Objetivo específico 1: Determinar la composición de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y material de relave en la línea de conducción, movilidad de los elementos de preocupación ambiental y los mecanismos de transporte 6
5.1.1. Caracterización geoquímica de material de componente minero 6
5.1.1.1. Guías utilizadas para la evaluación 6
5.1.1.2. Ubicación de puntos de muestreo 6
5.1.1.3. Parámetros y métodos de análisis 8
5.1.1.4. Equipos utilizados 9
5.1.1.5. Procesamiento de datos 9
5.1.1.6. Control de calidad 9
5.1.2. Estudio de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) 9
5.1.2.1. Guías utilizadas para la evaluación 9
5.1.2.2. Ubicación de puntos de muestreo 10
5.1.2.3. Parámetros de adquisición 12
5.1.2.4. Equipos utilizados 12
5.1.2.5. Aseguramiento de la calidad 12
5.1.2.6. Procesamiento de datos 12
5.1.2.7. Criterios para la interpretación de resultados 13
5.2. Objetivo específico 2: Determinar la composición de los efluentes del Polvorín y los mecanismos de transporte 15
5.2.1. Caracterización de efluentes y agua residual industrial 15
5.2.1.1. Protocolo utilizado para la evaluación 15
5.2.1.2. Ubicación de puntos de muestreo 16
5.2.1.3. Parámetros y métodos de análisis 18
5.2.1.4. Equipos utilizados 18
5.2.1.5. Aseguramiento de la calidad 18
5.2.1.6. Criterios de evaluación 18

5.3. Objetivo específico 3: Determinar la composición y disponibilidad de los elementos de preocupación ambiental de las formaciones rocosas aledañas a los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, tajo Raúl, Polvorín y laguna Yanamate..... 19
5.3.1. Caracterización geológica local 19
5.3.1.1. Referencias utilizadas para la caracterización geológica..... 19
5.3.1.2. Ubicación de puntos para caracterización geológica 20
5.3.1.3. Equipos utilizados 21
5.3.1.4. Procesamiento de datos 21
5.3.2. Caracterización geoquímica de rocas..... 21
5.3.2.1. Referencias para la evaluación..... 21
5.3.2.2. Ubicación de puntos de muestreo 22
5.3.2.3. Parámetros y métodos de análisis..... 23
5.3.2.4. Equipos y materiales utilizados..... 24
5.3.2.5. Procesamiento de datos 24
5.3.2.6. Control de calidad 25
5.4. Objetivo específico 4: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte y *stock piles* sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas del río Ragra y el agua subterránea, así como determinar la influencia del Polvorín a la laguna Quilcamachay.... 25
5.4.1. Agua superficial..... 25
5.4.1.1. Protocolos y guías utilizadas para la evaluación..... 25
5.4.1.2. Ubicación de puntos de muestreo 25
5.4.1.3. Parámetros y métodos de análisis..... 27
5.4.1.4. Equipos utilizados 28
5.4.1.5. Aseguramiento de la calidad..... 28
5.4.1.6. Criterios de evaluación..... 28
5.4.2. Caracterización del Agua subterránea 29
5.4.2.1. Protocolos y guías utilizadas para la evaluación..... 29
5.4.2.2. Ubicación de puntos de muestreo 29
5.4.2.3. Parámetros y métodos de análisis en agua subterránea 30
5.4.2.4. Equipos utilizados 31
5.4.2.5. Aseguramiento de la calidad..... 31
5.4.2.6. Criterios de evaluación..... 31
5.4.3. Sedimento 31
5.4.3.1. Guías utilizadas para la evaluación 31
5.4.3.2. Ubicación de puntos..... 31
5.4.3.3. Parámetros y métodos de análisis..... 33
5.4.3.4. Equipos utilizados 33
5.4.3.5. Aseguramiento de la calidad..... 33

5.4.3.6. Criterios de evaluación 34
5.4.4. Comunidades hidrobiológicas 34
5.4.4.1. Guías utilizadas para la evaluación 34
5.4.4.2. Ubicación de puntos de muestreo 34
5.4.4.3. Parámetros y métodos de análisis 36
5.4.4.4. Equipos utilizados 36
5.4.4.5. Aseguramiento de la calidad 36
5.4.4.6. Procesamiento de datos 37
5.5. Objetivo específico 5: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y polvorín sobre el suelo, aire de los asentamientos humanos José Carlos Mariátegui y Paragsha. 40
5.5.1. Aire 40
5.5.1.1. Guías utilizadas para la evaluación 40
5.5.1.2. Ubicación de puntos de muestreo 40
5.5.1.3. Parámetros y métodos de análisis 41
5.5.1.4. Equipos utilizados 41
5.5.1.5. Aseguramiento de la calidad 41
5.5.1.6. Procesamiento de datos 41
5.5.1.6.1. Procesamiento de datos meteorológicos y obtención de rosa de viento 41
5.5.1.6.2. Determinación de la concentración de material particulado y metales 42
5.5.1.7. Criterios de evaluación 43
5.5.2. Polvo sedimentable 43
5.5.2.1. Guías utilizadas para la evaluación 43
5.5.2.2. Ubicación de puntos de muestreo 44
5.5.2.3. Parámetros y métodos de análisis 45
5.5.2.4. Equipos utilizados 46
5.5.2.5. Procesamiento de datos 46
5.5.2.6. Criterios de evaluación 46
5.5.3. Calidad ambiental del suelo en los sectores Paragsha y José Carlos Mariátegui 46
5.5.4. Guías utilizadas para la evaluación 46
5.5.5. Ubicación de puntos de muestreo 47
5.5.6. Parámetros y métodos de análisis 59
5.5.7. Equipos y materiales utilizados 59
5.5.8. Aseguramiento de la calidad 59
5.5.9. Procesamiento de datos 60
5.5.10. Criterios de evaluación 61
5.5.11. Levantamiento fotogramétrico con RPAS en la Laguna Quilcamamchay 63

Imagen Multiespectral del Sensor Parrot Sequoia a precisión geodésica 66

6. RESULTADOS 71

6.1. Objetivo específico 1: Determinar la composición de los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, *stock piles* y tajo Raúl, movilidad de los elementos de preocupación ambiental y los mecanismos de transporte. 71

6.1.1. Resultados de la caracterización geoquímica y mineralógica del botadero de desmonte Miraflores, Rumiallana, tajo Raúl Rojas y material aledaño al tajo Raúl Rojas 71

6.1.1.1. Metales totales 72

6.1.1.2. *Shake flake* aniones-metales 75

6.1.1.3. ABA 79

6.1.1.4. Mineralógico por microscopía electrónica de barrido (MEB) 80

6.1.2. Resultados del estudio de tomografía de resistividad eléctrica 81

6.1.2.1. Resultados de líneas tomográficas eléctricas 81

6.2. Objetivo específico 2: Determinar la composición de los efluentes del Polvorín, efluentes E-5, EO-01 y AR-3, y la laguna Yanamate y los mecanismos de transporte 84

6.2.1. Agua residual industrial 84

6.3. Objetivo específico 3: Determinar la composición y disponibilidad de los elementos de preocupación ambiental de las formaciones rocosas aledañas a los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, tajo Raúl, Polvorín y laguna de aguas ácidas Yanamate. 87

6.3.1. Resultados de la caracterización geológica 87

6.3.1.1. Geología local 89

6.3.2. Resultados de caracterización geoquímica y geológica de rocas 93

6.3.2.1. Metales totales 93

6.3.2.2. Shake flake aniones-metales 97

6.3.2.3. ABA 98

6.3.2.4. Mineralógico por microscopía óptica 100

6.4. Objetivo específico 4: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte y *stock piles* sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas del río Ragra y el agua subterránea, y del Polvorín y laguna Yanamate sobre las lagunas Quilcamachay y Cuchis 103

6.4.1. Agua superficial 103

6.4.2. Agua subterránea 109

6.4.3. Sedimento 110

6.4.3.1. Ambientes lóticos 110

6.4.3.2. Ambientes lénticos 113

6.4.4. Comunidades hidrobiológicas 118

6.4.4.1. Ambientes lóticos 119

6.4.4.1.1. Perifiton 119
6.4.4.1.2. Macroinvertebrados bentónicos 123
6.4.4.2. Ambientes lénticos 127
6.4.4.2.1. Plancton 127
6.4.4.2.2. Macroinvertebrados bentónicos 130
6.5. Objetivo específico 5: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, *stock piles* y tajo Raúl sobre el suelo, aire y polvo sedimentable del distrito Simón Bolivar 132
6.5.1. Aire 132
6.5.1.1. Parámetros meteorológicos 133
6.5.1.2. Análisis de material particulado PM_{10} 134
6.5.1.3. Análisis de metales en PM_{10} 135
6.5.1.4. Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido (MEB) en PM_{10} 136
6.5.2. Polvo sedimentable 137
6.5.2.1. Estimación del polvo sedimentable 138
6.5.2.2. Análisis de metales en polvo sedimentable 140
6.5.3. Calidad ambiental del suelo en los sectores Paragsha y José Carlos Mariátegui 141
6.5.3.1. Levantamiento de campo 141
6.5.3.2. Área de nivel de fondo ANF-CS-CP 145
6.5.3.3. Área de potencial interés API-CS-CP 154
7. DISCUSIÓN 183
7.1. Influencia del Polvorín 183
7.2. Influencia de stock pile Aeropuerto y Pampa Seca 190
7.3. Influencia de los depósitos de desmonte al aire y material de polvo sedimentado (MPS) 196
7.4. Influencia de los depósitos de desmonte al suelo 203
7.5. Influencia de canal de conducción de relave 213
7.6. Depósito de aguas ácidas Yanamate 215
7.7. Influencia de río Ragra al río San Juan 221
8. CONCLUSIONES 233
8.1. Influencia del Polvorín 233
8.2. Influencia de stock pile Aeropuerto y Pampa Seca 233
8.3. Influencia de los depósitos de desmonte al aire y material de polvo sedimentado (MPS) 234
8.4. Influencia de los depósitos de desmonte al suelo 234
8.5. Influencia de canal de conducción de relave 235
8.6. Laguna Yanamate 235
8.7. Influencia de río Ragra al río San Juan 235

9. ANEXOS 235
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 236

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1. Guías y protocolos de muestreo de material de componentes minero 6
Tabla 5.2. Ubicación de puntos de muestreo de material de componente minero..... 7
Tabla 5.3. Parámetros considerados en muestras de componentes mineros..... 8
Tabla 5.4. Guías empleadas en la tomografía de resistividad eléctrica 9
Tabla 5.5. Coordenadas de inicio y fin de cada línea del estudio de tomografía de resistividad eléctrica 10
Tabla 5.6. Parámetros de adquisición del estudio de tomografía eléctrica 12
Tabla 5.7. Resistividad característica de distintos materiales..... 14
Tabla 5.8. Protocolos para el muestreo de efluentes mineros y agua residual industrial... 16
Tabla 5.9. Ubicación de puntos de muestreo de efluente y agua residual industrial..... 16
Tabla 5.10. Parámetros evaluados y métodos de análisis para agua residual industrial ... 18
Tabla 5.11. Referencias para la caracterización geológica..... 19
Tabla 5.12. Ubicación de los puntos de control geológico 20
Tabla 5.13. Referencias para la caracterización geoquímica de roca 21
Tabla 5.14. Ubicación de los puntos de muestreo de roca 22
Tabla 5.15. Parámetros evaluados en puntos de muestreo de roca 23
Tabla 5.16. Método de análisis de cada parámetro evaluado 24
Tabla 5.17. Protocolos y guías para el muestreo de agua superficial 25
Tabla 5.18. Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial 26
Tabla 5.19. Parámetros evaluados y métodos de análisis para agua superficial..... 27
Tabla 5.20. Cuerpo de agua ubicados en el área de estudio..... 28
Tabla 5.21. Protocolos y guías usadas para el muestreo de agua subterránea 29
Tabla 5.22. Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial..... 29
Tabla 5.23. Parámetros evaluados y métodos de análisis en agua subterránea 30
Tabla 5.24. Referencias para el muestreo de sedimento..... 31
Tabla 5.25. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento 32
Tabla 5.26. Parámetros evaluados y métodos de análisis para sedimento..... 33
Tabla 5.27. Referencias para el muestreo de comunidades hidrobiológicas 34
Tabla 5.28. Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas 35
Tabla 5.29. Parámetros evaluados y métodos de análisis de comunidades hidrobiológicas 36
Tabla 5.30. Calidad hidromorfológica de ríos altoandinos 38
Tabla 5.31. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI..... 39
Tabla 5.32. Escala de calidad ecológica de un río..... 39
Tabla 5.33. Referencias para el monitoreo de calidad del aire..... 40
Tabla 5.34. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de aire..... 41
T Tabla 5.35. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para aire.. 41
Tabla 5.36. Referencia empleada para la estimación de polvo sedimentable..... 44
Tabla 5.37. Ubicación de los puntos de monitoreo de polvo sedimentable..... 45
Tabla 5.38. Parámetros evaluados y métodos de análisis para polvo sedimentable 46
Tabla 5.39. Documentos técnicos usados durante el estudio de suelos 47
Tabla 5.40. Puntos de muestreo de suelo ubicados en el API-CS-CP 52
Tabla 5.41. Puntos de muestreo de suelo ubicados en el ANF-CS-CP..... 56

Tabla 5.42. Parámetros evaluados y métodos de análisis para suelo 59
Tabla 5.43. Nomenclatura estandarizada Corine Land Cover, para construcción de mapas de cobertura y uso actual 60
Tabla 5.44. Índices de geoacumulación para medir la calidad del suelo 62
Tabla 5.45. Factor de enriquecimiento para medir la calidad del suelo 63
Tabla 5.46. Referencias para el levantamiento fotogramétrico y posicionamiento geodésico 63
Tabla 5.47. Ubicación de los puntos de posicionamiento geodésico 65
Tabla 5.48. Información de sobrevuelo fotogramétrico con RPAS por grillas simples 65
Tabla 5.49. Datos de procesamiento (Sensor Multiespectral) 70
Tabla 5.50. Datos de procesamiento (Sensor RGB) 70
Tabla 6.1. Resultados de la prueba ABA en el botadero Miraflores, tajo Raúl Rojas, botadero Rumiallana y material ubicado en el canal de contención de la línea de relave San Expedito y aledaño al tajo Raúl Rojas 79
Tabla 6.2. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los NMP 1996 85
Tabla 6.3. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los LMP 2010 85
Tabla 6.4. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los LMP 2010 86
Tabla 6.5. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los LMP 2010 86
Tabla 6.6. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los valores límites de la LGA Clase III 103
Tabla 6.7. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los valores límites de la LGA Clase III 104
Tabla 6.8. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los valores límites de la LGA Clase III 105
Tabla 6.9. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los valores límites de la LGA Clase VI 105
Tabla 6.10. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los valores límites de la LGA Clase VI 105
Tabla 6.11. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 106
Tabla 6.12. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 106
Tabla 6.13. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 107
Tabla 6.14. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 107
Tabla 6.15. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 108
Tabla 6.16. Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.4-2008 108
Tabla 6.17. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.4-2008 109
Tabla 6.18. Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 109
Tabla 6.19. Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 109

Tabla 6.20. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 110
Tabla 6.21. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008 110
Tabla 6.22. Comunidades hidrobiológicas evaluadas en agosto 2020..... 119
Tabla 6.23. Índices de diversidad alfa de los microorganismos-agosto 2020 120
Tabla 6.24. Calidad ecológica de acuerdo al protocolo CERA-S..... 127
Tabla 6.25. Índices de diversidad alfa de los microorganismos – agosto 2020..... 128
Tabla 6.26. Parámetros meteorológicos registrados en la estación CA-SB-01 dentro del área de influencia de la UM Cerro de Pasco..... 133
Tabla 6.27. Resultados del análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido en filtros de aire PM_{10} 136
Tabla 6.28. Concentración de polvo sedimentable (g/m^2/mes) colectados entre agosto y setiembre 2020 a distancias de 5, 20 y 60 m 138
Tabla 6.29. Concentración de metales en polvo sedimentable (mg/kg) muestreados entre agosto y setiembre 2020 140
Tabla 6.30. Características generales de los suelos evaluados en ANF-CS-CP y API-CS-CP 143
Tabla 6.31. Clasificación de parámetros edáficos en calicatas dentro del ANF-CS-CP .. 146
Tabla 6.32. Valores de nivel de fondo y referencia comparados con la normativa ambiental 148
Tabla 6.33. Clasificación de parámetros edáficos dentro del API-CS-CP 156
Tabla 6.34. Metales en API-CS-CP comparados ECA – uso agrícola y con niveles de fondo 159
Tabla 6.35. Metales en API-CS-CP comparados ECA – uso industrial y con niveles de fondo 160
Tabla 6.36. Metales en API-CS-CP comparados CEQG – uso agrícola y con niveles de fondo 166
Tabla 6.37. Metales en API-CS-CP comparados CEQG – uso industrial y con niveles de fondo..... 167
Tabla 6.38. Información estadística de los índices de vegetación NDVI por cobertura ... 181
Tabla 6.39. Información estadística de los índices de vegetación NDRE por cobertura.. 182
Tabla 7.1. Comparación de características generales de suelos degradados y suelos naturales..... 206
Tabla 7.2. Descriptores estadísticos de metales pesados en suelos del API-CS-CP comparados con nivel de fondo, nivel de referencia y material parental 207
Tabla 7.3. Índices de geoacumulación y factor de enriquecimiento para determinar la calidad del suelo por horizonte dentro del API-CSP. 211
Tabla 7.4. Concentraciones en puntos de muestreo de agua superficial en el río San Juan y río Ragra..... 226

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso productivo en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco 2
Figura 4.1. Ubicación del área de estudio de la evaluación ambiental de causalidad en el ámbito de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, stock piles, tajo Raúl y Polvorín de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco..... 4
Figura 5.1. Distribución de los puntos de muestreo de material de componente minero 7
Figura 5.2. Ubicación de líneas de tomografía de resistividad eléctrica 11
Figura 5.3. Factores geológicos que incrementan o disminuyen la resistividad 14

Figura 5.4. Resistividad y conductividad característica de distintos materiales 15
Figura 5.5. Ubicación de puntos de muestreo de efluentes mineros y agua residual industrial 16
Figura 5.6. Distribución de puntos del muestreo de roca 22
Figura 5.7. Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial 26
Figura 5.8. Ubicación de puntos de muestreo de agua subterránea 30
Figura 5.9. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento 32
Figura 5.10. Distribución de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas 35
Figura 5.11. Ubicación del punto de muestreo de aire 40
Figura 5.12. Ubicación del punto de muestreo de polvo sedimentable y componentes evaluados 44
Figura 5.13. Modelo conceptual inicial propuesto para la presente evaluación del suelo . 50
Figura 5.14. Distribución de puntos de muestreo sobre un mapa base 52
Figura 5.15. Ubicación de puntos de posicionamiento geodésico 65
Figura 6.1. Metales totales de material del depósito de desmonte Miraflores en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza 72
Figura 6.2. Metales totales de material del componente minero del Stock Pile en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza 73
Figura 6.3. Metales totales de material del tajo Raúl Rojas en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza 73
Figura 6.4. Metales totales de material botadero de desmonte Rumiallana en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza 74
Figura 6.5. Metales totales en el canal de contención de la línea de relave San Expedito en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza 75
Figura 6.6. Shake Flask aniones en el depósito de desmonte Miraflores 75
Figura 6.7. Shake Flask metales en el depósito de desmonte Miraflores en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza 76
Figura 6.8. Shake Flask aniones en el material aledaño al tajo Raúl Rojas 76
Figura 6.9. Shake Flask metales en el material aledaño al tajo Raúl Rojas en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza 77
Figura 6.10. Shake Flask aniones en el Tajo Raúl Rojas 77
Figura 6.11. Shake Flask metales en el Tajo Raúl Rojas en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza 78
Figura 6.12. Shake Flask aniones en el depósito de desmonte Rumiallana 78
Figura 6.13. Shake Flask metales en el depósito de desmonte Rumiallana en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza 79
Figura 6.14. MEB en el depósito de desmonte Miraflores 80
Figura 6.15. MEB en el depósito de desmonte Rumiallana 80
Figura 6.16. MEB en el depósito de desmonte Rumiallana 81
Figura 6.17. MEB en el material aledaño al Tajo Raúl Rojas 81
Figura 6.18. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-01 82
Figura 6.19. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-07 83
Figura 6.20. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-08 84
Figura 6.21. Ubicación y geología regional del área de estudio 87
Figura 6.22. Columna estratigráfica que muestra las unidades litoestratigráficas en el ámbito de la UF Cerro de Pasco 88
Figura 6.23. Plano geológico local de UF Cerro de Pasco 89
Figura 6.24. Afloramiento de pizarras/filitas en el ámbito de influencia de la Planta de Óxidos 90

Figura 6.25. Volcánico Rumillana que aflora al este del depósito de desmonte Rumiallana 90
Figura 6.26. volcánico Rumillana con presencia de flujos que se asemejan a estratificación que aflora al norte del Stock Pile 91
Figura 6.27. Pórfido cuarzomonzonita que aflora hacia el norte del Stock pile y oeste del depósito de desmonte Rumiallana..... 91
Figura 6.28. Andesita porfirítica que aflora hacia el norte del Stock pile y este del depósito de desmonte Rumiallana..... 92
Figura 6.29. Caliza que aflora en el ámbito de influencia de la laguna Yanamate 92
Figura 6.30. Depósitos lacustres en el ámbito de influencia de la laguna Yanamate 93
Figura 6.31. Metales totales en el ámbito de la Planta de Óxidos **a)** elementos mayores **b)** elementos menores **c)** elementos traza..... 94
Figura 6.32. Metales totales en el ámbito de laguna Yanamate **a)** elementos mayores **b)** elementos menores **c)** elementos traza..... 94
Figura 6.33. Metales totales en la UF Cerro de Pasco para los elementos mayores 95
Figura 6.34. Metales totales en la UF Cerro de Pasco para los elementos menores..... 95
Figura 6.35. Metales totales en la UF Cerro de Pasco para los elementos traza 96
Figura 6.36. Comparación de las concentraciones de elementos mayores, menores y traza de las muestras ROxP-1 a ROxP-15 y RLYA-1 y RLYA-2 comparados con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1984)..... 96
Figura 6.37. Shake Flask aniones en ROxP-5, ROxP2 y ROxP9 97
Figura 6.38. Shake Flask metales en las muestras ROxP-5, ROxP-2 y ROxP-9 97
Figura 6.39. Shake Flask aniones en ROxP-15 y ROxP14 98
Figura 6.40. Shake Flask metales en las muestras ROxP-15 y ROxP-14 98
Figura 6.41. ABA en las muestras ROxP-14 y ROxP-15, según el primer y segundo criterio de evaluación 99
Figura 6.42. ABA en las muestras ROxP-5, ROxP-2 y ROxP-9, según el primer y segundo criterio de evaluación..... 100
Figura 6.43. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-1 a) vista macroscópica b) vista microscópica de matriz granular de plagioclasas II, feldespatos potásicos II y cuarzo II, (PGLsll-FPKsll-czll). Con cavidades que han sido rellenadas por feldespatos potásicos III (FPKs III) alterados por sericita (ser) y arcillas (ARCs), con impregnaciones de goethita (goe)..... 101
Figura 6.44. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-2 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) y de botita alterados por cloritas y rutilo (btCLOs-rt). En una matriz de vidrio alterado por arcillas (vd-ARGs). Además, se aprecian finas venillas cortas rellenas por agregados de cristales de cuarzo II 101
Figura 6.45. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-3 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de fragmentos de cristales de plagioclasas (PGLs) alterados por agregados de sericita (ser) y con impregnaciones de óxidos de hierro (OXs_Fe). 102
Figura 6.46. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-14 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de agregados irregulares a masivos de goethita (goe) con hematita (hm) que han invadido algunos sectores de la roca..... 102
Figura 6.47. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-15 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de matriz, venas y fracturas rellenas por agregados de goethita y hematita (goe-hm) asociados con agregados de pequeños cristales de cuarzo II (cz II) en sus a intersticios. 103
Figura 6.48. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) arsénico y b) cadmio – agosto 2020 111

Figura 6.49. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) cobre y b) mercurio – agosto 2020..... 111
Figura 6.50. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) plomo y b) zinc – agosto 2020 111
Figura 6.51. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto PC-01 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020 112
Figura 6.52. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto PC-02 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agosto 2020 113
Figura 6.53. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto E-213 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agosto 2020..... 113
Figura 6.54. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) arsénico y b) cadmio 114
Figura 6.55. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) cobre y b) mercurio..... 114
Figura 6.56. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) plomo y b) zinc..... 115
Figura 6.57. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) arsénico y b) cadmio 115
Figura 6.58. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) cobre y b) mercurio..... 115
Figura 6.59. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) plomo y b) zinc..... 116
Figura 6.60. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto LQui-02 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020 116
Figura 6.61. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto DAAYH en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020 117
Figura 6.62. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto LYA-6A en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020 117
Figura 6.63. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto DAAY en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020..... 118
Figura 6.64. Resultados de análisis mineralógico de la muestra del punto LQui-02 de la laguna Quilcamachay – agosto 2020..... 118
Figura 6.65. Composición y riqueza de microalgas – agosto 2020..... 121
Figura 6.66. Abundancia de microalgas – agosto 2020..... 121
Figura 6.67. Números de Hill N1 y N2 de microalgas – agosto 2020..... 122
Figura 6.68. Índice de Shannon –Wiener de microalgas – agosto 2020..... 122
Figura 6.69. Dendrograma de similitud de microalgas – agosto 2020 123
Figura 6.70. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020. 124
Figura 6.71. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020 125
Figura 6.72. Números de Hill N1 y N2 de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020 125
Figura 6.73. Índices de Shannon-Wiener en macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020 126

Figura 6.74. Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020 126
Figura 6.75. Composición y riqueza de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020 128
Figura 6.76. Abundancia de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020 129
Figura 6.77. Números de Hill N1 y N2 de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020 129
Figura 6.78. Índice de Shannon –Wiener y equidad de Pielou de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020 129
Figura 6.79. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis 131
Figura 6.80. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020 131
Figura 6.81. Números de Hill N1 y N2 de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020 131
Figura 6.82. Índices de Shannon-Wiener y equidad de Pielou de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020 132
Figura 6.83. Ubicación de la estación de monitoreo de aire CA-SB-01 en el área de influencia de la UM Cerro Pasco 132
Figura 6.84. Rosa de viento de el punto de monitoreo CA-SB-01; evaluados del 06/08/2020 al 16/08/2020 134
Figura 6.85. Concentración diaria de PM_{10} en el punto de monitoreo CA-SB-01 comparada con los ECA para aire 2001 135
Figura 6.86. Concentración de metales en PM_{10} en el punto de monitoreo CA-SB-01, comparada referencialmente con la norma AAQC; evaluados del 06/08/2020 al 16/08/2020 136
Figura 6.87. Microscopia electrónica de barrido en filtro de aire PM_{10} 137
Figura 6.88. Concentración de polvo sedimentable g/m^2/mes a) 5 m, b) 20 m y 60 m) de distancia componentes evaluados 139
Figura 6.89. Concentración máxima y mínima de metales en polvo sedimentable comparados con la concentración promedio de metales en la corteza terrestre 141
Figura 6.90. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP4-OA 149
Figura 6.91. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP17-A1 150
Figura 6.92. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP24-OA 150
Figura 6.93. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP32 151
Figura 6.94. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP33-A 151
Figura 6.95. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP46-A 152
Figura 6.96. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en el punto CP53-AC 152
Figura 6.97. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en el punto CS-CP74 153
Figura 6.98. MEB de la muestra CP4-O ubicado próximo a la subestación eléctrica 153

Figura 6.99. MEB de la muestra CP46-A ubicada próximo al cementerio del AAHH José Carlos Mariátegui 154
Figura 6.100. Concentraciones de a) arsénico total y b) plomo total comparadas con nivel de fondo (NF), nivel de referencia (NR) y ECA para suelos de uso residencial (ECA-SUR) 162
Figura 6.101. Concentraciones de a) bario total y b) cadmio total comparadas con ECA para suelos de uso residencial (ECA-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (NR).... 164
Figura 6.102. Concentraciones de mercurio total comparadas con ECA para suelos de uso residencial (ECA-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (N) 165
Figura 6.103. Concentraciones de a) cobre total y b) zinc total comparadas con las CEQG para suelos de uso residencial (CEQG-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (NR) 169
Figura 6.104. Concentraciones de a) talio total y b) plata total comparadas con las CEQG para suelos de uso residencial (CEQG-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (NR) 170
Figura 6.105. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP6..... 171
Figura 6.106. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-P6-1 171
Figura 6.107. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP72..... 172
Figura 6.108. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP73..... 172
Figura 6.109. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP27..... 173
Figura 6.110. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP28-A 173
Figura 6.111. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP35-Ap 174
Figura 6.112. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP43..... 174
Figura 6.113. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP57-Ap 175
Figura 6.114. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP59-OA..... 175
Figura 6.115. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP60-Ap 176
Figura 6.116. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP69-A 176
Figura 6.117. MEB de la muestra CP57-Ap ubicada en el centro poblado de Paragsha a 100 metros aproximadamente del botadero Miraflores, en el estadio de futbol..... 177
Figura 6.118. MEB de la muestra CP28-A ubicada en el parque infantil dentro del AAHH José Carlos Mariátegui..... 177
Figura 6.119. MEB de la muestra CP57 (horizontes ^C1, ^C2, ^C3, ^C4 y ^C5) extraída de la calicata CS-CP57-CAL en suelos del centro poblado de Paragsha ubicado próximo al botadero Miraflores..... 178
Figura 6.120. MEB de la muestra CP57 (horizontes 2^Cg1 y ^2Cg2) ubicado próximo al botadero Miraflores..... 178
Figura 6.121. MEB de la muestra CS-CP27, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui ubicado próximo al botadero Hanancocha 179

Figura 6.122. MEB de la muestra CS-CP6-1 ubicado fuera del cerco perimetral del polvorín 179
Figura 6.123. MEB de la muestra CS-CP73 ubicada en el cono de deyección de ingreso de las aguas ácidas provenientes del polvorín a la laguna Quilcamachay. 180
Figura 6.124. Ortomosaico RGB, **a)** hasta **e)** imágenes monocromas, **f)** Modelo digital del terreno 181
Figura 6.125. Índice de vegetación (NDVI y NDRE) de la formación vegetal 182
Figura 6.126. Cobertura vegetal de área sobrevolada 183
Figura 7.1. Secuencia de fotografias que muestran el flujo de agua desde su origen en el polvorin hasta la laguna Quicamachay, **a)** mezcla de aguas ESP-BK, b) punto de descarga ESP-POL2, c) punto de descarga ESP-POL, d) flujo de aguas acidas en quebrada s/n, **e) f) y g)**, puntos de muestreo en laguna Quicamachay. 184
Figura 7.2. Resultado de presencia de minerales en el punto CS-CP6-1, material de relleno del cerco perimetral del polvorín 184
Figura 7.3. Sector Polvorín **a)** Dirección de flujo de agua desde el polvorín hacia la laguna Quilcamachay, **b)** punto CS-CP6 ubicado en el exterior del cerco perimetral del polvorín y **c)** vista panorámica 185
Figura 7.4. Distribución espacial de las concentraciones de **a)** cadmio, **b)** plomo, **c)** hierro, **d)** cobre, y **e)** arsénico..... 186
Figura 7.5. Resultados de **a)** pH y conductividad eléctrica **b)** concentraciones de sulfatos y solidos totales disueltos **c)** hierro, manganeso, zinc, cobre, arsénico y plomo en agua en agosto y setiembre 2020, y **d)** plomo, arsénico, cobre y zinc en sedimento en agosto 2020 188
Figura 7.6. a) Composición y riqueza de fitoplancton (microalgas), agosto 2020; **b)** Abundancia de fitoplancton (microalgas), agosto 2020..... 189
Figura 7.7. a) Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos y **b)** Abundancia de macroinvertebrados bentónicos, agosto 2020..... 189
Figura 7.7 Análisis del índice NDWI en la laguna Quilcamachay para los años 1985 (setiembre), 2011 (julio) y 2020 (julio)..... 190
Figura 7.9. Ubicación de *stock pile* Aeropuerto y material de relleno con relación al canal del río Ragra..... 191
Figura 7.10. Secuencia de líneas de tomografía de resistividad eléctrica, mostrando zonas saturadas en LT-02 y LT-05..... 192
Figura 7.11. Esquema de ubicación de la línea LT-07 y modelo de sección de resistividades mostrando zonas saturadas..... 193
Figura 7.12. Graficas de Stiff de los piezómetros PZ-1 y DH-18-02, y punto de agua residual ESP-3 194
Figura 7.13. Resultados de a) conductividad, b) sulfatos y c) metales en agua subterránea (PZ-1 y DH-18-02) y agua residual (ESP-3) 195
Figura 7.14. Esquema conceptual del comportamiento hidrodinámico del stock pile Pampa Seca y canal de aguas ácidas..... 196
Figura 7.15. Distribución de las concentraciones de MPS 197
Figura 7.16. Distribución de las concentraciones de metales en material particulado sedimentable para arsénico, zinc, plomo, cadmio, cobre y mercurio, evaluados en el ámbito de la UF Cerro de Pasco..... 198
Figura 7.16. Análisis multivariado que explican los agrupamientos de los puntos evaluados en las matrices de roca, componente minero, suelo y polvo sedimentable en **a)** frente a la planta Paragsha, **b)** frente a Rumiallana **c)** frente a Hanancocha y **d)** frente al parque infantil Paragsha 200

Figura 7.18. Dirección del viento de la estación CA-SB-01 y ubicación de receptores de polvo sedimentable 202
Figura 7.19. Rosa de viento en el distrito de Simón Bolívar, durante el periodo de evaluación enero - diciembre 2019, clasificados en a) En horario diurno (07:00 h a 11:00 h), b) En horario vespertino (12:00 h a 18:00 h), c) En horario nocturno (00:00 h a 6:00 h y 19:00 h a 23:00 h) 203
Figura 7.20. Concentración promedio de metales en material particulado sedimentable frente a la planta Paragsha, parque infantil Paragsha y estadio Paragsha, ... 203
Figura 7.21. Ubicación del API-CS-CP y del ANF-CS-CP, con respecto a los componentes mineros 204
Figura 7.22. a) Perfiles de suelos con desarrollo natural en ANF-CS-CP y b) perfiles de suelos con desarrollo antrópico en API-CS-CP 206
Figura 7.23. Distribución de las concentraciones de As, Pb, Cd y Hg en los suelos del API-CS-CP, ANF-CS-CP y fuentes potenciales (componentes mineros) 208
Figura 7.24. Distribución de las concentraciones de As y Cu en los suelos del API-CS-CP, ANF-CS-CP y fuentes potenciales (componentes mineros)..... 209
Figura 7.25. Suelos aledaños al sector oeste de Hanancocha y parte baja de polvorín . 210
Figura 7.26. Ubicación de la planta Paragsha y vista del cerco perimétrico 211
Figura 7.27. Ubicación del parque infantil ecológico del C.P Paragsha 212
Figura 7.28. Sector 1 del AA. HH. José Carlos Mariátegui, frente al botadero Hanancocha 212
Figura 7.29. Zona de parqueadero de camiones frente a Botadero Miraflores..... 213
Figura 7.30. Procesos y componentes del suelo que controlan la movilidad de los metales pesados 214
Figura 7.31. Variación de las concentraciones de As, Cd, Cu, Mg, Hg, Pb y Zn en las calicatas más afectadas ubicadas dentro del API-CS-CP 212
Figura 7.32. Esquema de ubicación de la línea de conducción de relaves..... 213
Figura 7.33. a) Vista panorámica de la línea de conducción de relaves, **b)** Material de relave sobre suelo aledaño **c)** Punto de suelo SU-2 214
Figura 7.34. Concentraciones en muestras de suelo SU-1 y SU-2, y material de relave en línea de conducción..... 214
Figura 7.35. a) Canal de contención colmatado y **b)** prolongación de derrame en dirección a la canalización del río Ragra 215
Figura 7.36. Ubicación de lagunas Cuchis y Yanamate 215
Figura 7.37. Análisis multitemporal de los años 1969, 2005, 2007, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 y 2019 en el ámbito de influencia del depósito de aguas ácidas Yanamate y Huaysacocha, y lagunas Cuchis 216
Figura 7.38. Perfil esquemático que muestra la litología del depósito de aguas ácidas Yanamate en el 2005 (cota 4360) y al 2020 (cota 4333 y 4320) mostrando los relictos de sedimentos lacustres alterados..... 217
Figura 7.39. Diagrama de Piper para del depósito de aguas ácidas Yanamate (DAAYH, LYA-6A y DAAY) y laguna Cuchis (LCuc-1) 219
Figura 7.40. Distribución de metales a) en muestras de roca y b) en sedimento de la base del depósito de aguas ácidas Yanamate 220
Figura 7.41. Metales biodisponibles en el depósito de aguas ácidas Yanamate 220
Figura 7.42. Esquema de las estaciones de monitoreo de agua superficial, efluentes y aguas de escorrentía..... 221
Figura 7.43. Concentración de los parámetros conductividad eléctrica, sulfatos, manganeso total y estroncio en las estaciones de agua superficial E-01, RRA-01, E-02A, E-02A-1, PM-

04, PM-10, PM-05, EO-01, VCO-01, 5DV, PM-06 y E-215 y en los efluentes AR-1, E-3, E-5, E-6, AR-3, y EO-01 222
Figura 7.44. Diagrama de Piper para agua superficial (río Ragra) y residual industrial evaluados en agosto y setiembre 2020. 223
Figura 7.45. Concentración de los parámetros conductividad eléctrica, sulfatos, arsénico total, cadmio total, cobre total, estroncio total, hierro total, magnesio total y manganeso total en los puntos de muestreo de agua superficial E-01, RRA-01, RRag-03, E-02A, E-02A-1, PC-01, PC-02 y E-215 y en los efluente AR-1, E-3, E-5, E-6, AR-3 y EO-01 evaluado en agosto y setiembre 2020. 225
Figura 7.46. a) Comparación de las concentraciones de metales en los sedimentos de los ríos San Juan y Ragra y b) Predominancia de hierro y calcio (%) 227
Figura 7.47. Concentraciones de metales en sedimento en el río Ragra y San Juan en a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) mercurio, e) plomo y f) zinc 228
Figura 7.48. Composición de la riqueza de perifiton (microalgas) en el río Ragra y San Juan – agosto 2020 229
Figura 7.49. a) Composición y riqueza de perifiton (microalgas) y **b)** Abundancia de perifiton (microalgas) – agosto 2020 230
Figura 7.50. Composición de las microalgas en a) riqueza y b) abundancia 230
Figura 7.51. Calidad ecológica en los ríos Ragra y San Juan por punto de muestreo – agosto 2020 231
Figura 7.52. a) Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos, y **b)** Abundancia de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020 232
Figura 7.53. a) Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020, y **b)** Abundancia de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020 233

LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Sigla

ANA: Autoridad Nacional del Agua

DSEM: Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

USEPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

Acrónimo

Inacal: Instituto Nacional de Calidad

DEAM: Dirección de Evaluación Ambiental

1. INTRODUCCIÓN

La provincia Pasco es un importante centro de yacimientos polimetálicos, donde se desarrollan actividades mineras desde épocas incaicas y coloniales, tras el establecimiento de Cerro de Pasco Copper Corporation, la ciudad de Cerro de Pasco empezó a desarrollarse y crecer en la microcuenca del río Ragra, en los distritos Yanacancha, Simón Bolívar y Chaupimarca.

Actualmente, en la zona descrita, se ubican los administrados Empresa Administradora Cerro S.A.C. (unidad fiscalizable Cerro de Pasco) y Óxidos de Pasco S.A.C. (unidad fiscalizable Planta de Óxidos), ambas subsidiarias de Volcan Compañía Minera S.A.A; así como, pasivos ambientales mineros, cuyo cierre está a cargo de Activos Mineros S.A.C. Los componentes mineros de las mencionadas unidades fiscalizables son percibidos por la sociedad civil como los principales agentes generadores de contaminación al agua, suelo y aire, afectando al ambiente y la salud de las personas.

En este contexto, la Dirección de Supervisión en Energía y Minas mediante memorandos N.° 00670-2020-OEFA/DSEM y N.° 02266-2020-OEFA/DSEM[1], solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental, dentro del marco de sus funciones, y su reglamento aprobado mediante Resolución del Consejo Directivo N.° 00013-2020-OEFA/CD[2]; efectuar acciones que determinen la causalidad de las actividades mineras, toda vez que los informes de supervisión números 619-2018-OEFA/DSEM-CMIN y 34-2019-OEFA/DSEM-CIM, recomiendan realizar una evaluación ambiental de calidad de suelo en el centro poblado Paragsha; y en los informes números 63-2019-OEFA/DSEM-CMIN y 64-2019-OEFA-/DSEM-CMIN, recomiendan muestreos de aire por periodo más amplios a fin de determinar la calidad del aire proveniente de la referida unidad. En la presente evaluación se abordó el análisis de los componentes depósito de desmonte Rumiallana, Miraflores, stock piles, tajo Raúl y polvorín, de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco y su influencia en el ambiente.

Para la evaluación se realizaron dos acciones de muestreos de agua superficial, agua residual industrial, suelo y componente minero en agosto y setiembre 2020, y un muestreo de sedimento, comunidades hidrobiológicas, aire, polvo sedimentable y caracterización geológica en agosto 2020. Además, el estudio consideró la medición de tomografía de resistividad eléctrica en el sector de los *stock piles* Aeropuerto y el levantamiento fotogramétrico con RPAS en la laguna Quilcamachay.

La presente evaluación ambiental constituirá un soporte técnico, por parte de la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del OEFA, para la Dirección de Supervisión en Energía y Minas (DSEM).

2. ANTECEDENTES

La unidad fiscalizable Cerro de Pasco (en adelante, UF Cerro de Pasco), administrada por Empresa Administradora Cerro S.A.C., inició operaciones en 1902 tras la adquisición de Cerro de Pasco Copper Corporation[3], produciendo plata y cobre, así como el aprovechamiento de sulfuros de plomo, zinc y plata en sus dos plantas (Paragsha y San

[1] Es preciso señalar que las acciones de evaluación en campo se realizaron en atención a la encargatura efectuada por la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (DSEM) mediante Memorando N° 00670-2020-OEFA/DSEM con el cual se solicitó realizar EAC en las unidades fiscalizables comprendidas en el ámbito del río San Juan; sin embargo, de acuerdo al Memorando N° 02266-2020-OEFA/DSEM, que solicita la evaluación independiente por unidad fiscalizable, se consideró por conveniente asignar un nuevo CUE (Código único de Expediente) para la EAC en el ámbito de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco de Administradora Cerro SAC.

[2] Publicado en el Diario Oficial El Peruano, el 19 de julio de 2020.

[3] Programa de adecuación y manejo ambiental de la U.P. Cerro de Pasco de Centromin Peru S.A., aprobado el 13 de enero 1997 con Resolución Directoral N.° 014-97-EM/DGM.

Expedito). Pertenece, junto con la unidad fiscalizable Planta de Óxidos, a una sola unidad minera denominada también Cerro de Pasco[4], siendo ambos responsables solidarios por el manejo ambiental y las responsabilidades generadas de ello[5].

Cuenta entre sus instrumentos de gestión ambiental, con el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Ampliación de las Plantas Concentradoras Paragsha 8500 a 9500 t/d - San Expedito 450 a 650 t/d de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco (UF Cerro de Pasco)[6], en adelante EIA 2008. Posteriormente, el 1 de agosto de 2011, el Minem aprobó el Estudio de Impacto Ambiental Excepcional de la «Planta Complementaria para el beneficio de minerales oxidados», a favor de Empresa Administradora Cerro S.A.C.[7] (en adelante, EIAE 2011).

Respecto al proceso productivo en la UF Cerro de Pasco, el EIA 2008 menciona que el material de desmonte de la explotación superficial del tajo Raúl Rojas es acarreado al botadero Rumiallana; mientras que, el mineral para beneficio es transportado a las plantas concentradoras Paragsha y San Expedito. La planta concentradora Paragsha procesa principalmente minerales complejos de sulfuros de Pb-Zn-Ag del tajo, obteniéndose concentrados de plomo y zinc, así como relaves. Mientras que, en la planta concentradora San Expedito, se benefician minerales de Pb-Zn, Pirita Argentifera, Cobre y Óxidos de Plata, obteniéndose un concentrado bulk-plata (plata con contenido de plomo), quedando relave como material residual. Los concentrados son trasportados por carretera para su comercialización; mientras que, los relaves son conducidos por canales de conducción al depósito de relaves Ocroyoc (Figura 2.1).



Figura 2.1. Proceso productivo en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco

El EIAE (2011) señala que, los *stock piles* presentan abundante presencia de cuarzo, goethita y jarosita; además de, hierro, manganeso, cobre, plomo, zinc, plata, cadmio, arsénico y sulfatos, los cuales son generadores de drenaje ácido.

Los resultados de las evaluaciones realizadas por el OEFA[8] en la zona de estudio, señalaron que la calidad de agua del río Ragra es uno de los más contaminados en la subcuenca del

4 Resolución Directoral N.° 218-2017-MEM/DGAAM, aprobado el 31 de julio de 2017
5 Artículo 22° del Decreto Supremo N.° 040-2014-EM
6 Resolución Directoral N.° 318-2008-MEM/AAM, aprobado el 31 de diciembre de 2008
7 Resolución Directoral N.° 236-2011-MEM/AAM
8 Evaluación ambiental de la cuenca del río San Juan - 2015, aprobado con informe N° 034-2015-OEFA-SDCA-CEAI-EA

río San Juan, ya que recibe desde su naciente aportes de efluentes domésticos, y diversos efluentes y escorrentías mineras que descargan en su cauce hasta la desembocadura al río San Juan. Se señaló que el punto AG-QS3-20, ubicado en la parte baja del río Ragra, presentó concentraciones de arsénico, cobre, cobalto, hierro, manganeso, plata, plomo, zinc y mercurio, por encima de los ECA[9] para agua Categoría 3.

En setiembre del 2005, el Ministerio de Salud y el Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (Censopas) publicaron el informe «Determinación de plomo en sangre y factores asociados en niños y mujeres gestantes de las poblaciones Quiulacocha y Champamarca Cerro de Pasco». El estudio se realizó entre el 12 y 17 de setiembre de 2005 a poblaciones caracterizadas por la presencia de actividad minera como depósitos de mineral, relaves y pasivos ambientales. Se determinó que el 84,7 % de los niños entre 1 a 10 años evaluados, presentó plomo en sangre por encima de los niveles permisibles (10 µg/dL para niños, según los CDC[10]), siendo el 89,2 % de Quiulacocha con mayor número de sujetos en el grupo de 15 a 19,9 µg/dL y el 82,8 % de Champamarca con 10 a 14,99 µg/dL de plomo en sangre. Mientras que, en las gestantes se determinó el plomo en sangre con un valor mínimo de 6,17 µg/dL y un máximo de 16,09 µg/dL, con un promedio de 11,01 µg/dL; el 61,5 % del grupo poblacional presentó intoxicación por plomo por encima de los 10 µg/dL.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y Polvorín de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco en el ambiente.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la composición de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y material de relave en la línea de conducción, movilidad de los elementos de preocupación ambiental y los mecanismos de transporte.

- Determinar la composición del efluente del Polvorín y los mecanismos de transporte.

- Determinar la composición y disponibilidad de los elementos de preocupación ambiental de las formaciones rocosas aledañas a los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, tajo Raúl, Polvorín y laguna Yanamate.

- Establecer la influencia de los depósitos de desmonte y *stock piles* sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas del río Ragra y el agua subterránea, así como determinar la influencia del Polvorín a la laguna Quilcamachay

- Establecer la influencia de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl sobre el suelo y aire de los asentamientos humanos José Carlos Mariátegui y Paragsha.

[9] Estándares nacionales de calidad ambiental para agua, aprobado por el Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM, Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales.

[10] Siglas en inglés de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades de Estados Unidos, los cuales recomiendan que los niveles en niños no excedan 10 microgramos de plomo por decilitro de sangre (µg/dL); información extraída de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html, el 30 de noviembre 2020

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y Polvorín. Se emplaza en el ámbito de la UF Cerro de Pasco a aproximadamente 315 km de Lima, en el distrito Simón Bolívar, provincia y departamento Pasco. El acceso a la unidad es a través de la carretera Central hacia La Oroya. El área de estudio se ubica en el flanco oriental de la cordillera Andina Occidental de la zona centro de Perú, presenta un relieve montañoso y zonas de relieve colinoso, según se menciona en el Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco (en adelante ITS, 2020)[11].

Hidrográficamente, el área de estudio se encuentra en la quebrada Picha Cancha (Ocroyoc) en la microcuenca del río Ragra (tributario del río San Juan). Dentro de esa área, también, se encuentran las lagunas Yurajcancha, Quilcamachay y Patarcocha.

Además de los componentes mineros señalados, el área de estudio colinda con los pasivos ambientales mineros (PAM) Depósito de desmonte Excelsior y el Depósito de relaves Quiulacocha. En la Figura 4.1 se muestra el área de influencia que abarcará el presente estudio.

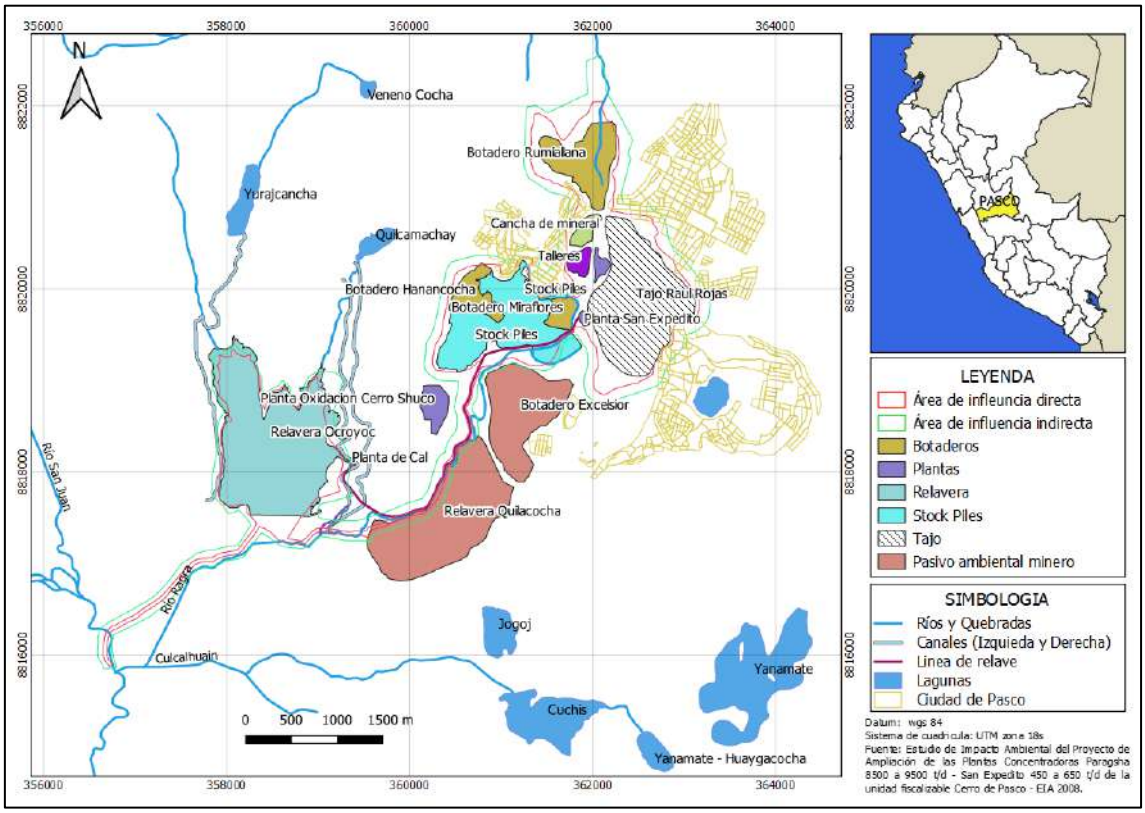


Figura 4.1. Ubicación del área de estudio de la evaluación ambiental de causalidad en el ámbito de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, stock piles, tajo Raúl y Polvorín de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco
Fuente: Elaborado a partir de mapas del EIA (2008)

[11] Aprobado mediante Resolución Directoral N.° 00097-2020-SENACE-PE/DEAR, el 18 de agosto de 2020

4.1. Climatología y geología regional

El área de estudio se caracteriza por un clima frío con estaciones húmedas y secas bien definidas, presentándose precipitaciones entre diciembre y abril, y deficiencia de lluvias en el invierno, concluyendo que la zona de estudio se clasifica como clima húmedo y frígido. Además, según los registros 2000-2018, presenta una precipitación media anual de 1057,7 mm (ITS, 2020).

La estratigrafía regional muestra afloramientos de rocas sedimentarias y volcánicas del Paleozoico inferior al cuaternario. Los afloramientos rocosos más antiguos corresponden al Grupo Excélsior, compuesto por filitas grises, cuarcitas de grano fino y lutitas carbonatadas; la cual infrayace al Grupo Mitú. Además, al suroeste de la zona aflora el Grupo Goyllarisquizga (Cretáceo inferior) conformado por areniscas gris verdosa a blanquecina con intercalaciones de lutita gris de la Formación Carhuaz, caliza arcillosa y margas de la Formación Santa. Sobre la cola de la relavera Ocroyoc, está constituida por la Formación Casapalca (Cretáceo superior) compuesto por conglomerados con intercalaciones de arenisca (ITS, 2020).

4.2. Contexto social

La población en el área de influencia social del proyecto pertenece a la provincia y departamento Pasco, distritos Simón Bolívar, Chaupimarca y Yanacancha, identificándose a las comunidades campesinas de Santa Rosa de Colquijirca, Yurajhuanca, Quiulacocha y poblados Paragsha, Yurajhuanca y Quiulacocha. Yanacancha es el distrito más poblado, conocido como la nueva ciudad, a donde se traslada la población urbana absorbida por la actividad minera (ITS, 2020).

Respecto a las migraciones, el ITS (2020) menciona que, se tiene un flujo migratorio constante por expectativas de trabajo en la actividad minera. Además, respecto al agua potable, este difiere según distritos, en Chaupimarca y Yanacancha más del 50 % de viviendas cuenta con este servicio; mientras que, en Simón Bolívar solo el 33 %, y en los centros poblados Paragsha, Yurajhuanca y Quiulacocha el 100% cuenta con dicho servicio. Del mismo modo, existe una brecha en el acceso a servicios higiénicos y desagüe, siendo Simón Bolívar el distrito con menor cobertura, 69,82 %.

Respecto a la preocupación ambiental de la sociedad, la Coordinación de Gestión Social del OEFA, trasladó mediante Memorando N.° 00092-2020-OEFA/PCD-CGSA, la solicitud recogida de la reunión del 24 de julio 2020 con autoridades de la municipalidad distrital de Simón Bolívar, comunidad campesina de Quiulacocha, Paragsha, Yurajhuanca y asentamiento humano José Carlos Mariátegui, a considerar, entre otros aspectos, realizar monitoreo de la calidad de agua en la laguna Cuchis por una posible filtración de agua proveniente de la laguna Yanamate.

5. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología empleada para el cumplimiento por cada objetivo específico de la evaluación ambiental de causalidad para determinar la influencia de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y Polvorín de la UF Cerro de Pasco, al ambiente.

Cabe señalar que, además de los componentes mineros señalados, el área de estudio colinda con los pasivos ambientales mineros (PAM) botadero Excélsior y relavera Quiulacocha, cuya influencia sobre la calidad ambiental no será incluida en la presente

evaluación, pues debe analizarse en forma integral para definir los aportes diferenciados entre administrados.

5.1. Objetivo específico 1: Determinar la composición de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y material de relave en la línea de conducción, movilidad de los elementos de preocupación ambiental y los mecanismos de transporte.

Para el cumplimiento del presente objetivo se realizó la caracterización geoquímica y mineralógica de los materiales de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y material de relave en la línea de conducción.

5.1.1. Caracterización geoquímica de material de componente minero

5.1.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

Para el muestreo de rocas se consideraron las guías y manuales de muestreo establecidas por el servicio geológico del Perú y Chile; además, de las recomendaciones sugeridas en referencias internacionales de Canadá y Chile, indicados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Guías y protocolos de muestreo de material de componentes minero

Documento	Sección	País	Institución/autor	Año
Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras	Todo el documento	Chile	Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin)	2015
Manual de inventario de recursos minerales	Todo el documento	Perú	Dirección de Recursos Minerales y Energéticos - Ingemmet	2013
Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials	Todo el documento	Canadá	CANMET- Mining and Mineral Sciences Laboratories	2009
Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto	Todo el documento	Chile	Angel Lambert B.	2006
Introducción al muestreo minero	Todo el documento	Chile	Marco Antonio Alfaro Sironvalle	2002

5.1.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se establecieron 18 puntos de muestreo de material componente minero (Figura 5.1) para realizar la caracterización; los cuales se resumen en la Tabla 5.2.

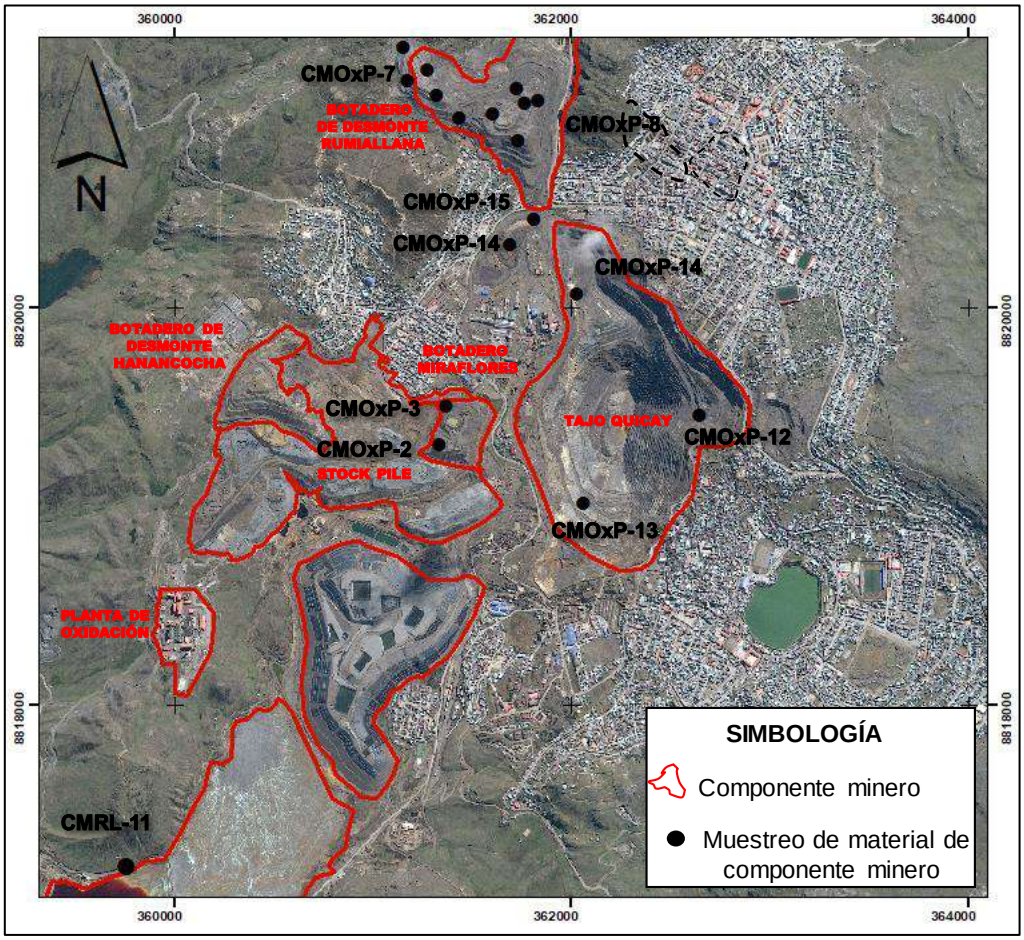


Figura 5.1. Distribución de los puntos de muestreo de material de componente minero

Tabla 5.2. Ubicación de puntos de muestreo de material de componente minero

N.°	Código del punto de muestreo		Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción [1]
			Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Área de operaciones								
1	CMOxP2		07/08/2020	17:30	361337	8819307	4340	Sector noroeste de Botadero Miraflores
2	CMOxP3		07/08/2020	17:45	361371	8819507	4315	Sector suroeste del Botadero Miraflores
3	CMOxP15		08/08/2020	16:00	361817	8820447	4325	Material acumulado aledaño al Tajo Raúl Rojas
4	CMOxP16		08/08/2020	16:10	361692	8820320	4319	Material acumulado aledaño al Tajo Raúl Rojas
5	CMOxP12		08/08/2020	16:35	362652	8819457	4266	Sector este del Tajo Raúl Rojas
6	CMOxP14		08/08/2020	17:00	362032	8820070	4270	Sector norte del Tajo Raúl Rojas
7	CMOxP13		08/08/2020	17:30	362067	8819012	4167	Sector sur del Tajo Raúl Rojas
8	CMOxP8*	CMOxP8a	09/08/2020	09:15	361608	8820976	4394	Sector este del Botadero Rumiallana
9		CMOxP8b	09/08/2020	09:20	361770	8821029	4396	Sector este del Botadero Rumiallana

N.°	Código del punto de muestreo		Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción [1]
			Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
10		CMOxP8c	09/08/2020	09:35	361737	8820843	4395	Sector este del Botadero Rumiallana
11		CMOxP8d	09/08/2020	10:00	361835	8821042	4389	Sector este del Botadero Rumiallana
12		CMOxP8e**	09/08/2020	10:15	361731	8821109	4382	Sector este del Botadero Rumiallana
13	CMOxP7*	CMOxP7a	09/08/2020	10:30	361176	8821143	4415	Sector noroeste del Botadero Rumiallana
14		CMOxP7b	09/08/2020	10:40	361276	8821200	4429	Sector noroeste del Botadero Rumiallana
15		CMOxP7c	09/08/2020	10:50	361323	8821073	4437	Sector noroeste del Botadero Rumiallana
16		CMOxP7d	09/08/2020	11:00	361438	8820961	4394	Sector noroeste del Botadero Rumiallana
17		CMOxP7e**	09/08/2020	11:10	361155	8821316	4409	Sector noroeste del Botadero Rumiallana
18	CMRL-1		09/08/2020	16:15	359758	8817187	4283	Canal de contención de línea de relave San Expedito

*Muestra compuesta constituida por 5 sub muestras.
**Coordenada de muestra.

5.1.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados para la caracterización de componentes mineros se detallan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Parámetros considerados en muestras de componentes mineros

Tipo de muestra	Parámetros de laboratorio		Método de análisis
Componente minero	Metales totales		Metales por ICP-MS
	Shake flake aniones		Volumetría (cloruros), electrometría (fluoruros y nitratos), electrometría UV-VIS (fosfatos, nitritos y sulfatos)
	Shake flake metales		Metales por ICP-MS en extracto SFE
	Análisis mineralógico por MEB		Microscopía electrónica de barrido
	Acid-Base Accounting (ABA)	Azufre total	PER-9207. Análisis elemental
		Grado de efervescencia	LME-8171. Calculado
		pH pasta Sobek Modificado	LME-8490. Electrometría
		Potencial de acidez máximo (MPA)	LME-8079. Calculado
		Potencial de neutralización neto Sobek Modificado (NNP)	LME-8080. Calculado
		Potencial de neutralización Sobek Modificado	LME-7497. Volumetría
		Relación (NP-MPA) Sobek Modificado	LME-8081. Calculado

Fuente: Reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC (Anexo H) y reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC

5.1.1.4. Equipos utilizados

Se utilizó un equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS), además de un barreno y picota para la obtención de las muestras. Los equipos y materiales se detallan en el reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2).

5.1.1.5. Procesamiento de datos

Para la caracterización de los componentes mineros se realizó una descripción de cada uno en base al contenido de metales de las muestras; la evaluación de metales solubles se realizó según el análisis de *shake flake* (metales y aniones), los que se complementaron con los resultados de los ensayos mineralógicos.

Para el análisis geoquímico se procedió a dividir a los elementos mayores, menores y traza (Rivera, 2001), con el fin de visualizar los elementos de acuerdo con la abundancia terrestre:

- Elementos mayores: >1 % (O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K y Ti)
- Elementos menores: 0,1 % - 1,0 % (Sb, As, Be, Cd, Hg, Ag, Se y Tl)
- Elementos traza: < 0,1 % (Ba, B, Co, Cu, Cr, Sn, Sr, P, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, V y U)

5.1.1.6. Control de calidad

El control de calidad de los resultados de metales totales se realizó mediante la muestra duplicada. La cantidad de muestras duplicadas corresponde al 10% del total de muestras.

El porcentaje de diferencia relativa (PDR) se calculó usando la siguiente ecuación:

$$PDR = (\mu i - STDi / STDi) \times 100$$

μi: Valor medio del elemento "i" en el estándar de varias corridas analíticas
STDi: Valor conocido de la referencia

Un PDR de 0 - 3% indica precisión excelente, los valores de 3 - 7% tienen precisión muy buena y los valores superiores al 10% no son precisos; por lo tanto, no son considerados en el análisis (Jenner,1996).

5.1.2. Estudio de tomografía de resistividad eléctrica (TRE)

A continuación, se detalla la metodología para el estudio de tomografía de resistividad eléctrica en el ámbito de los *stock piles* en la UF Cerro de Pasco.

5.1.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

Para la tomografía de resistividad eléctrica se utilizaron las guías listadas en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Guías empleadas en la tomografía de resistividad eléctrica

Nombre	Código de referencia	Entidad/Autor	País	Año
Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation	ASTM- D6431- 99	American Society for Testing and Materials	Estados Unidos	2010
Use of Airborne Surface and Borehole Geophysical Techniques at Contaminated Sites	EPA/625/R- 92/00	U.S Environmental Protection Agency	Estados Unidos	1993

Nombre	Código de referencia	Entidad/Autor	País	Año
Electrical Imaging survey for environmental and engineering studies	N.A.	Meng Heng Loke	Tailandia	2000

N.A.: No aplica

5.1.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se establecieron las líneas de tomografía de resistividad eléctrica para realizar la caracterización de acuerdo con el objetivo planteado, las coordenadas de inicio y fin de las líneas de tomografía de resistividad eléctrica se resumen en la Tabla 5.5 y Figura 5.2. Las coordenadas intermedias de las estaciones se presentan en el reporte de campo N.° RC-050-2020-STEC (Anexo 4)

Tabla 5.5. Coordenadas de inicio y fin de cada línea del estudio de tomografía de resistividad eléctrica

Líneas de tomografía	Estaciones	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18L		Separación de electrodos (metros)	Longitud total (metros)	Descripción de la línea
		Este (m)	Norte (m)			
LT-01	Inicio 0	360958	8818976	0	112	Línea tomográfica ubicado al pie del talud de acceso del *stock pile* Aeropuerto, aproximadamente a 5 metros de la canalización del río Ragra, margen derecha y aproximadamente a 300 metros al este de la planta de neutralización. Con una longitud total de 112 metros
	Final 112	361063	8818972	7		
LT-07	Inicio 0	360997	8818966	0	32	Línea tomográfica ubicado al aproximadamente a 16 metros al oeste del piezómetro denominado PZ-1, margen izquierda del río Ragra. Con una longitud total de 32 metros
	Final 32	361029	8818967	2		
LT-08	Inicio 0	360994	8818970	0	32	Línea tomográfica paralela a la línea LT-07, margen derecha del río Ragra. Con una longitud total de 32 metros.
	Final 32	361028	8818974	2		

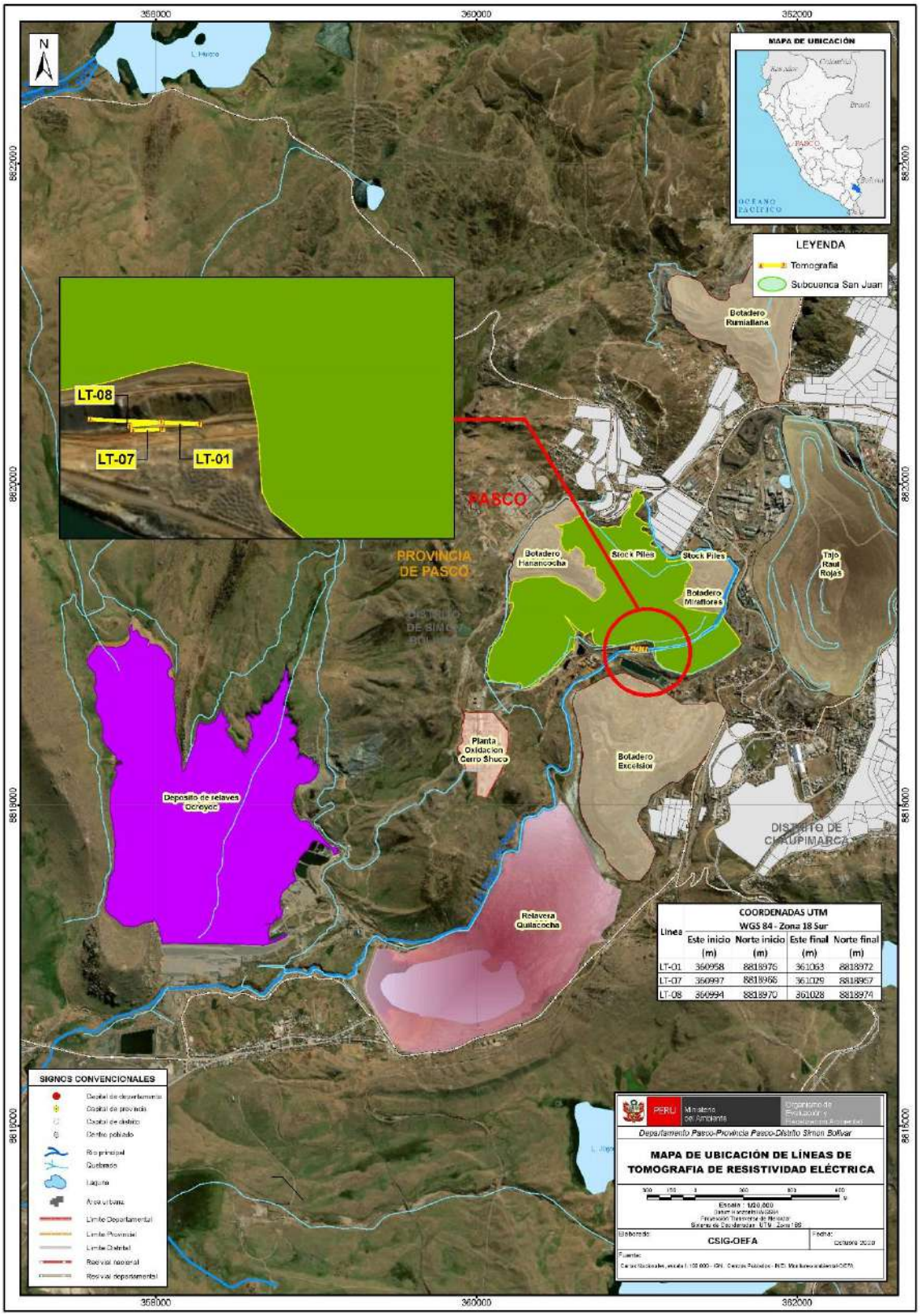


Figura 5.2. Ubicación de líneas de tomografía de resistividad eléctrica

5.1.2.3. Parámetros de adquisición

Los parámetros utilizados en la adquisición de datos se muestran a continuación en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Parámetros de adquisición del estudio de tomografía eléctrica

Parámetros	Modo de adquisición
Forma de medición	Dominio de tiempo
Configuración de electrodos	Polo – Dipolo
Distancia del dipolo	10 metros para la línea LT-09
Profundidad máxima de alcance	43 metros
Niveles de investigación medidos (n)	Desde n=1 hasta n=10
Tiempo de sincronización	2 segundos
Stack (apilamiento)	De 4 a 6 por estación

Las coordenadas de ubicación de cada electrodo (estación) tomadas en las líneas de tomografía fueron almacenadas en una base de datos. Durante la adquisición de datos se siguieron los procedimientos de seguridad y de control de calidad en campo.

Los datos de campo fueron almacenados en la memoria interna del receptor del equipo ELREC Pro, considerando nombre y ubicación de cada línea, fecha y hora de lectura, y distancia entre los electrodos de medida y de emisión de corriente. Además, se controlaron los valores como intensidad de corriente, voltaje primario (Vp), potencial natural (SP), tiempo de dominio de las lecturas, desviación estándar de los *stack* de lectura y resistividad aparente (Rho).

Con esta información, se generaron las pseudosecciones de resistividad aparente; mediante ellas se realizó el primer control de calidad de datos para su procesamiento, que consistió en validar y aceptar los valores menores al 5 % de la desviación estándar de los datos de potencial primario de cada dipolo.

5.1.2.4. Equipos utilizados

Los equipos y materiales utilizados para el estudio de tomografía eléctrica de resistividad se detallan en el reporte de campo N.° RC-050-2020-STEC (Anexo 4).

5.1.2.5. Aseguramiento de la calidad

El control de calidad se realizó antes de la adquisición de datos, en la calibración del equipo receptor, durante la adquisición de datos y en el proceso de inversión de los datos geofísicos, como se mencionó en el reporte de resultados N.° RRE-032-2020-STEC (Anexo 6).

5.1.2.6. Procesamiento de datos

A continuación, se describen los procesos realizados para obtener las pseudosecciones de resistividad y los resultados de los modelos de inversión de datos.

Base de datos

Primero: Se realizó el levantamiento de coordenadas con un GPS de la marca Garmin y sus datos fueron almacenados en su memoria interna, posteriormente fueron descargados y almacenados en una base de datos.

Segundo: 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).

Tercero: Con esta información se procedió a generar los primeros resultados como pseudosecciones de resistividad aparente, a través del cual se realizó 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 % fueron aceptados para el procesamiento de estos.

Proceso de inversión

Primero: La base de datos previamente validada y empleada para la generación de las pseudosecciones se exportó a un formato específico de software para el proceso de inversión.

Segundo: Se realizó el control de calidad (QC) de los datos de campo, en el software de procesamiento e inversión, tal como se indicó en el reporte de resultados N.° RRE-032-2020-STEC (Anexo 6).

Tercero: Se realizó el proceso de inversión, dicho proceso tuvo por objetivo obtener un modelo 2-D de las resistividades reales a partir de los datos de las resistividades aparentes obtenidas en campo. Esta técnica de inversión se basó en realizar un proceso iterativo con el fin de obtener un modelo de resistividades reales.

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

El proceso de inversión está basado en el teorema de inversión mediante la determinación de modelos directos de solución para los datos y a partir de estos modelos se realiza una solución mediante medidas indirectas y el proceso busca el modelo que se ajuste a los valores, obteniendo de esta manera una solución más precisa para las anomalías determinadas con las pseudo secciones.

5.1.2.7. Criterios para la interpretación de resultados

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 5.7 y Figura 5.3.

Tabla 5.7. Resistividad característica de distintos materiales

Material	Resistividad (Ohm.m)
Rocas ígneas y metamórficas	
Granito	$5x10^3$–10^6
Basalto	10^3 – 10^6
Esquistos	$6x10^2$ – $4x10^7$
Mármol	10^2 – $2,5x10^8$
Cuarcita	10^2 – $2,5x10^8$
Rocas sedimentarias	
Arenisca	8 – $4x10^3$
Pizarra	20 – $2x10^3$
Calizas	50 – $4x10^2$
Suelo y agua	
Arcillas	1 – 100
Aluvial	10 – 800
Agua subterránea (dulce)	10 – 100
Agua de mar	0,2
Compuestos químicos	
Hierro	$9,074x10^{-8}$
Cloruro potásico 0,01M	0,708
Cloruro sódico 0,01M	0,843
Ácido acético 0,01 M	6,13
Xyleno	$6,998\ x10^{16}$

Fuente: Loke (1999), en Ravelo (2007)

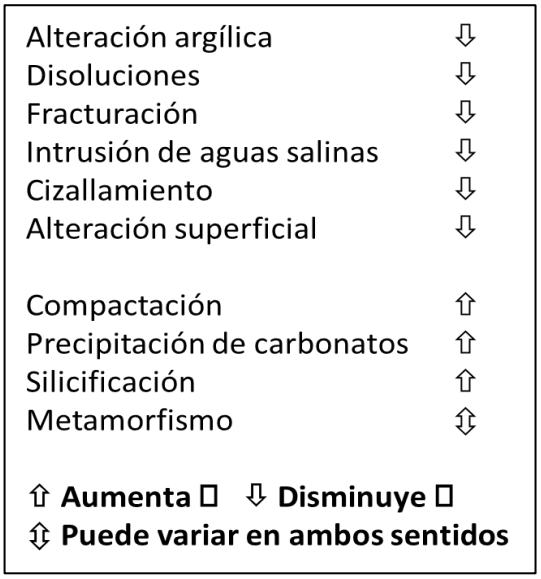


Figura 5.3. Factores geológicos que incrementan o disminuyen la resistividad
Fuente: Loke (1999), en Ravelo (2007)

También, mencionar que, los factores geológicos pueden incrementar o disminuir la resistividad de las rocas o materiales presentes en la zona de estudio (Figura 5.4).

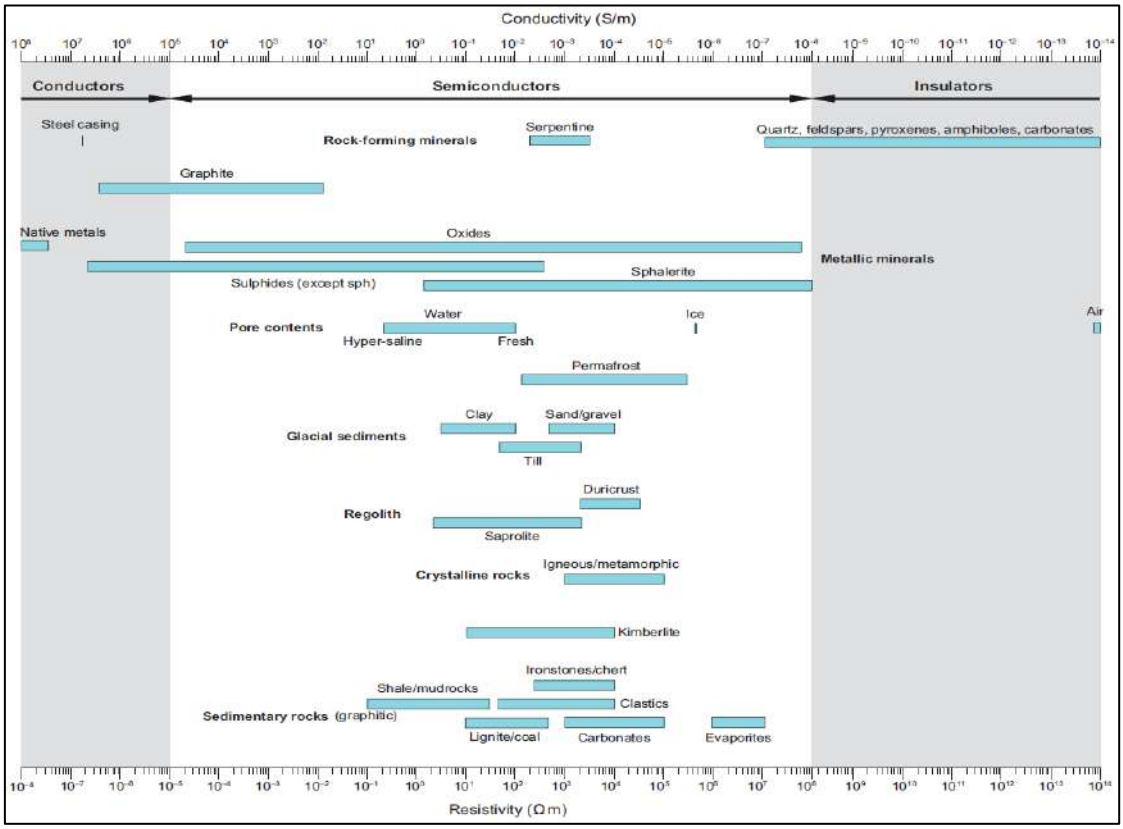


Figura 5.4. Resistividad y conductividad característica de distintos materiales
Fuente: Dentith y Mudge (2014)

5.2. Objetivo específico 2: Determinar la composición de los efluentes del Polvorín y los mecanismos de transporte

Para el cumplimiento de este objetivo se realizaron las siguientes actividades; caracterización de los efluentes mineros procedentes del polvorín y agua residual industrial contenida en los depósitos de aguas ácidas de la laguna Yanamate. Las metodologías de las actividades mencionadas se detallan a continuación.

5.2.1. Caracterización de efluentes y agua residual industrial

Se presenta la metodología empleada para la caracterización de los efluentes mineros, y agua residual industrial.

5.2.1.1. Protocolo utilizado para la evaluación

En la Tabla 5.8 se presenta el protocolo de referencia para la toma de muestras de agua residual industrial (efluente minero-metalúrgico), entendidas como aquellas «…originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, que incluye las provenientes de la actividad minera...»[12].

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

Tabla 5.8. Protocolos para el muestreo de efluentes mineros y agua residual industrial

Documento	Sección	País	Institución/autor	Año
Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua	Todo	Perú	Ministerio de Energía y Minas-Minem (Resolución Directoral N.º 004-94-EM/DGAA)	1994

5.2.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se establecieron los puntos de muestreo de efluentes mineros y agua residual industrial, según se detalla en la Tabla 5.9, para realizar la caracterización de acuerdo con el objetivo planteado; así mismo, se presenta la Figura 5.5 con la ubicación de los puntos de muestreo en el área evaluada.

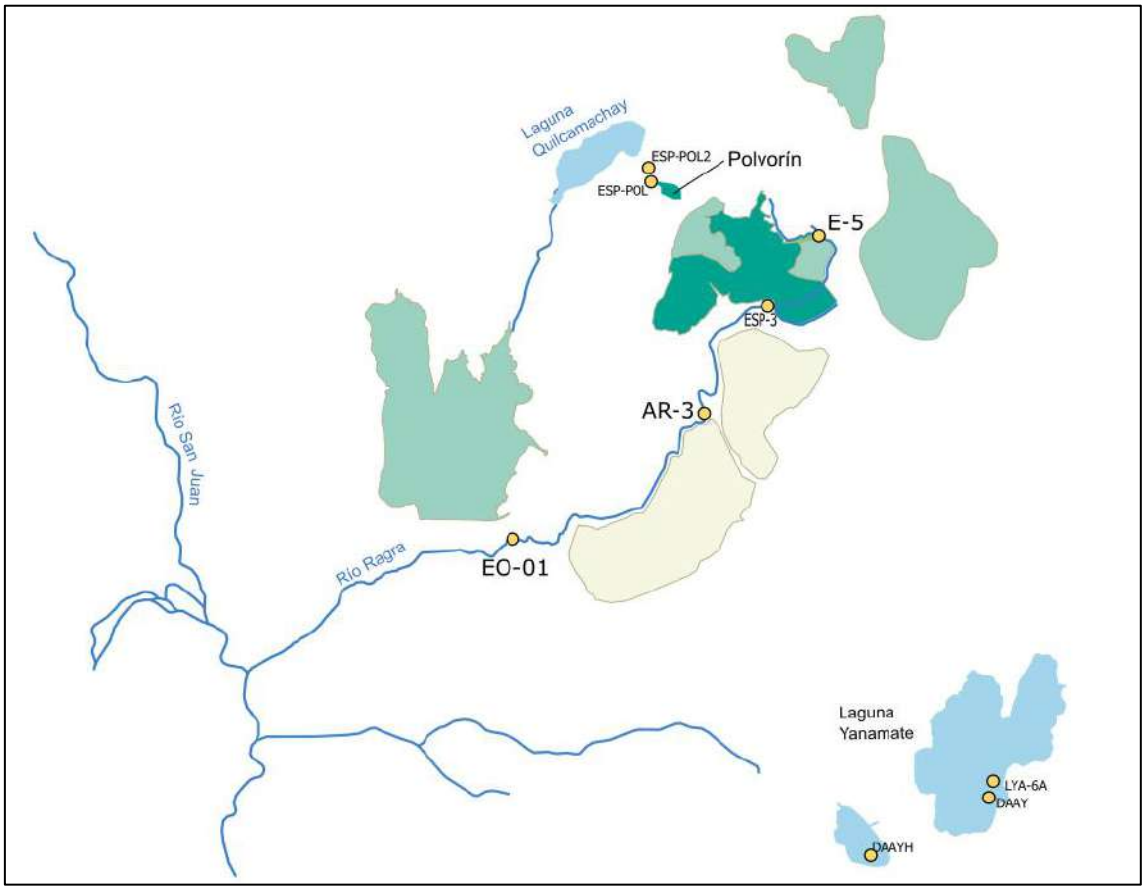


Figura 5.5. Ubicación de puntos de muestreo de efluentes mineros y agua residual industrial

Tabla 5.9. Ubicación de puntos de muestreo de efluente y agua residual industrial

N.°	Código	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	ARI	ARD	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
1	E-5 (204) [b]	361544	8819562	4310	X		Agua neutra de la mina subterránea [1]. Caja colectora de aguas neutras de mina subterránea, que descargan al río Ragra. Ubicado a aproximadamente a 170 metros del botadero Miraflores [2].
2	AR-3 [c]	360471	8818137	4284		X	Agua residual doméstica proveniente de la Planta de Óxidos [1]. Aguas residuales domésticas provenientes de la PTARD de Planta de Óxidos [2].
3	EO-01[a]	358912	8816972	4253	X		Vertimiento proveniente del espejo de agua del depósito de relaves Ocroyoc [1]

N.°	Código	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	ARI	ARD	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
4	ESP-3	361016	8818964	4286	X		Agua residual industrial que discurre por el canal de mampostería proveniente desde el depósito de desmonte Hanancocha y Rumiallana, y son derivados hacia la planta de neutralización. Punto ubicado aproximadamente a 300 metros antes de la planta de tratamiento de aguas ácidas y aproximadamente a 600 metros al sureste de la planta San Expedito (2).
5	ESP-POL	359884	8819954	4378	X		Descarga de agua que sale por medio de una tubería blanca en el muro del Polvorín, y que fluye por terreno natural aproximadamente 380 metros en dirección a la laguna Quilcamachay (2).
6	ESP-POL2	359894	8819985	4373	X		Descarga de agua proveniente de sistema de cajas de agua, que sale por medio de una tubería color negra del Polvorín y fluye en dirección lateral hacia la laguna Quilcamachay (2).
7	DAAYH	362509	8814445	4346	X		Agua residual. Lado este del Depósito de aguas ácidas Yanamate zona Huaygacocha(2).
8	DAAY	363533	8814947	4338	X		Agua residual. Lado norte del Depósito de aguas ácidas Yanamate, laguna superior. A 10 metros de LYA-6A(2).
9	LYA-6A	363541	8814979	4339	X		Agua residual. Lado suroeste del Depósito de aguas ácidas Yanamate, laguna inferior(2).

(a) Vertimiento otorgado por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Directoral N° 099-2019-ANA-DCERH.
(b) Estación de monitoreo aprobada en el Estudio de impacto ambiental excepcional (EIAE) del proyecto «Planta complementaria para el beneficio de minerales oxidados», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 236-2011-MEM/AAM. Vertimiento otorgado por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Directoral N° 115-2015-ANA-DGCRH.
(c) Estación de monitoreo considerada en el Informe Técnico Sustentatorio para la Mejora Tecnológica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de la UEA Cerro de Pasco aprobado mediante Resolución Directoral N° 324-2013-MEM/AAM. Vertimiento otorgado por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Directoral N° 055-2019-ANA-DCERH.
(1) Descripción obtenida del «Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Cerro de Pasco para la Implementación de Medidas Ambientales Complementarias, presentada por Empresa Administradora Cerro S.A.C y Óxidos de Pasco S.A.C.», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 027-2018-SENACE-JEF/DEAR.
(2) Descripción obtenida durante las acciones de campo realizadas del 6 al 13 de agosto de 2020 en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco; y del 6 al 24 de agosto de 2020 fuera del área de operaciones.
ARI: Agua residual industrial
ARD: Agua residuales domésticas

Según lo señalado en el Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco, aprobado mediante Resolución Directoral N.° 00097-2020-SENACE-PE/DEAR, las estaciones EO-01, E-204 (204) actualmente E-5 y AR-3 fueron aprobadas en el Estudio de Impacto Ambiental de Ampliación de las Concentradoras Paragsha de 8500 a 9500 TMD y San Expedito de 450 a 650 TMD (Resolución Directoral N.º 318-2008-MEM/AAM); así como, también en el Estudio de Impacto Ambiental Excepcional (EIAE) de la Planta complementaria para beneficiar minerales oxidados (Resolución Directoral N.º 236-2011-MEM/AAM).

También es importante mencionar que en los informes trimestrales presentados por la Unidad Minera las estaciones de monitoreo E-5 (antes E-204, 204) y EO-01 fueron comparadas con Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos para Actividades Minero - Metalúrgicas (D.S. N.° 011-1996-EM) y con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas (D.S. N.° 010-2010-MINAM); y la estación de monitoreo AR-3 fue comparada con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (D.S. N.° 003-2010-MINAM).

5.2.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados se presentan en la Tabla 5.10, los cuales fueron elegidos de acuerdo con la actividad desarrollada por el administrado. En todos los puntos de muestreo, se midieron *in situ* la temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y el registró de datos para el cálculo de caudal se realizó únicamente en los puntos de muestreo EO-01, ESP-POL, ESP-POL2.

Tabla 5.10. Parámetros evaluados y métodos de análisis para agua residual industrial

N.°	Parámetro	Unidad	Método de ensayo
1	Cianuro Total (1)	mg/L	Método Colorimétrico
2	Cianuro Wad (1)	mg/L	Método Colorimétrico
3	Acidez (2)	mg/L $CaCO_3$	Volumetría
4	Sólidos totales suspendidos (STS) (2)	mg/L	Gravimetría
5	Sólidos totales disueltos (STD) (2)	mg/L	Gravimetría
6	Carbonatos (1)	mg/L	Método de titulación
7	Bicarbonatos (1)	mg/L	Método de titulación
8	Cloruros (2)	mg/L	Cromatografía iónica
9	Nitratos (2)	mg/L N-NO_3	Cromatografía iónica
10	Nitritos (2)	mg/L N-NO_2	Cromatografía iónica
11	Sulfatos (2)	mg/L	Cromatografía iónica
12	Metales totales (2)	mg/L	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
13	Metales disueltos (2)	mg/L	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
14	Cromo hexavalente (2)	mg/L	espectrometría ultravioleta-visible (UV-VIS)

Fuente: Reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC (Anexo 5), N.° RRE-032-2020-STEC (Anexo 6) y reportes de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2) y N.° RC-046-2020-STEC (Anexo 3)
(1) Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.
(2) Laboratorio AGQ Perú S.A.C.

5.2.1.4. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para el posicionamiento de los puntos de muestreo, medición de parámetros *in situ*, medición de caudal y materiales se detallan en los reportes de campo N.° RC-031-2020-STEC y N.° RC-046-2020-STEC, que se presentan en los Anexos 2 y 3.

5.2.1.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la etapa de campo consideró la verificación y ajuste de los sensores de los equipos multiparámetro, antes de inicio de muestreo. Los resultados se detallan en los reportes de campo N.° RC-031-2020-STEC y N.° RC-046-2020-STEC, que se presentan en los Anexos 2 y 3.

Para el aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio se tomó un duplicado del parámetro metales totales. De acuerdo con el protocolo empleado «… el 10% de las muestras se prepara rutinariamente como duplicados».

5.2.1.6. Criterios de evaluación

Los resultados del muestreo de efluentes mineros E-5 y EO-1, declarados como aprobados en el Instrumento de Gestión Ambiental de Unidad Minera, se compararon con los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos, aprobados mediante Resolución Ministerial N.° 011-96-EM/VMM; y de manera referencial, se realizó la comparación con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-

MINAM. Los resultados del efluente doméstico AR-3 fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales (D.S. N.° 003-2010-MINAM). Las aguas residuales industriales de descarga procedentes del polvorín fueron comparadas con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM, en el caso de los puntos de muestreo ubicados en el depósito de aguas acidas Yanamate fueron comparados referencialmente con la misma norma.

5.3. Objetivo específico 3: Determinar la composición y disponibilidad de los elementos de preocupación ambiental de las formaciones rocosas aledañas a los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, tajo Raúl, Polvorín y laguna Yanamate.

El cumplimiento del presente objetivo se logró mediante una actividad de campo, la cual consistió en caracterizar geoquímica y mineralógicamente las formaciones rocosas aledañas al depósito de relaves Ocroyoc y a la planta de Óxidos.

5.3.1. Caracterización geológica local

La caracterización geológica consistió en la descripción litológicaestratigráfica de los principales afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios en el área de influencia de UF Cerro de Pasco.

5.3.1.1. Referencias utilizadas 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; los que se listan en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Referencias para la caracterización geológica

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100 000	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

Las referencias de la geología regional corresponden a los cuadrángulos de Cerro de Pasco 22k, realizado por R. Rodríguez *et al*. (2011) a escala 1:100 000 del INGEMMET. La referencia local corresponde a los estudios realizados por el administrado, complementado con la descripción realizado por el OEFA, así como también, de publicaciones nacionales e internacionales.

5.3.1.2. Ubicación de puntos para caracterización geológica

Los puntos de muestreo evaluados se ubicaron en el área de influencia del botadero Miraflores, Rumiallana y tajo Quicay. Las coordenadas y descripción de estos se presentan en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Ubicación de los puntos de control geológico

N.°	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Área de operaciones							
1	CG-OxP1	07/08/2020	10:00	357459	8818354	4370	Afloramiento de conglomerado ubicado a 100 metros hacia el oeste de depósito de relave Ocroyóc
2	CG-OxP2	07/08/2020	11:00	359582	8817572	4407	Afloramiento de conglomerado ubicado a 500 metros hacia el este de depósito de relave Ocroyóc
3	CG-OxP3	07/08/2020	12:00	360247	8818151	4395	Afloramiento rocoso ubicado a 100 metros al oeste de la planta de Oxidación Cerro Shuco y a 300 metros al norte de la relavera Quilacocha
4	CG-OxP4	11/08/2020	09:49	359755	8819684	4344	Afloramiento rocoso ubicado a 400 metros al este de laguna Quilcaymachay y a 300 metros al noroeste del botadero Hanancocha y Stock Pile
5	CG-OxP5	11/08/2020	12:00	363084	8819394	4407	Afloramiento rocoso con alteración sílica y brechas hidrotermales ubicados en el tajo Pilar y 150 metros al este del Tajo Raúl Rojas
6	CG-OxP6	12/08/2020	10:00	361210	8820726	4415	Afloramiento rocoso ubicado a 200 metros al oeste del botadero Rumiallana y al noroeste del Tajo Raúl
7	CG-OxP7	12/08/2020	12:00	359856	8820789	4437	Afloramiento rocoso porfirítica a un kilómetro al oeste del botadero Rumiallana y al noreste de la laguna Quilcay Machay
8	CG-OxP8	12/08/2020	14:00	360233	8820349	4312	Afloramiento rocoso ubicada a 500 metros de la estación eléctrica Paragsha y 700 metros al norte de la laguna Quilcay Machay
9	CG-OxP9	13/08/2020	15:30	361342	8820099	4325	Afloramiento rocoso ubicada a 500 metros al oeste del tajo Raúl y suroeste del botadero Rumiallana
10	CG-OxP10	13/08/2020	17:00	360639	8820070	4402	Afloramiento rocoso ubicada al noreste de la estación eléctrica Paragsha y al oeste del botadero Hanancocha
11	CG-OxP11	18/08/2020	09:30	365028	8816221	4367	Afloramiento de caliza ubicada a 200 metros al este del Depósito de aguas ácidas Yanamate
Fuera del área de operaciones							
12	CG-OxP12	18/08/2020	10:00	365035	8815703	4369	Depósitos cuaternarios ubicados a 180 al noreste del depósito de aguas acidas Yanamate

N.°	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
13	CG-OxP13	18/08/2020	10:30	363984	8815080	4349	Afloramiento de caliza ubicada a 500 metros al este del depósito de aguas acidas Yanamate
14	CG-OxP14	18/08/2020	11:00	363229	8814439	4346	Afloramiento de depósitos coluviales ubicados a 250 metros a este del depósito de aguas acidas Yanamate
15	CG-OxP15	18/08/2020	11:30	362587	8814568	4368	Afloramiento de depósitos lalustres ubicados en el depósito de aguas ácidas Yanamate
16	CG-OxP16	18/08/2020	12:00	363554	8814930	4383	Afloramiento de depósitos lacustres ubicadas en depósito de aguas ácidas Yanamate
17	CG-OxP17	18/08/2020	12:30	363432	8814956	4380	Afloramiento rocoso ubicada a 50 metros al sureste del depósito de aguas ácidas Yanamate
18	CG-OxP18	18/08/2020	13:00	363624	8814985	4382	Afloramiento de caliza ubicada a 20 metros al este del depósito de aguas ácidas Yanamate

5.3.1.3. Equipos utilizados

Se utilizó un equipo de Sistema de Posicionamiento Global (GPS), además de picota y comba de geólogo para la obtención de las muestras. Los equipos y materiales se detallan en el reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2)

5.3.1.4. Procesamiento de datos

Las descripciones macroscópicas en campo (tipo de roca e identificación de minerales primarios, secundarios y accesorios) de afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios se realizaron *in situ*. Estos datos fueron plasmados sobre un mapa topográfico a escala 1:100000, obteniéndose un mapa geológico.

Los datos de campo fueron plasmados y digitalizados en el software ArcGIS 10.3 para obtener el mapa geológico local. Además, se generaron secciones geológicas con la finalidad de entender el contexto geológico en profundidad del área de estudio.

5.3.2. Caracterización geoquímica de rocas

5.3.2.1. Referencias para la evaluación

Los estándares para el muestreo de rocas fueron tomados del servicio geológico del Perú y Chile; además, se consideraron las recomendaciones establecidas en referencias internacionales de Canadá y Chile, indicados en la Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Referencias para la caracterización geoquímica de roca

Documento	País	Institución/autor	Año
Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras	Chile	Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin)	2015
Manual de inventario de recursos minerales	Perú	Dirección de Recursos Minerales y Energéticos - Ingemmet	2013
Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials	Canadá	CANMET- *Mining and Mineral Sciences Laboratories*	2009

Documento	País	Institución/autor	Año
Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto	Chile	Angel Lambert B.	2006
Introducción al muestreo minero	Chile	Marco Antonio Alfaro Sironvalle	2002

5.3.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

En la Figura 5.6 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo de roca; además, en la Tabla 5.14 se presenta las coordenadas y ubicación de los puntos.

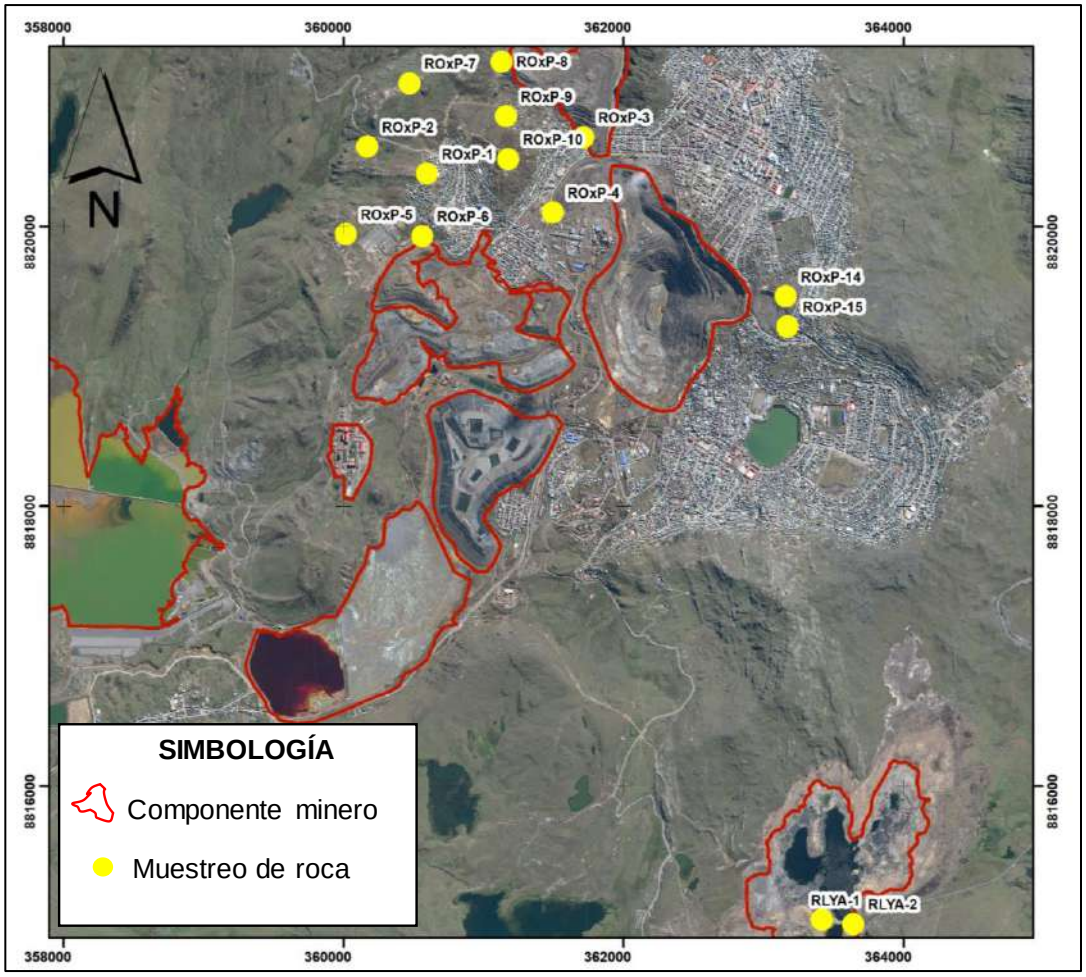


Figura 5.6. Distribución de puntos del muestreo de roca

Tabla 5.14. Ubicación de los puntos de muestreo de roca

N.°	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Área de operaciones							
1	ROxP-15	13/08/2020	08:40	363170	8819284	4424	Afloramiento rocoso, punto ubicado a ubicada a 200 metros al este del tajo Raúl Rojas
2	ROxP-14	13/08/2020	08:56	363157	8819499	4434	Afloramiento rocoso ubicado a 300 metros al este del tajo Raúl Rojas

N.°	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Fuera del área de operaciones							
3	ROxP-1	11/08/2020	15:00	360594	8820378	4432	Afloramiento rocoso ubicado a 450 metros al norte del botadero Hanancocha y a 500 metros ubicada al noreste de la subestación eléctrica
4	ROxP-10	11/08/2020	16:00	361172	8820482	4433	Afloramiento rocoso ubicado a 500 metros al suroeste del botadero Rumiallana y al noroeste del tajo Raúl
5	ROxP-5	11/08/2020	17:30	360015	8819944	4421	Afloramiento rocoso, punto ubicado a 150 oeste de la estación eléctrica y a 350 metros al noroeste del botadero Hanancocha
6	ROxP-2	12/08/2020	10:15	360166	8820570	4377	Afloramiento rocoso, punto ubicado a 700 metros al noroeste del botadero Hanancocha y a 1500 metros del botadero Rumiallana
7	ROxP-7	12/08/2020	11:30	360470	8821024	4462	Afloramiento rocoso, punto ubicado a 750 metros al oeste del botadero Rumiallana y al 1500 metros al norte del botadero Hanancocha
8	ROxP-8	12/08/2020	12:00	361125	8821179	4424	Afloramiento rocoso, punto ubicado a 80 metros al oeste del botadero Rumiallana
9	ROxP-9	12/08/2020	12:40	361157	8820788	4435	Afloramiento rocoso, punto ubicado a 400 metros al oeste del botadero Rumiallana
10	ROxP-3	12/08/2020	15:30	361711	8820637	4346	Afloramiento rocoso, punto ubicado a ubicado a 50 metros al noroeste del botadero Rumiallana
11	RLYA-1	20/08/2020	10:52	363414	8815043	4346	Muestra de depósito cuaternario lacustre ubicada en la laguna Yanamate
12	RLYA-2	20/08/2020	11:15	363638	8815013	4346	Muestra de afloramiento rocoso a 10 metros de la laguna Yanamate

5.3.2.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados y métodos de análisis en cada punto de muestreo de roca se presentan en las Tablas 5.15 y 5.16, respectivamente.

Tabla 5.15. Parámetros evaluados en puntos de muestreo de roca

Código OEFA	Parámetro				
	Metales totales (incluye mercurio total)	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	Microscopía Óptica
ROxP-1	x				x
ROxP-10	x				
ROxP-5	x	x	x	x	
ROxP-2	x	x	x	x	x
ROxP-7	x				
ROxP-8	x				

Código OEFA	Parámetro				
	Metales totales (incluye mercurio total)	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	Microscopía Óptica
ROxP-9	x	x	x	x	
ROxP-3	x				x
ROxP-15	x	x	x	x	x
ROxP-14	x	x	x	x	x
ROxP-6	x				
ROxP-4	x				

En la Tabla 5.16 se presentan los métodos de análisis de cada parámetro evaluado, según laboratorio acreditado.

Tabla 5.16. Método de análisis de cada parámetro evaluado

Tipo de muestra	Parámetros de laboratorio		Método de análisis
Componente minero	Metales totales		Metales por ICP-MS
	Shake flake aniones		Volumetría (cloruros), electrometría (fluoruros y nitratos), electrometría UV-VIS (fosfatos, nitritos y sulfatos)
	Shake flake metales		Metales por ICP-MS en extracto SFE
	Microscopía óptica		Análisis puntual químico de las fases presentes
	ABA	Azufre total	PER-9207. Análisis elemental
		Grado de eferversescencia	LME-8171. Calculado
		pH pasta Sobek Modificado	LME-8490. Electrometría
		Potencial de acidez máximo (MPA)	LME-8079. Calculado
		Potencial de neutralización neto Sobek Modificado (NNP)	LME-8080. Calculado
		Potencial de neutralización Sobek Modificado	LME-7497. Volumetría
		Relación (NP-MPA) Sobek Modificado	LME-8081. Calculado

5.3.2.4. Equipos y materiales utilizados

Se utilizó un equipo de posicionamiento remoto, además de picota y comba de geólogo para la obtención de las muestras. Los equipos y materiales se detallan en el reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2)

5.3.2.5. Procesamiento de datos

Para la caracterización de roca se realizó una descripción de cada uno en base al contenido de metales de las muestras. La evaluación de metales solubles se realizó según el análisis de *shake flake* (metales y aniones), los que se complementaron con los resultados de los ensayos mineralógicos.

Para el análisis geoquímico se procederá a dividir a los elementos mayores, menores y traza (Rivera, 2001), con el fin de visualizar los elementos de acuerdo con la abundancia terrestre:

- Elementos mayores: >1% (O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K y Ti)
- Elementos menores: 0,1% - 1,0% (Sb, As, Be, Cd, Hg, Ag, Se y Tl)
- Elementos traza: < 0,1% (Ba, B, Co, Cu, Cr, Sn, Sr, P, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, V y U)

5.3.2.6. Control de calidad

Para el aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio, se tienen el procedimiento de análisis (QA/QC) de las muestras ejecutadas que se adjuntan en los informes de ensayo a fin de garantizar la confiabilidad de los datos que se presentan.

5.4. Objetivo específico 4: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte y *stock piles* sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas del río Ragra y el agua subterránea, así como determinar la influencia del Polvorín a la laguna Quilcamachay

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó la caracterización de aguas superficiales, subterráneas, sedimento y comunidades hidrobiológicas asociadas. Las metodologías de las actividades mencionadas se detallan a continuación

5.4.1. Agua superficial

Se presenta la metodología empleada para la caracterización de la calidad de agua superficial.

5.4.1.1. Protocolos y guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5.17 se presenta los protocolos y guías de referencia para la toma de muestras de agua superficial.

Tabla 5.17. Protocolos y guías para el muestreo de agua superficial

Documento	Sección	País	Institución/autor	Año
Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA	Todo	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	2016
Manual de hidrometría	Todo	Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi)	2016
Guía de prácticas hidrológicas (OMM No.168)	Todo	Países que integran la OMM	Organización Meteorológica Mundial (OMM)	2011

5.4.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de agua superficial se establecieron, según se detalla en la Tabla 5.18, para realizar la caracterización de acuerdo con el objetivo planteado; así mismo, se presenta la Figura 5.7 para ver su ubicación en el área evaluada.

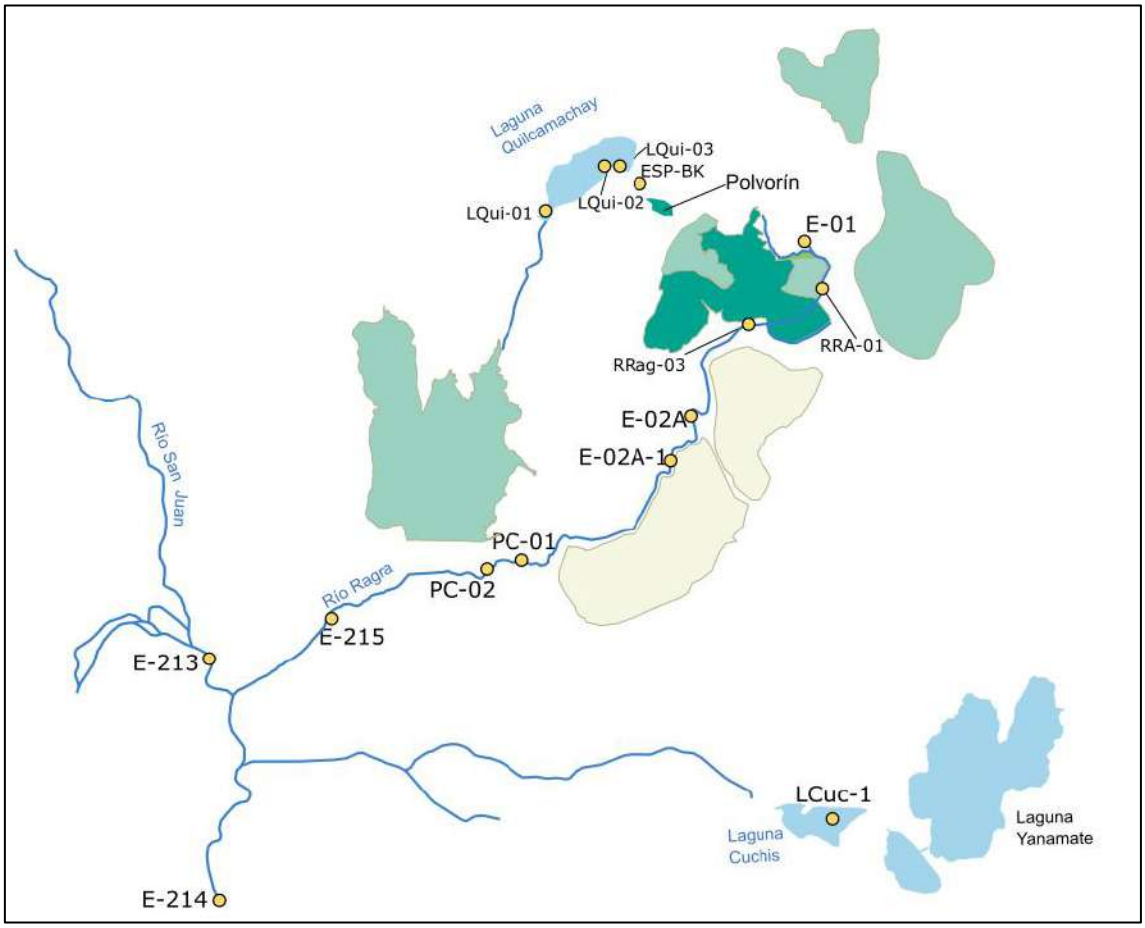


Figura 5.7. Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial

Tabla 5.18. Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial

N.°	Código	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
1	E-01[(c) (d)]	361411	8819658	4315	Agua residual del poblado de Paragsha [(1)]. Río Ragra, aguas de escorrentía y residuales de la población de Paragsha [(2)].
2	RRA-01	361543	8819268	4303	Aguas antes de llegar a la planta de neutralización [(1)]. Río Ragra, a 300 metros aguas abajo de E-05 y 100 metros al este de la planta San Expedito [(2)].
3	RRag-03	361028	8818970	4285	Rio Ragra, aproximadamente a 550 metros aguas abajo de RRA-01 y a aproximadamente 600 metros al sureste de la planta San Expedito [(2)].
4	E-2A [(b) (c) (d)]	360440	8818215	4283	Agua residual a 200 metros de la planta de neutralización (1). Río Ragra, aproximadamente a 100 metros aguas arriba del punto de vertimiento AR-03 y aproximadamente a 400 metros al oeste de la Planta de Óxidos [(2)].
5	E-02A-1 [(b)]	360306	8817923	4284	Río Ragra, a aproximadamente 350 metros aguas abajo del punto de vertimiento AR-03 y aproximadamente a 400 metros al suroeste de la Planta de Óxidos [(2)].
6	PC-01 [(a)]	359022	8816961	4252	Río Ragra, a aproximadamente 100 metros aguas arriba del punto de vertimiento EO-01 y aproximadamente a 500 metros al este del dique del depósito de relaves Ocroyoc [(2)].
7	PC-02 [(a)]	358804	8816968	4243	Río Ragra, a aproximadamente 100 metros aguas abajo del punto de vertimiento EO-01 y

N.°	Código	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
					aproximadamente a 400 metros al Este del dique del depósito de relaves Ocroyoc (2).
8	E-215	357392	8816543	4150	Ubicado cercano al puente de Yurajhuanca, antes de la unión con el río San Juan (1). Ubicado en el río Ragra, cercano al puente de Yurajhuanca, antes de la unión con el río San Juan (2).
9	E-213	356336	8816178	4195	Río San Juan, frente a la bomba Nº 4 de la estación de bombeo de Yurajhuanca
10	E-214	356762	8813387	4196	Río San Juan, a 2,5 km aguas abajo de la descarga del río Ragra, a la altura del puente Los Ángeles
11	LQui-03	359585	8820129	4311	Ubicado en el lado este de la laguna Quicamachay, frente a la descarga de las aguas provenientes del Polvorín.
12	LQui-02	359543	8820135	4196	Ubicado en la parte posterior derecha de la laguna Quilcamachay (2).
13	LQui-01	359193	8819954	4284	Ubicado en la parte interna de la presa de la laguna Quilcamachay (2).
14	LCuc-1	361839	8815035	4351	Lado este de la laguna Cuchis.
15	ESP-BK	359828	8820005	4359	Aguas del bofedal a 70 metros al norte de ESP-POL

(a) Puntos de control en el cuerpo receptor del vertimiento EO-01, autorizado por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Directoral N° 099-2019-ANA-DCERH.
(b) Puntos de control en el cuerpo receptor del vertimiento AR-3, autorizado por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Directoral N° 055-2019-ANA-DCERH.
(c) Estación de monitoreo aprobada en el Estudio de impacto ambiental (EIA) del proyecto «Ampliación de las plantas concentradoras Paragsha 8500 a 9500 t/d-San Expedito 450 a 650 TMD-U.E.A. Cerro de Pasco», aprobado mediante Resolución Directoral N. °318-2008-MEM/AAM.
(d) Estudio de impacto ambiental excepcional (EIAE) del proyecto «Planta complementaria para el beneficio de minerales oxidados», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 236-2011-MEM/AAM así como también en el Informe Técnico Sustentatorio para la Mejora Tecnológica del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de la UEA Cerro de Pasco aprobado mediante Resolución Directoral N° 324-2013-MEM/AAM.
(1) Descripción obtenida del «Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Cerro de Pasco para la Implementación de Medidas Ambientales Complementarias, presentada por Empresa Administradora Cerro S.A.C y Óxidos de Pasco S.A.C.», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 027-2018-SENACE-JEF/DEAR.
(2) Descripción obtenida durante las acciones de campo realizadas del 6 al 13 de agosto de 2020 en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco; y del 6 al 24 de agosto de 2020 fuera del área de operaciones.

5.4.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados se presentan en la Tabla 5.19, los cuales fueron elegidos de acuerdo con la actividad desarrollada por el administrado. En todos los puntos de muestreo, se midieron *in situ* la temperatura, pH, CE, OD y el registró de datos para el cálculo de caudal se realizó únicamente en los puntos de muestreo E-01, RRA-01, RRag-03, PC-01, PC-02, E-215, E-213 y ESP-BK.

Tabla 5.19. Parámetros evaluados y métodos de análisis para agua superficial

N.°	Parámetro	Unidad	Método de ensayo
1	Cianuro Total (1)	mg/L	Método Colorimétrico
2	Cianuro Wad (1)	mg/L	Método Colorimétrico
3	Acidez (2)	mg/L CaCO3	Volumetría
4	Sólidos totales suspendidos (STS) (2)	mg/L	Gravimetría
5	Sólidos totales disueltos (STD) (2)	mg/L	Gravimetría
6	Carbonatos (1)	mg/L	Método de titulación
7	Bicarbonatos (1)	mg/L	Método de titulación
8	Cloruros (2)	mg/L	Cromatografía iónica
9	Fluoruros (2)	mg/L	Cromatografía iónica
10	Nitratos (2)	mg/L $N\text{-}NO_3$	Cromatografía iónica

N.°	Parámetro	Unidad	Método de ensayo
11	Nitritos (2)	mg/L N-NO_2	Cromatografía iónica
12	Sulfatos (2)	mg/L	Cromatografía iónica
13	Metales totales (2)	mg/L	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
14	Metales disueltos (2)	mg/L	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
15	Cromo hexavalente (2)	mg/L	espectrometría ultravioleta-visible (UV-VIS)
16	Aceites y Grasas (IR) (1)	mg/L	Método de prueba estándar para dímero / trímero de quiorotrifluoroetileno (5-316) Determinación de Grasa y material no polar recuperables por infrarrojos
17	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) (1)	mg/L	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): prueba de DBO de 5 días
18	Demanda Química de Oxígeno (DQO) (1)	mg O_2/L	Método Colorimétrico
19	Coliformes Termotolerantes (1)	NMP/100mL	Técnica de Fermentación del Tubo Múltiple para miembros del grupo coliforme. Prueba de coliformes termotolerantes (EC Medio)

Fuente: Reportes de resultados N.° RRE-029-2020-STEC (Anexo 5) y N.° RRE-032-2020-STEC (Anexo 6), reportes de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2) y N.° RC-046-2020-STEC (Anexo 3)
(1) Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.
(2) Laboratorio AGQ Perú S.A.C.

5.4.1.4. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para el posicionamiento de los puntos de muestreo, medición de parámetros *in situ* y la medición de caudal, se detallan en los reportes de campo N.° RC-031-2020-STEC y N.° RC-046-2020-STEC, que se presentan en los Anexos 2 y 3.

5.4.1.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la etapa de campo, considero la verificación y ajuste de los sensores de los equipos multiparámetro. Todos los resultados fueron registrados en los formatos correspondientes y se presentan en los reportes de campo. Para el aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio, se tomó duplicado del parámetro metales totales.

5.4.1.6. Criterios de evaluación

Los puntos de muestreo E-01, RRA-01, RRag-03, E-02A, E-02A-1, PC-01, PC-02, E-215, están ubicados en el río Ragra, subcuenca del río San Juan, cuenca Mantaro; donde el segundo ha sido clasificado según la Resolución Jefatural N.° 056-2018-ANA, tal como se detalla en la Tabla 5.20. Los cuerpos de agua en el ámbito de estudio que no se encontraron en la resolución mencionada, y al ser tributarios del río San Juan, se clasificaron con la misma categoría otorgada a ese río. De igual forma los puntos de muestreo E-213 y E-214 están ubicados en el río San Juan, por lo cual se clasificaron de la misma forma.

Los puntos de muestreo LQui-03 LQui-02 LQui-01 y LCuc-1 ubicados en lagunas fueron clasificados como categoría 4 Conservación del Ambiente acuático y el punto de muestreo ESP-BK, que tributa a la Laguna Quilcamachay, le correspondió la misma categoría.

Tabla 5.20. Cuerpo de agua ubicados en el área de estudio

Curso de Agua				Unidad Hidrográfica	
Código Curso	Nombre	Categoría	Longitud (Km)	Código UH	Nombre
499698	Río San Juan	Categoría 3	37,96	4996	Cuenca Mantaro

La comparación de los resultados obtenidos del muestreo de agua superficial se realizó con los valores límite del Reglamento de los Títulos I, II, y III de la Ley General de Aguas, Clase III Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 261-69-AP, modificado por Decretos Supremos N.º 007-83-SA y N.º 003-2003-SA; así mismo, se realizó la comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales; aprobados según el Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM.

Los resultados obtenidos fueron comparados de manera referencial, con la norma vigente Estándares de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, subcategorías D1: riego de vegetales (agua para riego no restringido y agua para riego restringido) y D2: bebida de animales, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, estos resultados solo se presentan en los reportes de resultados N° RRE-029-2020-STEC y RRE-032-2020-STEC

5.4.2. Caracterización del Agua subterránea

5.4.2.1. Protocolos y guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5.21, se presenta los protocolos y guías de referencia para la toma de muestras de agua subterránea.

Tabla 5.21. Protocolos y guías usadas para el muestreo de agua subterránea

Documento	Sección	País	Institución/autor	Año
Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados- muestreo de aguas subterráneas	Todo	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	2016
National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (NFM). Book 9	Todo	Estados Unidos	U.S. Geological Survey	2015

5.4.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

En la segunda evaluación de campo, setiembre 2020, fueron evaluados dos puntos de muestreo de agua subterránea, los cuales se detallan en la Tabla 5.22; así mismo, se presenta la Figura 5.8 para ver su ubicación en el área evaluada.

Tabla 5.22. Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial

N.°	Código	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción [1]
		Este (m)	Norte (m)		
1	PZ-1	361012	8818966	4345	Piezómetro ubicado aproximadamente a 600 metros al sureste de la planta San Expedito. Al pie del stock pile Aeropuerto.
2	DH-18-02	361250	8819286	4341	Piezómetro ubicado en el acceso al botadero Miraflores y al este del stock pile 7B, aproximadamente a 400 metros al este de la planta San Expedito.

[1] Descripción obtenida durante las acciones de campo realizadas del 17 al 26 de setiembre de 2020 en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco.

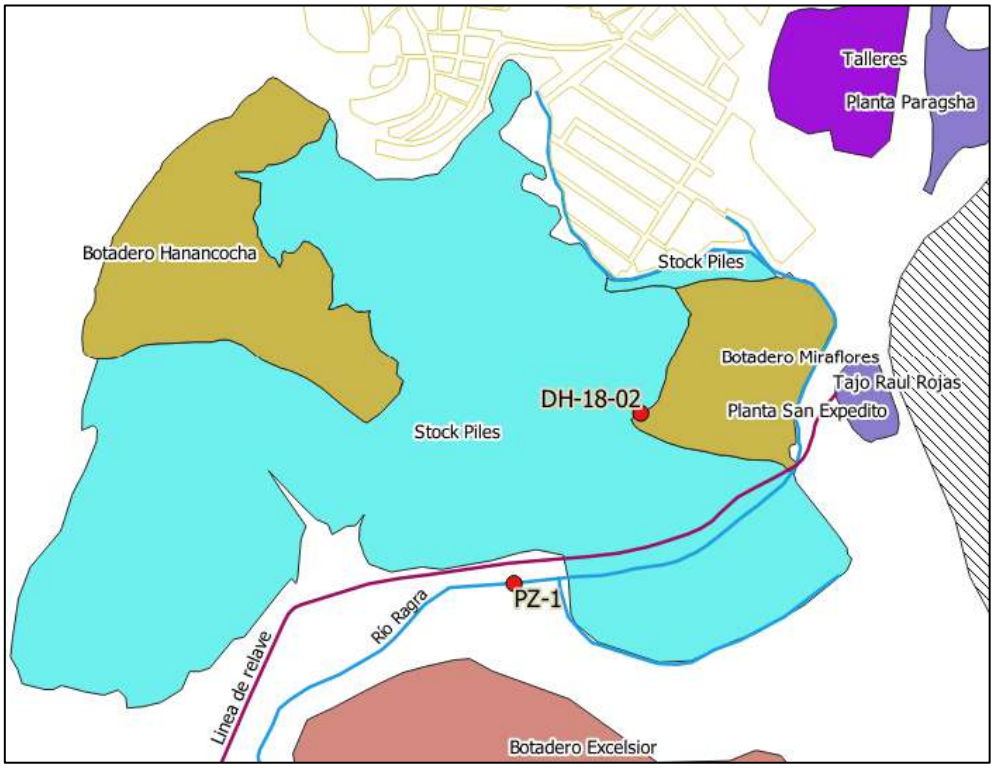


Figura 5.8. Ubicación de puntos de muestreo de agua subterránea

5.4.2.3. Parámetros y métodos de análisis en agua subterránea

Se han considerado los parámetros incluidos en la Tabla 5.23, los cuales fueron seleccionados en referencia a la actividad desarrollada por el administrado y parámetros de control para establecer relaciones hidrogeoquímicas. En todos los puntos de muestreo se midieron *in situ* la temperatura, pH, CE y OD.

Tabla 5.23. Parámetros evaluados y métodos de análisis en agua subterránea

N.°	Parámetro	Unidad	Método de ensayo
2	Cianuro Wad (1)	mg/L	Método Colorimétrico
5	Sólidos totales disueltos (STD) (2)	mg/L	Gravimetría
6	Carbonatos (1)	mg/L	Método de titulación
7	Bicarbonatos (1)	mg/L	Método de titulación
8	Cloruros (2)	mg/L	Cromatografía iónica
9	Fluoruros (2)	mg/L	Cromatografía iónica
10	Nitratos (2)	mg/L $N\text{-}NO_3$	Cromatografía iónica
11	Nitritos (2)	mg/L $N\text{-}NO_2$	Cromatografía iónica
12	Sulfatos (2)	mg/L	Cromatografía iónica
13	Metales totales (2)	mg/L	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
14	Metales disueltos (2)	mg/L	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)
15	Cromo hexavalente (2)	mg/L	espectrometría ultravioleta-visible (UV-VIS)

Fuente: Reportes de resultados N.° RRE-032-2020-STEC (Anexo 6) y N.° RC-046-2020-STEC (Anexo 3)
(1) Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.
(2) Laboratorio AGQ Perú S.A.C.

5.4.2.4. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para el posicionamiento de los puntos de muestreo, la medición de parámetros *in situ*, los certificados de calibración, la medición de nivel freático se detalla en el reporte de campo N.° RC-046-2020-STEC (Anexo 3).

5.4.2.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la etapa de campo, considero la verificación y ajuste de los sensores de los equipos multiparámetro. Todos los resultados fueron registrados en los formatos correspondientes y se presentan en los reportes de campo.

Para el aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio, se tomó un duplicado del parámetro metales totales.

5.4.2.6. Criterios de evaluación

La normativa peruana aún no cuenta con estándares de calidad ambiental para agua de subterránea, por lo cual se ha realizado la comparación referencial con los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, subcategorías riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM. Igualmente se realizó la comparación con la norma vigente, estándares nacionales de calidad ambiental para agua, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM estos últimos solo se presentan en el reporte de resultados N.° RRE-032-2020-STEC (Anexo 6).

Así mismo, la evaluación comprendió el análisis hidrogeoquímico, el cual permitió clasificar las aguas en función de la concentración de sales, según la predominancia de cationes y aniones. 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 pH son suficientes para el estudio de los principales procesos químicos en la mayoría de acuíferos y sistemas hidrológicos.

5.4.3. Sedimento

5.4.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las referencias para la toma de muestras de sedimento epicontinental, se detallan en la Tabla 5.24.

Tabla 5.24. Referencias para el muestreo de sedimento

Referencia	Sección/capítulo	País	Institución	Año
Métodos de recolección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos: Manual técnico.	Capítulos 3, 4 y 5	Estados Unidos	Agencia de Protección Ambiental (EPA)	2001

5.4.3.2. Ubicación de puntos

La red incluyó 10 puntos de muestreo de sedimento, 5 en ambientes lóticos y 5 en lénticos, los que se detallan en la Tabla 5.25 y Figura 5.9

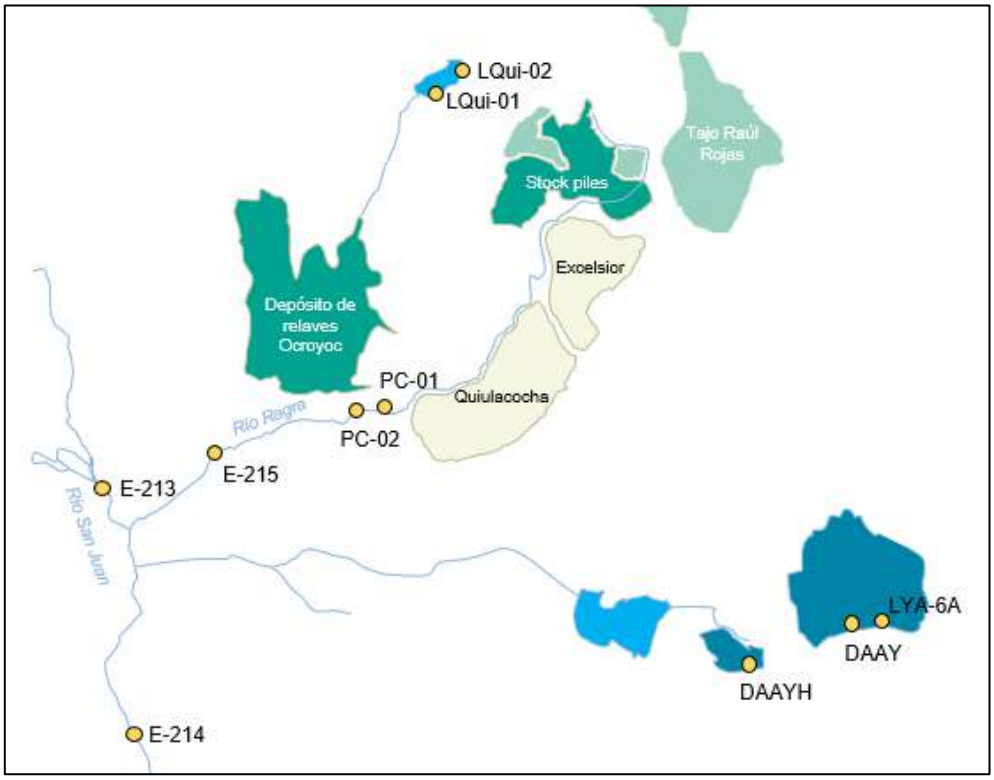


Figura 5.9. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento

Tabla 5.25. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento

N.°	Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
Ambiente lótico						
1	Río Ragra	PC-01	359022	8816961	4252	Río Ragra, a aproximadamente 100 metros aguas arriba del punto de vertimiento EO-01 y aproximadamente a 500 metros al este del dique del depósito de relaves Ocroyoc [1]
2	Río Ragra	PC-02	358804	8816968	4243	Río Ragra, a aproximadamente 100 metros aguas abajo del punto de vertimiento EO-01 y aproximadamente a 400 metros al Este del dique del depósito de relaves Ocroyoc [1]
3	Río Ragra	E-215	357392	8816543	4150	Ubicado cercano al puente de Yurajhuanca, antes de la unión con el río San Juan [1]. Ubicado en el río Ragra, cercano al puente de Yurajhuanca, antes de la unión con el río San Juan [2]
4	Río San Juan	E-214	356762	8813387	4196	Río San Juan, ubicado a 2,5 km aguas abajo de la descarga del efluente, a la altura del puente Los Ángeles [2]
5	Río San Juan	E-213	356336	8816178	4195	Río San Juan, frente a la bomba Nº 4 de la estación de bombeo de Yurajhuanca [2]
Ambiente léntico						
6	Laguna Quilcamachay	LQui-01	359193	8819954	4284	Ubicado en la parte interna de la presa de laguna Quilcamachay [2]
7	Laguna Quilcamachay	LQui-02	359543	8820135	4196	Ubicado en la parte posterior derecha de la laguna Quilcamachay [2]
8	Laguna Yanamate	DAAYH	362509	8814445	4346	Lado este del Depósito de aguas ácidas Yanamate zona Huaygacocha [2]

N.°	Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
9	Laguna Yanamate	DAAY	363533	8814947	4338	Lado norte del Depósito de aguas ácidas Yanamate, laguna superior. A 10 metros de LYA-6A (2).
10	Laguna Yanamate	LYA-6A	363541	8814979	4339	Lado suroeste del Depósito de aguas ácidas Yanamate, laguna inferior (2)

(1) Descripción obtenida de acuerdo con el «Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Cerro de Pasco para la Implementación de Medidas Ambientales Complementarias, presentada por Empresa Administradora Cerro S.A.C y Óxidos de Pasco S.A.C.», aprobado mediante Resolución Directoral N.° 027-2018-SENACE-JEF/DEAR.
(2) Descripción obtenida durante las acciones de campo realizadas del 6 al 13 de agosto de 2020 en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco. Y del 6 al 24 de agosto de 2020 fuera del área de operaciones.

5.4.3.3. Parámetros y métodos de análisis

Se ha considerado el parámetro metales totales, el cual fue seleccionado en referencia a la actividad desarrollada por el administrado.

Tabla 5.26. Parámetros evaluados y métodos de análisis para sedimento

N.°	Parámetro	Unidad	Método de análisis
1	Metales totales	mg/kg PS	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL
2	Mercurio total	mg/kg PS	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL
3	Cromo VI	mg/kg PS	PP-205 Rev.6 2018
4	Análisis granulométrico	%	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)
5	Extracciones secuenciales por la metodología de Tessier	mg/kg	EPA 6020 B Rev. 2. July. 2014
6	Análisis mineralógico por MEB	%	Microscopía electrónica de barrido

Fuente: Reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2) y reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC (Anexo 3)
PS: peso seco

Cabe precisar que los resultados de las extracciones secuenciales incluyeron 6 etapas:

- Extracción 1: Extraíbles
- Extracción 2: Intercambiables y adsorbidos
- Extracción 3: Ligado a carbonatos
- Extracción 4: Fácilmente reducibles y óxidos de hierro
- Extracción 5: Ligado a materia orgánica
- Extracción 6: Residual

5.4.3.4. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para el posicionamiento de los puntos de muestreo, además de los materiales se detallan en el reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC que se presenta en el Anexo 2.

5.4.3.5. Aseguramiento de la calidad

Para el aseguramiento de calidad en campo se siguió las recomendaciones del Manual Técnico «Métodos de recolección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos» de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

En cuanto al aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio, se tiene el procedimiento de análisis (QA/QC) de las muestras ejecutadas que se adjuntan en los informes de ensayo a fin de garantizar la confiabilidad de los datos que se presentan.

5.4.3.6. Criterios de evaluación

Los resultados de metales totales (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc) fueron comparados referencialmente con los valores de los estándares de la guía de calidad ambiental canadiense para sedimentos de aguas continentales (CEQG-SQG)[13] que define dos valores límites:

Valor guía provisional de calidad de sedimento (*Internal 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.

5.4.4. Comunidades hidrobiológicas

En esta sección se detalla la guía y protocolo utilizado, la ubicación de puntos de muestreo, los parámetros y métodos de análisis, los equipos utilizados, el aseguramiento de la calidad y el procesamiento de datos de la evaluación de las comunidades hidrobiológicas.

5.4.4.1. Guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5.27 se presentan las referencias que describen los criterios técnicos y los lineamientos generales para el muestreo de comunidades hidrobiológicas y el protocolo empleado para la estimación de la calidad ecológica de los ambientes acuáticos evaluados.

Tabla 5.27. Referencias para el muestreo de comunidades hidrobiológicas

Documento	Sección	País	Institución	Año
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos y necton (peces) en aguas continentales del Perú	Todas	Perú	Ministerio del Ambiente	2014
Protocolo Simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)	Todas	Ecuador	Universidad San Francisco de Quito y Universidad de Barcelona	2011

5.4.4.2. Ubicación de puntos de muestreo

El criterio de elección de los puntos de muestreo hidrobiológico fue el mismo utilizado para los puntos de muestreo de agua superficial; sin embargo, es necesario precisar que no en todos los puntos de muestreo de agua se realizó el muestreo hidrobiológico, principalmente, por las restricciones de hábitat que presentaron algunos ambientes acuáticos.

Se evaluaron un total de 10 puntos de muestreo en las quebradas, ríos y orillas de lagunas para comunidades hidrobiológicas. La ubicación y descripción de los puntos de muestreo de estas comunidades se presenta en la Tabla 5.28 y Figura 5.10.

[13] 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).

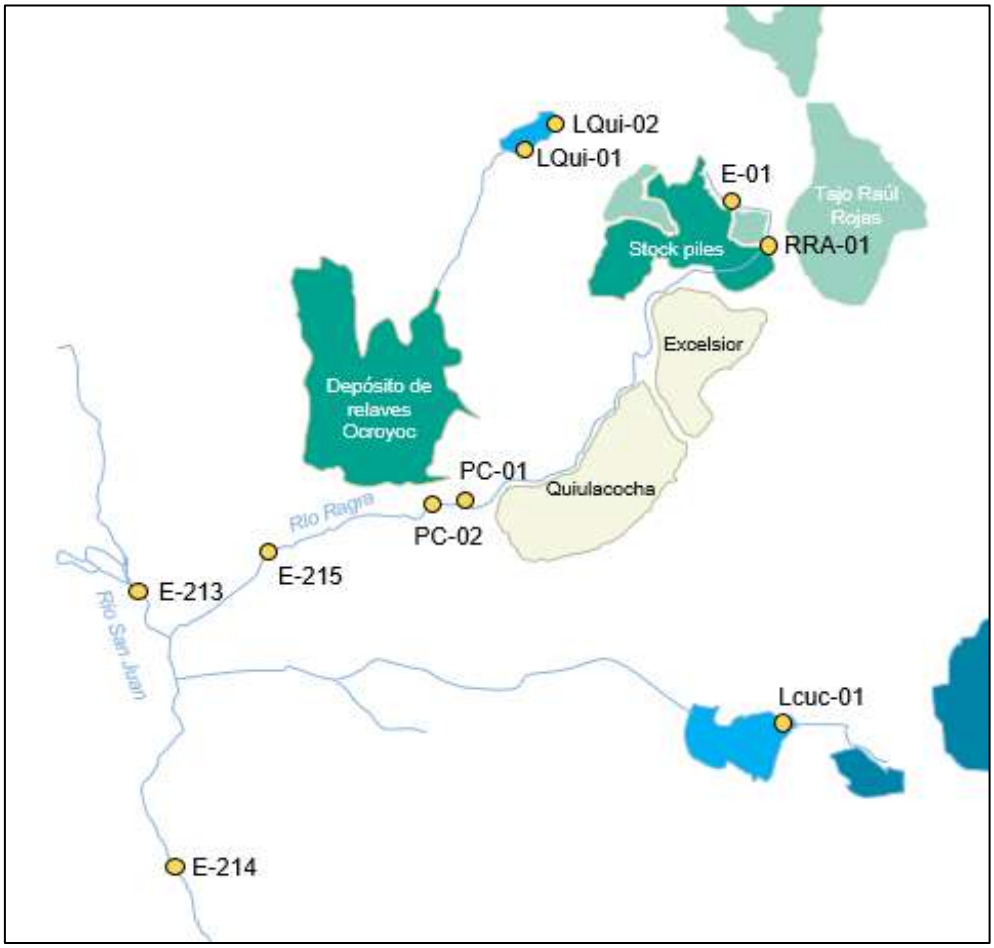


Figura 5.10. Distribución de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas

Tabla 5.28. Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas

N.°	Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
Ambientes lóticos						
1	Río Ragra	E-01	361411	8819658	4315	Agua residual del poblado de Paragsha [(1)]. Río Ragra, aguas de escorrentía y residuales de la población de Paragsha [(2)].
2	Río Ragra	RRA-01	361543	8819268	4303	Aguas antes de llegar a la planta de neutralización [(1)]. Río Ragra, a 300 metros aguas abajo de E05 y 100 metros al este de la planta San Expedito [(2)].
3	Río Ragra	PC-01	359022	8816961	4252	Río Ragra, a 100 metros aguas arriba del punto de vertimiento EO-01 y a 500 metros al Este del dique del depósito de relaves Ocroyoc [(2)].
4	Río Ragra	PC-02	358804	8816968	4243	Río Ragra, a 100 metros aguas abajo del punto de vertimiento EO-01 y 400 metros al Este del dique del depósito de relaves Ocroyoc [(2)].
5	Río Ragra	E-215	357392	8816543	4150	Ubicado cercano al puente de Yurajhuanca, antes de la unión con el río San Juan [(1)]. Ubicado en el río Ragra, cercano al puente de Yurajhuanca, antes de la unión con el río San Juan [(2)].

N.°	Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
6	Río San Juan	E-214	356762	8813387	4210	Río San Juan, ubicado a 2,5 km aguas abajo de la descarga del efluente, a la altura del puente Los Ángeles (2)
7	Río San Juan	E-213	356344	8816178	4193	Río San Juan, frente a la bomba Nº 4 de la estación de bombeo de Yurajhuanca (2)
Ambientes lénticos						
8	Laguna Quilcamachay	LQui-01	359193	8819954	4284	Ubicado en la parte interna de la presa de la laguna Quilcamachay (2).
9	Laguna Quilcamachay	LQui-02*	359543	8820135	4196	Ubicado en la parte posterior derecha de la laguna Quilcamachay (2).
10	Laguna Cuchi	LCuc-1	361839	8815035	4351	Laguna este de la laguna Cuchis (2).

(1) Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Cerro de Pasco para la «Implementación de Medidas Ambientales Complementarias, presentada por Empresa Administradora Cerro S.A.C y Óxidos de Pasco S.A.C.», aprobado mediante Resolución Directoral N. °027-2018-SENACE-JEF/DEAR.
(2) Descripción obtenida durante las acciones de campo realizadas del 6 al 13 de agosto de 2020 en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco. Y del 6 al 24 de agosto de 2020 fuera del área de operaciones.
(*) En el punto LQui-02 se produjo captura incidental de necton (peces) en la colecta de macroinvertebrados bentónicos, por lo que se optó por tomar las muestras de peces para identificación taxonómica.

5.4.4.3. Parámetros y métodos de análisis

Los análisis se realizaron por especialistas del OEFA en identificación taxonómica de fitoplancton, zooplancton, perifiton y macroinvertebrados bentónicos (Tabla 5.29).

Tabla 5.29. Parámetros evaluados y métodos de análisis de comunidades hidrobiológicas

N.°	Parámetro	Unidad	Método de ensayo de referencia
1	Fitoplancton	Org/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 10 200F y 10 900, 23rd Ed.
2	Zooplancton	Org/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 10 200F y 10 900, 23rd Ed.
3	Perifiton	Org/cm^2	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 10 300C y 10 900, 23rd Ed.
4	Macroinvertebrados bentónicos	Org/m^2	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 10500 C, 23rd Ed.

Fuente: Reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC

5.4.4.4. Equipos utilizados

Para la ubicación de los puntos de muestreo se utilizó un GPS, en cuanto a la colecta de las muestras de fitoplancton y zooplancton se empleó una red de plancton, para la colecta de perifiton se utilizó un cepillo y una espátula, y la colecta de muestras de macroinvertebrados bentónicos se realizó con una red Surber de 500 micras de abertura de malla y 0,09 m^2 de área. Los equipos utilizados se presentan en mayor detalle en el reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2).

5.4.4.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad con respecto a las actividades en campo tuvo en cuenta lo descrito en el manual «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos y necton (peces) en aguas continentales del Perú». El análisis de las muestras obedeció los criterios de los especialistas taxónomos de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA.

5.4.4.6. Procesamiento de datos

Para el análisis de los resultados en la evaluación de comunidades hidrobiológicas, se procedió a caracterizar las comunidades del plancton (fitoplancton y zooplancton), perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados bentónicos, teniendo en cuenta lo presentado a continuación.

Composición, riqueza y abundancia

Se realizó la clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia y especie) de las especies del plancton, perifiton y macroinvertebrados bentónicos registrados en cada una de las muestras del área de estudio.

La composición, riqueza y abundancia de plancton y perifiton fue analizada y expresada gráficamente teniendo como base la categoría taxonómica phylum. En el caso de macroinvertebrados bentónicos, se tuvo como base la categoría taxonómica orden. La identificación taxonómica alcanzó idealmente el nivel de especie; en los casos donde no fue posible, se llegó al menor nivel taxonómico posible.

Es necesario indicar que los resultados de abundancia se analizaron en base a la densidad de la muestra, representándose para plancton en organismos/L, perifiton en organismos/cm^2 y para macroinvertebrados bentónicos en organismos/m^2.

Diversidad alfa

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.

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

$$N1 = exp(H') \tag{5.1}$$

Donde:

H'= Índice de Shannon-Wiener.

Por otro lado, se usó la variable N2 como la modificación del índice de Simpson (D) (Jost, 2006), donde su fórmula se representa mediante la ecuación 5.2.

$$N2 = \frac{1}{Índice\ de\ Simpson} \tag{5.2}$$

Por último, 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 se encuentra entre 0 y 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 indica en la ecuación 5.3.

$$J' = \frac{H'}{H'max} \tag{5.3}$$

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

Calidad ecológica

Tomando como base metodológica el «Protocolo Simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)» (Encalada *et al*., 2011) se realizó la evaluación de calidad ecológica. Para su aplicación, se seleccionó un tramo entre 50 y 100 m de longitud en el sitio de muestreo, en el cual se valoraron algunas características abióticas y bióticas del ecosistema según el siguiente detalle:

- Características hidromorfológicas: incluyó observaciones de vegetación de ribera, paisaje próximo al río y algunos elementos del canal del río como su forma y sustrato; con esta información se estimó la calidad hidromorfológica.
- Organismos que habitan el agua: se basa en determinar la composición de familias de macroinvertebrados bentónicos y su valor de tolerancia en cada punto de muestreo; con esta información se estimó la calidad biológica.

La calidad hidromorfológica se estimó a partir de la observación de 8 características, las cuales son listadas a continuación.

- Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
- Continuidad de la ribera
- Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje
- Presencia de basuras y escombros
- Naturalidad del canal fluvial
- Composición del sustrato
- Regímenes de velocidad y profundidad del río
- Elementos de heterogeneidad

El criterio de asignación del puntaje respectivo para cada característica es detallado en el protocolo CERA-S. Una vez obtenidos las puntuaciones para cada característica hidromorfológica se procedió a obtener la suma de todas ellas, con la finalidad de tener un solo valor por punto de muestreo. Finalmente, para obtener la calidad hidromorfológica, dicho valor fue comparado con la escala de la Tabla 5.30.

Tabla 5.30. Calidad hidromorfológica de ríos altoandinos

Clase	Puntuación	Calidad Hidromorfológica
1	> 35	Excelente
2	29 - 35	Buena
3	21 - 28	Moderada
4	11 - 20	Mala
5	0 - 10	Pésima

Fuente: Extraído de Encalada *et al.* (2011)

La calidad biológica del agua se estimó a través del índice biótico andino o ABI (Ríos-Touma *et al.*, 2014), el cual fue desarrollado para evaluar la calidad del agua de ríos altoandinos, ubicados a más de 2000 m de altitud. Para hallar el valor de este índice, se sumaron los valores de tolerancia (0-10) para cada una de las familias presentes en una muestra, obteniéndose un valor final que se corresponderá con una categoría de calidad

biológica (Tabla 5.31). El valor asignado a cada familia es directamente proporcional a su sensibilidad, correspondiendo los valores más bajos a las familias más tolerantes y los más altos a los más sensibles.

Tabla 5.31. 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: Extraído de 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 2 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 5.32).

Tabla 5.32. 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	Moderada	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Pésima	Moderada	Mala	Mala	Pésima	Pésima

Fuente: Extraído de Encalada *et al*. (2011)

Análisis multivariado

Diversidad beta

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

Para determinar el índice de Bray Curtis se empleó la ecuación 5.4.

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

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 el análisis de los valores de similitud de manera visual se procedió a la elaboración de dendrogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal y Michener, 1958; Crisci y López, 1983) utilizando el programa estadístico PAST (Hammer et al., 2001).

5.5. Objetivo específico 5: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y polvorín sobre el suelo, aire de los asentamientos humanos José Carlos Mariátegui y Paragsha.

5.5.1. Aire

Se presenta las referencias utilizadas, la ubicación del punto de monitoreo, los parámetros evaluados y métodos de análisis, los equipos utilizados, el aseguramiento de la calidad, los criterios de comparación y el procesamiento de datos del monitoreo de calidad del aire, realizado del 6 al 16 de agosto de 2020.

5.5.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

El monitoreo de calidad de aire se enmarcó en la referencia que se detalla en la Tabla 5.33. En esa referencia se establecen los criterios técnicos y lineamientos generales a aplicarse en las actividades de monitoreo de la calidad del aire.

Tabla 5.33. Referencias para el monitoreo de calidad del aire

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Protocolo de monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos	Secciones 7, 8, 9, 10, 11, 13 y 14	Perú	Ministerio de Salud – Dirección General de Salud Ambiental[14] (Digesa)	Resolución Directoral N.º 1404-2005-DIGESA	2005

5.5.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

La evaluación de la calidad del aire se realizó en la estación identificada con código CA-SB-01. La ubicación y descripción de la estación se presentan la Figura 5.11 y Tabla 5.34.

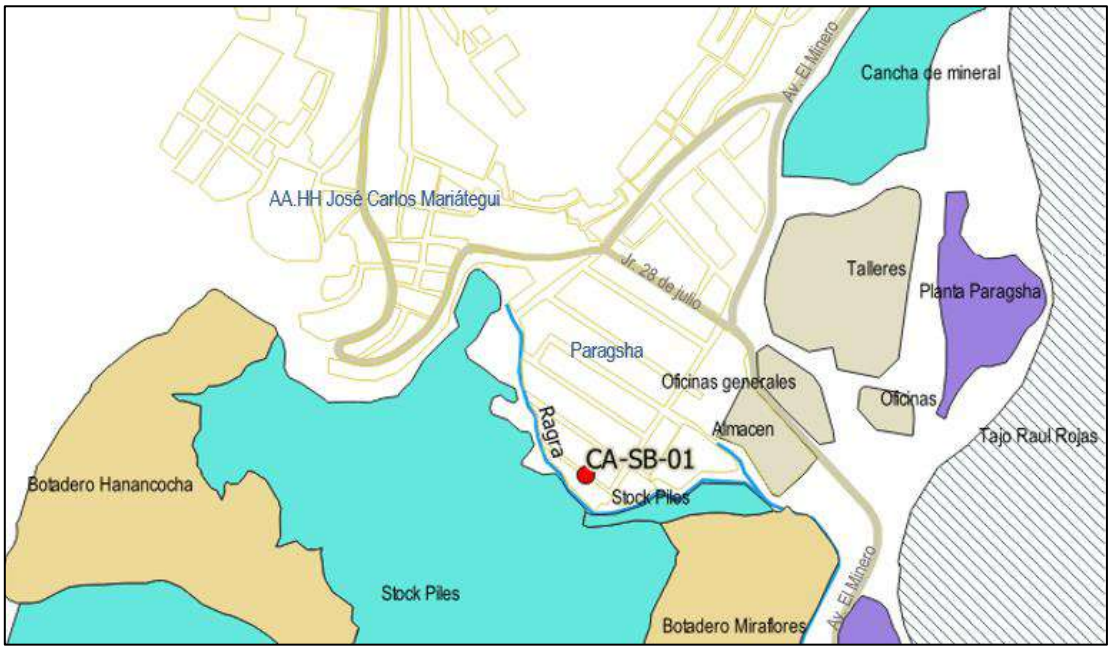


Figura 5.11. Ubicación del punto de muestreo de aire

14 Actualmente Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria

Tabla 5.34. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de aire

N.°	Lugar	Punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Parque Infantil Ecológico del centro poblado Paragsha	CA-SB-01	361188	8819605	4314	Al costado del Parque Infantil Ecológico del centro poblado Paragsha. Aproximadamente a 100 m de los *Stock Piles* de las unidades fiscalizables Planta de Óxidos y Cerro de Pasco.

5.5.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros considerados para la evaluación de la calidad del aire fueron seleccionados en función de la actividad productiva de la zona y los impactos que puedan ocasionar en aquellos parámetros cuantificables (Tabla 5-35).

T Tabla 5.35. Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para aire

N.°	Parámetro	Unidad	Métodos de análisis	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Material particulado menor a 10 micras (PM_{10})	µg/muestra	NTP 900.030 EPA IO-3.1 1999	ALS LS Perú S.A.C.
2	Metales en filtros PM_{10}	µg /muestra	EPA IO-3.5 1999	
3	Meteorológicos*	No aplica	No aplica	No aplica
4	Análisis mineralógico*	%	Microscopía electrónica	BIZALAB S.A.C.

Fuente: Reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC.
*: Parámetros no acreditados ante el Inacal, el registro meteorológico de velocidad de viento, dirección del viento, temperatura ambiental, presión barométrica y humedad relativa se realizó durante todo el período de monitoreo de la calidad del aire.

5.5.1.4. Equipos utilizados

Los equipos fueron instalados considerando los criterios técnicos del protocolo, manteniendo las distancias adecuadas a obstáculos, asimismo la altura adecuada para el ingreso de la muestra de aire al muestreador y la altura adecuada para la medición de los parámetros meteorológicos, para más información revisar el reporte de campo RC-031-2020-STEC (Anexo 2)

5.5.1.5. Aseguramiento de la calidad

Para el aseguramiento y control de la calidad (AC/CC) se consideró un blanco de campo para el parámetro metales totales en filtro PM_{10}, así mismo, se empleó equipos calibrados en el muestreo y se realizó la verificación del flujo de muestreo en campo, para más información revisar los Anexos D y G del reporte de campo RC-031-2020-STEC (Anexo 2).

5.5.1.6. Procesamiento de datos

5.5.1.6.1. Procesamiento de datos meteorológicos y obtención de rosa de viento

El procesamiento de los datos meteorológicos no requirió ninguna fórmula, pero se verificó el registro y la coherencia de los datos, para las variables temperatura, presión atmosférica, humedad relativa y velocidad y dirección de viento, así como también que los resultados fueran acordes a las condiciones climáticas representativas del lugar de análisis.

Para obtener la rosa de viento, se utilizó el programa WeatherLink 6.0.3

5.5.1.6.2. Determinación de la concentración de material particulado y metales

Para determinar la concentración de material particulado PM_{10} y metales, se realizaron los cálculos correspondientes, utilizando la metodología de la US EPA 40 CFR, Apéndice J Parte 50 - Método de Referencia para la determinación de material particulado PM_{10}. Para los cálculos se utilizaron los pesos de los filtros reportados por los laboratorios ALS LS Perú S.A.C., y los parámetros de presión y temperatura del lugar registrados por la estación meteorológica.

Con respecto a la determinación de las concentraciones de PM_{10} y metales en PM_{10}, se realizaron los siguientes cálculos:

A. Determinación de las concentraciones de PM_{10}

Primero, se procedió al cálculo del flujo promedio del periodo de muestreo corregido a condiciones estándar, el cual se obtuvo de la ecuación 5.5:

$$Q_{std} = Q_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}}\right)\left(\frac{T_{std}}{P_{std}}\right) \quad (5.5)$$

Donde:
Q_{std} = Flujo promedio (m^3/min) a condiciones de referencia indicadas (i.e. 25 °C y 101,3 kPa)
Q_a = Flujo promedio (m^3/min) a condiciones ambientales
P_{av} = Presión barométrica promedio durante el período de muestreo o presión barométrica promedio para el lugar de muestreo (KPa o mmHg)
T_{av} = Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo o temperatura ambiente estacional promedio para el lugar de muestreo (K)
T_{std} = Temperatura estándar (i.e. 298 K)
P_{std} = Presión estándar (i.e. 101,3 kPa o 760 mmHg)

Una vez calculado el flujo promedio, se procedió a calcular el volumen total de aire muestreado, el cual se obtuvo de la ecuación 5.6:

$$V_{std} = (Q_{std})(t) \quad (5.6)$$

Donde:
V_{std} = Total de aire muestreado en unidades patrón de volumen (m3).
Q_{std} = Velocidad del flujo del volumen estándar
t = Tiempo de muestreo (min)

Luego, se procedió al cálculo de la concentración de material particulado, sobre la base de la diferencia de pesos (muestra/filtro) reportados por el laboratorio y los parámetros meteorológicos de presión y temperatura registrados en el lugar de muestreo, de acuerdo con la ecuación 5.7:

$$C_{PM_{10}} = (W_f - W_i)/V_{std} \quad (5.7)$$

Donde:
C_{PM10} = Concentración de PM_{10} (µg/m^3)
W_f - W_i = Diferencia de pesos final e inicial del filtro (µg)

V_{std} = Volumen de aire muestreado a condiciones estándar (m^3)[15]

B. Determinación de las concentraciones de metales totales en PM_{10}

De manera análoga, se determinó las concentraciones de metales totales en PM_{10} en el punto de monitoreo evaluado, de acuerdo con la ecuación 5.8:

$$C_{Metal} = W_{metal}/V_{std} \quad (5.8)$$

Donde:
C_{metal} = Concentración del metal ($\mu g/m^3$)
W_{metal} = Peso del metal en microgramos (μg)
V_{std} = Volumen total de aire muestreado a condiciones estándar en (m^3)

Para el cálculo del volumen de aire muestreado de los metales en PM_{10} se empleó la temperatura de 10°C como temperatura estándar, para su comparación con la norma de referencia Ontrario's Ambient Air Quality Criteria Standards (AAQC) - abril 2012 (Anexo C.5, Tablas C.5.1 Estimación de volumen muestreado a condición de 10°C de temperatura, del reporte de resultados N.° RRE-032-2020-STEC).

5.5.1.7. Criterios de evaluación

Las concentraciones obtenidas de PM_{10} fueron comparados con el valor establecido en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 074-2001-PCM; mientras que, los resultados de arsénico en PM_{10} fueron comparados con el valor establecido en los Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas, aprobado mediante Resolución Ministerial N.° 315-96-EM/VMM; los cuales están indicados en el IGA del administrado[16].

Los resultados obtenidos para metales en PM_{10}, se compararon de manera referencial con el valor para 24 horas establecido en los Criterios de Calidad Ambiental del Aire de Ontario – Canadá (AAQC)[17], debido a que la normativa nacional para metales solo considera al plomo con una metodología de medición mensual y anual, más no diaria. En el caso de los demás metales, los resultados también fueron comparados referencialmente con los AAQC.

5.5.2. Polvo sedimentable

5.5.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

La estimación del polvo sedimentable siguió las recomendaciones de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), donde se desarrollan pautas para la colecta del polvo sedimentable incluyendo la elaboración de sus sistemas receptores y los propios receptores de PVC para polvo sedimentable, así como los equipos utilizados en su colecta (Tabla 5.36).

15 Condición estándar: 1 atmósfera de presión y 25 °C de temperatura para la medición de volúmenes de los gases.

16 Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la unidad minera Cerro de Pasco para la implementación de medidas ambientales compementarias, presentadas por Empresa Administradora Cerro S.A.C. y Óxidos de Pasco S.A.C., aprobado mediante Resolución Directoral N.° 027-2018SENACE-JEF/DEAR, con fecha 13 de febrero 2018.

17 *Ontario's Ambient Air Quality Criteria* (versión de abril 2012) fueron desarrollados por el Ministerio del Ambiente de Ontario y en ellos se establecen estándares para un gran número de agentes tóxicos del aire para los cuales se ha utilizado volúmenes de gases correspondiéndose a una temperatura de 10 °C y 1 atmósfera de presión. El AAQC se define como la concentración deseable de un contaminante en el aire, basado en la protección contra los efectos adversos a la salud y el ambiente. El término "ambiente" es usado para reflejar la calidad del aire en general, independientemente de la ubicación o la fuente de un contaminante.

Tabla 5.36. Referencia empleada para la estimación de polvo sedimentable

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Standard test method for collection and measurement of dustfall (Settleable particulate matter)	Todo el documento	Estados Unidos	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM)	ASTM D1739 - 98	1998 (Reaprobado 2010)

5.5.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

En el área de estudio fueron instalados 20 sistemas receptores de polvo sedimentable[18] en siete puntos de muestreo, una en el área de operaciones y seis fuera del área de operaciones, cerca o frente a un componente minero como botaderos, cancha de mineral o planta, por un periodo aproximado de 30 ± 2 días. La ubicación y descripción de los puntos de muestreo se presentan en la Figura 5.12 y Tabla 5.37.

Los sistemas receptores de polvo sedimentable se ubicaron a tres distancias: 5 m, 15 m y 60 m perpendiculares a un componente minero o cercanos a ellos en caso fueran ubicados fuera del área de operaciones.

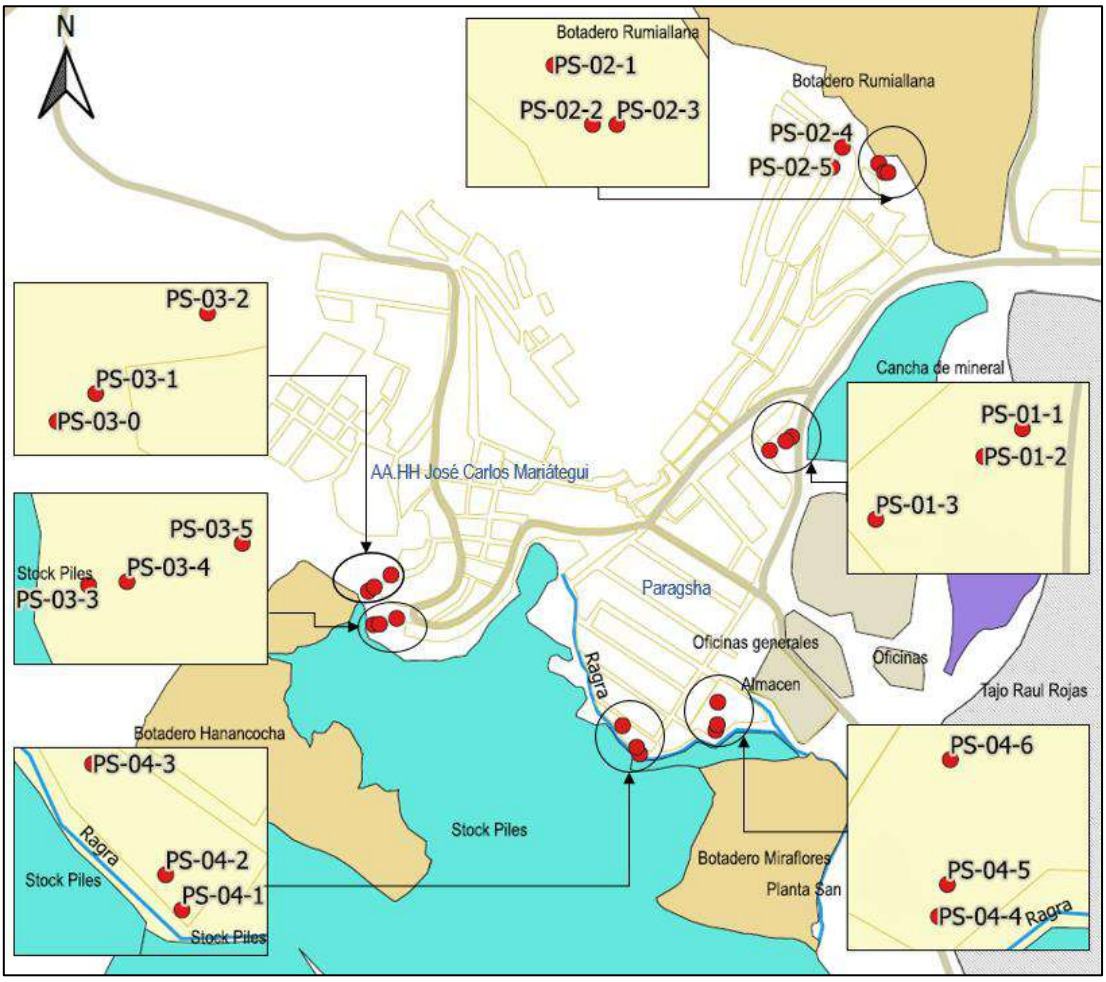


Figura 5.12. Ubicación del punto de muestreo de polvo sedimentable y componentes evaluados

18 El sistema receptor de polvo sedimentable consta de tres partes: Soporte de acero (incluye además 3 cables de acero, 6 tensores y 3 estacas de fierro), base del receptor de acero y receptor de PVC (el que se envía a laboratorio tapado con el contenido del polvo colectado en su interior).

Tabla 5.37. Ubicación de los puntos de monitoreo de polvo sedimentable

N.°	Lugar	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m)	Descripción[1]
			Este (m)	Norte (m)		
Área de operaciones						
1	Área de operaciones	PS-03-3	360693	8819797	4352	Ubicado a aproximadamente 5 metros del botadero Hanancocha, colindante al AAHH José Carlos Mariátegui Sector I.
2		PS-03-4	360704	8819798	4357	Ubicado a aproximadamente 20 metros del botadero Hanancocha, colindante al AAHH José Carlos Mariátegui Sector I.
3		PS-03-5	360737	8819809	4358	Ubicado a aproximadamente 60 metros del botadero Hanancocha, colindante al AAHH José Carlos Mariátegui Sector I.
Fuera del área de operaciones						
4	Asentamiento Humano José Carlos Mariátegui	PS-03-0	360683	8819861	4360	Ubicado a aproximadamente 5 metros del botadero Hanancocha, colindante al AAHH José Carlos Mariátegui Sector I.
5		PS-03-1	360694	8819869	4369	Ubicado a aproximadamente 20 metros del botadero Hanancocha, colindante al AAHH José Carlos Mariátegui Sector I.
6		PS-03-2	360726	8819892	4365	Ubicado a aproximadamente 60 metros del botadero Hanancocha, colindante al AAHH José Carlos Mariátegui Sector I.
7	Planta Paragsha	PS-01-1	361491	8820156	4315	Ubicados frente a la cancha de minerales planta Paragsha
8		PS-01-2	361480	8820148	4316	
9		PS-01-3	361449	8820130	4318	
10	Asentamiento Humano José Carlos Mariátegui	PS-02-1	361657	8820678	4356	Ubicados en las inmediaciones de la casa del señor Diego Vicencio y cerca al botadero Rumillana
11		PS-02-2	361668	8820661	4351	
12		PS-02-3	361675	8820661	4347	
13	Asentamiento Humano José Carlos Mariátegui	PS-02-4	361588	8820709	4346	Ubicados en la parte del Consorcio Corasma SCRL (pasaje Ricardo Palma) y cerca del botadero Rumillana
14		PS-02-5	361568	8820671	4351	
15	Parque Infantil Ecológico	PS-04-1	361201	8819550	4315	Ubicados dentro del Parque Infantil Ecológico del centro poblado Paragsha
16		PS-04-2	361195	8819563	4315	
17		PS-04-3	361168	8819604	4316	
18	Estadio del centro poblado Paragsha	PS-04-4	361346	8819595	4318	Ubicados dentro del estadio del centro poblado Paragsha
19		PS-04-5	361349	8819606	4316	
20		PS-04-6	361350	8819649	4314	

[1] Descripción obtenida durante las acciones de campo realizadas del 6 al 24 de agosto de 2020 fuera del área de operaciones.

5.5.2.3. Parámetros y métodos de análisis

Las muestras de polvo sedimentable se enviaron al laboratorio acreditado Typsa Perú, con los receptores de PVC sellados para la determinación de la concentración de material particulado y metales, las que se describen en la Tabla 5.3.

Tabla 5.38. Parámetros evaluados y métodos de análisis para polvo sedimentable

N.°	Parámetro	Unidad	Métodos de análisis	Laboratorio de ensayo acreditado
1	Material particulado sedimentable	g/m^2/30 días	ASTM D1739-98	Typsa
2	Metales en polvo sedimentable	mg/kg	EPA Method 3051A EPA Method 6020A	

Fuente: Anexo E del reporte de resultados RRE-032-2020-STEC.

5.5.2.4. Equipos utilizados

La colecta de muestra de polvo sedimentable se realizó con los sistemas receptor de polvo sedimentable instalado considerando los criterios técnicos de la ASTM, manteniendo las distancias adecuadas a obstáculos, asimismo la altura adecuada para el ingreso de la muestra, para más información revisar el reporte de campo RC-031-2020-STEC (Anexo 2).

5.5.2.5. Procesamiento de datos

Para determinar diferencias de concentración de polvo sedimentable entre los tratamientos (20 puntos de muestreo, 3 distancias perpendiculares a un componente minero) se empleó el análisis de varianza (ANOVA) de un factor; y para distinguir grupos de contraste se empleó el estadístico Tukey ($p < 0,05$), mediante el uso del programa estadístico IBM SPSS Ver 20.

5.5.2.6. Criterios de evaluación

Las concentraciones obtenidas de polvo sedimentable fueron comparadas con valores referenciales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (SENAMHI, 2008, 2013) y EPA Australia (2016).

5.5.3. Calidad ambiental del suelo en los sectores Paragsha y José Carlos Mariátegui

Esta sección contempla las metodologías aplicadas para la evaluación de la calidad ambiental de los suelos, en relación con las actividades fiscalizables por el OEFA. Para ello se consideró necesario llevar a cabo el muestreo de identificación dentro del área de potencial interés «API-CS-CP» y el muestreo de nivel de fondo dentro del área de nivel de fondo «ANF-CS-CP».

El muestreo de nivel de fondo tiene por objetivo determinar la concentración de origen natural de una o más sustancias químicas presentes en el suelo y el muestreo de identificación investigar la existencia de contaminación en el suelo a través de la obtención de muestras representativas, con el fin de establecer si se supera o no los Estándares de Calidad Ambiental (en adelante ECA para suelos) y/o valores de fondo, de acuerdo con lo establecido en la Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM.

5.5.4. Guías utilizadas para la evaluación

El estudio de suelos fue realizado considerando los documentos listados en la Tabla 5.39, los cuales detallan criterios técnicos que ayudan a desarrollar de manera adecuada la descripción del paisaje, litología, material parental, lectura de perfil, entre otros aspectos y características necesarias para entender el desarrollo natural de los suelos; así como, a evaluar alteraciones antrópicas y a determinar la calidad ambiental de los suelos mediante el muestreo de identificación y de nivel de fondo.

Los muestreos de identificación y de nivel de fondo se basaron principalmente en los lineamientos establecidos en la «Guía para el muestreo de suelos» y en la «Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos», aprobadas mediante Resolución Ministerial N.° 085-2014-MINAM, donde se indica que previo al muestreo se debe realizar la delimitación de áreas de potencial interés, ubicación de las áreas de nivel de fondo; así como, el levantamiento técnico del sitio, entre otras actividades, las que fueron llevadas a cabo y sirvieron de sustento para la planificación y el desarrollo del muestreo.

Tabla 5.39. Documentos técnicos usados durante el estudio de suelos

Nombre del documento	Dispositivo legal	Entidad	País
Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor	Decreto Supremo N.° 017-2009-AG	Ministerio de Agricultura	Perú
Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de suelos	Decreto Supremo N.° 013-2010-AG		
Guía para el Muestreo de Suelos	Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM	Ministerio del Ambiente – Minam	
Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos			
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM		
Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados	Decreto Supremo N.° 012-2017-MINAM		
Nomenclatura estandarizada del sistema Corine Land Cover y protocolos para la generación de mapas de cobertura y uso de la tierra	geoservidor.minam.gob.pe		
	(Plataforma de información territorial ambiental)		
Soil Survey Manual (2017)	Soil Survey Staff	Departamento de agricultura – Servicios de conservación de recursos naturales	Estados Unidos

5.5.5. Ubicación de puntos de muestreo

Previo a la determinación puntos de muestreo (calicatas, muestras puntuales y parcelas), se tomaron en consideración los lineamientos establecidos en las guías mencionadas en la Tabla 5.39. Por lo que, se llevó a cabo una evaluación preliminar del área de estudio[19], la cual consistió en realizar la investigación histórica, el levantamiento técnico del sitio y el modelo conceptual inicial.

Investigación histórica

Consistió en la recopilación y análisis de información contenida en los instrumentos de gestión ambiental[20] con el fin de tener conocimiento acerca de la evolución cronológica de los usos y ocupación de los suelos a evaluar y alrededores, ubicación de los principales procesos productivos y operaciones desarrolladas por U.M. Cerro de Pasco, características y gestión de sus emisiones, efluentes y residuos generados; además de, estudios de línea de base concernientes a suelos (mapas a escala 1:30000), geología, paisaje, clima y meteorología, hidrología, ecología, agua, flora, fauna, modelamiento de aire e impactos biológicos y físicos sobre el área de influencia de las operaciones mineras.

[19] Se llevó a cabo revisando información de gabinete y levantando información de campo.
[20] Actualización del Plan de Cierre de Minas de la Unidad Minera Cerro de Pasco (2012), el cual fue aprobado mediante R.D. N.º 346-2012-MEM/AAM / Segunda Actualización del Plan de Cierre de Minas de la Unidad minera Cerro de Pasco (2019), el cual fue aprobado mediante R.D. N.º 187-2019/MINEM-DGAAM / Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la U. M. Cerro de Pasco – 2020.

Se revisó también información referida a zonas de vida, paisaje, relieve, intensidad de erosión, material parental y capacidad de uso mayor de suelos, contenidos en los mapas (escalas 1:1000000, 1:100000) elaborados por el Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) y el Ministerio del Ambiente (Minam); la información sobre las unidades geológicas fue tomada de la carta nacional emitida por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) a escala 1:100000.

Esta información fue analizada y utilizada de manera conjunta para determinar de forma preliminar las unidades homogéneas de tierra (donde se ubicarían el área de potencial interés y de nivel de fondo, calicatas, muestras puntuales y parcelas). Esto permitió tener una idea de los lugares que fueron escenarios de actividades o eventos relacionados con el administrado u otras actividades antrópicas, que pudieron afectar al desarrollo natural del suelo (muestras de identificación) y a determinar lugares donde se pueda estudiar el desarrollo natural del suelo (para obtener muestras de fondo); lo cual ayudó a distinguir los suelos con afectación antropogénica que pueden necesitar intervención para ser rehabilitados.

De la información revisada, se puede indicar que el área donde se llevó a cabo el estudio de suelos está comprendida dentro de la zona de vida páramo muy húmedo – Subalpino Tropical (pmh-SaT), con un clima isofrígido, arriba de los 4000 m s. n. m., una temperatura media anual menor a 8 °C, y una precipitación media esperada de 1241 mm/año; presenta un régimen de humedad ústico. La cobertura vegetal está conformada mayoritariamente por césped de puna y zonas hidromórficas, también hay presencia de lagunas.

Geológicamente, el área evaluada y alrededores se constituyen por rocas con edades desde el silúrico-devónico hasta el neógeno (mioceno), con coberturas parciales de los depósitos cuaternarios y una intrusión de rocas hipabisales o simplemente un domo volcánico.

La fisiografía está conformada por colinas de roca intrusiva (RC-ri), colinas en roca metamórfica (RC-rm), superficies hidromórficas y unidades antropogénicas.

Los suelos evaluados y alrededores han sido formados a partir de materiales transportados y residuales, entre los transportados destacan los subtipos coluvial y fluvioglaciar, y entre los residuales están los suelos formados por la meteorización de rocas volcánicas y sedimentarias y los suelos orgánicos (bofedales). La profundidad efectiva de estos suelos varía desde muy superficiales hasta moderadamente profundos, los muy superficiales presentan limitaciones por la presencia de contactos líticos o paralíticos.

Según la clasificación natural de los suelos, el área de estudio y alrededores presenta los siguientes órdenes:

- Entisol, son suelos de desarrollo reciente formados a partir de materiales de origen fluvioglaciar, ubicado en zonas de ladera con pendiente que genera la continua erosión y por tanto impide el desarrollo del perfil.
- inceptisols, son suelos inmaduros de desarrollo incipiente y que conservan cierta semejanza con el material original, se desarrollan en zonas de fuerte pendiente.
- Mollisols, se caracterizan por tener algún grado de desarrollo con un horizonte profundo y relativamente fértil, se ha formado a partir de materiales parentales básicos y con presencia de vegetación de pastizales. Presenta una saturación de bases de 50 % o más en todos los horizontes.
- Histosols, son suelos principalmente compuestos por materiales orgánicos que constituyen los 2/3 o más del espesor total del suelo.

Según la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor[21], estos suelos comprenden: Tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja, con limitaciones por suelo (fertilidad baja) y clima (P3sc); tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja, con limitaciones por suelo (fertilidad baja), erosión y clima (P3sec); tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja, con limitaciones por suelo (fertilidad baja), drenaje y clima (P3swc); tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja, con limitaciones por drenaje y clima (P3wc), tierras de protección - cuerpos de agua (X), tierras de protección - zonas de uso poblacional (X*), tierras de protección con limitaciones por suelo – zonas de actividad minera (Xs) y tierras de protección con limitaciones por suelo y erosión - misceláneo lítico (Xse).

Las unidades de uso actual presentes en el área de estudio están representadas por áreas de actividad industrial, zonas de uso poblacional, césped de puna, pajonal, pajonal con césped de puna, vegetación hidromórfica, cuerpos de agua y misceláneo lítico.

Respecto a la calidad ambiental de suelos, según el Informe de Identificación de Sitios Contaminados de la UEA Cerro de Pasco, indica que existen metales que se encuentran superando a los ECA para suelos de uso industrial (D.S. 002-2013-MINAM), estos son: cromo hexavalente, mercurio, cadmio, plomo y arsénico.

Levantamiento técnico del sitio

Esta actividad se realizó durante la evaluación de campo (muestreo)[22] con la finalidad de confirmar y complementar la información recopilada durante la investigación histórica. Se corroboró *in situ* las características del área evaluada, identificando el área de operaciones y sus componentes mineros como stock piles, botaderos de desmonte, relaveras, campamento, polvorín (algunos considerados como fuentes potenciales); así también, en suelos (fuera del área de operaciones) donde se observó alteración del desarrollo natural del suelo por acción antrópica se determinó el área de potencial interés «API-CS-CP», y en suelos donde el desarrollo natural del suelo no se vio afectado debido a eventos o acción antrópica relacionada al administrado, se determinó el área de nivel de fondo «ANF-CS-CP»; de esta manera se definieron los usos actuales y pasados de la tierra y se establecieron unidades homogéneas donde se ubicaron las calicatas, muestras puntuales y parcelas.

Como se mencionó, el origen y afectación de estos suelos varia. Dentro del área de nivel de fondo se encontraron suelos con poco desarrollo (ausencia del horizonte B), ubicados generalmente en las cimas o laderas de colina y en suelos hidromórficos con una secuencia de horizontes A – C – R, A – AC – R, Oe – Oi1 – Oi2 – Oa1 – Oa2 – Cg - W y otros presentan mayor desarrollo con una secuencia de horizontes Oi – OA – A – Bw – Cg – R, A1 – A2 – Bh – C, estos están ubicados en las partes bajas de las colinas y pequeñas llanuras.

Dentro del área de potencial interés se encontraron suelos que presentaron secuencias de horizontes antrópicos como por ejemplo ^A – ^C1 – 2^C2, ^A - ^C1 - ^C2 - ^C3 - ^C4 - ^C5 - 2^Cg1 - 2^Cg2, ^OA - ^A - ^C1 - ^C2 - ^2C3; suelos con artefactos entre sus horizontes Oi – Au – ACu – Cr – R; y suelos sin afectación visible A – CR – R, A – R, Oi – Oe – Cg.

Bajo estos contextos se evidenciaron suelos muy superficiales a moderadamente profundos, en algunos casos la profundidad efectiva se vio interrumpida por una capa de material

[21] Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor aprobado mediante Decreto Supremo N.° 017-2009-AG.
[22] Debido a la declaratoria de estado de emergencia nacional, no fue posible realizar una visita de reconocimiento y el levantamiento técnico del sitio se llevó a cabo durante la ejecución de los muestreos.

producto de eventos o actividades antrópicas y en otros los casos por materiales propios de la génesis del suelo.

Modelo conceptual inicial

En base a la investigación histórica y el levantamiento técnico del sitio, se desarrolló un modelo conceptual inicial (Figura 5.13) que involucró la representación esquemática del sistema ambiental dentro del área evaluada, así como, los procesos que determinarían el transporte de potenciales contaminantes a partir de las posibles fuentes, el trayecto de exposición y los posibles receptores involucrados.

En este caso se consideró como fuentes primarias de potencial afectación a los botaderos Rumiallana, Hanancocha, Miraflores, a los stock piles, polvorín y posibles componentes e instalaciones mineras; los cuales habrían generado o podrían estar generando riesgos a la salud y al medio ambiente, al aportar metales pesados al aire, suelo superficial, suelo subsuperficial, agua subterránea, así como también al agua superficial y los sedimentos de ambientes lénticos y lóticos; en algunos casos, estas matrices ambientales podrían actuar como fuentes secundarias, al ser influenciadas por las fuentes primarias, por encontrarse en lugares aledaños o debajo de algún componente, como es el caso de los suelos con horizontes antrópicos.

Las formas más importantes de propagación de los contaminantes son la escorrentía superficial y la infiltración (en el suelo o en las aguas subterráneas). Otro factor importante es la dispersión por acción del viento, el cual puede contaminar la superficie de la población circundante. La escorrentía superficial e infiltración es muy probable que se de debido a la alta precipitación de la zona en épocas húmedas; es necesario indicar que en muchos de los casos el material de desmonte minero fue transportado y usado como relleno para construir o han construido viviendas sobre antiguos depósitos de residuos mineros de carácter mineral. Finalmente, la población aledaña, animales, plantas y organismos acuáticos podrían exponerse a los contaminantes por contacto dérmico, ingestión, inhalación o adsorción.

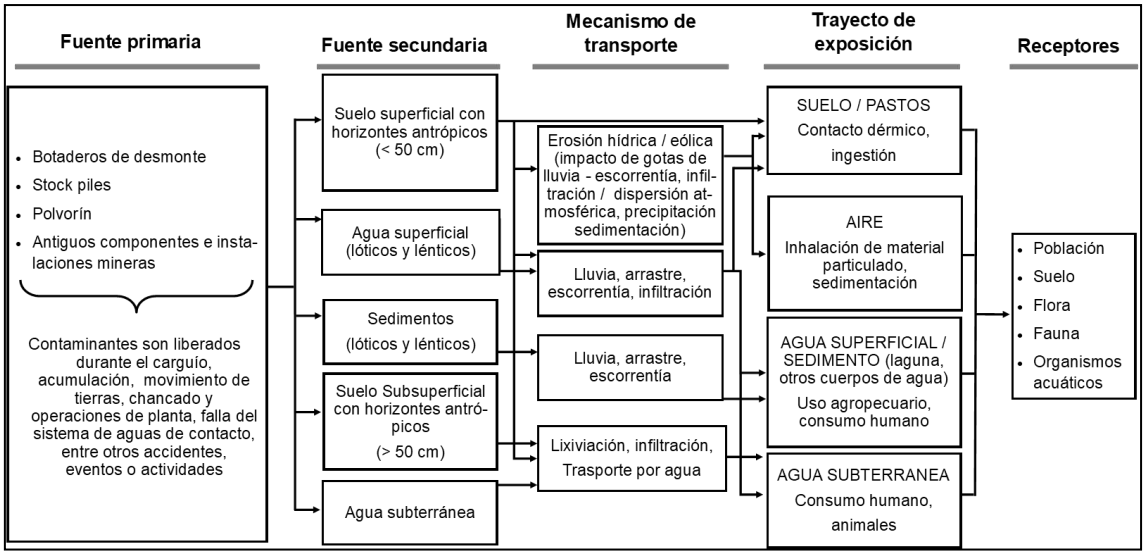


Figura 5.13. Modelo conceptual inicial propuesto para la presente evaluación del suelo

Determinación del área de potencial interés, área de nivel de fondo, calicatas, muestras puntuales y parcelas

Partiendo de la información recabada durante la investigación histórica se determinó realizar el estudio de suelos en 215 hectáreas, que inicialmente fueron consideradas como un área de potencial interés, abarcando terrenos de los distritos de Simón Bolívar, Yanacancha y Chaupimarca; es necesario aclarar que, debido a la declaratoria de estado de emergencia nacional, no fue posible realizar una visita de reconocimiento y no fue posible determinar áreas de nivel de fondo ni delimitar el área de potencial interés de manera precisa sino hasta la ejecución de los muestreos.

Por las razones expuestas anteriormente y debido a que en la guía para el muestreo de suelos no se precisa el número de puntos por área de nivel de fondo, previo a la salida de campo se estableció el número total de puntos de muestreo tomando en cuenta la extensión total del área y respetando el número mínimo de puntos para el muestreo de identificación en áreas superiores a 100 hectáreas, establecido en la guía para el muestreo de suelos, según fórmula:

$$N = 0{,}1x + 40$$

Donde:

N: Número mínimo de puntos de muestreo
X: Superficie en hectáreas

Ante ello se establecieron 76 puntos de muestreo, que fueron distribuidos de acuerdo con las áreas homogéneas ubicadas dentro del área de potencial interés y área de nivel de fondo (una vez delimitadas en campo).

Se determinó de manera preliminar que el área de potencial interés «API-CS-CP» constaría de 111 hectáreas, abarcando suelos de uso residencial / parques, industrial y agrícola donde se evaluaron 44 puntos de muestreo, de los cuales 11 fueron calicatas y 37 fueron muestras puntuales, con un total de 67 muestras, incluyendo los diferentes horizontes de las calicatas; mientras que, el área de nivel de fondo «ANF-CS-CP» consta de 104 hectáreas, abarcando únicamente suelos de uso agrícola con las mismas características edafogénicas a los suelos del «API-CS-CP» antes de ser alterados y se evaluaron 32 puntos de muestreo, de los cueles 13 fueron calicatas y 19 fueron parcelas de muestreo, con un total de 61 muestras incluyendo los diferentes horizontes de las calicatas.

La distribución de los puntos (calicatas, muestras puntuales y parcelas de muestreo) siguió un patrón de muestreo estadístico «aleatorio estratificado» sobre una rejilla regular de 180 m x 180 m, debido a que el área a evaluar presenta variadas características geomorfológicas. Las parcelas de muestreo de nivel de fondo tuvieron un área de 2500 m^2 (50 m x 50 m), de cada parcela se obtuvo una muestra representativa a partir de 5 submuestras colectadas en un sistema en cruz con brazos de 20 metros.

En la Figura 5.14 se muestra un esquema de la distribución de los puntos de muestreo y en la Tabla 5.40 y Tabla 5.41, se detallan la información de cada punto de muestreo (calicata, muestra puntual y parcela de muestreo) tanto del ANF-CS-CP y API-CS-CP.

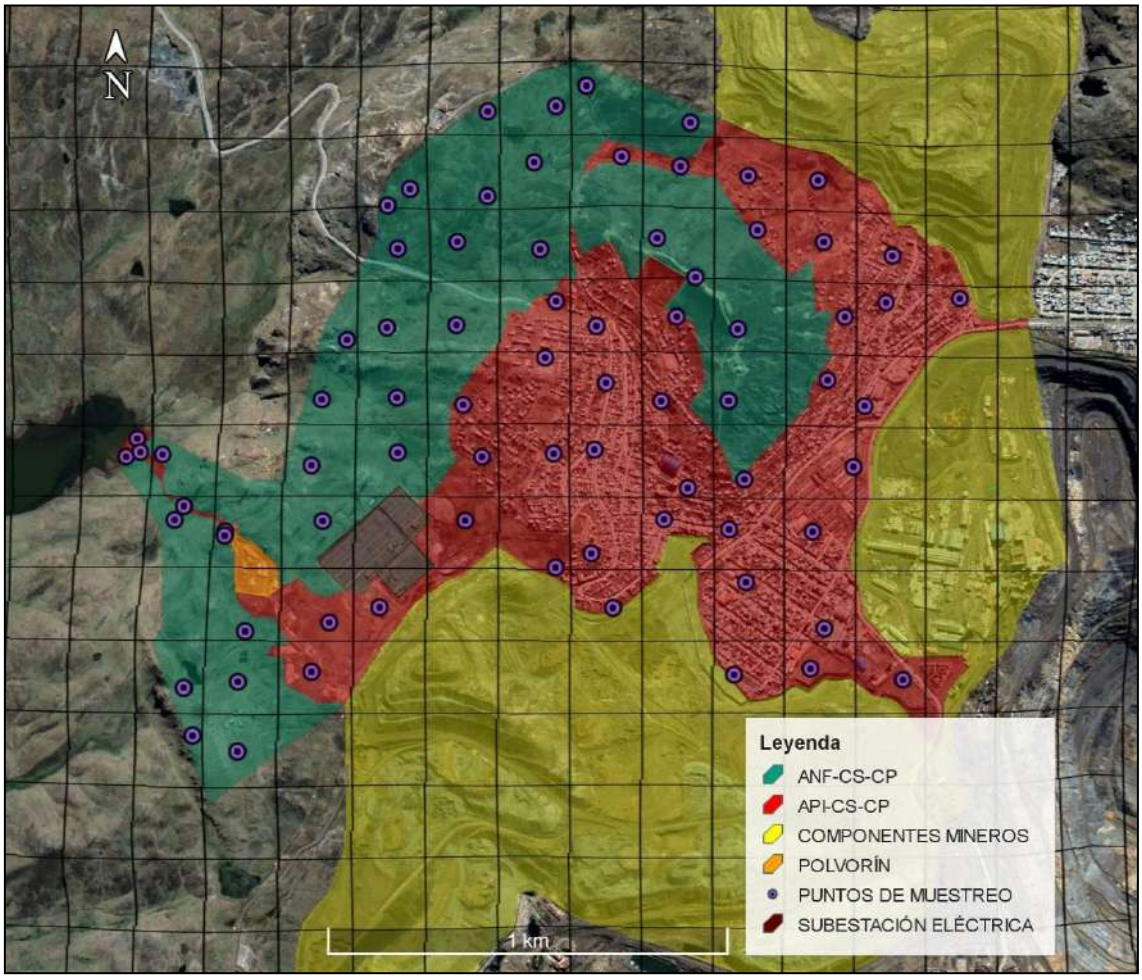


Figura 5.14. Distribución de puntos de muestreo sobre un mapa base

Tabla 5.40. Puntos de muestreo de suelo ubicados en el API-CS-CP

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
1	---	CS-CP6	---	359879	8819962	4374	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, por fuera del cerco perimetral del polvorín, lado noroeste. A 5 m aproximadamente del punto de vertimiento ESP-POL.
2	---	CS-CP6-1	---	359878	8819952	4379	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, por fuera del cerco perimetral del polvorín.
3	---	CS-CP75	---	359763	8820026	4321	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en la parte media de la quebrada de aguas acidas provenientes del polvorín a la laguna Quilcamachay.

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
4	---	CS-CP72	---	359635	8820164	4296	Puntos de muestreo ubicados dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el cono de deyección de ingreso de las aguas acidas provenientes del polvorín a la laguna Quilcamachay.
5	---	CS-CP71	---	359599	8820152	4298	Puntos de muestreo ubicados dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el cono de deyección de ingreso de las aguas acidas provenientes del polvorín a la laguna Quilcamachay.
6	---	CS-CP73	---	359627	8820198	4296	Puntos de muestreo ubicados dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el cono de deyección de ingreso de las aguas acidas provenientes del polvorín a la laguna Quilcamachay.
7	---	CS-CP7	---	360106	8819615	4396	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, entre el botadero Hanancocha y el Polvorín.
8	CS-CP8-CAL	CP8-Ap	^A	360147	8819737	4388	Calicata ubicada dentro del área de potencia interés API-CS-CP, 70 metros al suroeste de la subestación eléctrica y 160 metros al oeste del botadero Hanancocha.
		CP8-C	^C				
9	---	CS-CP13	---	360270	8819775	4363	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, A 100 metros frente al botadero Hanancocha y subestación eléctrica.
10	---	CS-CP21	---	360525	8820151	4397	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en la parte suroeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
11	---	CS-CP22	---	360478	8820280	4398	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en la parte oeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
12	---	CS-CP27	---	360710	8819876	4362	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui, 50 metros al norte del botadero Hanancocha y de los Stock Piles.
13	CS-CP28-CAL	CP28-A	A	360706	8820159	4388	Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, parque infantil dentro del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
		CP28-CR	CR				
14	---	CS-CP29	---	360685	8820397	4419	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui, al costado de loza deportiva.
15	---	CS-CP30	---	360710	8820539	4397	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en la parte norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
16	---	CS-CP34	---	360853	8819775	4352	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha, 50 metros al norte de la parte norte de los Stock Piles.

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
17	CS-CP35-CAL	CP35-Ap	^A	360800	8819911	4371	Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui, a 200 metros al norte del botadero Hanancocha.
		CP35-M	M				
		CP35-Ab	Ab				
		CP35-C	C				
18	---	CS-CP36	---	360807	8820170	4384	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui, en una vereda de tierra al costado de la calle principal.
19	---	CS-CP37	---	360836	8820336	4400	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui, en una zona de afloramientos al costado de la calle principal.
20	---	CS-CP38	---	360812	8820477	4410	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en la parte norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
21	---	CS-CP42	---	360981	8819997	4336	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha, 70 metros al norte de los Stock Piles.
22	---	CS-CP43	---	361041	8820076	4351	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui, 150 metros al norte de los Stock Piles.
23	---	CS-CP44	---	360975	8820291	4394	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, AA. HH. José Carlos Mariátegui.
24	CS-CP49-CAL	CP49-Ap	^Ap	361159	8819607	4309	Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el parque infantil del centro poblado de Paragsha, a 50 metros de la parte este de los Stock piles.
		CP49-C	^C1				
		CP49-2C1	^2C2				
25	---	CS-CP50	---	361188	8819840	4344	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el parque de juegos de la Institución Educativa Primaria 34033 Mavilo Calero Pérez.
26	---	CS-CP51	---	361145	8819973	4329	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha, 50 metros al este de la parte norte de los depósitos de stock piles, en una vereda sin asfaltar.
27	---	CS-CP52	---	361184	8820098	4365	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha, 200 metros al norte de los Stock Piles.
28	---	CS-CP56	---	361191	8820855	4406	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en un asentamiento humano 200 metros al sur de la parte media del botadero Rumiallana.
29		CP57-Ap	^A	361353	8819623	4300	

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
	CS-CP57-CAL	CP57-C1	^C1				Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha, 100 metros al norte del botadero Miraflores y de los depósitos de stock piles, en el estadio de futbol de Paragsha.
		CP57-C2	^C2				
		CP57-C3	^C3				
		CP57-C4	^C4				
		CP57-C5	^C5				
		CP57-2C1	2^Cg1				
		CP57-2Cg2	2^Cg2				
		CP57-C1-C2-C3-C4-C5*					
		CP57-2C1-2Cg2*					
30	---	CS-CP58	---	361388	8819724	4320	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, frente a la municipalidad del centro poblado de Paragsha.
31	CS-CP59-CAL	CP59-OA	^OA	361357	8819968	4315	Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el parque infantil del colegio San Andrés del centro poblado de Paragsha, 200 metros al este de la parte norte de los Stock piles.
		CP59-A	^A				
		CP59-M1	^C1				
		CP59-M2	^C2				
32	CS-CP60-CAL	CP60-Ap	^A	361460	8820132	4331	Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, parque del centro poblado de Paragsha, 500 metros al oeste de la parte norte del tajo Raúl Rojas.
		CP60-M1	^C1				
		CP60-M2	2^C2				
33	---	CS-CP61	---	361393	8820348	4359	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha 530 metros al oeste de la parte norte del tajo Raúl Rojas.
34	---	CS-CP62	---	361436	8820507	4360	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha 500 metros al oeste de la parte norte del tajo Raúl Rojas.
35	---	CS-CP63	---	361382	8820693	4379	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en un asentamiento humano 200 metros al sur del botadero Rumiallana.
36	---	CS-CP65	---	361588	8819596	4314	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el parqueo de camiones y maquinaria de Volcan, 70 metros al norte del botadero de desmonte Miraflores en el centro poblado de Paragsha.
37	CS-CP66-CAL	CP66-AC	AC	361488	8820286	4319	Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha, 380 metros al sur oeste de la parte sur del botadero Rumillana y 480 metros al oeste de la parte norte del tajo Raúl Rojas.
38	---	CS-CP67	---	361541	8820546	4351	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
							Paragsha, 250 metros al oeste de la parte sur del botadero Rumillana.
39	---	CS-CP68	---	361557	8820664	4358	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en un asentamiento humano 100 metros al sur del botadero Rumiallana.
40	CS-CP69-CAL	CP69-A	Au	361731	8820561	4309	Calicata ubicada dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en el centro poblado de Paragsha, 50 metros al oeste de la parte sur del botadero Rumillana.
		CP69-AC	ACu				
		CP69-Cr	Cr				
41	CS-CP20-CAL	CP20-Oi	Oi	360482	8819992	4367	Calicata ubicada dentro del área de potencia interés API-CS-CP, 100 metros al este de la subestación eléctrica y 100 metros al noroeste del botadero Hanancocha.
		CP20-Oe	Oe				
		CP20-Cg	Cg				
42	---	CS-CP40	---	360874	8820898	4422	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, 450 metros al oeste del botadero Rumiallana.
43	---	CS-CP47	---	361021	8820876	4417	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, 300 metros al oeste del botadero Rumiallana.
44	---	CS-CP64	---	361367	8820850	4353	Punto de muestreo ubicado dentro del área de potencial interés API-CS-CP, en un asentamiento humano 60 metros al oeste del botadero Rumiallana.

*Las muestras fueron tomadas solo para mineralogía

---: No aplica

Tabla 5.41. Puntos de muestreo de suelo ubicados en el ANF-CS-CP

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
1	---	CS-CP1	---	359820	8819459	4428	Parcela de muestreo ubicado dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, a 500 m al oeste del botadero Hanancocha.
2	---	CS-CP2	---	359795	8819576	4422	Parcela de muestreo ubicado dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, en el predio de la familia Prado.
3	---	CS-CP3	---	359933	8819421	4417	Parcela de muestreo ubicado dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, a 300 m al oeste del botadero Hanancocha.
4	CS-CP4-CAL	CP4-OA	OA	359928	8819591	4404	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 350 metros al suroeste de la subestación eléctrica.
		CP4-A	A				
		CP4-Bw	Bw				
		CP4-Cg	Cg				
5	---	CS-CP5	---	359942	8819715	4404	Parcela de muestreo ubicado dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 70 m al sureste del ingreso al polvorín.
6		CP9-A	A	360128	8819989	4401	

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
	CS-CP9-CAL	CP9-AC	AC				Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 70 metros al oeste de la subestación eléctrica.
7	---	CS-CP10	---	360095	8820128	4397	Parcela de muestreo ubicado dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 200 m al oeste de la subestación eléctrica.
8	CS-CP11-CAL	CP11-Oe	Oe	360113	8820295	4331	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 450 metros al noreste de la laguna Quilcamachay
		CP11-Oi1	Oi1				
		CP11-Oi2	Oi2				
		CP11-Oa1	Oa1				
		CP11-Oa2	Oa2				
		CP11-Cg	Cg				
9	---	CS-CP12	---	360180	8820443	4384	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 450 metros al oeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
10	---	CS-CP15	---	360311	8820161	4371	Parcela de muestreo ubicado dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 100 m al norte de la subestación eléctrica.
11	---	CS-CP16	---	360309	8820298	4378	Parcela de muestreo ubicado dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 250 m al norte de la subestación eléctrica.
12	CS-CP17-CAL	CP17-A1	A1	360281	8820474	4374	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 280 metros al oeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui
		CP17-A2	A2				
		CP17-Bw	Bh				
		CP17-C	C				
13	---	CS-CP18	---	360307	8820672	4387	dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 400 metros al oeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
14	---	CS-CP19	---	360342	8820817	4413	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 450 metros al noroeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
15	---	CS-CP23	---	360458	8820480	4385	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 120 metros al oeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
16	CS-CP24-CAL	CP24-OA	OA/C	360456	8820691	4377	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 300 metros al oeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
		CP24-OA/C-OA					
		CP24-OA/C-C					
		CP24-C1	C1				
		CP24-C2	C2				
		CP24-Cg3	Cg1				
17	---	CS-CP25	---	360533	8820804	4390	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 250 metros al noroeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
18	---	CS-CP26	---	360538	8821009	4431	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 400 metros al noroeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.

N.°	Código de Calicata	Código de muestra	Horizonte	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud	Descripción
				Este (m)	Norte (m)	m s.n.m.	
19	CS-CP31-CAL	CP31-A	A	360669	8820669	4398	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 100 metros al oeste de la parte norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
20	---	CS-CP32	---	360652	8820887	4395	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 250 metros al norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
21	CS-CP33-CAL	CP33-A	A	360709	8821023	4433	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 360 metros al noroeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
		CP33-C1	C1				
		CP33-C2	C2				
22	---	CS-CP39	---	360965	8820692	4434	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 200 metros al norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
23	---	CS-CP41	---	360786	8821071	4445	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 450 metros al norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
24	CS-CP45-CAL	CP45-OA	OA	361015	8820497	4439	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, colina norte sobre el AA. HH. José Carlos Mariátegui, 50 metros al sureste del cementerio.
		CP45-C1	C1				
		CP45-C2	C2				
25	CS-CP46-CAL	CP46-A	A	361062	8820594	4462	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 50 metros al noreste del cementerio del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
		CP46-C1	C1				
26	CS-CP48-CAL	CP48-A	A	361045	8820986	4425	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 200 metros al oeste del botadero Rumiallana.
		CP48-C	C				
27	CS-CP53-CAL	CP53-AC	AC	361145	8820290	4440	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 100 metros al oeste de la parte norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
28	---	CS-CP54	---	361168	8820465	4459	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 150 metros al norte del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
29	CS-CP55-CAL	CP55-A1	A1	361215	8820717	4418	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 400 metros aprox. del botadero Rumiallana.
		CP55-A2	A2				
		CP55-C1	C1				
		CP55-C2	C2				
30	CS-CP70-CAL	CP70-OA	OA	360286	8820776	4428	Calicata ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 500 metros al noroeste del AA. HH. José Carlos Mariátegui.
		CP70-AC	AC				
		CP70-C1	C1				
		CP70-C2	C2				
31	---	CS-CP76	---	359741	8819991	4342	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 300 metros al este de la parte media de la laguna Quilcamachay.
32	---	CS-CP74	---	359694	8820158	4298	Parcela ubicada dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, 100 metros al este de la parte noreste de la laguna Quilcamachay.

5.5.6. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros considerados para evaluar la calidad ambiental del suelo fueron seleccionados en función de las actividades que se desarrollan en el área de estudio, así como considerando los parámetros contemplados en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo; además se tomaron parámetros adicionales que permitieron la interpretación de los resultados y desarrollo más completo del estudio de suelos. En la Tabla 5.42 se muestra el detalle de los parámetros evaluados y métodos de análisis.

Tabla 5.42. Parámetros evaluados y métodos de análisis para suelo

N°.	Parámetro	Unidad	Métodos de análisis
1	Metales	mg/Kg	EPA 7471 B, Rev. 2, February 2007
2	Mercurio	mg/Kg	EPA 3050 B: 1996 / EPA 6010 B: 1996
3	Extracción secuencial de metales pesados por la metodología de Tessier	mg/Kg	EPA 6020 B Rev. 2 July 2014
4	Análisis mineralógico	observaciones	Microscopia electrónica de barrido -MEB
5	Cromo hexavalente		PP-205 Rev.6 201S
6	Clase textural	%	Método del hidrómetro
7	Materia orgánica	%	Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio
8	pH	Unidad	Potenciómetro
9	$CaCO_3$	%	Método gaso-volumétrico en calcímetro
10	Conductividad eléctrica	dS/cm	Medida del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1

Fuente: Reportes de campo RC-031-2020-STEC
Los parámetros clase textural, materia orgánica, pH, $CaCO_3$ y conductividad eléctrica son no acreditados

Cabe precisar que los resultados de las extracciones secuenciales incluyeron seis etapas:

- Etapa 1: Extraíbles
- Etapa 2: Intercambiables y adsorbidos
- Etapa 3: Ligado a carbonatos
- Etapa 4: Fácilmente reducibles y óxidos de hierro
- Etapa 5: Ligado a materia orgánica
- Etapa 6: Residual

5.5.7. Equipos y materiales utilizados

Los equipos y materiales utilizados para el estudio de suelos detallan en el reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC (Anexo 2).

5.5.8. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad se basó en la guía para el muestreo de suelos del Minam, donde se dan recomendaciones para el manejo de las muestras y se indica que se deben duplicar el 10 % de las muestras a ser analizadas para sitos con superficies menores o igual a 20 ha, y 5 % para superficies mayores a 20 ha; también se tomaron en cuenta los criterios técnicos para la aplicación de los ECA suelo para actividades mineras, emitido por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, en base al Informe Técnico N° 756-2014-MINAM/VMGA/DGCA, con asunto «Consultas sobre ECA suelo en el sector minero». Para el presente estudio se tomaron 7 duplicados, ya que la superficie evaluada fue de 215 hectáreas y las muestras colectadas fueron 128 (Anexo 2). Los resultados de las muestras duplicadas para metales se correlacionaron con la muestra original y su precisión fue evaluada aplicando el concepto para la Diferencia Porcentual Relativa (DPR).

5.5.9. Procesamiento de datos

Teniendo como base los resultados obtenidos del muestreo realizado dentro de las áreas de potencial interés y nivel de fondo, se utilizó la geoestadística como una herramienta que nos proporciona un marco matemático-estadístico; lo cual permitió distinguir el enriquecimiento natural del antropogénico, enfocado en la contaminación de suelos por metales pesados y alteración de los parámetros edáficos.

Se utilizó el software Surfer versión 10.1.561, para representar mapas de concentraciones en los sistemas evaluados; para ello, a cada punto de muestreo, definido por sus coordenadas de posición (x, y), se le asoció la concentración experimental del parámetro evaluado «z», con lo que el programa realizó las interpolaciones necesarias tipo kriging, hasta obtener un mapa de isovalores de concentración que permitió visualizar la situación ambiental.

Para la determinación de los valores de nivel de fondo y de referencia, los resultados obtenidos del muestreo fueron sometidos a un tratamiento estadístico mediante el uso del software ProUCL 5.1, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2015). La determinación de nivel de fondo y referencia fue a 4 niveles de profundidad de acuerdo a los horizontes del suelo; así el primer nivel de fondo se determinó utilizando los resultados obtenidos de todos los horizontes superficiales evaluados (Hz. Superficial), para el segundo nivel de fondo se usaron los datos de todos los primeros horizontes subsuperficiales evaluados (Hz. Subsuperficial 1), para el tercer nivel de fondo (Hz. Subsuperficial 2) se usaron los datos de los horizontes subyacentes al Hz. Subsuperficial 1, y para el cuarto nivel de fondo (Hz. Subsuperficial 3) se usaron los datos de los horizontes subyacentes al Hz. Subsuperficial 2.

Se realizó la clasificación de cobertura y uso actual de la tierra de acuerdo en el sistema Corine Land Cover (CLC) adaptado por el Ministerio del Ambiente (Minam) para Perú y en los protocolos elaborados por esta misma institución con el propósito de generar mapas de cobertura y uso actual en el país. Esta metodología emplea una leyenda jerárquica que vincula distintos niveles de detalle espacial con distintos niveles de detalle temático. En la Tabla 5.43 se presenta la nomenclatura estandarizada para la construcción de mapas.

Tabla 5.43. Nomenclatura estandarizada Corine Land Cover, para construcción de mapas de cobertura y uso actual

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1.Áreas artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Áreas industriales e infraestructura	1.2.1 Áreas industriales o comerciales
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3 Áreas portuarias
		1.2.4 Aeropuertos
		1.2.5 Obras hidráulicas
	1.3 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2 Áreas de disposición de residuos
	1.4 Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas
		1.4.2 Instalaciones recreativas
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	
	2.2 Cultivos permanentes	
	2.3 Pastos	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	

Nivel I	Nivel II	Nivel III
3.Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo
		3.1.2 Bosque abierto bajo
		3.1.3 Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado
	3.2 Bosques plantados	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal
		3.3.2 Arbustal
		3.3.3 Vegetación secundaria o en transición
		3.3.4 Vegetación arbustiva/herbacea
		3.3.5 Arbustal/área intervenida
		3.3.6. Herbazal / área intervenida
		3.3.7 Arbustal-Herbazal/ara intervenida
4. Áreas Húmedas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Áreas Pantanosas
		4.1.2 Tuberías y bofedales
		4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros
		4.2.2 Salitral
		4.2.3 Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar
5.Superificies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes
		5.1.3 Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4 Canales
		5.1.5 Cuerpos de agua artificiales
	5.2 Aguas costeras	5.2.1 Lagunas costeras
		5.2.2 Mares y océanos
		5.2.3 Estanques para acuicultura marina

5.5.10. Criterios de evaluación

Los resultados obtenidos de los muestreos de identificación y nivel de fondo dentro del API-CS-CP y del ANF-CS-CP, fueron comparados con los Estándares de calidad ambiental para suelo de uso agrícola, residencial / parques o industrial, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM (en adelante, ECA para suelo de uso agrícola 2017) según corresponda de acuerdo con el Mapa de Uso Actual de Tierras (Mapa 8-8, escala 1:30000) que figura en el Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la U.M. Cerro de Pasco.

De acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.° 012-2017-MINAM, los resultados del muestreo de identificación para metales totales también fueron comparados con los niveles de fondo y de referencia determinados para la zona evaluada. Es necesario aclara que para esta comparación solo se utilizaron los niveles de fondo y referencia determinados a partir de muestras superficiales (Hz. Superficial); los demás niveles de fondo (Hz. Subsuperficial 1, Hz. Subsuperficial 2 y Hz. Subsuperficial 3) solamente se usaron para determinar los índices de geoacumulación y factor de enriquecimiento en el perfil de las calicatas evaluadas dentro del API.

En el caso de aquellos metales como el antimonio, berilio, boro, cobalto, cobre, cromo, estaño, molibdeno, níquel, plata, selenio, talio, vanadio y zinc, que pueden ser derivados de las actividades relacionadas al administrado y no se encuentran reguladas en los ECA para suelo, la comparación referencial se realizó con las directrices canadienses de calidad

ambiental para suelo para la protección del medio ambiente y salud humana de uso residencial / parques, industrial o agrícola - CEQG-SQG[23] (en adelante, guía canadiense) según corresponda; conforme a lo dispuesto en el ítem 1.4 de la «Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos», aprobada mediante Resolución Ministerial N.° 085-2014-MINAM.

La clasificación de parámetros edáficos como potencial de hidrógeno (pH) y materia orgánica se realizó tomando en cuenta el Anexo N.° IV «Guía para la clasificación de los parámetros edáficos» del Decreto Supremo N.° 017-2009-AG; mientras que, la conductividad eléctrica y el nivel de CaCO3 se clasificó referencialmente en base a la propuesta del laboratorio análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF- UNALM).

Luego de la evaluación con los estándares de calidad ambiental mencionados, se procederá a determinar el índice de geoacumulación, el factor de enriquecimiento, el factor de contaminación y grado de contaminación de los suelos afectados dentro del área de potencial interés (basado en lo que indica Jiménez, 2017).

El índice de geoacumulación (Igeo) permite evaluar la contaminación comparando las concentraciones actuales de suelos contaminados y concentraciones de fondo. Utilizado originalmente con sedimentos de fondo (Müller, 1986), según Loska *et al.,* (2004) también se puede aplicar en la evaluación de suelos contaminados. Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Igeo = log2\,\frac{Cn}{Bn\ x\ 1.5}$$

Donde:

- Cn: es la concentración media del elemento n evaluado.
- Bn: las concentraciones de fondo de los elementos evaluados.
- La constante 1,5 nos permite analizar las fluctuaciones naturales del elemento en el medio ambiente y muy pequeñas influencias antropogénicas.

Müller (1986) propone 6 clases de índices de geoacumulación (Tabla 5.44)

Tabla 5.44. Índices de geoacumulación para medir la calidad del suelo

Clase	Valor	Calidad del suelo
0	Igeo ≤ 0	No contaminado
1	0 <Igeo <1	No contaminado a moderadamente contaminado
2	1 <Igeo <2	Moderadamente contaminado
3	2 <Igeo <3	Moderadamente a muy contaminado
4	3 <Igeo <4	Muy contaminado
5	4 <Igeo <5	Muy a extremadamente contaminado
6	5 <Igeo	Extremadamente contaminado

En la actualidad el factor de enriquecimiento (FE) es muy utilizado para la evaluación de contaminación de suelos y sedimentos fluviales y lacustres, identifica anomalías en concentraciones de metales tomando en cuenta el grado de contribución por efectos antrópicos en relación con un elemento conservativo (para este estudio se consideró al

[23] Canadian Council of Ministers of the Environment (2018). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human of use Residential, Parks, Agricultural o Industrial* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para la protección del medio ambiente y salud humana de uso Residencial, Parques, industrial o agrícola).

aluminio), comparando valores medios y valores de fondo (Loska et al., 2004). Viene dado por la fórmula siguiente:

$$FE = \frac{\frac{C_n(sample)}{C_{ref}(sample)}}{\frac{B_n(background)}{B_{ref}(background)}}$$

Donde:

- C_n: concentración del metal evaluado en la muestra.
- C_{ref}: Concentración de Al o elemento conservativo en la muestra.
- B_n: Concentración de fondo del metal evaluado (mediana).
- B_{ref}: Concentración de fondo (mediana) del Al o elemento conservativo.

Se reconocen cinco categorías de contaminación sobre la base del factor de enriquecimiento (Sutherland, 2000), que se pueden apreciar en la Tabla 5.45.

Tabla 5.45. Factor de enriquecimiento para medir la calidad del suelo

Valor	categoría de contaminación del suelo
FE <2	Deficiente a enriquecimiento mínimo
FE = 2 - 5	Enriquecimiento moderado
FE = 5 - 20	Enriquecimiento significativo
FE = 20 - 40	Enriquecimiento muy alto
FE > 40	Enriquecimiento extremadamente alto

5.5.11. Levantamiento fotogramétrico con RPAS en la Laguna Quilcamamchay

5.5.11.1 Documentos técnicos empleados

Los documentos técnicos empleados en la evaluación fotogramétrica se detallan en la Tabla 5.46.

Tabla 5.46. Referencias para el levantamiento fotogramétrico y posicionamiento geodésico

Nombre del documento de referencia	Sección	Dispositivo Legal	Entidad	País
Fotogrametría multiespectral con sistema de aeronaves piloteadas a distancia				
Ley Aeronáutica Civil 27261	Todo	Decreto Supremo N° 050-2001-MTC	MTC/DGAC	Perú
Norma técnica complementaria 001-2015 - Requisitos para las operaciones de Sistemas de Aeronaves Piloteadas a Distancia	Todo	RD N 501-2015-MTC/12	DCA/DGAC	Perú
Protocolo para la operación de los sistemas de aeronaves piloteadas a distancia (RPAS)	Todo	Resolución Jefatural N.° 051-2017-CENEPRED/J.	CENEPRED	Perú
Posicionamiento geodésico				
Norma técnica para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del Sistema Satelital de Navegación Global	Todo	Resolución Jefatural N.° 0139-2015/IGN/UCCN	Instituto Geográfico Nacional	Perú
Norma técnica para levantamientos geodésicos verticales	Todo	Resolución Jefatural N.° 057-2016/IGN/UCCN	Instituto Geográfico Nacional	Perú

Nombre del documento de referencia	Sección	Dispositivo Legal	Entidad	País
Fotogrametría multiespectral con sistema de aeronaves piloteadas a distancia				
Protocolo para la operación de los sistemas de aeronaves piloteadas a distancia (RPAS)	Todo	Resolución Jefatural N.°051-2017 CENEPRED/J.	CENEPRED	Perú

5.5.11.2 Ubicación

El sobrevuelo RPAS con sensor multiespectral y posicionamiento geodésico se realizó en la laguna Quilcamachay según se muestra en la Figura 5.15; asimismo, los puntos de posicionamiento geodésico se describen en la Tala 5.47.

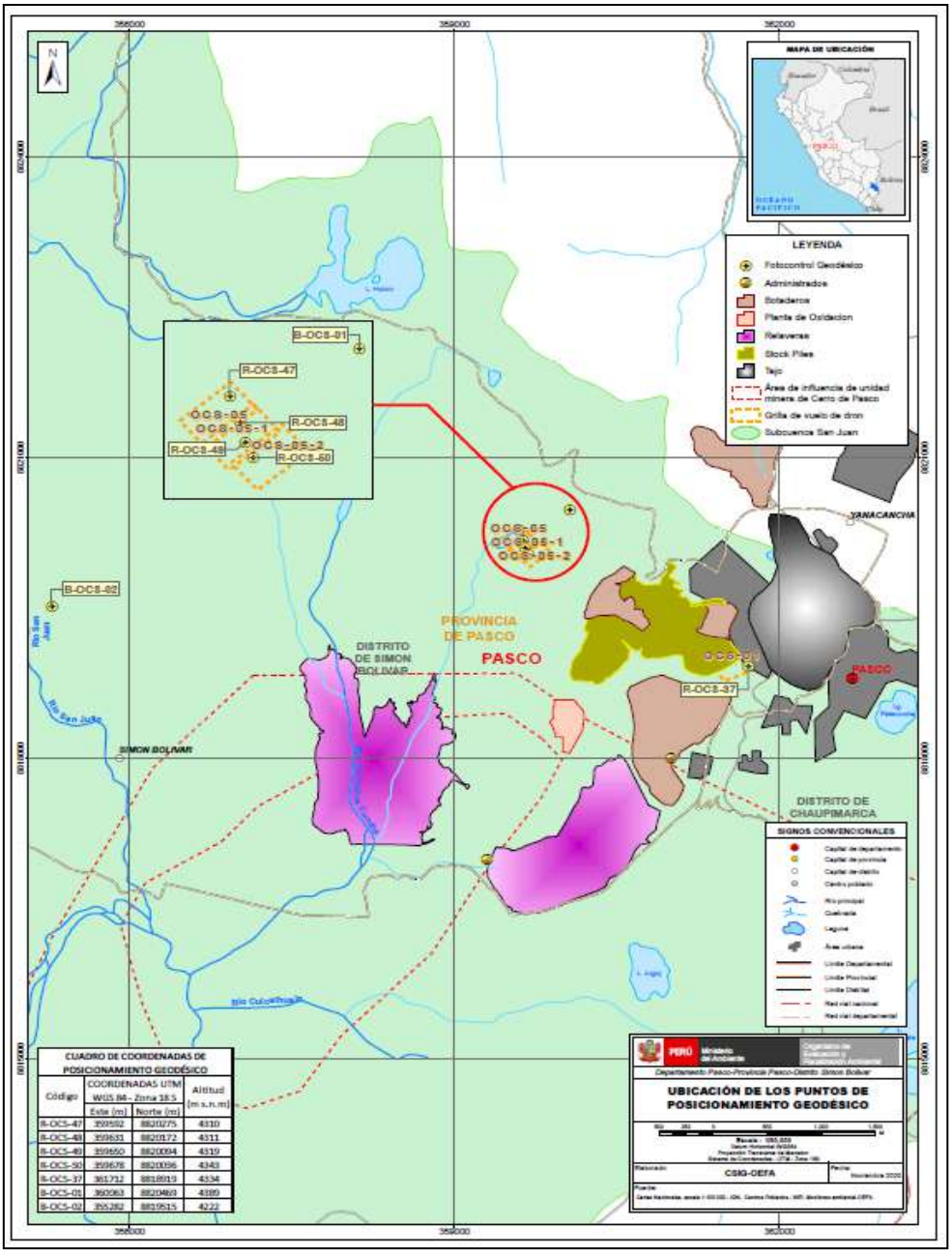


Figura 5.15. Ubicación de puntos de posicionamiento geodésico

Tabla 5.47. Ubicación de los puntos de posicionamiento geodésico

Código	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Altura Medición*	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		m	
R-OCS_47	24/09/2020	359592	8820275	4310	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 20 m en la parte posterior derecha de la laguna Quilcamachay en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco
R-OCS_48	24/09/2020	359631	8820172	4311	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 52 m en la parte posterior derecha de la laguna Quilcamachay en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco
R-OCS_49	24/09/2020	359650	8820094	4319	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 110 m en la parte posterior derecha de la laguna Quilcamachay en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco
R-OCS_50	24/09/2020	359678	8820036	4343	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 150 m en la parte posterior derecha de la laguna Quilcamachay en la unidad fiscalizable Cerro de Pasco
B-OCS-01	24/09/2020	360063	8820469	4389	1,58	Punto de estación base geodésico tomado aproximadamente a 450 m al este de la laguna Quilcamachay

* Altura desde la base hasta el centro del tope protector
La precisión de la medición de las coordenadas fue de ± 1 m

5.5.11.3 Parámetros

Los parámetros considerados fueron imágenes multiespectrales y RGB. La información de los datos obtenidos se muestra en la siguiente Tabla 5.48.

Tabla 5.48. Información de sobrevuelo fotogramétrico con RPAS por grillas simples

Código de grillas	Tipo de procesamiento	Cantidad de imágenes procesadas (Sensor Multiespectral)	Cantidad de imágenes calibradas (Sensor Multiespectral)	Cantidad de imágenes procesadas (Sensor RGB)	Cantidad de imágenes calibradas (Sensor RGB)	Productos generados (Sensor Multiespectral)	Productos generados (Sensor RGB)
OCS-05	2D	1408	1396	234	234	NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)	1. Ortomosaico
OCS-05_1							
OCS-05_2							
OCS-01							

Código de grillas	Tipo de procesamiento	Cantidad de imágenes procesadas (Sensor Multiespectral)	Cantidad de imágenes calibradas (Sensor Multiespectral)	Cantidad de imágenes procesadas (Sensor RGB)	Cantidad de imágenes calibradas (Sensor RGB)	Productos generados (Sensor Multiespectral)	Productos generados (Sensor RGB)
						NDRE (Índice de diferencia normalizada de borde rojo)	2. Modelo digital de elevación

5.5.11.4 Equipos utilizados

Los equipos utilizados para el levantamiento fotogramétrico se detallan en el reporte de campo N.° RC-064-2020-STEC (Anexo 2).

5.5.11.5 Criterios de evaluación

Para el presente estudio, se utilizaron los índices de vegetación derivados de la imagen multiespectral resultante del sobre vuelo con el sensor Parrot Sequoia.

Los datos espaciales se obtuvieron mediante la captura de información digital multiespectral con precisión milimétrica. El tratamiento de los datos fue realizado mediante el Sistema de Información Arcgis 10.7, el software pix4Di mapper y Agisoft metashape.

5.5.11.6 Captura de Imágenes e Información digital

Para el estudio se pre-procesaron las imágenes del sensor Parrot sequoia de alta resolución espacial capturadas mediante el dron.

La imagen de alta resolución espacial (0.16 metros) corresponde a un Ortomosaico multiespectral de 4 bandas (GREEN, RED, RED_EDGE y NIR) capturados en campo la fecha del 21 al 24 de setiembre del 2020, con el que se generaron índices de vegetación NDRE y NDVI.

Imagen Multiespectral del Sensor Parrot Sequoia a precisión geodésica

Se realizaron sobrevuelos en las diferentes formaciones vegetales presentes en el área del ámbito de la Laguna Quilcamamchay, correspondientes a las grillas de código que se muestran en la (Tabla. 0.1), siguiendo el «protocolo para la operación de los sistemas de aeronaves piloteadas a distancia (RPAS)[24]».

El área cubierta aproximada fue de 24,18 ha a una altura de vuelo sobre el terreno de 150 m (condiciones del equipo por la altitud y peso de la cámara multiespectral acoplada), el cual cubrió toda el área y zonas aledañas. El horario fue diurno entre las 10:00 a 13:00 horas

24 Resolución Jefatural N.° 051-2017-CENEPRED/J.

considerando la actividad fotosintética de la planta, incidencia solar, velocidad de vientos, nubosidad, altitud, etc.

Se posicionaron puntos de control geodésico previos a la ejecución del vuelo, teniendo en consideración la norma técnica para el procesamiento global estático con receptores GNSS[25] y el levantamiento geodésico vertical[26].

Ejecución del vuelo fotogramétrico

a. Planificación de Vuelo

El plan de vuelo se realizó tomando en cuenta la superficie a volar, teniendo en consideración el magnetismo terrestre, previsión meteorológica, revisión de índice Kp, comprobación del espacio aéreo, velocidad del viento, relieve del terreno, altura de la vegetación promedio y obstáculos presentes en la zona.

b. Medición de Puntos DGPS por Método Estático

Se realizó la medición de puntos a partir de la utilización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), aplicando el método estático con un equipo diferencial.

La medición de los puntos se realizó con el método estático, este tipo de medición se utilizó puesto que se requería obtener coordenadas de un punto de manera precisa y confiable (Pachas, 2009). El procedimiento consistió en ubicar dos estaciones de recepción simultáneamente, Base y Rover. Se permaneció en el punto por aproximadamente 1 hora para el proceso de grabación de los datos en campo trasmitido desde los satélites (el tiempo de medición va a depender de la distancia entre receptores, la configuración geométrica de los satélites y las condiciones de obstrucción que se presenten en la zona), este proceso se repitió para los demás puntos de medición.

La captura de datos se hizo cada 5 segundos, el ángulo de medición fue de 15º sobre el horizonte y el tiempo de medición fue de aproximadamente una hora en cada estación.

Se determinó el punto donde se colocó el equipo base o estación de referencia, y posteriormente, precisó el sitio más idóneo para colocar el nuevo punto a medir, es decir, la estación donde se colocó el equipo Rover. Para este trabajo se tomó 1 punto de estación base y 4 puntos de control como se describe en la Tabla 5.48.

Posteriormente se colocaron las dianas y estacas para la identificación en el vuelo.

Como resultados se obtuvieron coordenadas de 26 puntos tomados, medidos en el Datum WGS84, a través de la aplicación del software de post-proceso Trimble Business Center (TBC); estos puntos GPS servirán de apoyo para la ejecución del Ortomosaico en RGB y multiespectral.

25 Resolución Jefatural N° 139-2015/IGN/UCCN

26 Resolución Jefatural N° 057-2016/IGN/UCCN

c. Lista de Chequeo

La lista de chequeo son herramientas fundamentales para el control de los procesos de campo, pre-vuelo y post -vuelo.

- Se verificó que las baterías estuvieran con la carga adecuada
- Se verificó que los powerbank estuvieran con la carga adecuada
- Se verificó que las baterías del control remoto del dron estuvieran con la carga adecuada.
- Se aseguró que el dispositivo para el seguimiento de vuelo estuviera cargado y con todos los aplicativos necesarios instalados
- Se verificó que el dron tuviera la tarjeta SD vacía.
- Se verificó que se cuente con un juego de hélices de repuesto
- Se realizó la inspección de pre-vuelo para determinar que el dron se encontrase en condiciones seguras para operar

d. Reconocimiento de Sitios de Interés y Establecimiento de áreas de despegue y Aterrizaje.

Se realizó el vuelo previo atendiendo primordialmente a las alturas de los árboles con respecto al punto de despegue con la finalidad de programar la altura de la maniobra Return to Home (RTH) con mejor criterio.

Se realizó algunos ajustes del plan de vuelo previsto, principalmente en los tiempos y altura de vuelo establecidos en gabinete, debido a los obstáculos presentes y considerando la altitud de la zona en respuesta al funcionamiento del dron.

e. Vuelo del Sistema de Aeronave Piloteada Remotamente (RPAS)

Para iniciar con la ejecución del vuelo se procedió con el armado del dron teniendo en consideración todos los pasos previos de seguridad, verificando la configuración de todo el sistema mediante el DJI GO 4 realizando las correcciones y pruebas necesarias.

Posteriormente se instaló la cámara multiespectral Parrot Sequoia, la cual se programó para capturar imágenes en intervalos de 1 segundo y medio, ésta se instaló usando un adaptador correspondiente al modelo del dron. Finalmente se instaló todos los demás accesorios propios del dron, realizando la configuración y encendido de la cámara.

El tamaño del área para cada grilla estimado para el sobrevuelo fue de 4 ha en un tiempo aproximado entre 6 a 7 minutos entre el ascenso y descenso del dron, teniendo en cuenta una altura de 150 m sobre el terreno.

Se tomó información en campo de la hora de vuelo, cobertura de nubes, velocidad del viento.

f. Validación de Información Obtenida de Misiones de Vuelo

Una vez finalizado la misión de vuelo, se procedió a la verificación de la información fotográfica de las cámaras en los equipos, donde se verificaron la calidad de las imágenes RGB y multiespectral para posteriormente descargarlas y procesarlas.

g. Lista de Chequeo Post-Vuelo

Finalizada la misión de vuelo programada de todas las áreas de interés, se procedió a verificar todo el equipamiento del dron utilizado observando que estuviera completo y en buenas condiciones, para su posterior guardado y traslado.

5.5.11.7 Procesamiento de puntos de control geodésico

Luego de descargar la información de los georreceptores, los archivos son convertidos a formato Rinex (acrónimo de receiver independent exchange), el post-proceso se realizó con el software Trimble Business Center (TBC), que es un sistema de post-proceso diferencial GPS (DGPS) que permite la solución de puntos individuales GPS o de redes geodésicas complejas, observados por receptores de datos Rinex que provienen de otros equipos.

5.5.11.8 Pre-procesamiento de imágenes del Sensor Parrot Sequoia

El proceso comienza con la depuración de las fotografías espectrales obtenidas en campo, que consiste en hacer una selección estratégica, con el fin de eliminar las que están fuera del área de estudio o que no cumplan con las características mínimas para el post procesamiento, con el objetivo de reducir el tiempo de procesamiento.

Es necesario tener en cuenta que el sensor Sequoia es un accesorio independiente al funcionamiento del dron, por lo que este empieza a capturar imágenes mucho antes de iniciar el plan de vuelo del dron, sin embargo, las imágenes capturadas antes del plan no corresponden al área de estudio y además perjudican el procesamiento.

Por lo tanto, se depuraron fotos fuera del área de interés de vuelo que captó el sensor Sequoia, debido a que este sensor tuvo una programación de vuelo por intervalo de tiempo de una toma cada segundo y medio, como dicho sensor es independiente fue acoplado al dron, empezando a capturar información antes de iniciar el plan de vuelo establecido, dando como resultado una serie de imágenes que no aportan al procesamiento.

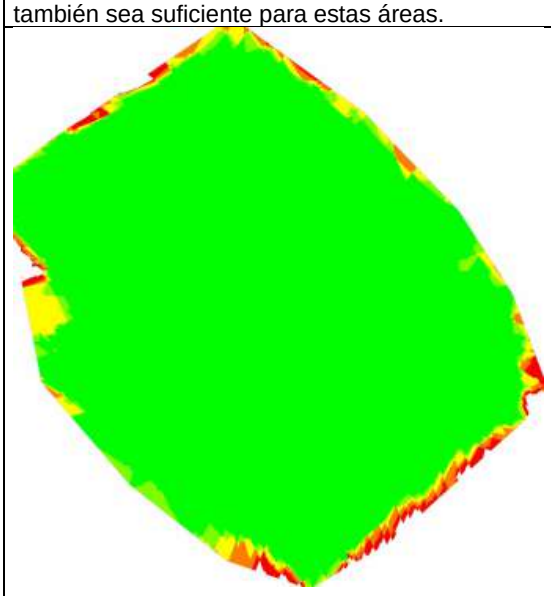
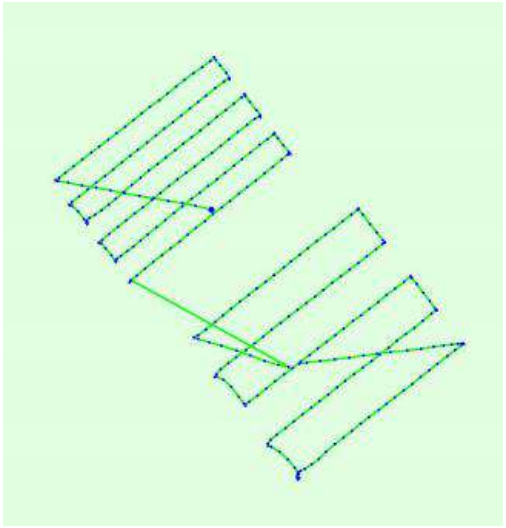
Terminada la depuración, se procedió a importar las imágenes seleccionadas al software Pix4D, para lo cual se utilizó la plantilla «Ag Multiespectral».

El «Ag Multiespectral» ejecuta los siguientes pasos:

- Como paso inicial el algoritmo de la plantilla define puntos clave, los cuales fueron utilizados para realizar comparación y emparejamiento entre las imágenes del proyecto.
- El emparejamiento de imágenes se realizó mediante la comparación de los puntos clave. En este proceso se reconstruye la geometría mediante la solución de Pix4D Mapper para la metodología de structure from motion (Referencia).
- Después de reconstruir la geometría se realizó la Calibración de las imágenes multiespectrales mediante la importación de imágenes de calibración de irradiación solar tomadas en campo antes de la ejecución del plan de vuelo.
- Una vez calibradas las imágenes se realizó la georreferenciación mediante la identificación de los puntos de control en las imágenes.
- Por segunda vez se realiza el emparejamiento, pero utilizando las imágenes calibradas georreferenciadas.
- Terminado el emparejamiento se construyó la nube de puntos densa y posteriormente el Modelo de Elevación a Superficie (DSM) con el cual se orto-rectificaran las imágenes para finalmente construir el orto-mosaico multiespectral, producto sobre el cual se puede realizar el cálculo de índices radiométricos.

Como resultado se obtuvieron ortomosaicos separados de las bandas espectrales green, red, red_edge, nir de resolución espacial de 0.16 metros. (Tabla 5.49)

Tabla 5.49. Datos de procesamiento (Sensor Multiespectral)

Detalle de calibración y posición de puntos	
Superposición de imágenes	**Posiciones iniciales de imágenes**
Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico. Las áreas rojas y amarillas indican una baja superposición para la cual se pueden generar resultados pobres. Las áreas verdes indican una superposición de más de 5 imágenes por cada píxel. Se generarán resultados de buena calidad siempre que el número de coincidencias de puntos clave también sea suficiente para estas áreas.	Vista superior de la posición inicial de la imagen. La línea verde sigue la posición de las imágenes en el tiempo a partir del punto azul grande.
 Número de imágenes superpuestas: 1 2 3 4 5+	 Número de imágenes procesadas: 2404 Área cubierta: 0,242 km^2

Cámara

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	GSD	Georreferenciación	Área
Sequoia	1280x960(Green), 1280x960(Red), 1280x960(Red edge), 1280x960(NIR),	4.88 mm	12,00 cm	yes, 3 GCPs (3 3D), mean RMSerror = 0,035 m	24,1820 ha

Para la generación del ortomosaico RGB se realizó mediante el procesamiento de las 234 imagines RGB a través del software agisoft Metashape como se detalla en la tabla 5.50.

Tabla 5.50. Datos de procesamiento (Sensor RGB)

Detalles iniciales de procesamiento (Sensor RGB)	
Información del sistema	
Software	Agisoft Metashape
Hardware	CPU: Intel(R) Core (TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz RAM: 31.86GB

Detalles iniciales de procesamiento (Sensor RGB)	
	GPU: GeForce GTX 1060
Sistema operativo	Windows 64-bit
Sistema de coordenadas	
Sistema de coordenadas de las imágenes	WGS 84 / UTM zone 18S + EGM2008
Sistema de coordenadas de los productos	WGS 84 / UTM zone 18S + EGM2008
Posicionamiento de cámaras y solapamiento de imágenes	
Número de imágenes	234
Imágenes alineadas	234
Altitud media de vuelo	155 m
Resolución en terreno	2,66 cm/px
Área de cubierta	0,167 km2
Modelo de cámara	FC6310S (8,8 mm)
DSM, ortomosaico	
Punto de control terrestre	
Puntos de apoyo	3
Error en X (m)	0,128553
Error en Y (m)	2,10544
Error en Z (m)	1,553572
Resolución MDE	5,33 cm/pixel
Tiempo aproximado de procesamiento	40 m :41s

6. RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados detallados por objetivo empleado en la evaluación ambiental de causalidad para determinar la influencia de los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, *stock piles*, tajo Raúl y Polvorín de la unidad fiscalizable Cerro de Pasco, al ambiente.

6.1. Objetivo específico 1: Determinar la composición de los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, *stock piles* y tajo Raúl, movilidad de los elementos de preocupación ambiental y los mecanismos de transporte.

Los resultados de la caracterización de los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, *stock piles* y tajo Raúl y el estudio de geofísica de resistividad eléctrica, se presentan a continuación.

6.1.1. Resultados de la caracterización geoquímica y mineralógica del botadero de desmonte Miraflores, Rumiallana, tajo Raúl Rojas y material aledaño al tajo Raúl Rojas

Para la caracterización geoquímica se extrajeron muestras simples de material de componente minero de botadero de desmonte Miraflores (CMOxP-2 y CMOxP-3), tajo Raúl Rojas (CMOxP-12, CMOxP-13 y CMOxP-14) y material acumulado aledaño al Tajo Raúl Rojas (CMOxP-15 y CMOxP-16) y el canal de contención de la línea de relave San Expedito. Asimismo, muestras compuestas del depósito de desmonte Rumiallana (CMOxP-7 y CMOxP-8), cuyos parámetros fisicoquímicos se detallan a continuación:

6.1.1.1. Metales totales

En el depósito de desmonte Miraflores las muestras simples extraídas, muestran una mayor concentración de hierro en comparación a los demás metales mayoritarios (Figura 6.1a). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico que los demás metales (Figura 6.1b); en tanto elementos traza se encuentran representados por el zinc y plomo en comparación a los demás metales (Figura 6.1c)

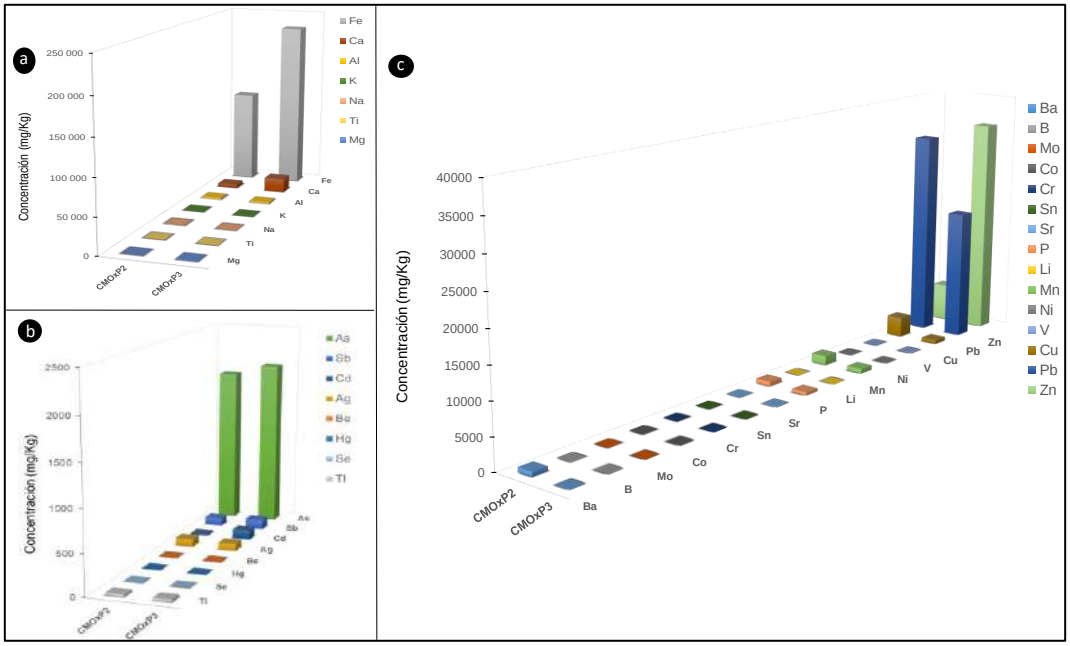


Figura 6.1. Metales totales de material del depósito de desmonte Miraflores en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza

Las muestras simples extraídas del material aledaño al tajo Raúl Rojas, muestran una mayor concentración de hierro en comparación a los demás metales mayoritarios (Figura 6.2a). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico que los demás metales (Figura 6.2b); en tanto elementos traza se encuentran representados por el plomo y zinc en comparación a los demás metales (Figura 6.2c)

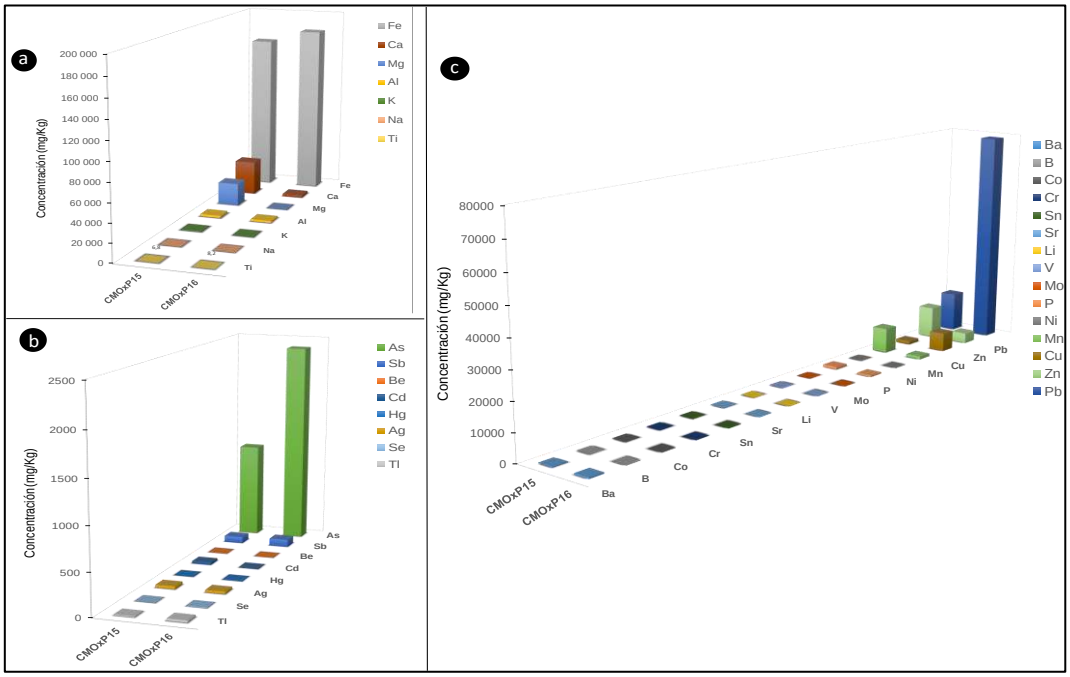


Figura 6.2. Metales totales de material del componente minero del Stock Pile en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza

En el tajo Raúl Rojas, las muestras simples extraídas, muestran una mayor concentración de hierro en comparación a los demás metales mayoritarios (Figura 6.3a). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico que los demás metales (Figura 6.3b); en tanto elementos traza se encuentran representados por el zinc y plomo en comparación a los demás metales (Figura 6.3c).

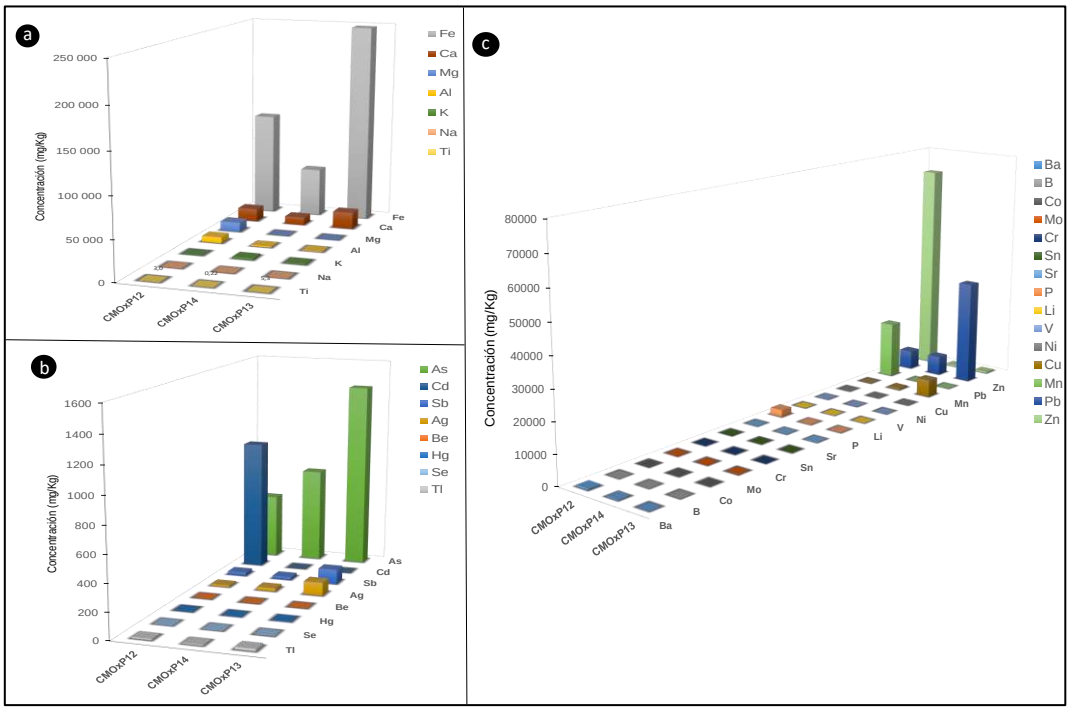


Figura 6.3. Metales totales de material del tajo Raúl Rojas en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza

En el botadero de desmonte Rumiallana, las muestras compuestas extraídas, muestran una mayor concentración de calcio y hierro en comparación a los demás metales mayoritarios (Figura 6.4a). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico que los demás metales (Figura 6.4b); en tanto elementos traza se encuentran representados por el zinc y plomo en comparación a los demás metales (Figura 6.4c).

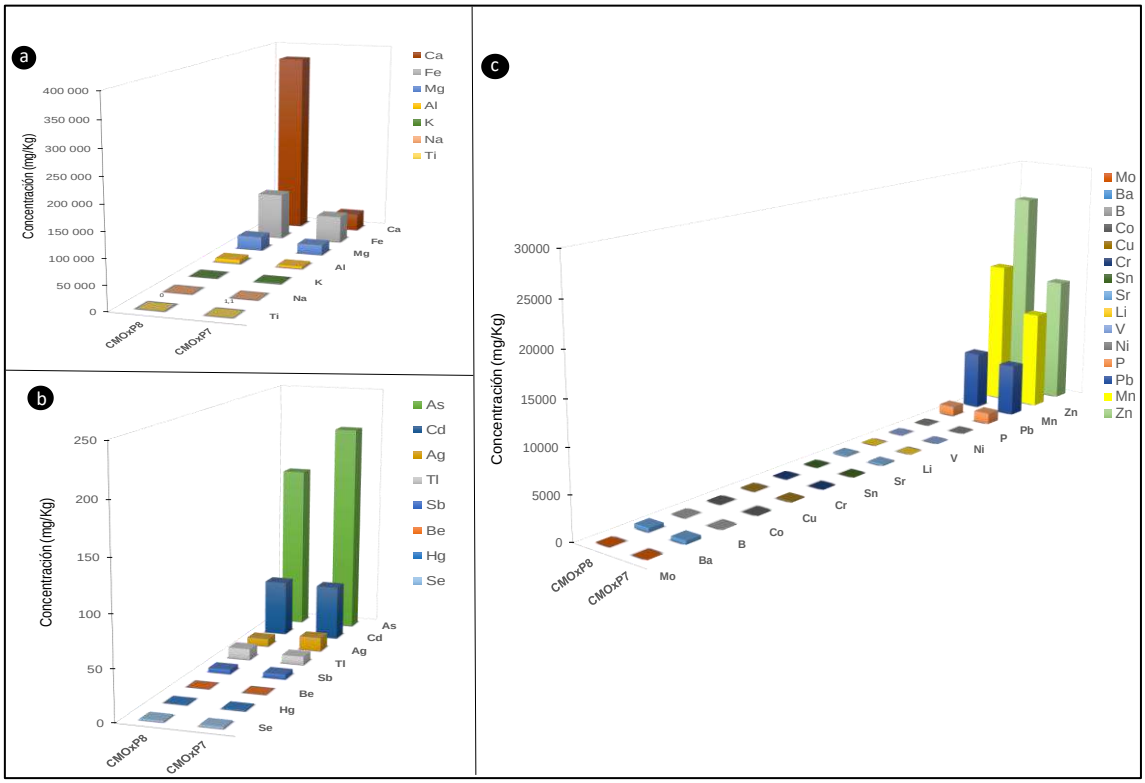


Figura 6.4. Metales totales de material botadero de desmonte Rumiallana en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza

La muestra ubicada en el canal de contención de la línea de relave San Expedito, las muestras compuestas extraídas, muestran una mayor concentración de calcio y hierro en comparación a los demás metales mayoritarios (Figura 6.5a). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico que los demás metales (Figura 6.5b); en tanto elementos traza se encuentran representados por el zinc y manganeso en comparación a los demás metales (Figura 6.5c).

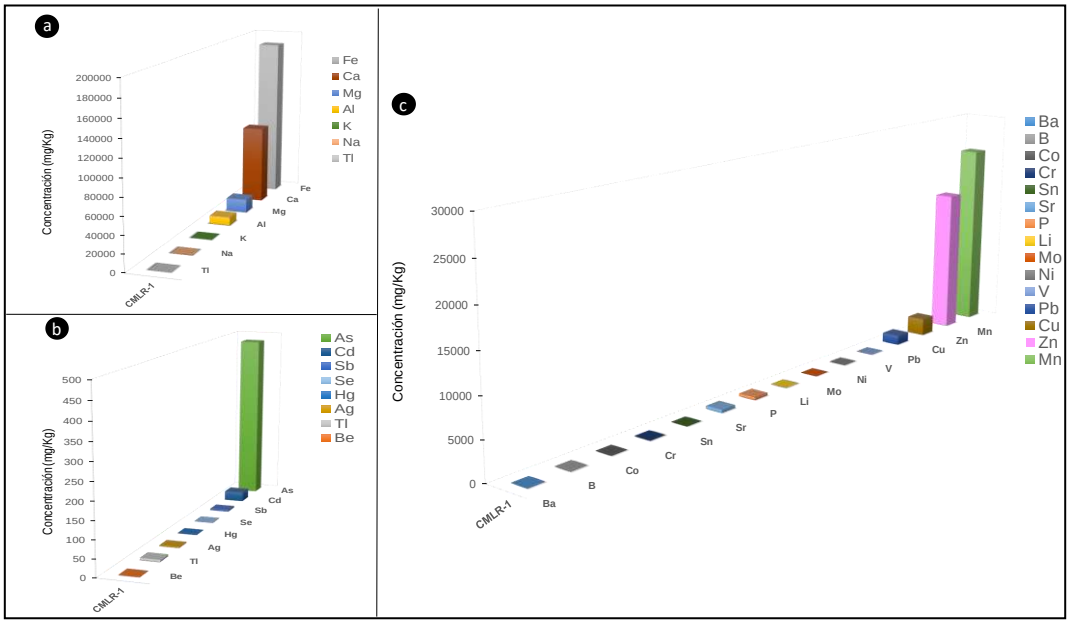


Figura 6.5. Metales totales en el canal de contención de la línea de relave San Expedito en **a)** elemento mayores **b)** elemento menores y **c)** elementos traza

6.1.1.2. *Shake flake* aniones-metales

En el ámbito del depósito de desmonte Miraflores las muestras extraídas, muestran una mayor movilidad del anión sulfatos en comparación a cloruros, nitratos, fluoruros y nitritos (Figura 6.6).

La prueba *shake flask* metales muestran una mayor movilidad de i) fierro dentro de los elementos mayores (Figura 6.7a) ii) cadmio, dentro de los elementos menores (Figura 6.7b) y iii) zinc, manganeso y cobre dentro de los elementos traza (Figura 6.7c). Cabe precisar que, los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

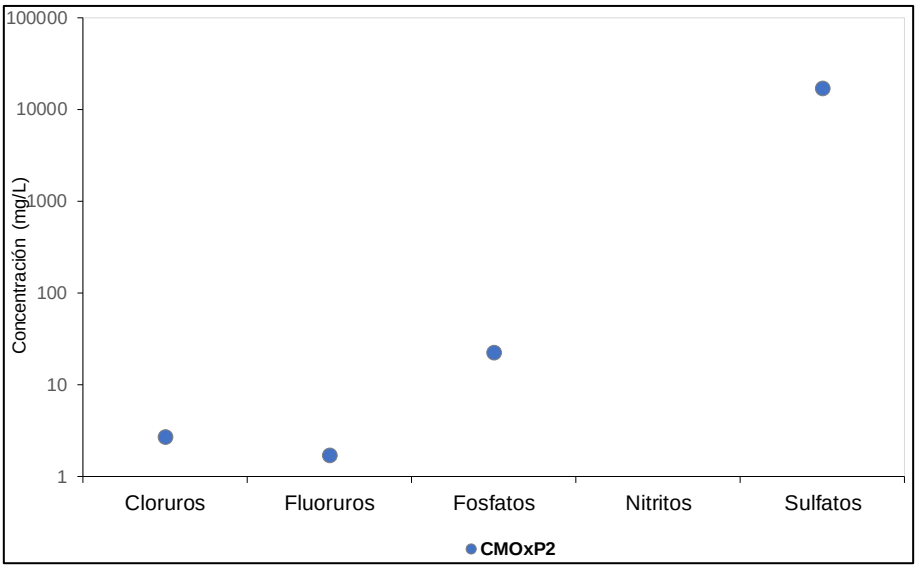


Figura 6.6. Shake Flask aniones en el depósito de desmonte Miraflores

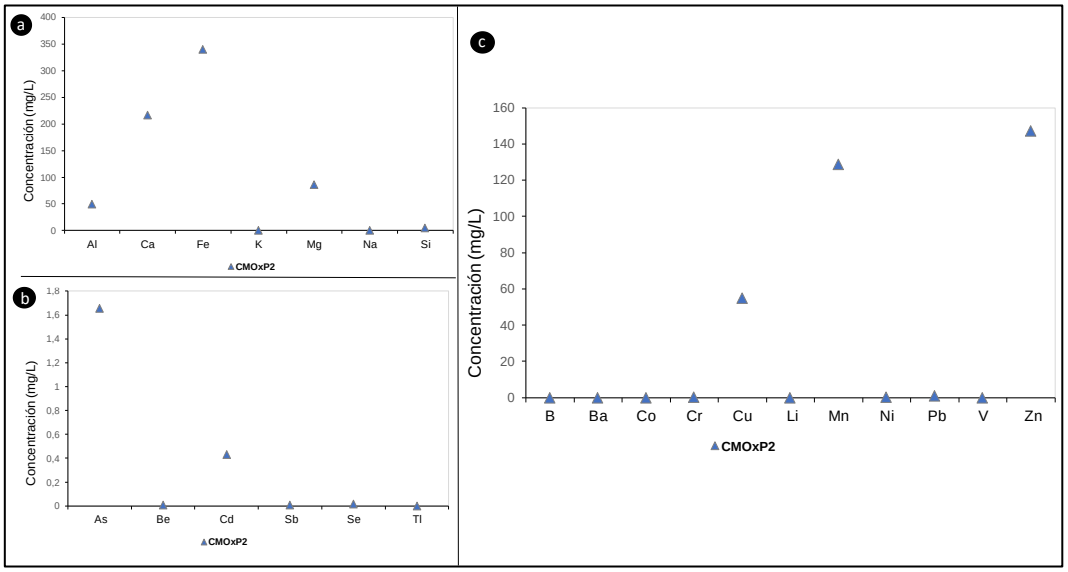


Figura 6.7. Shake Flask metales en el depósito de desmonte Miraflores en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza

Las muestras extraídas del material aledaño al tajo Raúl Rojas, muestran una mayor movilidad del anión sulfatos en comparación a cloruros, nitratos, fluoruros y nitritos (Figura 6.8).

La prueba *shake flask* metales muestran una mayor movilidad de i) calcio dentro de los elementos mayores (Figura 6.9a) ii) cadmio, dentro de los elementos menores (Figura 6.9b) y iii) manganeso y zinc dentro de los elementos traza (Figura 6.9c). Cabe precisar que, los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

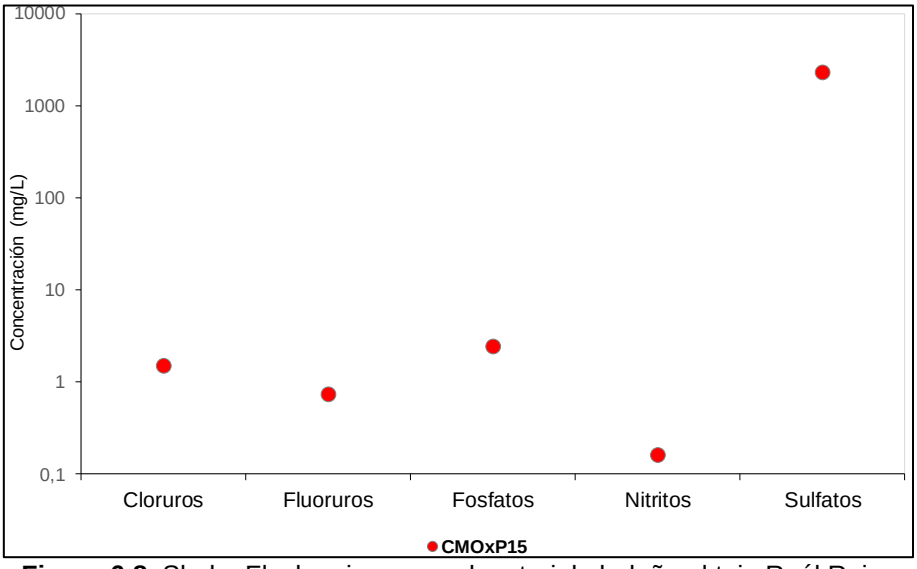


Figura 6.8. Shake Flask aniones en el material aledaño al tajo Raúl Rojas

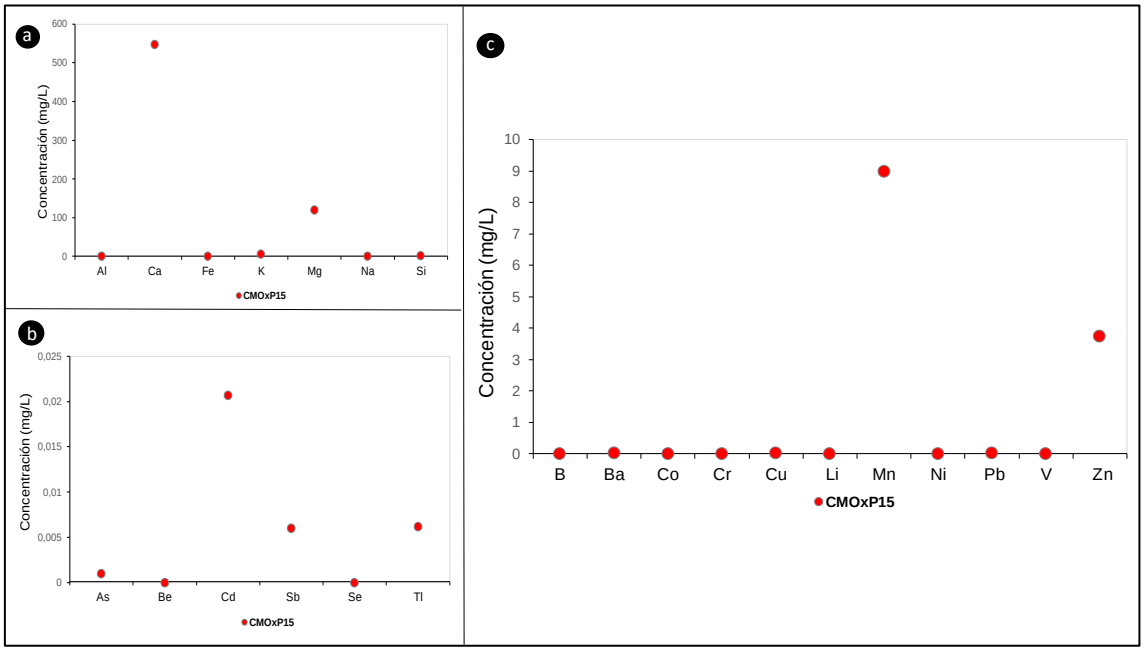


Figura 6.9. Shake Flask metales en el material aledaño al tajo Raúl Rojas en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza

Las muestras extraídas del Tajo Raúl muestran una mayor movilidad del anión sulfatos en comparación a cloruros, nitratos, fluoruros y nitritos (Figura 6.10).

La prueba *shake flask* metales muestran una mayor movilidad de i) calcio y magnesio dentro de los elementos mayores (Figura 6.11a) ii) cadmio, dentro de los elementos menores (Figura 6.11b) y iii) manganeso y zinc dentro de los elementos traza (Figura 6.11c). Cabe precisar que, los metales que no se muestran en las gráficas porque se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

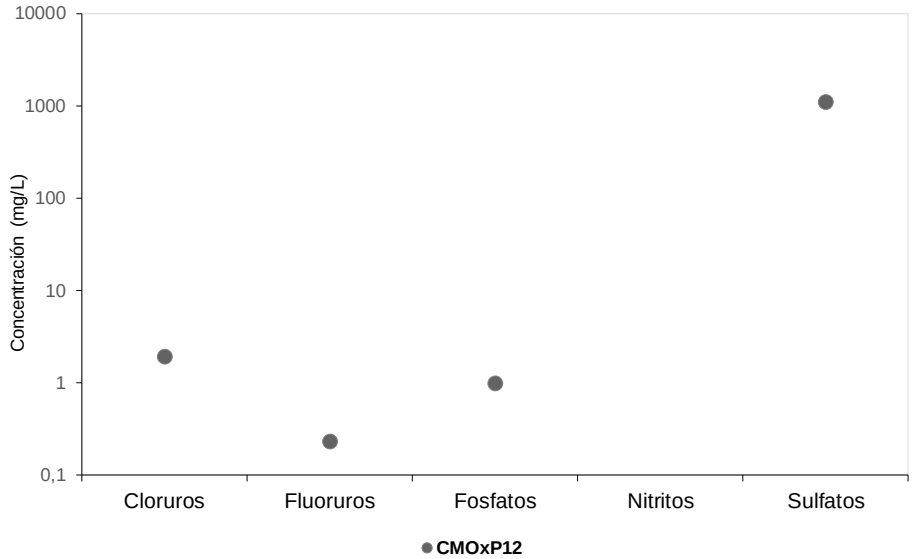


Figura 6.10. Shake Flask aniones en el Tajo Raúl Rojas

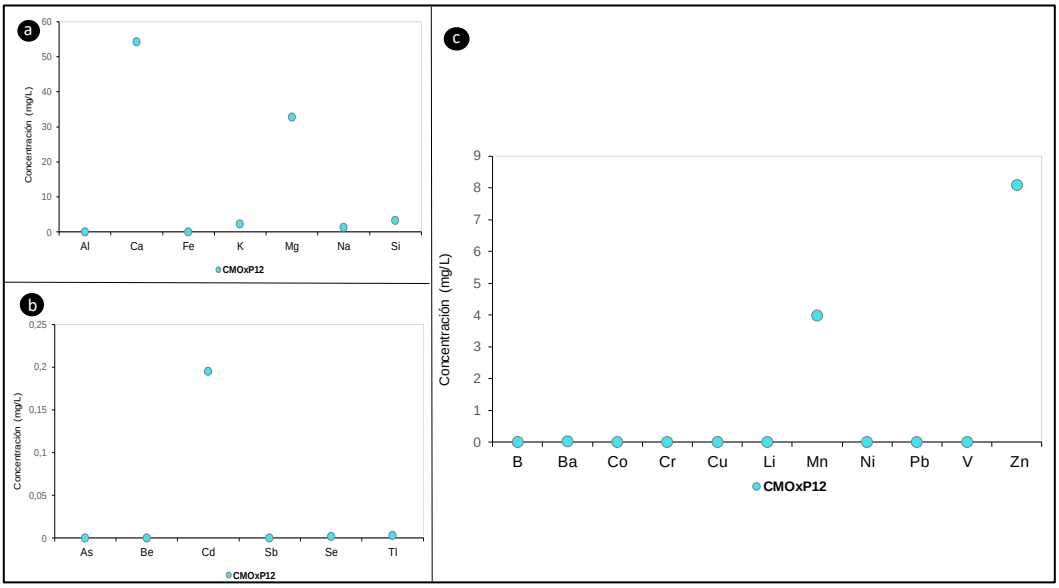


Figura 6.11. Shake Flask metales en el Tajo Raúl Rojas en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza

En el ámbito del depósito de desmonte Rumiallana las muestras compuestas extraídas, muestran una mayor movilidad del anión sulfatos en comparación a cloruros, nitratos, fluoruros y nitritos (Figura 6.12).

La prueba *shake flask* metales muestran una mayor movilidad de i) calcio dentro de los elementos mayores (Figura 6.13a) ii) cadmio dentro de los elementos menores (Figura 6.13b) y iii) zinc dentro de los elementos traza (Figura 6.13c). Cabe precisar que, los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

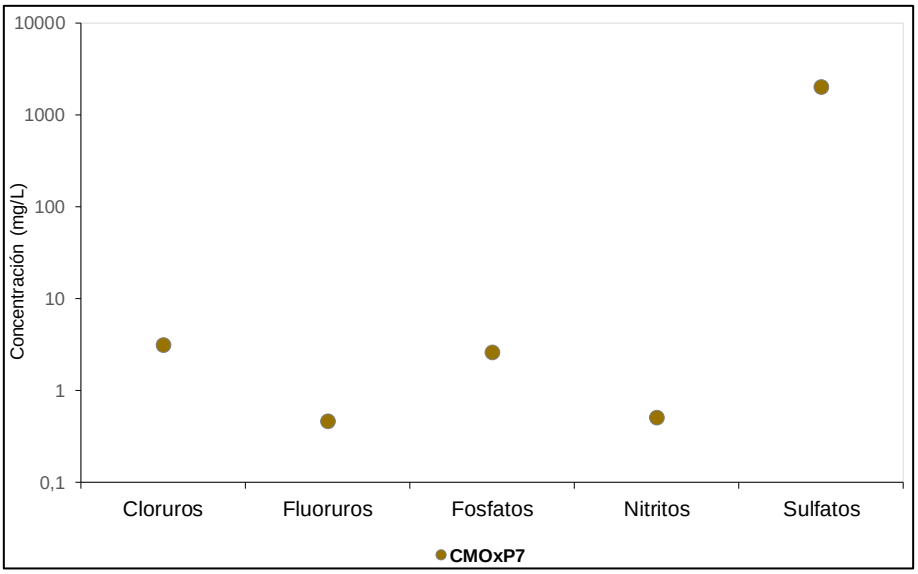


Figura 6.12. Shake Flask aniones en el depósito de desmonte Rumiallana

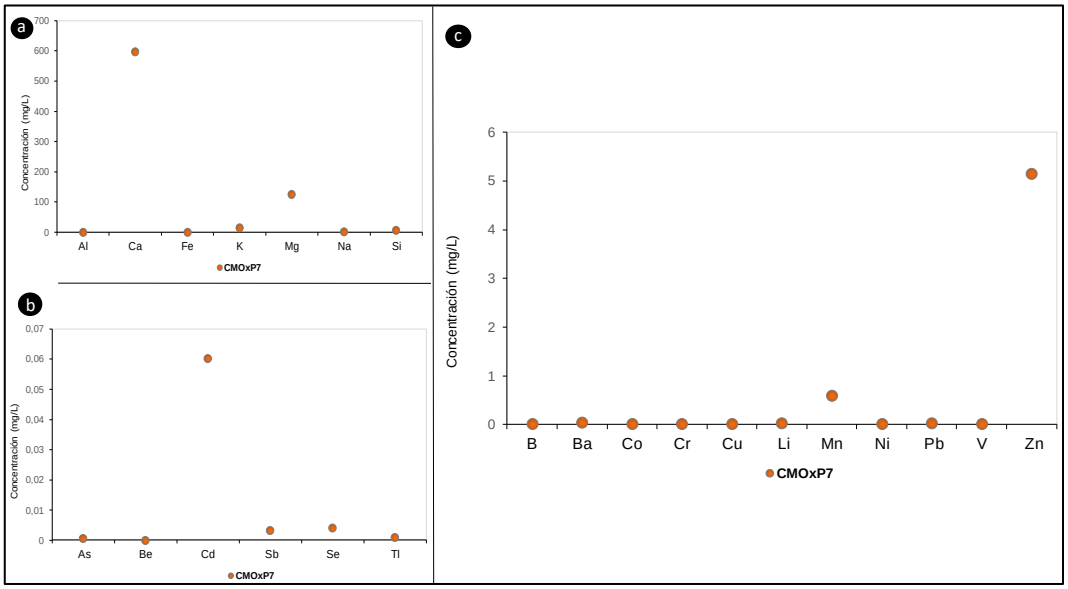


Figura 6.13. Shake Flask metales en el depósito de desmonte Rumiallana en relación a los **a)** elementos mayores y **b)** elementos menores y **c)** elementos traza

6.1.1.3. ABA

Las muestras extraídas del botadero de desmonte Miraflores (CMOxP2) y material acumulado aledaño al Tajo Raúl Rojas (CMOxP15), según el primer y segundo criterio para evaluar la prueba estática de balance ácido-base (ABA), son potenciales generadores de acidez. En tanto que, el depósito de desmonte Rumiallana (CMOxP7), tajo Raúl Rojas (CMOxP12) y material ubicado en el canal de contención de la línea de relave San Expedito son potencial no generador de acidez (CMLR-1).

Tabla 6.1. Resultados de la prueba ABA en el botadero Miraflores, tajo Raúl Rojas, botadero Rumiallana y material ubicado en el canal de contención de la línea de relave San Expedito y aledaño al tajo Raúl Rojas

Parámetros	Unidad	CMOxP2	CMOxP15	CMOxP12	CMOxP7	CMLR-1
Grado de efervescencia	-	2	4	3	4	4
pH en Pasta Sobek Modificado	Unidades pH	4,860	8,070	7,530	7,560	7,900
Potencial de Acidez Máximo Sobek Modificado	Kg $CaCO_3$/Ton	119,06	369,38	14,06	39,06	49,69
Potencial de Neutralización Neto Sobek Modificado	Kg $CaCO_3$/Ton	-115,66	-62,52	45,69	156,71	106,50
Potencial de Neutralización Sobek Modificado	Kg $CaCO_3$/Ton	3,40	306,86	59,75	195,77	156,19
Relación (NP-MPA) Sobek Modificado	-	0,03	0,83	4,25	5,01	3,14
Azufre Total - Tercerizado	%	5,57	12,4	0,49	1,86	5,75
Conclusión de criterio 1 (PNN) [a]		PGA	PGA	PNGA	PNGA	PNGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN) [b]		PGA	PGA	PNGA	PNGA	PNGA
(a): **Criterio 1:** Para un PNN menor a cero, la muestra es «generadora neta de ácido». Sin embargo, para un PNN que varía entre -20 y +20 kg CaCO3/Ton de muestra, corresponde a un rango de «incertidumbre». Para valores						

mayores a +20 kg CaCO3/Ton, se considera a la muestra como «potencial no generador de ácido (PNGA)»; mientras que para valores menores a -20 kg CaCO3/Ton se considera como «potencial generador de ácido». (b): **Criterio 2:** Para un RPN= PN/PA < 1:1 es «probable que se genere acidez», mientras que para el rango de PN/PA entre 1:1 y 3:1 corresponde a una zona de «incertidumbre». Cuando el PN/PA > 3:1, la muestra es «potencial no generador de acidez (PNGA)»

6.1.1.4. Mineralógico por microscopía electrónica de barrido (MEB)

La muestra simple extraída del depósito de desmonte Miraflores (CMOxP2) poseen minerales que contienen mayor porcentaje de hierro (pirita, calcopirita, hematita y goethita); así como la galena aporta plomo, la covelita aporta cobre (Figura 6.14).

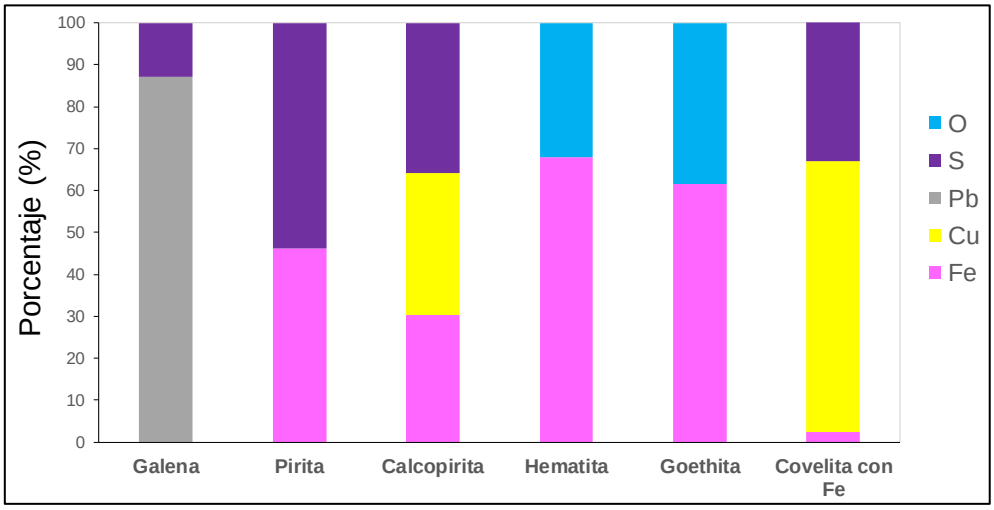


Figura 6.14. MEB en el depósito de desmonte Miraflores

La muestra compuesta extraída en el depósito de desmonte Rumiallana (CMOxP7) poseen minerales que contienen mayor porcentaje de fierro (pirita, calcopirita, hematita, goethita); así como la galena aporta plomo, esfalerita aporta zinc y el rutilo en titanio (Figura 6.15).

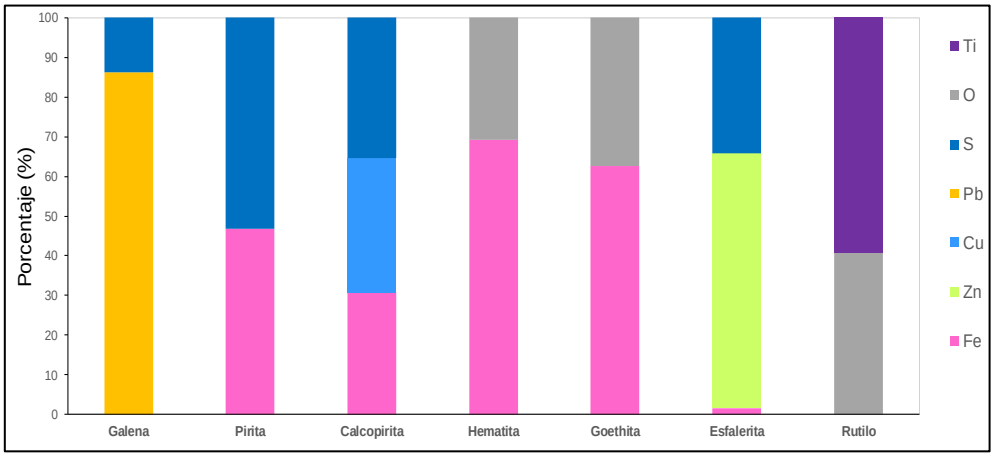


Figura 6.15. MEB en el depósito de desmonte Rumiallana

La muestra simple extraída del tajo Raúl Rojas (CMOxP12) poseen minerales que contienen mayor porcentaje de fierro (pirita, calcopirita, goethita y óxidos de hierro y manganeso); así como la galena aporta plomo, esfalerita aporta zinc y covelita en cobre (Figura 6.16).

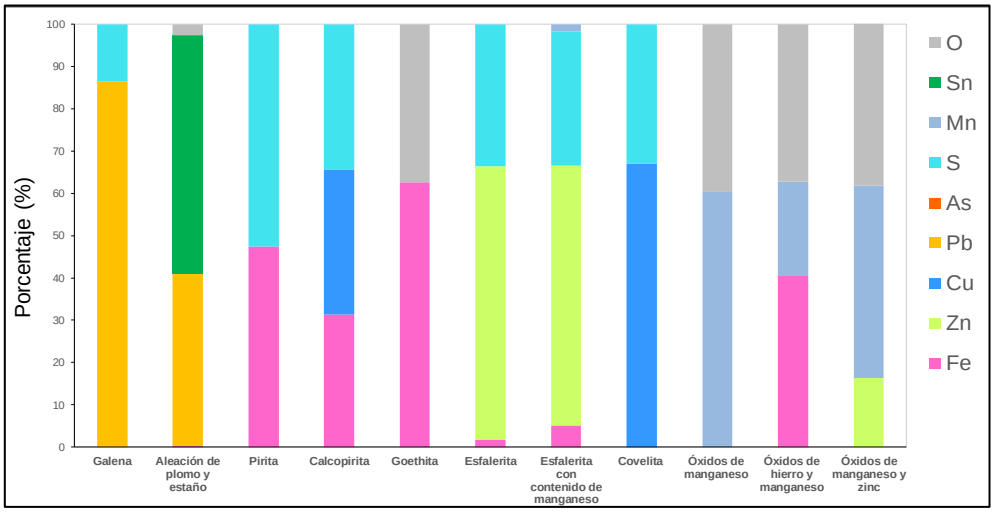


Figura 6.16. MEB en el depósito de desmonte Rumiallana

La muestra simple extraída del material aledaño al tajo Raúl Rojas (CMOxP15) poseen minerales que contienen mayor porcentaje de fierro (pirita, calcopirita, goethita, hematita y óxidos de manganeso y plomo); así como la galena aporta plomo y esfalerita aporta zinc (Figura 6.17).

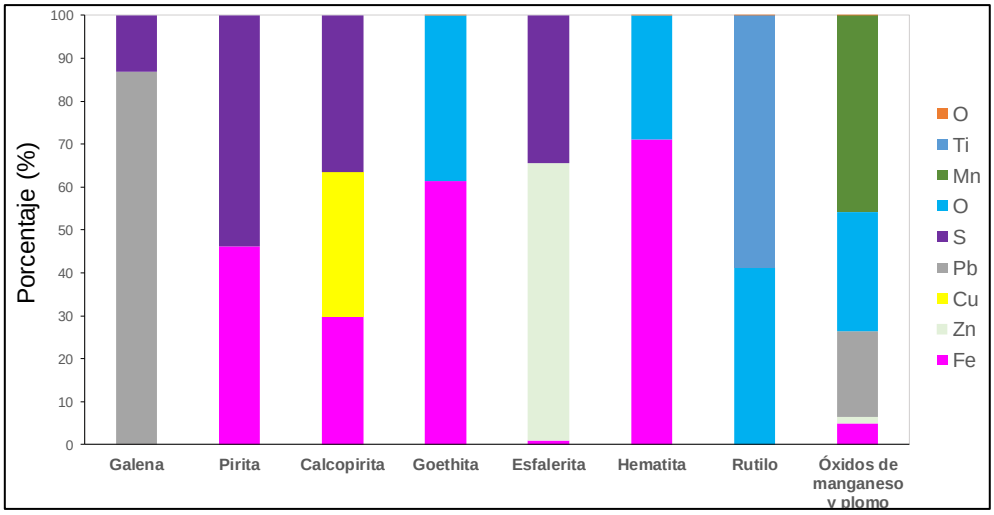


Figura 6.17. MEB en el material aledaño al Tajo Raúl Rojas

6.1.2. Resultados del estudio de tomografía de resistividad eléctrica

Se realizaron 3 líneas de tomografía eléctrica, generándose así secciones (perfiles) a partir de los datos adquiridos en campo en el ámbito de los *stock piles*. A continuación, se presentan los resultados e interpretación para cada una de las líneas geofísicas estudiadas.

6.1.2.1. Resultados de líneas tomográficas eléctricas

- **Interpretación de la tomografía de resistividad eléctrica LT-01**

Línea LT-01 ubicada al pie del talud del acceso del stock pile Aeropuerto, aproximadamente a 5 metros de la canalización del río Ragra, margen derecha y aproximadamente a 300

metros al este de la planta de neutralización. Con una longitud de 112 metros totales, alcanzando una profundidad máxima de investigación de 30 metros.

En la sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-01 (Figura 6.18) se determinó tres zonas (A, B y C). La zona A presentó resistividades de 3,7 a 6,9 Ohm.m, caracterizado por un material alterado, no consolidado y saturado, ubicado entre las estaciones 7 y 63, 77 y 98 llegando a una profundidad máxima de 21 metros aproximadamente. Asimismo, entre las estaciones 14 y 28, 84 y 98 a profundidades de 12 metros aproximados se presentó valores de resistividad entre los 3,7 y 4,5 Ohm.m que probablemente estarían asociados a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente con resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999). La zona B con resistividades de 7 a 9,9 Ohm.m relacionado a la presencia de roca alterada/fracturada rellena de arcillas saturadas. Y la zona C presentó resistividades de 10 a 56,5 Ohm.m. Dicha zona C en la parte cercana a la superficie corresponde a sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvioglaciar constituido por gravas, arenas y limos saturados con cierta homogeneidad horizontal con fragmentos de composición variable, mientras que en la zona C ubicada en profundidad (a 10 metros desde la superficie aproximadamente) corresponde a roca fracturada con cierto grado de humedad.

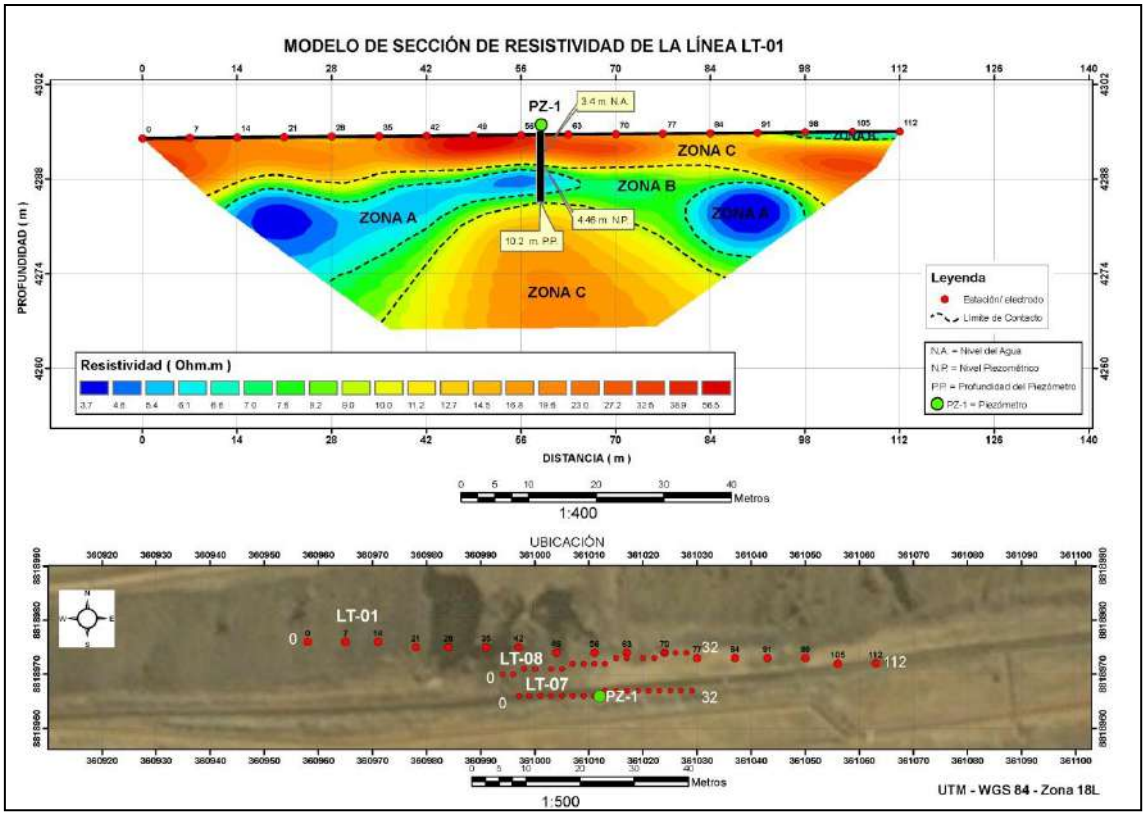


Figura 6.18. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-01

- **Interpretación de la tomografía de resistividad eléctrica LT-07**

Línea LT-07 ubicada aproximadamente a 16 metros al oeste del piezómetro denominado PZ-1, margen izquierda del río Ragra. Con una longitud de 32 metros totales, alcanzando una profundidad máxima de investigación de 8,6 metros.

En la sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-07 (Figura 6.19) se determinó tres zonas (A, B y C). La zona A presentó resistividades de 1,8 a 5,6 Ohm.m.

relacionado a la presencia de roca alterada/fracturada rellena de arcillas saturadas, ubicado entre las estaciones 4 y 24 a profundidades de 6 metros aproximadamente, que probablemente también estarían asociados a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente con resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999), además, entre las estaciones 2 y 6 cercano a la superficie corresponde a un material no consolidado y saturado, con mayor susceptibilidad a ser erosionado por el agua. La zona B presentó resistividades de 5,7 a 18 Ohm.m, corresponde a material de relleno con cierta homogeneidad horizontal con fragmentos de composición variable. Y la zona C relacionado principalmente por gravas y arenas con resistividades de 19 a 54,4 Ohm.m, además, esta zona está asociado a la presencia de agua que fue validado por el piezómetro PZ-1 (nivel de agua a 3.4 metros de la superficie).

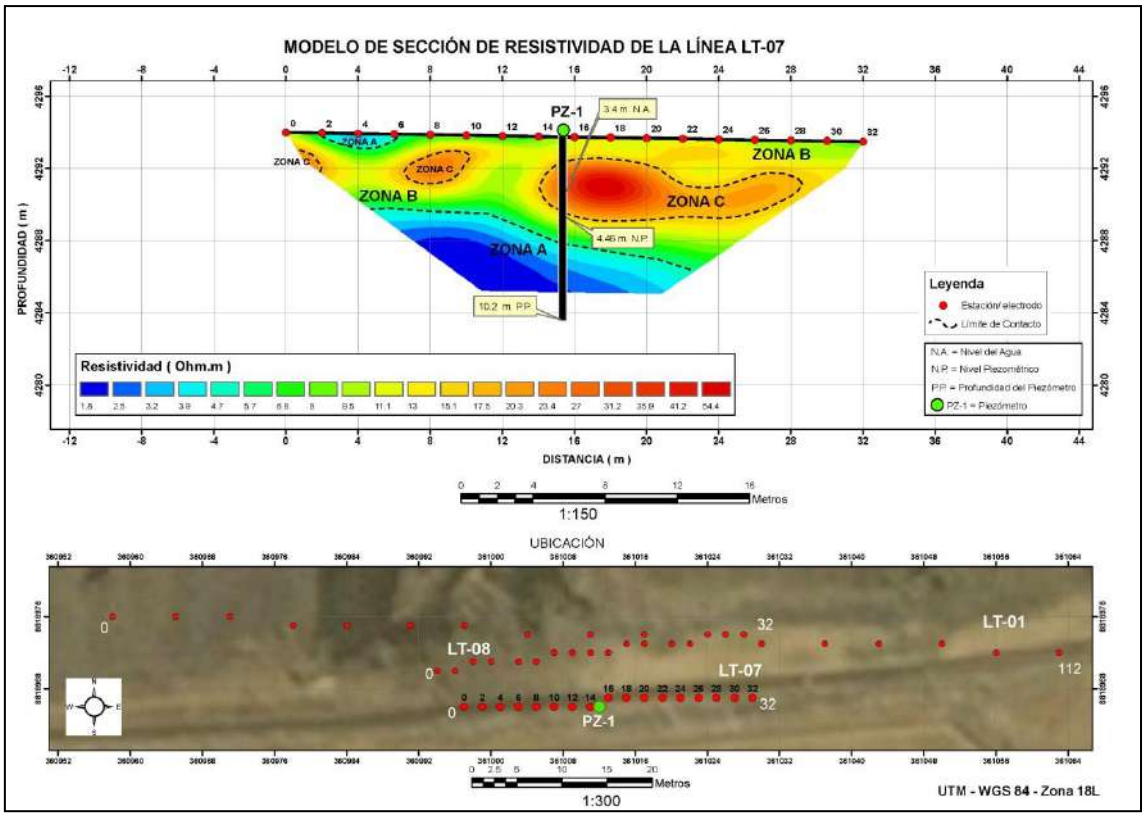


Figura 6.19. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-07

- **Interpretación de la tomografía de resistividad eléctrica LT-08**

Línea LT-08 ubicada al margen derecho del río Ragra paralela a la línea LT-07. Con una longitud de 32 metros totales, alcanzando una profundidad máxima de investigación de 8,6 metros.

En la sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-08 (Figura 6.20) se determinó tres zonas (A, B y C). La zona A presentó resistividades de 3,6 a 18 Ohm.m, relacionado a la presencia de roca alterada/fracturada rellena de arcillas saturadas ubicado entre las estaciones 4 y 14, 18 y 32 (a 5 metros en profundidad aproximadamente). La zona B se caracterizó con resistividades de 19 a 92 Ohm.m correspondería a material de relleno con cierta homogeneidad horizontal con fragmentos de composición variable, además, entre el rango de 45 a 60 Ohm.m estaría asociado a la presencia de agua que fue validado por el piezómetro PZ-1 (nivel de agua a 3,4 metros de la superficie). Y la zona C está relacionado

a material de relleno con menor grado de humedad con resistividades de 93 a 249 Ohm.m.

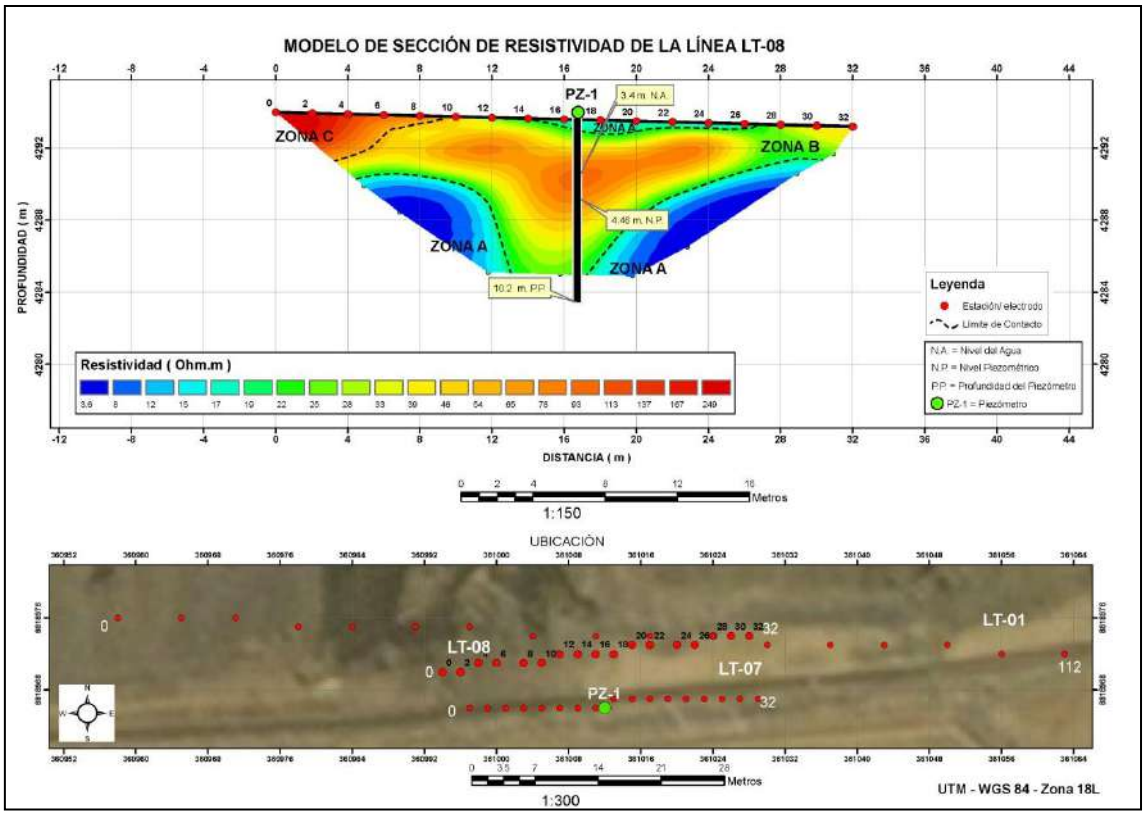


Figura 6.20. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-08

6.2. Objetivo específico 2: Determinar la composición de los efluentes del Polvorín, efluentes E-5, EO-01 y AR-3, y la laguna Yanamate y los mecanismos de transporte

6.2.1. Agua residual industrial

El muestreo de agua residual industrial se realizó en dos etapas, del 5 al 24 de agosto y luego, del 16 al 27 de setiembre de 2020. En la primera etapa se muestreó 2 efluentes minero-metalúrgicos (EO-01 y E-5) y un efluente doméstico (AR-3), los cuales son vertidos al rio Ragra; y adicionalmente se muestreo un punto de descarga proveniente del Polvorín (ESP-POL). En la segunda etapa se muestreó el efluente minero (EO-01), un punto de agua residual industrial (ESP-3), un punto de descarga proveniente del polvorín (ESP-POL) y un punto de descarga adicional proveniente del polvorín (ESP-POL2). Los puntos ESP-POL, ESP-3 y ESP-POL2 no se encuentran contemplados en ningún instrumento de gestión ambiental de la UF Cerro de Pasco.

Para la evaluación de la calidad de agua residual industrial se aplicó la normativa de niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos, aprobados mediante Resolución Ministerial N.° 011-96-EM/VMM (en adelante, NMP 1996); así mismo, se realizó la comparación con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM (en adelante, LMP 2010).

En la primera etapa también se realizó el muestreo del depósito de aguas ácidas Yanamate (LYA-6A, DAAY y DAAYH), para la caracterización del agua residual industrial de este

depósito se realizó la comparación referencial con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM.

Los resultados de los efluentes mineros comparados con los NMP 1996, tal como se muestra en la Tabla 6.3, solo presentó un valor correspondiente al efluente EO-01 que estuvo fuera del rango de pH. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran en los reportes de resultados N.° RRE-029-2020-STEC y N.° RRE-032-2020-STEC, que se presentan en el Anexo 5 y 6.

Tabla 6.2. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los NMP 1996

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno disuelto (OD)	Temperatura (T)	Caudal (Q)
			Unid. de pH	µS/cm	mg/L	°C	m^3/s
EO-01	10/08/2020	11:00	9,04	4630	6,35	10,6	0,2178
E-5	11/08/2020	13:50	7,89	1703	5,85	14,1	--
AR-3	10/08/2020	14:30	7,82	394	5,81	11,5	--
EO-01	22/09/2020	10:05	8,72	4660	6,32	12,6	0,1898
NMP para efluentes líquidos minero-metalúrgicos (Resolución Ministerial N.° 011-96-EM/VMM)			6 - 9	**	**	**	**

Parámetros que superan/están fuera del rango de los NMP, Valor en cualquier momento
**: No aplica

A continuación se presenta los resultados más relevantes de la evaluación de la calidad de agua residual industrial comparados con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, primeramente lo que corresponde a los parámetros fisicoquímicos medidos en campo, así como también los parámetros evaluados que se encuentran fuera del rango, por debajo o superan los LMP 2010, de lo cual se observa que los efluentes mineros y el efluente doméstico que vierten al Río Ragra cumplen con los LMP 2010, el agua residual industrial ESP-3 procedente de los depósitos de desmonte Hanancocha y Rumiallana en los parámetros pH, arsénico, cadmio, cobre, hierro disuelto, plomo y zinc se encuentran por encima de los LMP 2010; el punto ESP-POL proveniente del polvorín cuyos resultados de los parámetros pH, arsénico, cobre, hierro disuelto, plomo y zinc se encuentran por encima de los LMP 2010; así mismo se observa que los resultados del muestreo de los puntos DAAYH, LYA-6A y DAAY en lo que corresponde a los parámetros pH, arsénico, cadmio, cobre, hierro disuelto, plomo y zinc presentan altas concentraciones superando los LMP 2010 tal como se muestra en las Tablas 6.3, 6.4 y 6.5. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran en el reporte de resultados N.° RRE-023-2020-STEC y N.° RRE-028-2020-STEC, que se presentan en el Anexo 5 y 6.

Tabla 6.3. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los LMP 2010

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno disuelto (OD)	Temperatura (T)	Caudal (Q)
			Unid. de pH	µS/cm	mg/L	°C	m3/s
E-5 *	11/08/2020	13:50	7,89	1 703	5,85	14,1	---
AR-3	10/08/2020	14:30	7,82	394	5,81	11,5	---
EO-01	10/08/2020	11:00	9,04	4 630	6,35	10,6	0,2178
EO-01	22/09/2020	10:05	8,72	4660	6,32	12,6	0,1898
ESP-3	22/09/2020	14:25	2,98	10630	5,79	14,6	---
ESP-POL	20/08/2020	10:45	3,03	1 543	5,99	10,7	0,000131
ESP-POL	24/09/2020	13:10	2,83	2920	5,36	13,2	0,000044

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno disuelto (OD)	Temperatura (T)	Caudal (Q)
			Unid. de pH	µS/cm	mg/L	°C	m3/s
ESP-POL2	24/09/2020	16:35	8,35	252	6,60	10,3	0,000199
DAAYH	18/08/2020	09:15	2,54	3 320	4,81	13,2	No aplica
LYA-6A	18/08/2020	10:30	< 2	49 800	1,6	18,4	No aplica
DAAY	18/08/2020	11:40	2,81	3 120	6,25	13,5	No aplica
LMP(1) para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas			6 - 9	**	**	**	**

: Parámetros que superan/están fuera del rango de los LMP, limites en cualquier momento.
** : Parámetro no contemplado en los LMP 2010

Tabla 6.4. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los LMP 2010

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Arsénico Total	Cadmio Total	Calcio Total	Cobre Total	Estroncio Total	Hierro Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
E-5 *	11/08/2020	13:50	0,01634	0,00031	281	< 0,0003	1,4602	0,62
AR-3	10/08/2020	14:30	0,00707	0,00039	44	< 0,0003	0,09227	< 0,03
EO-01	10/08/2020	11:00	0,00085	0,00596	691	0,0099	4,7156	0,04
EO-01	22/09/2020	10:05	0,00204	0,01726	627	0,0171	4,4824	0,47
ESP-3	22/09/2020	14:25	7,1033	0,50000	264	9,558	1,0021	1 107
ESP-POL	20/08/2020	10:45	0,24597	0,00858	112	1,234	0,40680	123
ESP-POL	24/09/2020	13:10	1,4147	0,02833	218	3,299	0,62086	374
ESP-POL2	24/09/2020	16:35	0,00481	0,00010	45	0,0026	0,07483	0,43
DAAYH	18/08/2020	09:15	0,38836	0,14432	295	5,780	0,89762	344
LYA-6A	18/08/2020	10:30	109,51	2,7434	298	134,3	1,6639	7 413
DAAY	18/08/2020	11:40	0,55022	0,07752	474	2,806	1,0719	185
LMP(1) para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas			0,1	0,05	**	0,5	**	**

: Parámetros que superan los LMP, límites en cualquier momento.
** : Parámetro no contemplado en los LMP 2010

Tabla 6.5. Resultados de parámetros evaluados en efluentes comparados con los LMP 2010

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Hierro Disuelto	Magnesio Total	Manganeso Total	Mercurio Total	Plomo Total	Zinc Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
E-5 *	11/08/2020	13:50	< 0,03	105	0,52783	<0,000070	0,00132	0,846
AR-3	10/08/2020	14:30	< 0,03	6,04	0,08286	0,000146	0,01508	0,080
EO-01	10/08/2020	11:00	< 0,03	480	59,865	<0,000070	0,00177	0,323
EO - 01	22/09/2020	10:05	0,13	491	59,727	<0,00007	0,02004	0,490
ESP-3	22/09/2020	14:25	1 097	1 476	260,11	<0,00007	0,22891	287
ESP-POL	20/08/2020	10:45	113	47,7	9,0089	< 0,000070	0,21893	7,42
ESP-POL	24/09/2020	13:10	372	94,2	24,119	<0,00007	0,56064	16,4
ESP-POL2	24/09/2020	16:35	0,32	4,68	0,07484	<0,00007	0,00074	0,048
DAAYH	18/08/2020	09:15	329	55,6	27,682	0,000391	0,01367	71,6
LYA-6A	18/08/2020	10:30	7257	639	303,83	0,000319	4,6017	705
DAAY	18/08/2020	11:40	185	38,2	16,806	<0,000070	0,08741	38,8
LMP(1) para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas			2	**	**	0,002	0,2	1,5

: Parámetros que superan/están fuera del rango de los LMP, limites en cualquier momento.
** : Parámetro no contemplado en los LMP 2010

6.3. Objetivo específico 3: Determinar la composición y disponibilidad de los elementos de preocupación ambiental de las formaciones rocosas aledañas a los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, tajo Raúl, Polvorín y laguna de aguas ácidas Yanamate.

6.3.1. Resultados de la caracterización geológica

El área de estudio se localiza al oeste del distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco, correspondiente a la UF Cerro de Pasco (Figura 6.21).

La geología regional se encuentra representada por formaciones del Paleozóico (Grupo Excélsior) que se encuentran en discordancia angular con las secuencias continentales terciarias (Formación Chambara) formadas en un régimen tectónico compresivo, según el cuadrángulo 22k (Ingemmet, 2011).

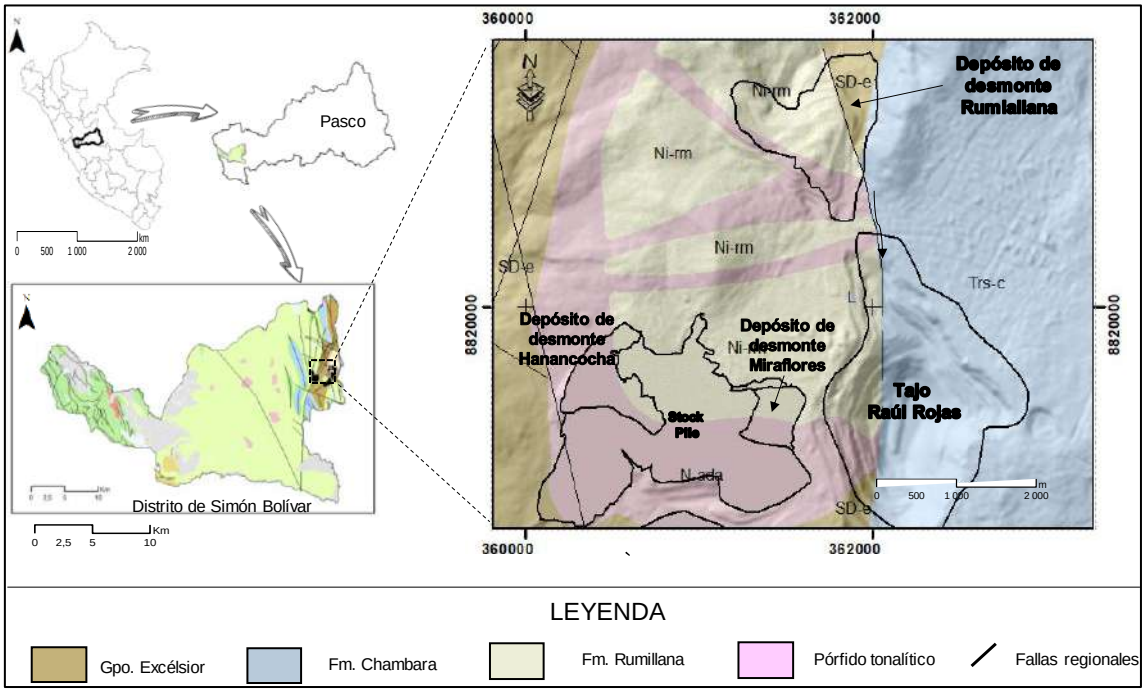


Figura 6.21. Ubicación y geología regional del área de estudio
Fuente: Elaboración de gráfico a partir de información geológica regional del boletín N 22K, serie A, INGEMMET,1996

El grupo Excélsior Mc Laughlin (1924), denominada grupo Cabanillas (por unificar nomenclatura con las formaciones del sur del Perú) por Newell (1949) se encuentra compuesta por lutitas negras pizarrosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas y filitas y pizarras gris oscuras a negras.

La formación Chambara nombrado por Megard (1968), está constituida por dolomitas, calizas con niveles fosilíferos de bivalvos y gasterópodos y corresponden a una plataforma carbonatada somera.

La formación Rumillana, forma parte del complejo volcánico de domos y diatremas de Cerro de Pasco y fue denominado por Cobbing, *et al* 1996. Está constituido por rocas volcanoclásticas de color gris con evidencia de deformación.

Tal como se muestra en la Figura 6.22 estratigráficamente en el área de estudio, se encuentran aflorantes el volcánico Rumiallana y grupo Excélsior (Cabanillas) con potencias de mayores a 800 metros.

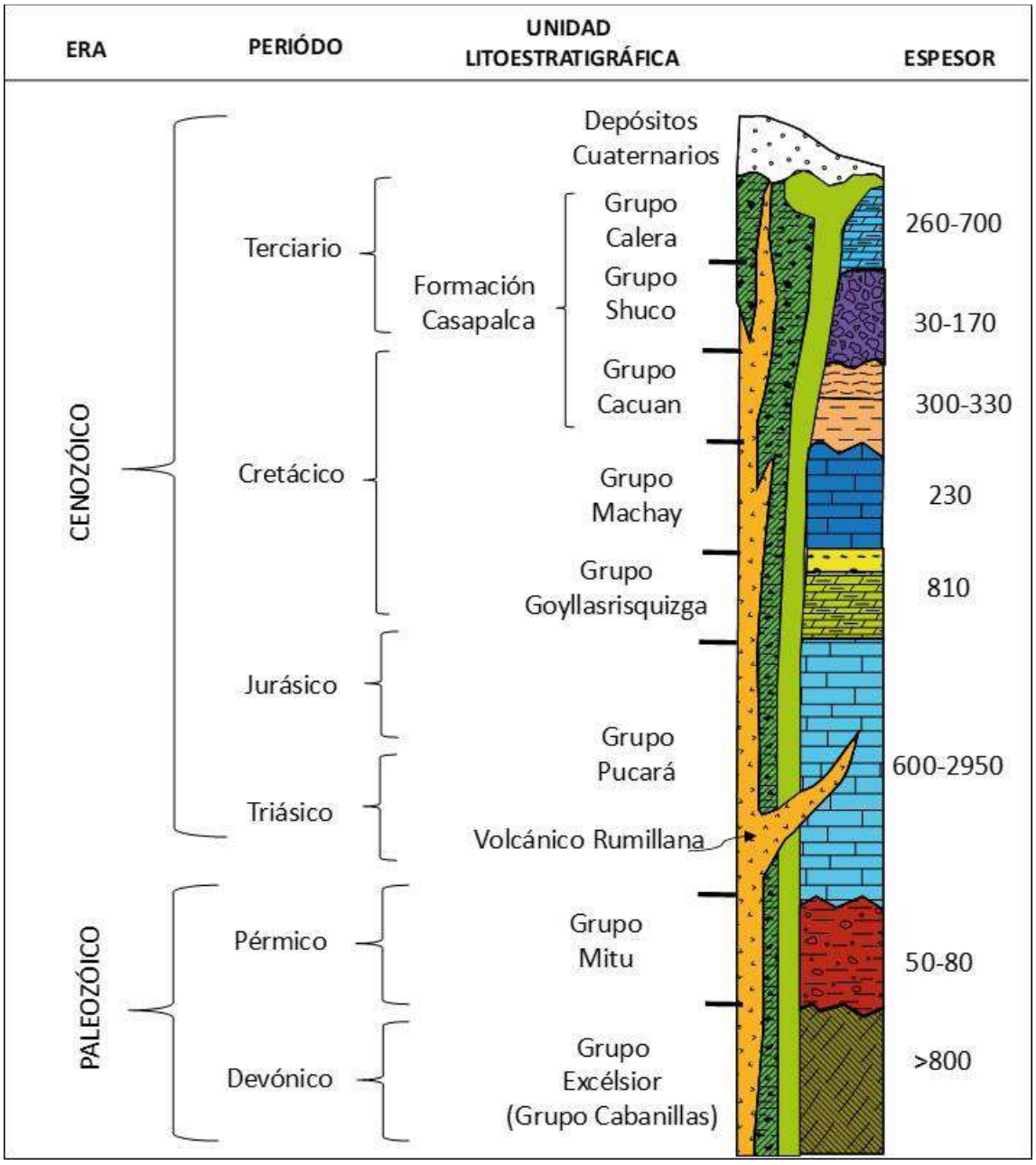


Figura 6.22. Columna estratigráfica que muestra las unidades litoestratigráficas en el ámbito de la UF Cerro de Pasco

Fuente: Detalle geológico y geomorfológico presentado por óxidos de Pasco SAC como parte de solicitud de información del Acta de Evaluación del 13/08/2020

6.3.1.1. Geología local

En la Figura 6.23 se aprecia a los volcánicos Rumillana, pórfido cuarzomonzonítico, andesita porfirítica, pórfido tonalítico que se encuentran ubicados en el área de influencia del depósito de desmonte Rumillana, Hanancocha, Miraflores, stock Pile y tajo Raúl Rojas.

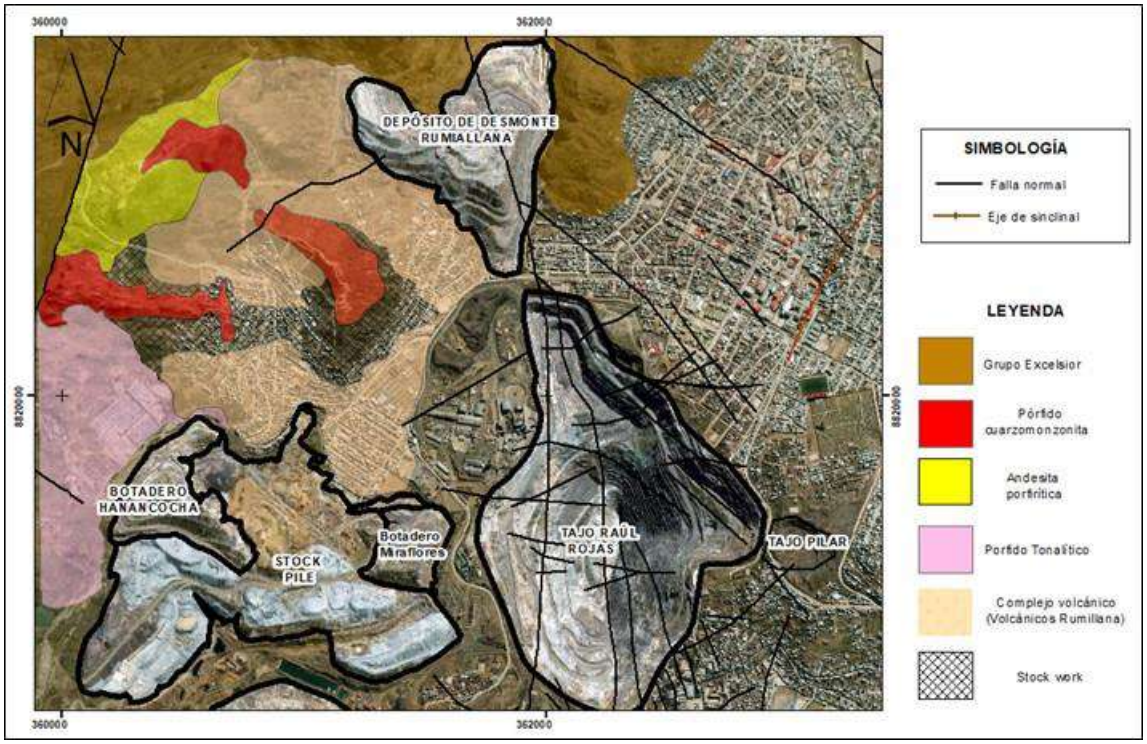


Figura 6.23. Plano geológico local de UF Cerro de Pasco
Fuente: Modificado de mapa geológico superficial de UF Óxidos de Pasco (2020)

a) Pizarras/Filitas (Pz-Fs)

Las pizarras/filitas afloran en el ámbito de influencia de UF Cerro de Pasco, son de coloración parda clara a oscura. Además, la coloración que adopta esta litología depende en gran medida de los cristales de micas presentes y se torna amarillento por la presencia de óxidos de hierro superficiales en las diaclasas (Figura 6.24).

Los planos de foliación son milimétricos y ocasionalmente se observan bandeamientos masivos planares que reflejan su estructura interna.



Figura 6.24. Afloramiento de pizarras/filitas en el ámbito de influencia de la Planta de Óxidos

b) Complejo Volcánico (Volcánico Rumillana)

Los residuos volcánicos Rumillana, se encuentra conformadas por domos de lavas tonalita, dacita y tobas que forma parcialmente de un *stock work*[27]. Además, existen una gran cantidad de discontinuidades morfológicas que se encuentran rellenadas por óxidos de hierro (Figura 6.25).

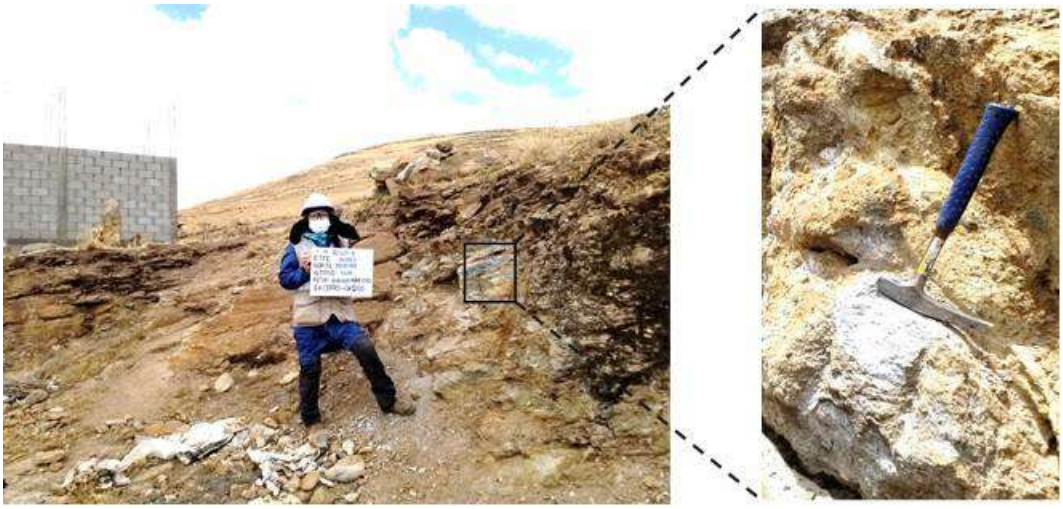


Figura 6.25. Volcánico Rumillana que aflora al este del depósito de desmonte Rumiallana

Estos depósitos volcánicos, son materiales sueltos a parcialmente consolidados, porosas en matriz y ocasionalmente presentan flujos que se asemejan a una estratificación relativamente gruesa, tal como se puede observar en la Figura 6.26.

[27] Stock Work son vetillas pequeñas que interceptan a una determinada litología



Figura 6.26. volcánico Rumillana con presencia de flujos que se asemejan a estratificación que aflora al norte del Stock Pile

c) Pórfido cuarzomonzonítico

Esta roca aflora de manera aislada intruyendo a los depósitos volcánicos Rumiallana hacia el norte del Stock pile y oeste del depósito de desmonte Rumiallana. Esta litología es de coloración blanquecina en roca fresca y amarillenta por intemperismo, textura porfirítica, grano grueso y posee óxidos de hierro en la matriz y planos de fractura.



Figura 6.27. Pórfido cuarzomonzonita que aflora hacia el norte del Stock pile y oeste del depósito de desmonte Rumiallana

d) Andesita porfirítica

Esta litología tiene una coloración gris, matriz fina a gruesa y presenta óxidos de hierro en la matriz y presencia de piroxenos. Afloran hacia noroeste del tajo Raúl Rojas.



Figura 6.28. Andesita porfirítica que aflora hacia el norte del Stock pile y este del depósito de desmonte Rumiallana

e) Pórfido tonalítico

Los afloramientos de esta litología son uniformes en cuanto a su textura granular y macroscópicamente tiene una aspecto blanquecino y amarillento por la presencia de óxidos de hierro en fractura; por ello, poseen baja a moderada consistencia al golpe de la picota y se encuentran aflorando al este del Stock Pile.

f) Caliza

Esta litología se encuentra aflorando en el ámbito de influencia de la laguna Yanamate. Son de coloración gris, con presencia de fracturamiento polidireccional, ocasionalmente poseen óxidos de hierro en fracturas y sus estratos son de potencias menores a 50 cm.

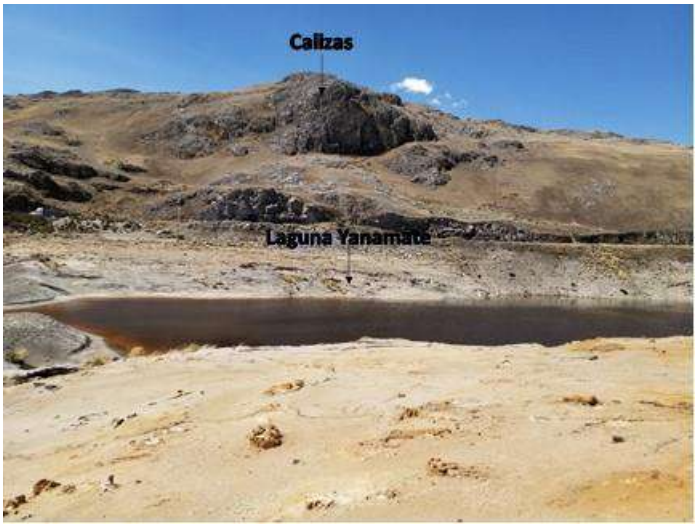


Figura 6.29. Caliza que aflora en el ámbito de influencia de la laguna Yanamate

g) Depósitos lacustres

Existen relictos de depósitos lacustres de la laguna Yanamate, que se muestran en la Figura 6-30, cuya disposición estratigráfica contiene óxidos de hierro a lo largo del su desplazamiento.



Figura 6.30. Depósitos lacustres en el ámbito de influencia de la laguna Yanamate

6.3.2. Resultados de caracterización geoquímica y geológica de rocas

Para la caracterización geoquímica se extrajeron muestras simples de afloramientos rocosos en el ámbito de influencia de la UF Cerro de Pasco, cuyos parámetros fisicoquímicos se detallan a continuación:

6.3.2.1. Metales totales

En el tajo Pilar la muestra extraída ROxP-15 y ROxP-14, muestran una mayor concentración de hierro en comparación a los demás elementos mayores (Figura 6.31a). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico y cadmio que los demás metales (Figura 6.31b); en tanto que los elementos traza se encuentran representados por el manganeso, zinc y plomo en comparación a los otros analitos (Figura 6.31c). Cabe precisar, que los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

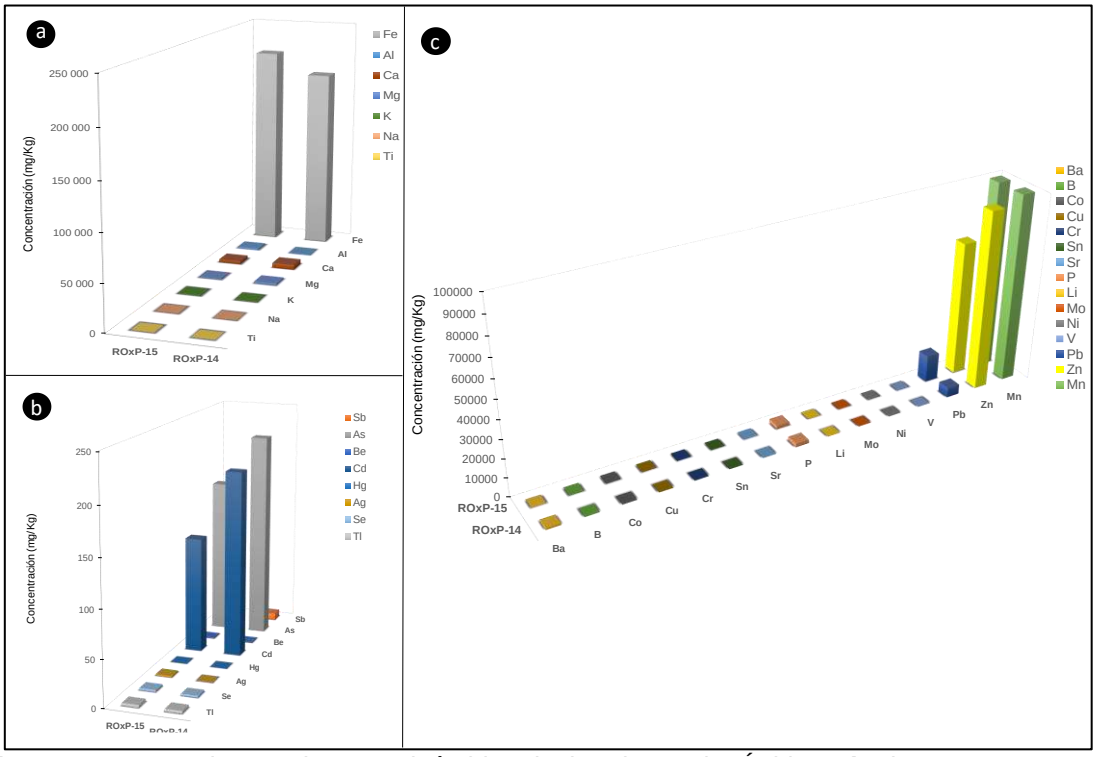


Figura 6.31. Metales totales en el ámbito de la Planta de Óxidos **a)** elementos mayores **b)** elementos menores **c)** elementos traza

En el ámbito de la laguna Yanamate la muestra extraída RLYA-1 y RLY-2, muestran una mayor concentración de calcio y hierro en comparación a los demás elementos mayores (Figura 6.32a). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico que los demás metales (Figura 6.32b); en tanto que los elementos traza se encuentran representados por el fósforo, zinc y cobre en comparación a los otros analitos (Figura 6.32c). Cabe precisar, que los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

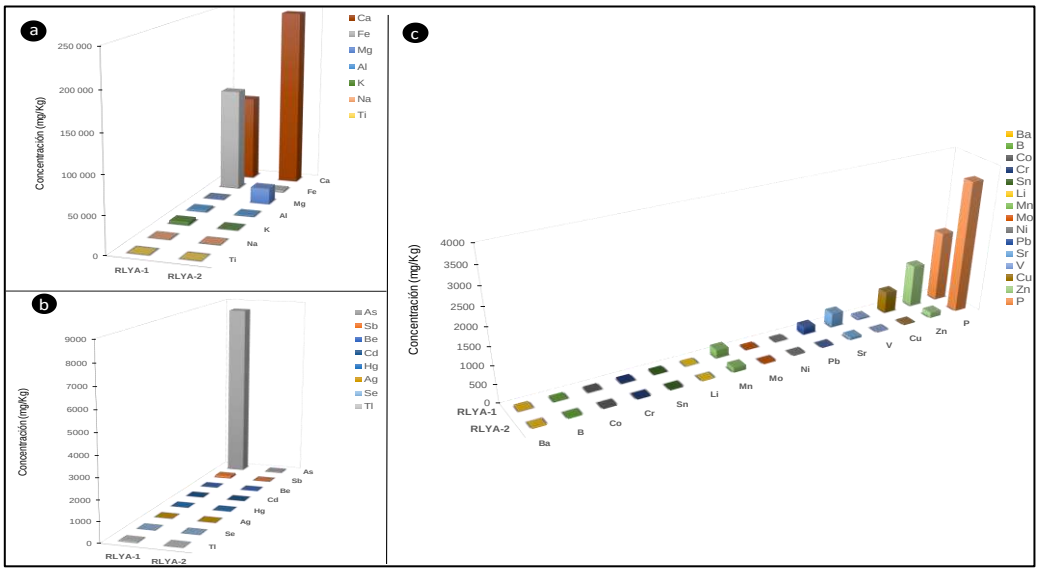


Figura 6.32. Metales totales en el ámbito de laguna Yanamate **a)** elementos mayores **b)** elementos menores **c)** elementos traza

En el ámbito de la UF Cerro de Pasco las rocas, muestran una mayor concentración de calcio y hierro en comparación a los demás elementos mayores (Figura 6.33). En cuanto a los elementos menores, existe mayor predominancia de arsénico que los demás metales (Figura 6.34); en tanto que los elementos traza se encuentran representados por el fósforo, zinc y cobre en comparación a los otros analitos (Figura 6.35). Cabe precisar, que los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

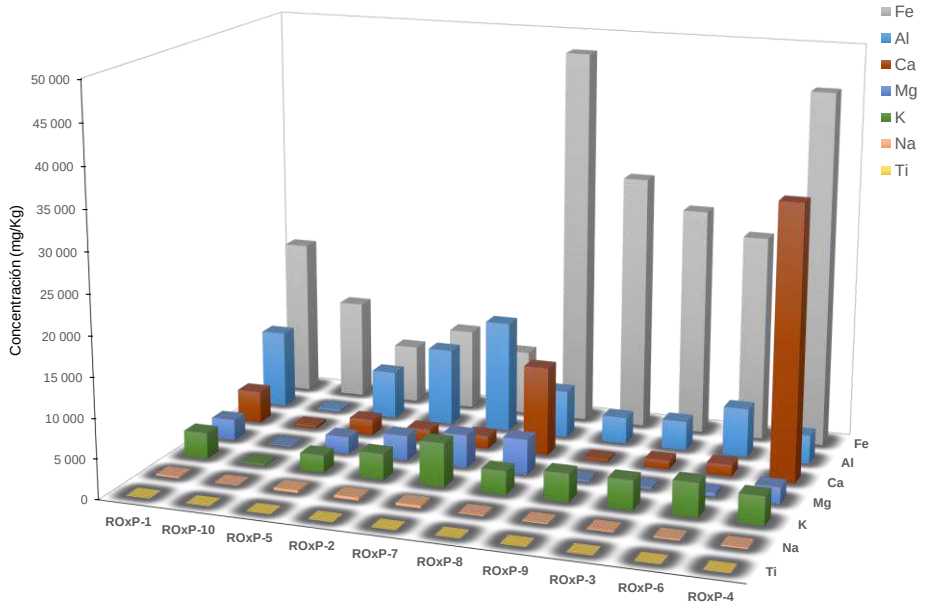


Figura 6.33. Metales totales en la UF Cerro de Pasco para los elementos mayores

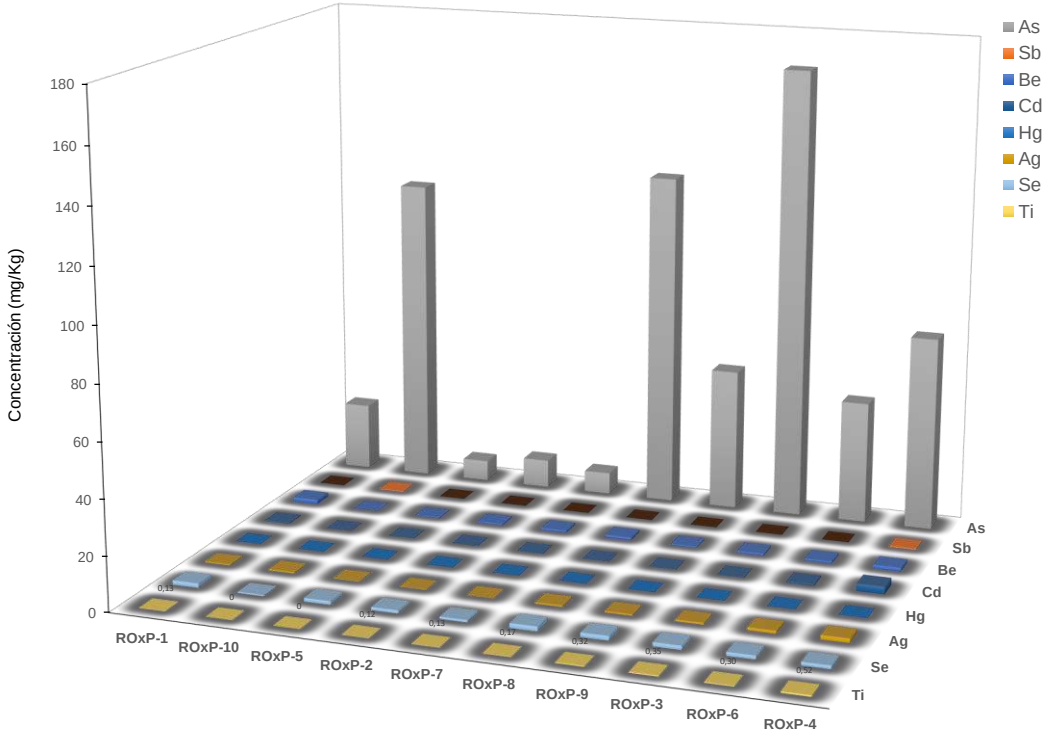


Figura 6.34. Metales totales en la UF Cerro de Pasco para los elementos menores

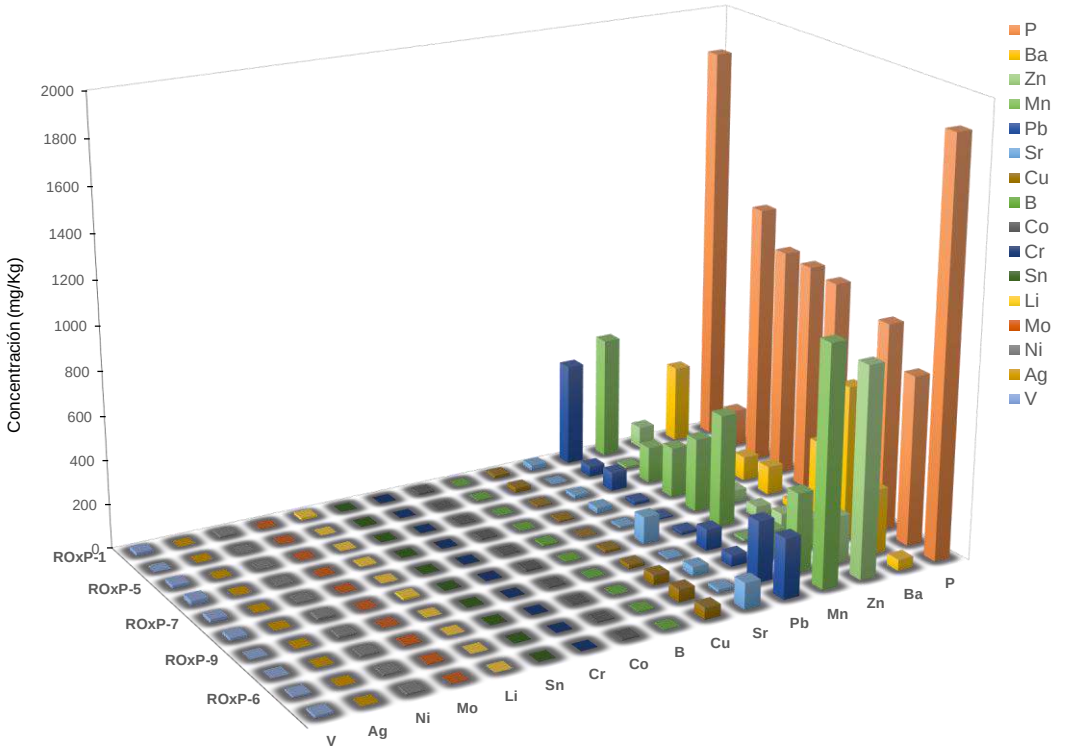


Figura 6.35. Metales totales en la UF Cerro de Pasco para los elementos traza

Las concentraciones de metales totales en las muestras de ROxP-1 a ROxP-15 y RLYA-1 y RLYA-2 comparadas con concentraciones de metales de la corteza terrestre (Wedepohl,1984), muestran una tendencia de concentración similar. Sin embargo, existen elementos que sobrepasan estos valores como, antimonio, arsénico, cadmio, calcio, plomo, selenio y zinc.

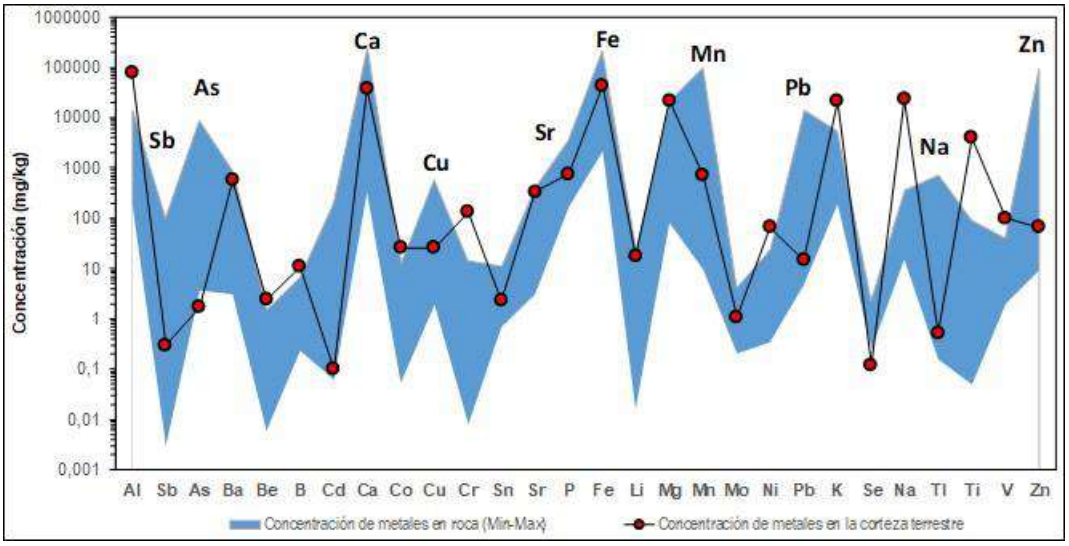


Figura 6.36. Comparación de las concentraciones de elementos mayores, menores y traza de las muestras ROxP-1 a ROxP-15 y RLYA-1 y RLYA-2 comparados con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1984)

6.3.2.2. Shake flake aniones-metales

Las muestras ROxP-5, ROxP-2, ROxP9 muestran una mayor movilidad de anión sulfatos en comparación a cloruros, nitratos, fluoruros y nitritos (Figura 6.37). Según la prueba shake Flask metales en estas muestras muestran una mayor movilidad de i) aluminio dentro de los elementos mayores (Figura 6.38a), ii) arsénico, berilio, cadmio, litio, antimonio dentro de los elementos menores (Figura 6.38b) iii) zinc y manganeso dentro de los elementos traza (Figura 6.38c). Cabe precisar, que los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

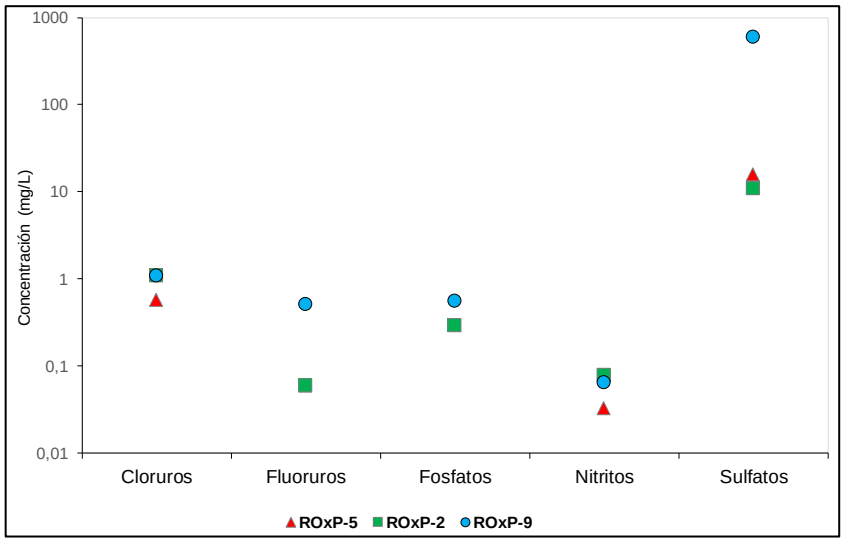


Figura 6.37. Shake Flask aniones en ROxP-5, ROxP2 y ROxP9

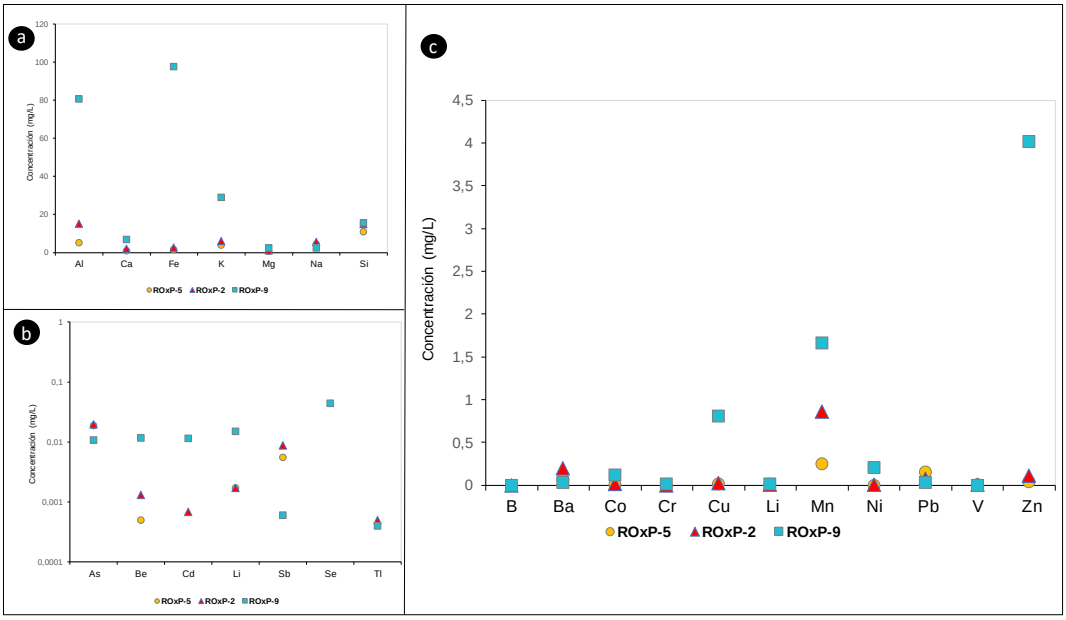


Figura 6.38. Shake Flask metales en las muestras ROxP-5, ROxP-2 y ROxP-9

Las muestras ROxP-15 y ROxP-14 muestran una mayor movilidad de anión sulfatos en comparación a cloruros, nitratos, fluoruros y nitritos (Figura 6.39). Según la prueba shake Flask metales en estas muestras muestran una mayor movilidad de i) aluminio dentro de los elementos mayores (Figura 6.40a), ii) arsénico, berilio, cadmio, litio, antimonio dentro de los

elementos menores (Figura 6.40b) iii) zinc y manganeso dentro de los elementos traza (Figura 6.40c). Cabe precisar, que los metales que no se muestran en las gráficas se encuentran por debajo del límite de detección de laboratorio.

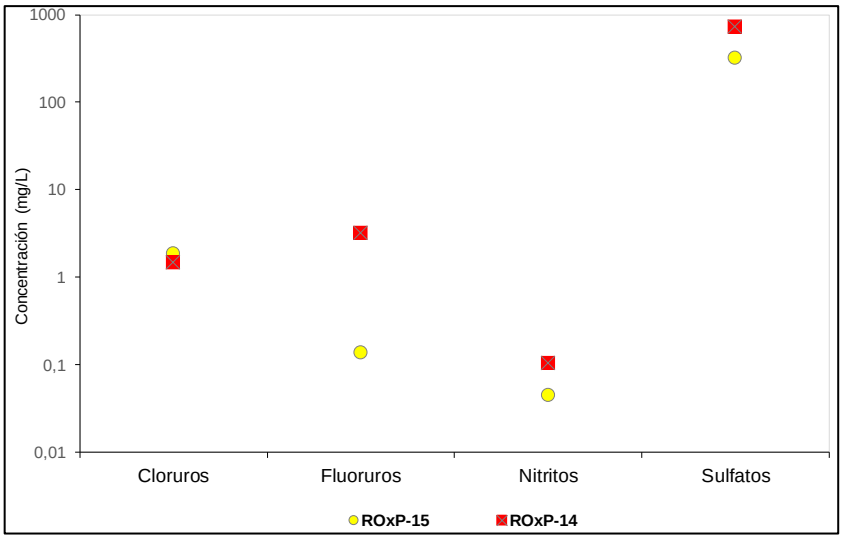


Figura 6.39. Shake Flask aniones en ROxP-15 y ROxP14

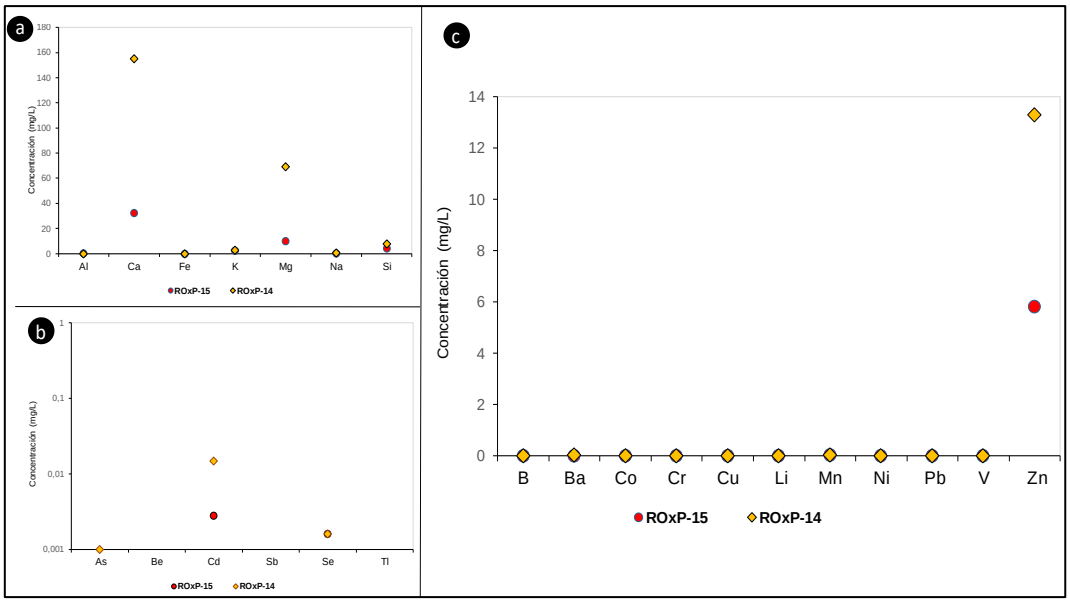


Figura 6.40. Shake Flask metales en las muestras ROxP-15 y ROxP-14

6.3.2.3. ABA

Según los resultados, las muestras extraídas en las muestras ROxP-14 y ROxP15 según el primer y segundo criterio para evaluar la prueba estática de balance ácido-base (ABA), son no potenciales generadores de acidez (Figura 6.41).

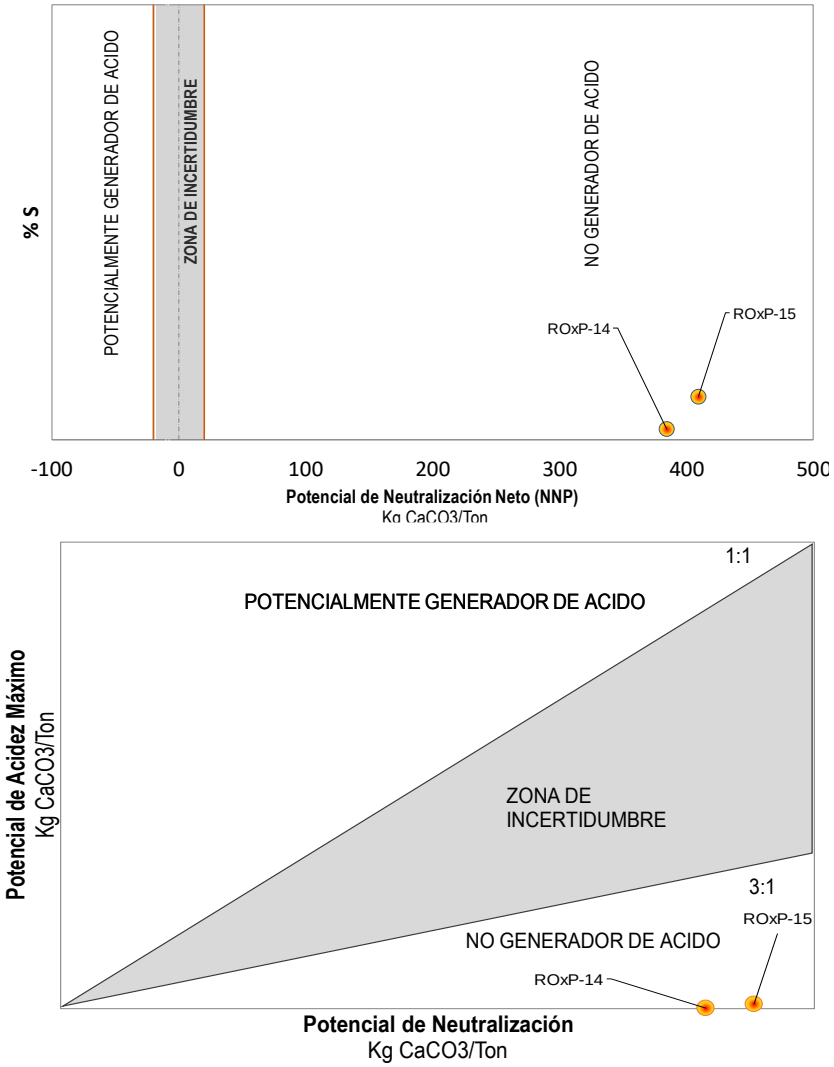


Figura 6.41. ABA en las muestras ROxP-14 y ROxP-15, según el primer y segundo criterio de evaluación

Según los resultados, las muestras extraídas en las muestras ROxP-5, ROxP-2 según el primer y segundo criterio para evaluar la prueba estática de balance ácido-base (ABA), son no potenciales generadores de acidez. En tanto que, ROxP-9 es potencial generador de ácido (Figura 6.42).

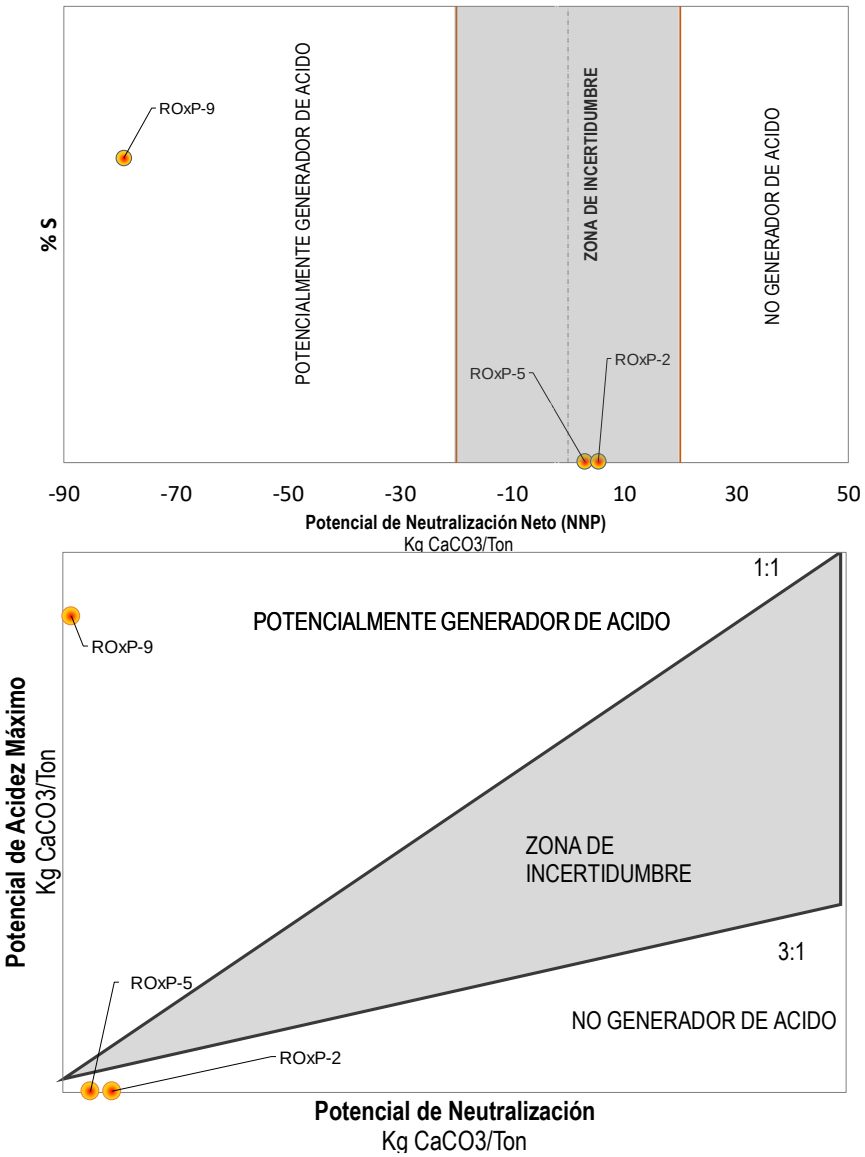


Figura 6.42. ABA en las muestras ROxP-5, ROxP-2 y ROxP-9, según el primer y segundo criterio de evaluación

6.3.2.4. Mineralógico por microscopía óptica

La muestra ROxP-1 corresponde a una roca pórfido cuarzomonzodiorítica, compacta, de textura porfirítica y color gris pardusco. Con fenocrístales de plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos y ferromagnesianos (alterados por óxidos de hierro). Cuya matriz fina de textura granular posee escasa magnetita diseminada; además, se aprecian oquedades rellenas por agregados terrosos de óxidos de hierro.

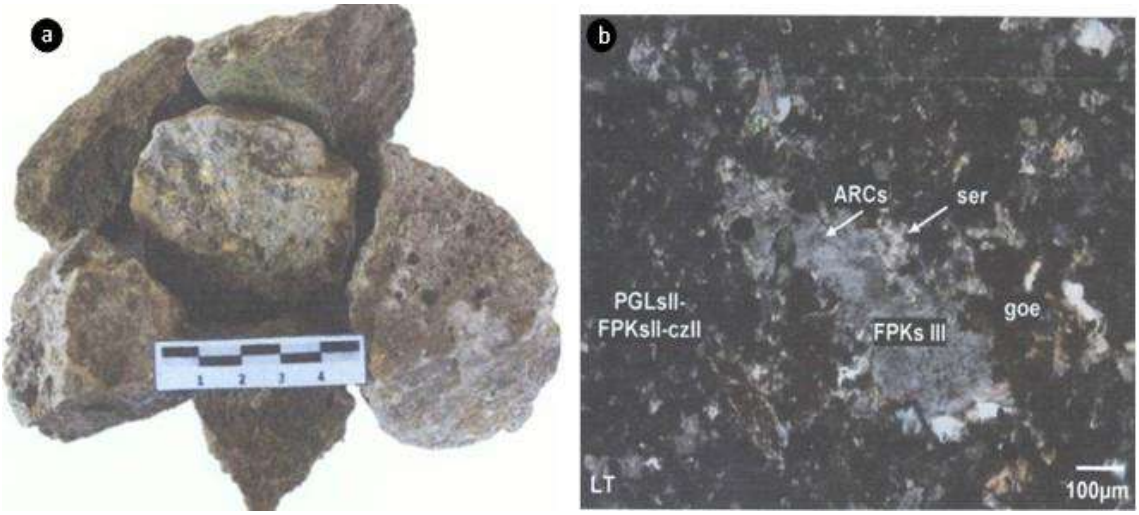


Figura 6.43. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-1 a) vista macroscópica b) vista microscópica de matriz granular de plagioclasas II, feldespatos potásicos II y cuarzo II, (PGLsII-FPKsII-czII). Con cavidades que han sido rellenadas por feldespatos potásicos III (FPKs III) alterados por sericita (ser) y arcillas (ARCs), con impregnaciones de goethita (goe)

La muestra ROxP-2, corresponde a una roca andesítica porfirítica compacta, de textura porfirítica y color gris parduzco. Presenta fenocristales de plagioclasas, ferromagnesianos (biotita y anfíboles) y escaso cuarzo. En matriz de vidrio ligeramente argílizado. Por zonas con ligeras impregnaciones de óxidos de hierro. Además, presenta pequeños cristales de magnetita diseminados.

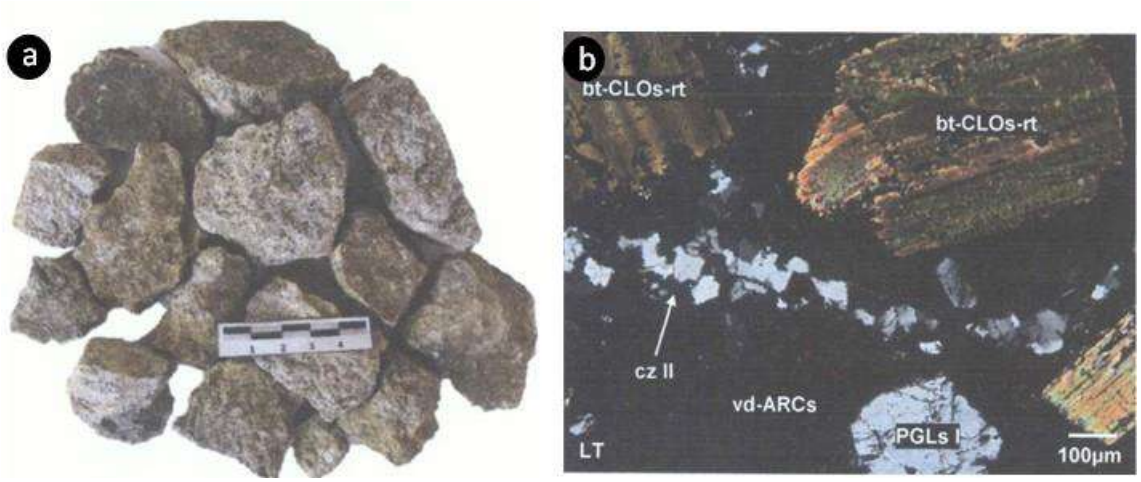


Figura 6.44. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-2 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) y de botita alterados por cloritas y rutilo (btCLOs-rt). En una matriz de vidrio alterado por arcillas (vd-ARGs). Además, se aprecian finas venillas cortas rellenas por agregados de cristales de cuarzo II

La muestra ROxP-3, corresponde a una toba litocristalina, de textura fragmenta, compacta y de color gris parduzco. Presenta fragmentos líticos con formas subredondeadas a irregulares; también fragmentos de cristales de feldespatos y cuarzo. En una matriz fina que se encuentra impregnada por óxidos de hierro. Además, pequeños cristales de pirita diseminados.

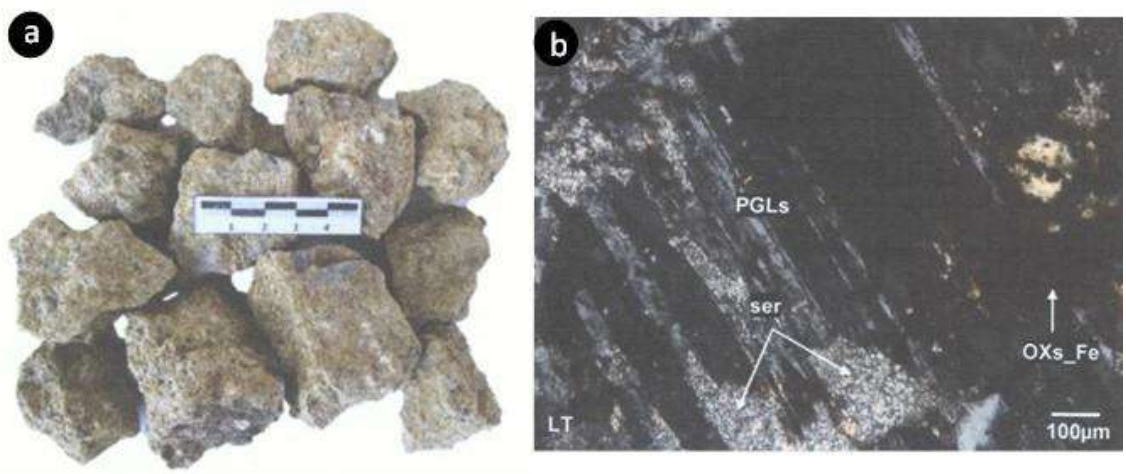


Figura 6.45. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-3 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de fragmentos de cristales de plagioclasas (PGLs) alterados por agregados de sericita (ser) y con impregnaciones de óxidos de hierro (OXs_Fe).

La muestra ROxP-14, corresponde a una toba de cristales invadida por goethita y hematita en venas y fracturas. Posee una matriz de textura fragmental, compacta y de color gris, por sectores con tonos parduscos amarillentos. Con diminutos fragmentos de cristales de cuarzo diseminados en una matriz alterada e invadida por agregados de goethita, hematita y agregados terrosos de óxidos de hierro.

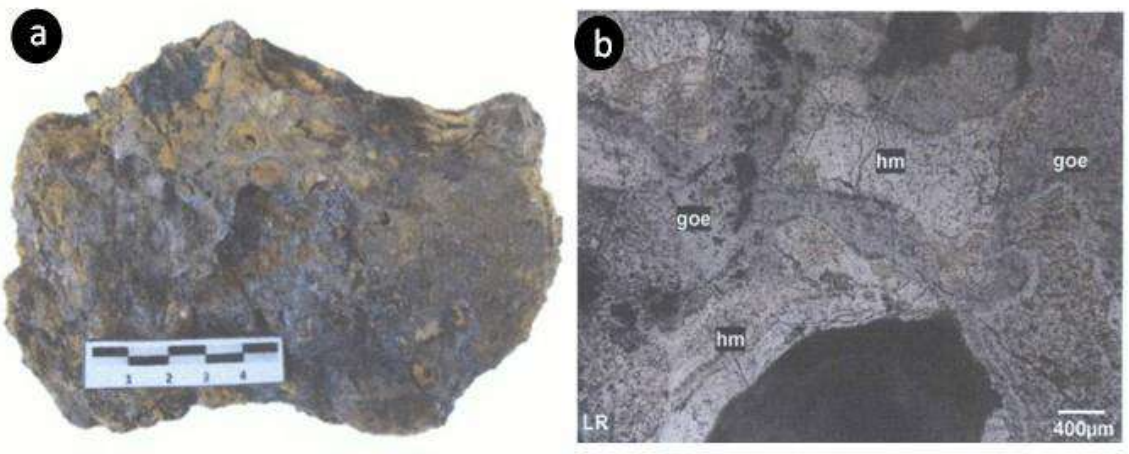


Figura 6.46. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-14 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de agregados irregulares a masivos de goethita (goe) con hematita (hm) que han invadido algunos sectores de la roca.

La muestra ROxP-15, corresponde a una toba de cristales, compacta, de textura fragmental y de color gris oscuro. Se observan diminutos cristales de cuarzo en una matriz alterada e impregnada por óxidos de hierro. Además, presenta venas y fracturas rellenas por agregados de goethita y hematita que le dan a la roca un aspecto brechoide. Con escasa pirita como relleno de finas venillas cortas.

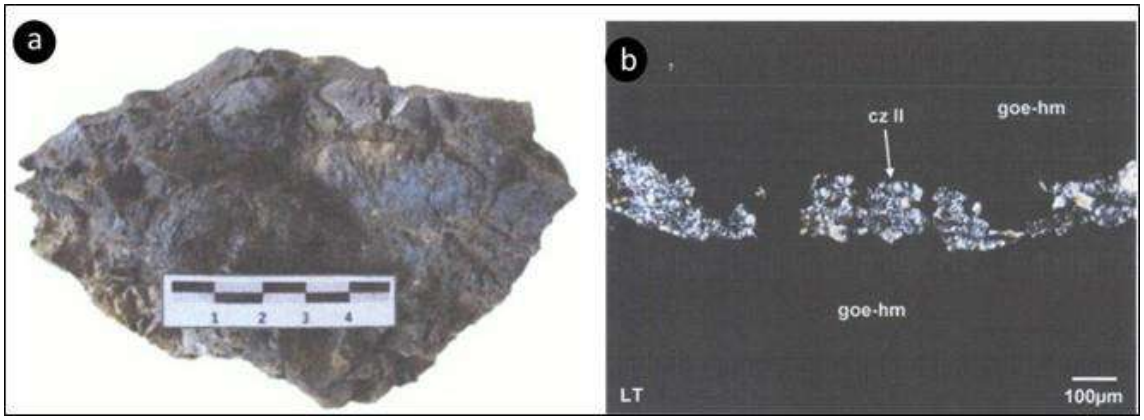


Figura 6.47. Análisis mineralógico por microscopía óptica de la muestra ROxP-15 a) vista macroscópica y b) vista microscópica de matriz, venas y fracturas rellenas por agregados de goethita y hematita (goe-hm) asociados con agregados de pequeños cristales de cuarzo II (cz II) en sus a intersticios.

6.4. Objetivo específico 4: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte y *stock piles* sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas del río Ragra y el agua subterránea, y del Polvorín y laguna Yanamate sobre las lagunas Quilcamachay y Cuchis

6.4.1. Agua superficial

El muestreo de agua superficial se realizó en dos etapas, del 5 al 24 de agosto y del 16 al 27 de setiembre del 2020. En la primera etapa se muestreó 8 puntos que se encuentran ubicados en el río Ragra (E-01, RRA-01, RRag-03, E-02A, E-02A-1, PC-01, PC-02 y E-215), además se muestreo 2 puntos ubicados en el río San Juan (E-213 y E-214) y 2 puntos ubicados en la laguna Quilcamachay y 1 punto en la Laguna Cuchis, en la segunda etapa se realizó el muestreo de 2 puntos en el río Ragra (PC-01 y PC-02), un punto en la laguna Quilcamachay (LQui-03) y el punto ESP-BK que son aguas naturales del bofedal que reciben una descarga (ESP-POL2) proveniente del polvorín.

Para la evaluación de la calidad de agua superficial se realizó la comparación con los valores límites del Reglamento de los Títulos I, II, y III de la Ley General de Aguas, Clase III (aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales), aprobado mediante Decreto Supremo Nº 261-69-AP, modificado por Decretos Supremos Nº 007-83-SA y Nº 003-2003-SA (en adelante, valores límites de la LGA Clase III); así mismo, se realizó la comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, aprobados según el Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM (en adelante, ECA para Agua Cat.3-2008).

En la Tabla 6.6 hasta la Tabla 6.10 se presentan los resultados de los parámetros evaluados que se encuentran fuera del rango, por debajo o superan los valores límites de la LGA. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran en los reportes de resultados N.° RRE-023-2020-STEC (y N.° RRE-028-2020-STEC, que se presentan los Anexos 5 y 6.

Tabla 6.6. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los valores límites de la LGA Clase III

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Tem. (T)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno disuelto (OD)	Caudal (Q)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Coliformes Termotolerantes
			°C	Unid. de pH	µS/cm	mg/L	m^3/s	mg/L	NMP/100 mL
E-01	11/08/2020	15:10	11,1	8,41	383	5,41	0,0159	100	2200000
RRA-01	11/08/2020	11:30	14,9	7,80	906	3,9	0,1262	109	280000
RRag-03	11/08/2020	09:40	10,1	7,63	556	4,99	0,1824	---	---
E-02A	10/08/2020	15:20	11,3	7,63	1130	3,85	---	---	---
E-02A-1	10/08/2020	13:00	11,2	7,72	691	3,52	---	135	700000
PC-01	10/08/2020	11:40	12,1	7,8	1093	2,82	0,1242	---	---
PC-01	22/09/2020	10:40	13,8	7,91	2280	5,36	0,4972	---	---
PC-02	10/08/2020	10:10	10,0	8,52	3510	6,60	0,2200	---	---
PC-02	22/09/2020	09:10	11,6	8,45	3560	6,36	0,5830	---	---
E-215	10/08/2020	08:28	8,3	7,18	3800	6,05	0,387	---	---
E-214	18/08/2020	15:20	15,3	8,09	2800	4,58	---	---	---
E-213	18/08/2020	17:00	14	8,98	202,6	10,37	0,0488	3	---
ESP-BK	20/08/2020	12:40	15,4	7,4	221	5,67	0,000089	---	---
ESP-BK	24/09/2020	12:30	14,7	7,48	178,6	5,67	---	---	---
Valores Limites de la Ley General de Aguas(1) - Clase III			**	**	**	3	**	15	1000

Parámetros que superan/están por debajo de los valores límites de la Ley General de Aguas Clase III Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

** : Parámetro no contemplado en los LMP 2010

Tabla 6.7. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los valores límites de la LGA Clase III

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Bicarbonato	Carbonatos	Cloruros	Fluoruros	Nitratos	Nitritos	Sulfatos
			mg HCO_3^-/L	mg CO_3^{-2}/L	mg/L	mg/L	mg/L N-NO3	mg/L N-NO2	mg SO_4^{-2}/L
E-01	11/08/2020	15:10	239,6	< 0,6	14,8	0,04	< 0,11	< 0,05	40
RRA-01	11/08/2020	11:30	323,4	< 0,6	19,8	0,06	< 0,11	< 0,05	183
RRag-03	11/08/2020	09:40	237,1	< 0,6	3,06	< 0,01	< 0,11	< 0,05	17
E-02A	10/08/2020	15:20	599,8	< 0,6	13,4	< 0,01	0,24	< 0,05	826
E-02A-1	10/08/2020	13:00	267,3	< 0,6	4,36	< 0,01	< 0,11	< 0,05	23
PC-01	10/08/2020	11:40	513,8	< 0,6	45,9	< 0,01	< 0,11	< 0,05	154
PC-01	22/09/2020	10:40	231	< 5,00	28,6	1,0	< 0,11	< 0,05	1 429
PC-02	10/08/2020	10:10	124,7	< 0,6	18,3	0,50	0,64	0,16	3646
PC-02	22/09/2020	09:10	164	< 5,00	22,4	1,2	< 0,11	< 0,05	2 480
E-215	10/08/2020	08:28	46,6	< 0,6	14,3	< 0,01	0,57	0,05	3056
E-214	18/08/2020	15:20	212,5	< 0,6	12,7	0,72	0,85	< 0,05	1792
E-213	18/08/2020	17:00	123,3	< 0,6	0,57	0,17	< 0,11	< 0,05	14
ESP-BK	20/08/2020	12:40	89,2	< 0,6	0,57	0,04	< 0,11	< 0,05	37
ESP-BK	24/09/2020	12:30	58,2	< 5,00	< 0,50	0,13	0,16	< 0,05	33
Valores Limites de la Ley General de Aguas(1) - Clase III			**	**	**	**	0,1	**	**

: Parámetros que superan los valores límites de la Ley General de Aguas Clase III Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

** : Parámetro no contemplado en los LMP 2010

Tabla 6.8. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los valores límites de la LGA Clase III

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Arsénico Total	Cadmio Total	Cobre Total	Mercurio Total	Níquel Total	Plomo Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
E-01	11/08/2020	15:10	0,01228	0,0005	0,0158	<0,000070	< 0,0009	0,06241
RRA-01	11/08/2020	11:30	0,03138	0,00288	0,1015	<0,000070	0,0021	0,16141
RRag-03	11/08/2020	09:40	0,02310	0,00340	0,0967	<0,000070	0,0025	0,06892
E-02A	10/08/2020	15:20	0,03604	0,00357	0,0717	<0,000070	0,0011	0,13031
E-02A-1	10/08/2020	13:00	0,02722	0,00420	0,1109	0,000090	0,0031	0,10089
PC-01	10/08/2020	11:40	0,19616	0,00826	0,4102	0,001022	0,0078	0,14135
PC-01	22/09/2020	10:40	0,07298	0,00861	0,0810	0,000284	0,0046	0,05759
PC-02	10/08/2020	10:10	0,02478	0,00551	0,0598	<0,000070	0,0031	0,01163
PC-02	22/09/2020	09:10	0,02094	0,01279	0,0294	0,000070	0,0048	0,02962
E-215	10/08/2020	08:28	0,05588	0,03672	0,1044	<0,000070	0,0173	0,01754
E-214	18/08/2020	15:20	0,01023	0,00125	0,0832	0,000189	0,0031	0,00938
E-213	18/08/2020	17:00	0,00801	0,00004	< 0,0003	0,000078	< 0,0009	0,00241
ESP-BK	20/08/2020	12:40	0,00453	0,00019	0,0189	< 0,000070	0,0011	0,00724
ESP-BK	24/09/2020	12:30	0,00595	0,00017	0,0202	<0,000070	< 0,0009	0,01336
Valores Limites de la Ley General de Aguas(1) - Clase III			0,2	0,05	0,5	0,010	0,002	0,1

: Parámetros que superan los valores límites de la Ley General de Aguas Clase III Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

** : Parámetro no contemplado en los LMP 2010

Tabla 6.9. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los valores límites de la LGA Clase VI

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Temperatura (T)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno disuelto (OD)
			°C	Unid. de pH	µS/cm	mg/L
LQui-03	24/09/2020	11:40	13,4	7,16	248	6,43
LQui-02	12/08/2020	08:20	8,6	7,73	198,5	6,71
LQui-01	12/08/2020	10:00	10,7	8,01	198	6,74
LCuc-1	18/08/2020	12:45	15,3	9,41	132	7,2
Valores Limites de la Ley General de Aguas (1) - Clase VI			**	**	**	4,00

Tabla 6.10. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los valores límites de la LGA Clase VI

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Arsénico Total	Cadmio Total	Cobre Total	Plomo Total	Zinc Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
LQui-03	24/09/2020	11:40	0,01255	0,00046	0,0421	0,02133	0,175
LQui-02	12/08/2020	08:20	0,00768	0,00018	0,0214	0,00729	0,030
LQui-01	12/08/2020	10:00	0,00346	0,00004	0,0079	0,00223	0,011
LCuc-1	18/08/2020	12:45	0,02470	0,00001	< 0,0003	0,00007	0,006
Valores Limites de la Ley General de Aguas (1) - Clase VI			0,05	0,004	**	0,03	**

En la Tabla 6.11 hasta la Tabla 6.17 se presenta los resultados de los parámetros evaluados que se encuentran fuera del rango, por debajo o superan los valores límites de los ECA 2008. Los resultados de todos los parámetros evaluados se encuentran en los Anexos 5 y 6.

Tabla 6.11. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Temperatura (T)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno disuelto (OD)	Caudal (Q)
			°C	Unid. de pH	µS/cm	mg/L	m^3/s
E-01	11/08/2020	15:10	11,1	8,41	383	5,41	0,0159
RRA-01	11/08/2020	11:30	14,9	7,80	906	3,9	0,1262
RRag-03	11/08/2020	09:40	10,1	7,63	556	4,99	0,1824
E-02A	10/08/2020	15:20	11,3	7,63	1130	3,85	---
E-02A-1	10/08/2020	13:00	11,2	7,72	691	3,52	---
PC-01	10/08/2020	11:40	12,1	7,8	1093	2,82	0,1242
PC-01	22/09/2020	10:40	13,8	7,91	2280	5,36	0,4972
PC-02	10/08/2020	10:10	10	8,52	3510	6,60	0,2200
PC-02	22/09/2020	09:10	11,6	8,45	3560	6,36	0,5830
E-215	10/08/2020	08:28	8,3	7,18	3800	6,05	0,387
E-213	18/08/2020	17:00	14	8,98	202,6	10,37	0,0488
E-214	18/08/2020	15:20	15,3	8,09	2800	4,58	---
ESP-BK	20/08/2020	12:40	15,4	7,4	221	5,67	0,000089
ESP-BK	24/09/2020	12:30	14,7	7,48	178,6	5,67	---
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	**	6,5 - 8,5	<2000	>=4	**
		Bebida de animas	**	6,5 - 8,4	<=5000	>5	**

Parámetros que superan/están por debajo/fuera del rango de los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan/están por debajo/fuera del rango de los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
Parámetros que superan/están por debajo/fuera del rango de los ECA Agua Cat. 3 Bebida de animales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.12. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Aceites y Grasas	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Coliformes Termotolerantes
			mg/L	mg O2/L	mg/L	NMP/100 mL
E-01	11/08/2020	15:10	21,03	177	100	2200000
RRA-01	11/08/2020	11:30	17,35	165	109	280000
E-02A-1	10/08/2020	13:00	21,36	89	135	700000
E-213	18/08/2020	17:00	< 0,100	9	3	---
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	1	40	15	1000
		Bebida de animales	1	40	<=15	1000

Parámetros que superan/están por debajo/fuera del rango de los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan/están por debajo/fuera del rango de los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
Parámetros que superan/están por debajo/fuera del rango de los ECA Agua Cat. 3 Bebida de animales.
--- Parámetro no evaluado.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.13. Resultados de parámetros evaluados en aguas superficiales comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Bicarbonato	Cloruros	Fluoruros	Nitratos	Nitritos	Sulfatos
			mg HCO_3^-/L	mg/L	mg/L	mg/L N-NO3	mg/L N-NO2	mg SO_4^{-2}/L
E-01	11/08/2020	15:10	239,6	14,8	0,04	< 0,11	< 0,05	40
RRA-01	11/08/2020	11:30	323,4	19,8	0,06	< 0,11	< 0,05	183
RRag-03	11/08/2020	09:40	237,1	3,06	< 0,01	< 0,11	< 0,05	17
E-02A	10/08/2020	15:20	599,8	13,4	< 0,01	0,24	< 0,05	826
E-02A-1	10/08/2020	13:00	267,3	4,36	< 0,01	< 0,11	< 0,05	23
PC-01	10/08/2020	11:40	513,8	45,9	< 0,01	< 0,11	< 0,05	154
PC-01	22/09/2020	10:40	231	28,6	1,0	< 0,11	< 0,05	1 429
PC-02	10/08/2020	10:10	124,7	18,3	0,50	0,64	0,16	3646
PC-02	22/09/2020	09:10	164	22,4	1,2	< 0,11	< 0,05	2 480
E-215	10/08/2020	08:28	46,6	14,3	< 0,01	0,57	0,05	3056
E-213	18/08/2020	17:00	123,3	0,57	0,17	< 0,11	< 0,05	14
E-214	18/08/2020	15:20	212,5	12,7	0,72	0,85	< 0,05	1792
ESP-BK	20/08/2020	12:40	89,2	0,57	0,04	< 0,11	< 0,05	37
ESP-BK	24/09/2020	12:30	58,2	< 0,50	0,13	0,16	< 0,05	33
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	370	100-700	1	10	0,06	300
		Bebida de animales	**	**	2	50	1	500

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Bebida de animales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.14. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Arsénico Total	Cadmio Total	Calcio Total	Cobre Total	Estroncio Total	Hierro Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
E-01	11/08/2020	15:10	0,01228	0,0005	46	0,0158	0,1032	0,92
RRA-01	11/08/2020	11:30	0,03138	0,00288	81	0,1015	0,30038	9,0
RRag-03	11/08/2020	09:40	0,02310	0,00340	51	0,0967	0,12107	13
E-02A	10/08/2020	15:20	0,03604	0,00357	240	0,0717	1,1547	10
E-02A-1	10/08/2020	13:00	0,02722	0,00420	49	0,1109	0,12626	13
PC-01	10/08/2020	11:40	0,19616	0,00826	68	0,4102	0,18247	24
PC-01	22/09/2020	10:40	0,07298	0,00861	313	0,0810	1,6762	8,8
PC-02	10/08/2020	10:10	0,02478	0,00551	447	0,0598	3,1037	5,7
PC-02	22/09/2020	09:10	0,02094	0,01279	488	0,0294	2,8376	3,7
E-215	10/08/2020	08:28	0,05588	0,03672	469	0,1044	3,0563	62
E-213	18/08/2020	17:00	0,00801	0,00004	32	< 0,0003	0,05501	0,09
E-214	18/08/2020	15:20	0,01023	0,00125	386	0,0832	2,1968	1,8

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Arsénico Total	Cadmio Total	Calcio Total	Cobre Total	Estroncio Total	Hierro Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
ESP-BK	20/08/2020	12:40	0,00453	0,00019	32	0,0189	0,13792	0,67
ESP-BK	24/09/2020	12:30	0,00595	0,00017	27	0,0202	0,09861	1,2
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	0,05	0,005	200	0,2	**	1
		Bebida de animales	0,1	0,01	**	0,5	**	1

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Bebida de animales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.15. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Magnesio Total	Manganeso Total	Mercurio Total	Plomo Total	Zinc Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
E-01	11/08/2020	15:10	7,72	0,53661	<0,000070	0,06241	0,213
RRA-01	11/08/2020	11:30	25,5	3,2778	<0,000070	0,16141	2,27
RRag-03	11/08/2020	09:40	12,5	3,9717	<0,000070	0,06892	3,06
E-02A	10/08/2020	15:20	91,3	2,5261	<0,000070	0,13031	2,26
E-02A-1	10/08/2020	13:00	12,1	3,7033	0,000090	0,10089	2,93
PC-01	10/08/2020	11:40	14,0	3,3119	0,001022	0,14135	4,59
PC-01	22/09/2020	10:40	186	24,562	0,000284	0,05759	1,74
PC-02	10/08/2020	10:10	305	38,730	<0,000070	0,01163	1,22
PC-02	22/09/2020	09:10	315	39,089	0,000070	0,02962	0,925
E-215	10/08/2020	08:28	293	45,763	<0,000070	0,01754	8,98
E-213	18/08/2020	17:00	3,92	0,05400	0,000078	0,00241	0,005
E-214	18/08/2020	15:20	245	27,142	0,000189	0,00938	0,395
ESP-BK	20/08/2020	12:40	5,29	0,14950	<0,000070	0,00724	0,063
ESP-BK	24/09/2020	12:30	4,23	0,24403	<0,000070	0,01336	0,063
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	150	0,2	0,001	0,05	2
		Bebida de animales	150	0,2	0,001	0,05	24

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Bebida de animales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.16. Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.4-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Temperatura (T)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE	Oxígeno disuelto (OD)
			°C	Unid. de pH	µS/cm	mg/L
LQui-03	24/09/2020	11:40	13,4	7,16	248	6,43
LQui-02	12/08/2020	08:20	8,6	7,73	198,5	6,71
LQui-01	12/08/2020	10:00	10,7	8,01	198	6,74
LCuc-1	18/08/2020	12:45	15,3	9,41	132	7,2

ECA para Agua(1) - Categoría 4	Lagunas y lagos	**	6,5 - 8,5	**	≥5

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.4-2008

Tabla 6.17. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.4-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Arsénico Total	Cadmio Total	Calcio Total	Cobre Total	Estroncio Total	Hierro Total	Plomo Total	Zinc Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L
LQui-03	24/09/2020	11:40	0,01255	0,00046	27	0,0421	0,14557	3,7	0,02133	0,175
LQui-02	12/08/2020	08:20	0,00768	0,00018	20	0,0214	0,14783	1,2	0,00729	0,030
LQui-01	12/08/2020	10:00	0,00346	0,00004	19	0,0079	0,1455	0,41	0,00223	0,011
LCuc-1	18/08/2020	12:45	0,02470	0,00001	20	<0,0003	0,11236	< 0,03	0,00007	0,006
ECA para Agua(1) - Categoría 4		Lagunas y lagos	0,01	0,004	**	0,02	**	**	0,001	0,03

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

6.4.2. Agua subterránea

El muestreo de agua subterránea se realizó en la segunda visita de campo, del 16 al 27 de setiembre del 2020. En esta etapa se muestreó 2 piezómetros, el piezómetro (PZ-1) ubicado al pie del Stock Pile Aeropuerto, y el piezómetro (DH-18-02) ubicado en el acceso al botadero Miraflores y al este del stock pile 7B.

Para la evaluación de la calidad de agua subterránea se realizó la comparación referencialmente con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, aprobados según el Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM (en adelante, ECA para Agua Cat.3-2008).

Tabla 6.18. Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Temperatura (T)	Potencial de hidrógeno (pH)	Conductividad eléctrica (CE)	Oxígeno disuelto (OD)
			°C	Unid. de pH	µS/cm	mg/L
PZ-1	23/09/2020	08:50	15,5	2,23	27700	1,56
DH-18-02	23/09/2020	14:50	16,8	7,60	909	1,13
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	**	6,5 - 8,5	<2000	>=4
		Bebida de animales	**	6,5 - 8,4	<=5000	>5

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.19. Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Bicarbonato	Carbonatos	Cloruros	Fluoruros	Nitratos	Nitritos	Sulfatos
			mg HCO_3^-/L	mg CO_3^{-2}/L	mg/L	mg/L	mg/L N-NO3	mg/L N-NO2	mg SO_4^{-2}/L
PZ-1	23/09/2020	08:50	< 5,00	< 5,00	31,9	9,3	< 0,11	< 0,03	> 10 000
DH-18-02	23/09/2020	14:50	177	< 5,00	23,5	0,35	0,36	< 0,05	265

ECA para Agua(1) - Categoría 3	Riego de vegetales	370	5	100-700	1	10	0,06	300
	Bebida de animales	**	**	**	2	50	1	500

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.20. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Aluminio Total	Arsénico Total	Cadmio Total	Calcio Total	Cobalto Total	Cobre Total	Estroncio Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PZ-1	23/09/2020	08:50	275	11,174	4,4179	352	0,32130	78,57	1,4390
DH-18-02	23/09/2020	14:50	0,260	0,53380	0,00245	134	0,00021	0,0186	5,0361
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	5	0,05	0,005	200	0,05	0,2	**
		Bebida de animales	5	0,1	0,01	**	1	0,5	**

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

Tabla 6.21. Resultados de metales totales en agua superficial comparados con los ECA para Agua Cat.3-2008

Código	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Hierro Total	Magnesio Total	Manganeso Total	Mercurio Total	Níquel Total	Plomo Total	Zinc Total
			mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PZ-1	23/09/2020	08:50	11 215	3 222	2 051	0,192560	0,8752	0,02770	2403
DH-18-02	23/09/2020	14:50	7,8	34,8	2,5720	0,000147	< 0,0009	0,04001	0,627
ECA para Agua(1) - Categoría 3		Riego de vegetales	1	150	0,2	0,001	0,2	0,05	2
		Bebida de animales	1	150	0,2	0,001	0,2	0,05	24

Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales y Bebida de animales.
Parámetros que superan los ECA Agua Cat. 3 Riego de vegetales.
** Parámetro no contemplado en los ECA Cat.3-2008

6.4.3. Sedimento

6.4.3.1. Ambientes lóticos

Los resultados de laboratorio de las muestras obtenidas de sedimento en los ríos Ragra y San Juan, se presentan en el Anexo 5 (reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC).

Los resultados de metales fueron comparados referencialmente con los valores de 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* [CEQG-SQG]), que será denominada en adelante guía canadiense.

De los resultados de laboratorio de las muestras analizadas, las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc registradas superaron los valores ISGQ y PEL de la guía canadiense en los puntos PC-01, PC-02 y E-215 en el río Ragra; así mismo, los puntos E-214 y E-213 del río San Juan excedieron las concentraciones de metales ya mencionados para los valores ISGQ y PEL de la guía canadiense, a excepción de los parámetros cadmio, arsénico y mercurio que sólo superaron los valores del ISQG. Además, se muestra las representaciones gráficas de los metales que superaron la guía canadiense desde la Figura 6.48 al 6.50.

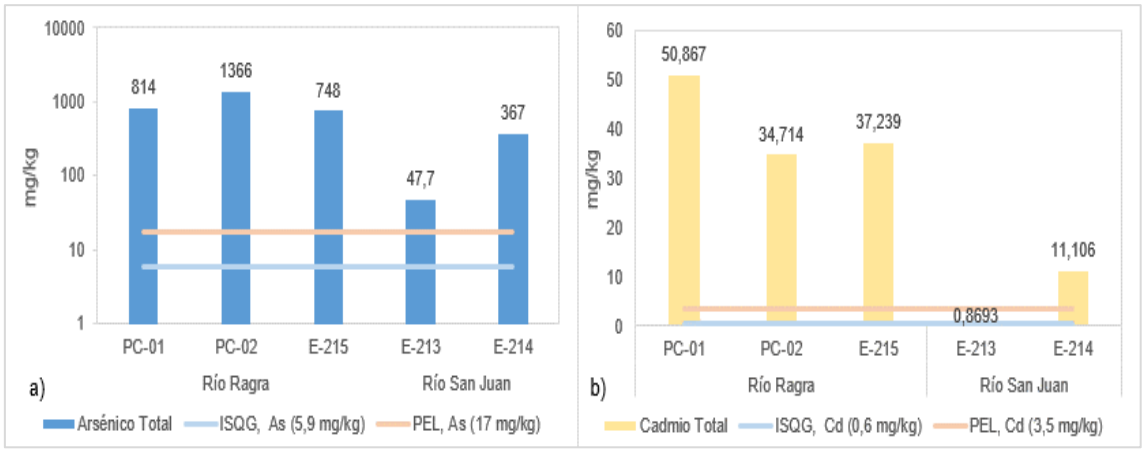


Figura 6.48. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) arsénico y b) cadmio – agosto 2020

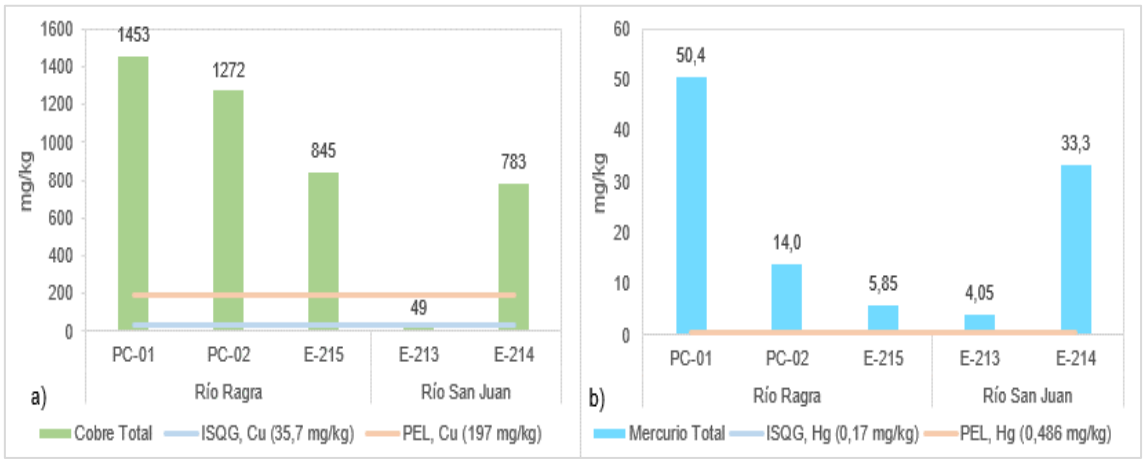


Figura 6.49. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) cobre y b) mercurio – agosto 2020

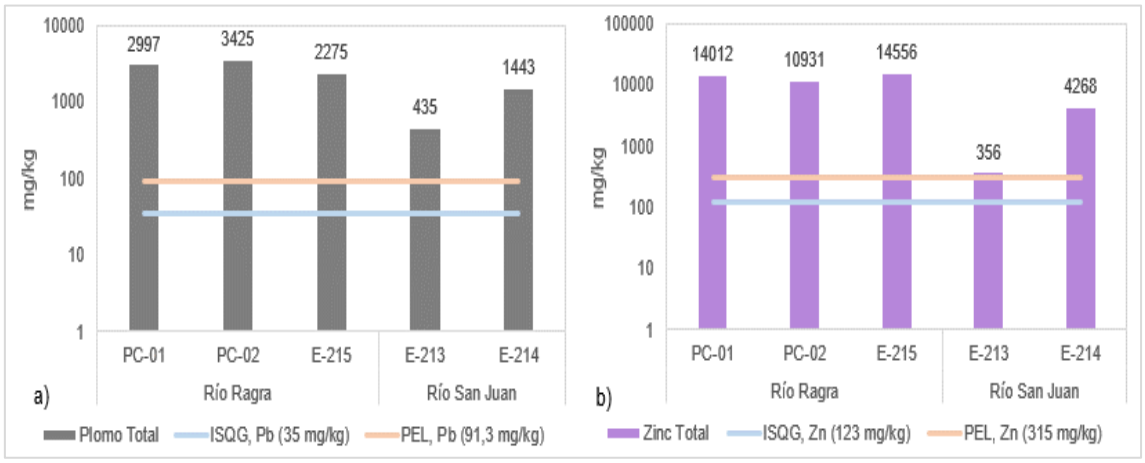


Figura 6.50. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) plomo y b) zinc – agosto 2020

Para la determinación de la biodisponibilidad de algunos analitos en sedimento se realizó mediante el ensayo de extracción secuencial a través de la metodología de Tessier. Los resultados de laboratorio se presentan en el Anexo 3 (reporte de resultados N.° RRE-023-2020-STEC). Además, se realizó las gráficas de extracción Tessier de los metales que superaron los valores de la guía canadiense (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc).

En las Figuras 6.51a y b del punto de muestreo PC-01(río Ragra), los mayores valores de concentración de metales se presentaron en zinc en la extracción 4; sin embargo, en la extracción 1 presentó un valor por debajo del límite de cuantificación. Cabe señalar que plomo y cadmio también registraron sus mayores concentraciones en la extracción 4 al igual que el zinc, al encontrarse en esta fase son fácilmente reducibles y ligados a óxidos de hierro. Respecto al arsénico y mercurio presentaron sus mayores valores de concentración en la extracción 6 en fase residual. Además, cobre registró su mayor valor de concentración en la extracción 5 y estaría ligado a materia orgánica.

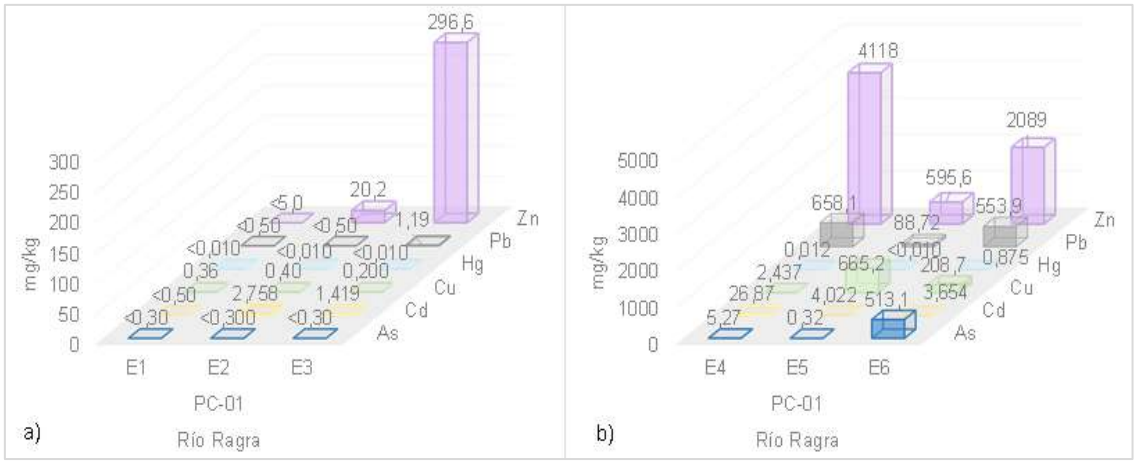


Figura 6.51. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto PC-01 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020

Asimismo, en las Figuras 6.52a y b del punto de muestreo PC-02 (río Ragra), los mayores valores de concentración de metales se presentaron en zinc en las extracciones 4; sin embargo, en la extracción 1 presentó un valor por debajo del límite de cuantificación. Cabe señalar que plomo y cadmio también registraron sus mayores concentraciones en la extracción 4 al igual que el zinc, al encontrarse en esta fase son fácilmente reducibles y ligados a óxidos de hierro. Respecto al arsénico y mercurio presentaron sus mayores valores de concentración en la extracción 6 en fase residual. Además, cobre registró su mayor valor de concentración en la extracción 5 y estaría ligado a materia orgánica.

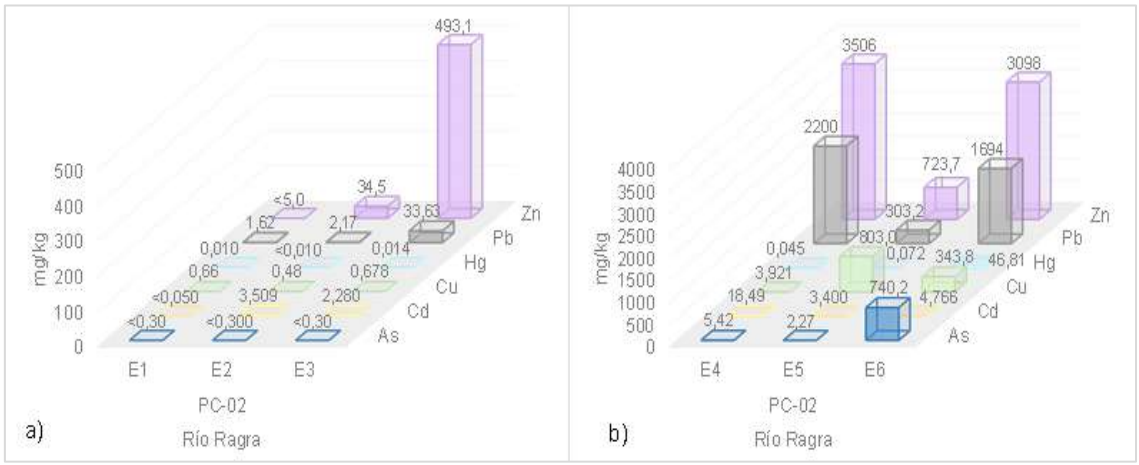


Figura 6.52. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto PC-02 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agosto 2020

Por otra parte, en las Figuras 6.53a y b del punto de muestreo E-213 (río San Juan), los mayores valores de concentración de metales se presentaron en plomo en la extracción 4, además cadmio también presento su mayor valor en dicha extracción, y al encontrase en esta fase son fácilmente reducibles y ligados a óxidos de hierro. Asimismo, cadmio y mercurio presentaron sus mayores concentraciones en la extracción 5, en esta fase se encuentra ligado a materia orgánica. Respecto al arsénico y zinc, las mayores concentraciones se registraron en la extracción 6 en fase residual.

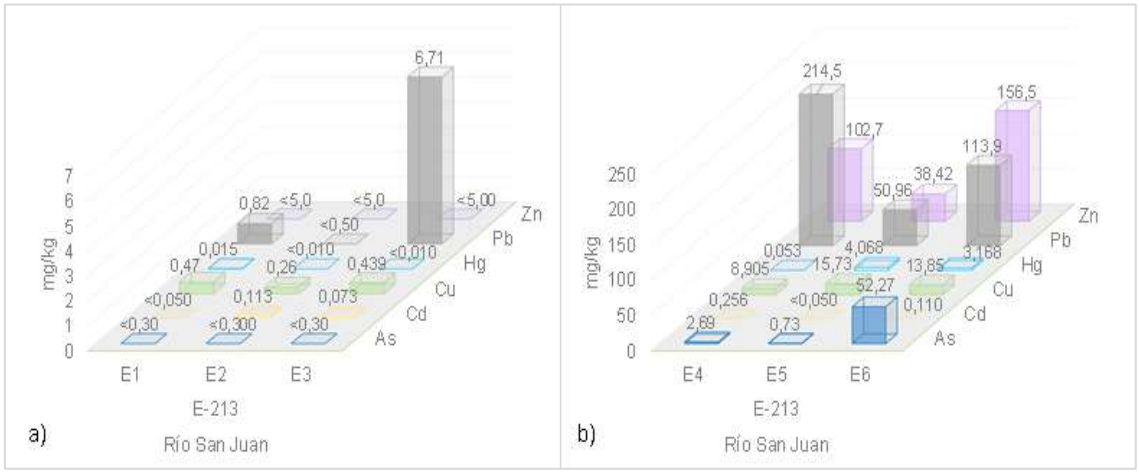


Figura 6.53. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto E-213 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agosto 2020

6.4.3.2. Ambientes lénticos

Los resultados de laboratorio de las muestras obtenidas de sedimento en las lagunas Quilcamachay y Yanamate, se presentan en el Anexo 5 (reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC).

Los resultados de metales fueron comparados referencialmente con los valores de 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* [CEQG-SQG]), que será denominada en adelante guía canadiense.

De los resultados de laboratorio de las muestras analizadas de la laguna Quilcamachay, las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc registradas superaron los valores ISGQ y PEL de la guía canadiense en los puntos LQui-01 y LQui-02, a excepción de cadmio y cobre en el punto LQui-01 que sólo superaron los valores del ISQG (ver Figura 6.54 al 6.56).

Respecto a los resultados de las muestras de la laguna Yanamate, las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc registradas superaron los valores ISGQ y PEL de la guía canadiense en los puntos DAAYH, LYA-6A y DAAY, a excepción de cadmio en el punto DAAYH, y mercurio en los puntos LYA-6A y DAAY que sólo superaron los valores del ISQG (ver Figura ver Figura 6.57 al 6.59).

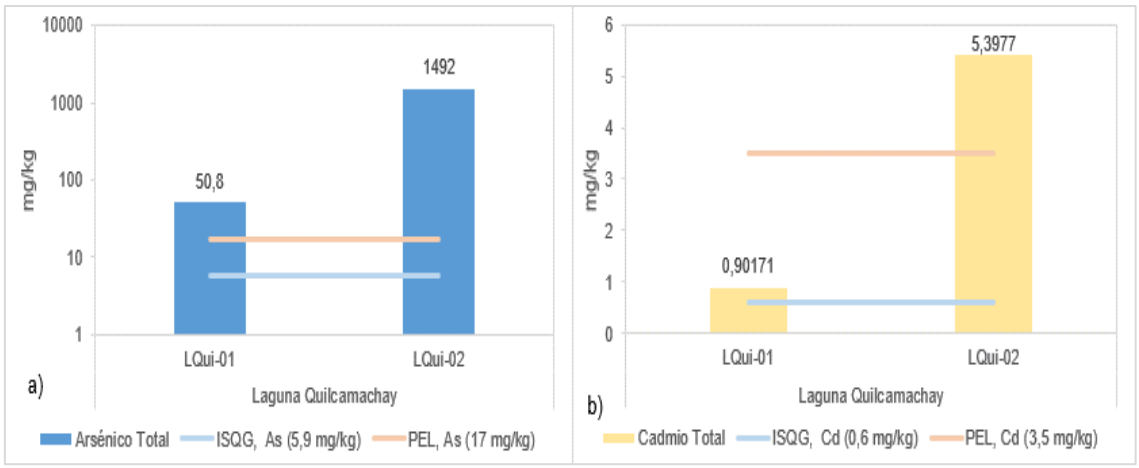


Figura 6.54. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) arsénico y b) cadmio

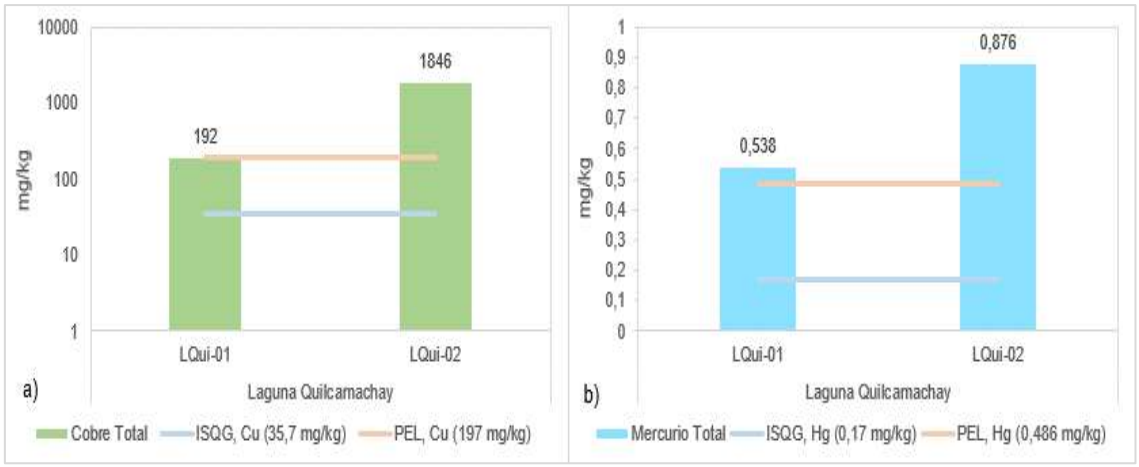


Figura 6.55. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) cobre y b) mercurio

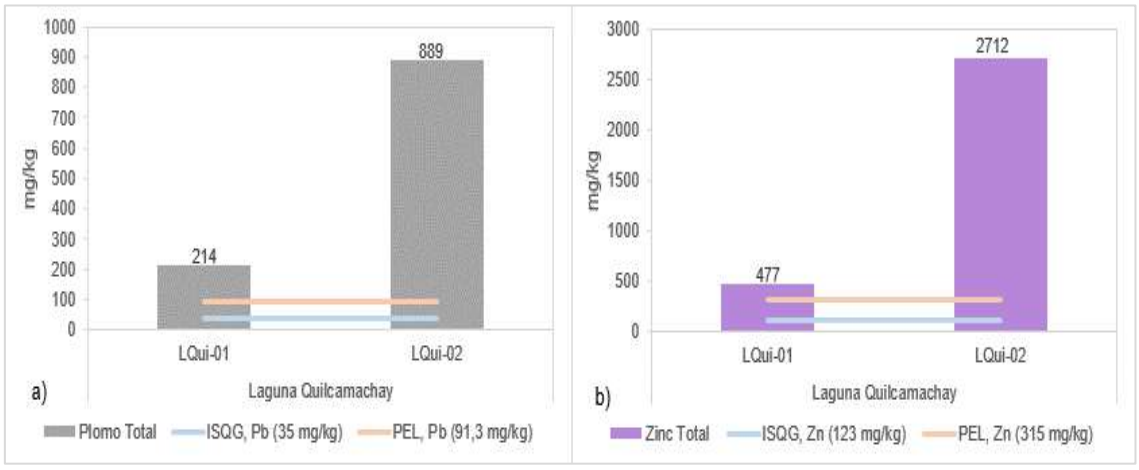


Figura 6.56. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) plomo y b) zinc

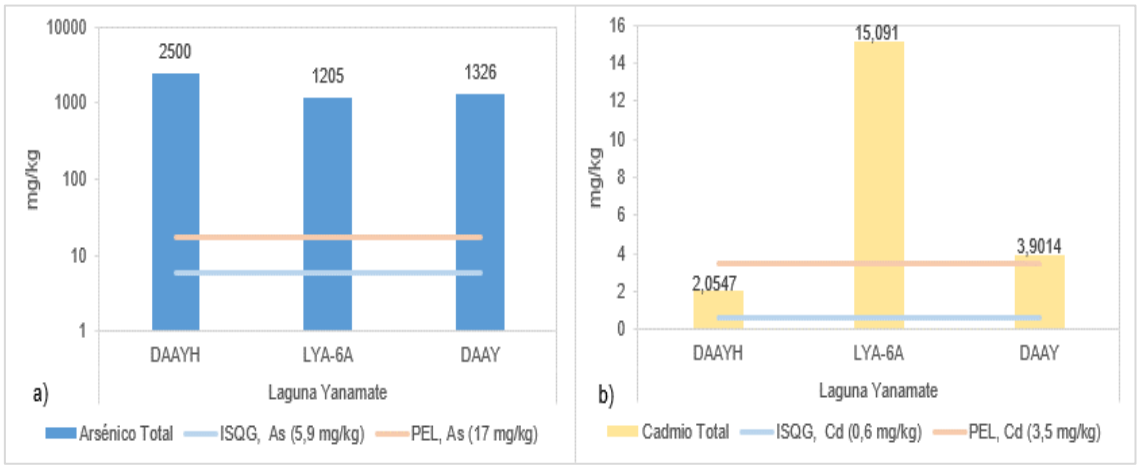


Figura 6.57. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) arsénico y b) cadmio

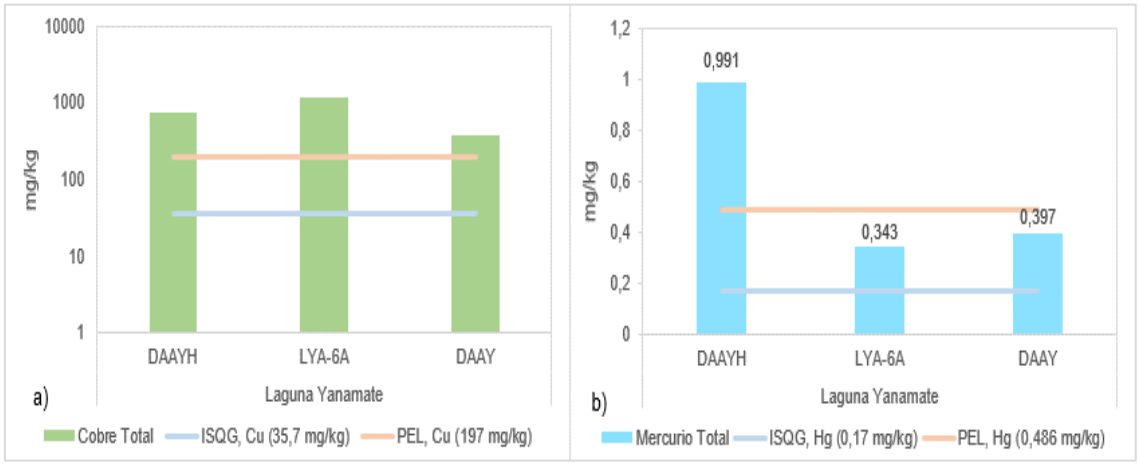


Figura 6.58. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) cobre y b) mercurio

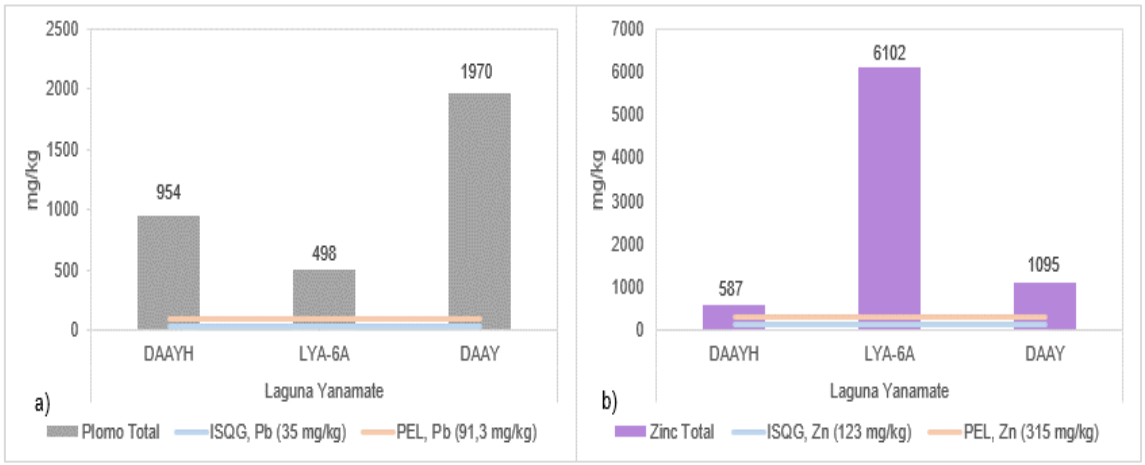


Figura 6.59. Resultados de metales en sedimento, comparados referencialmente con los valores ISQG y PEL de la CEQG-SQG en a) plomo y b) zinc

La determinación de la biodisponibilidad de algunos analitos en sedimento se realizó mediante el ensayo de extracción secuencial a través de la metodología de Tessier. Los resultados de laboratorio se presentan en el Anexo 3 (reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC). Además, se realizó las gráficas de extracción Tessier de los metales que superaron los valores de la guía canadiense (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc).

En las Figuras 6.60a y b del punto de muestreo LQui-02 (laguna Quilcamachay), los mayores valores de concentración de metales se presentaron en zinc en la extracción 4; además, en esta extracción cadmio presento su mayor valor, al encontrarse en esta fase se encuentran fácilmente reducibles y ligados a óxidos de hierro. Respecto al arsénico, plomo y mercurio presentaron sus mayores valores de concentración en la extracción 6 en fase residual. Además, cobre registró su mayor valor de concentración en la extracción 5 y estaría ligado a materia orgánica.

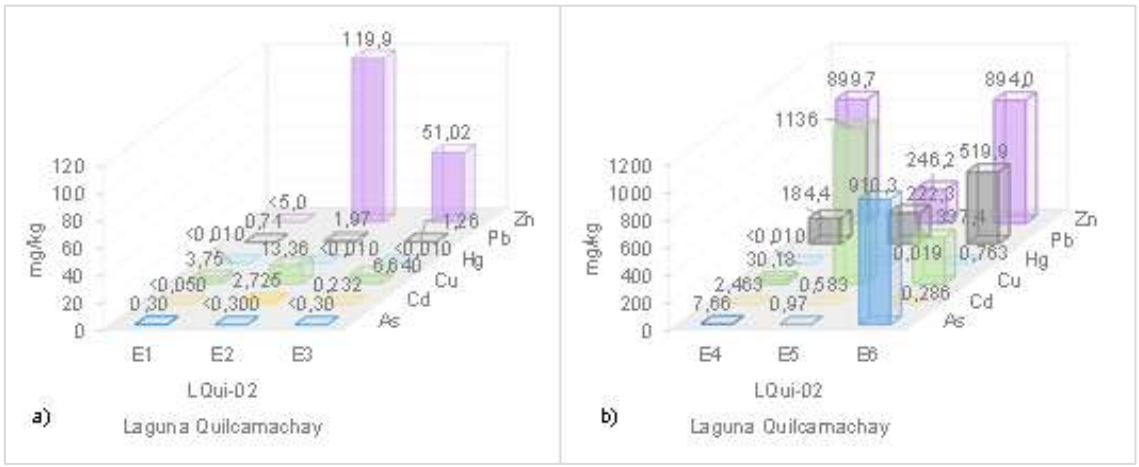


Figura 6.60. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto LQui-02 en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020

En las Figuras 6.61a y b del punto de muestreo DAAYH (laguna Yanamate), los mayores valores de concentración de metales se presentaron en arsénico en la extracción 6; además, en esta extracción plomo y mercurio registraron sus mayores valores de concentración y se

encontrarían en fase residual. Respecto al cadmio y Zinc presentaron sus mayores concentraciones en extracción 1 en fase extraíble. Por otra parte, cobre registró su mayor valor de concentración en la extracción 5 y estaría ligado a materia orgánica.

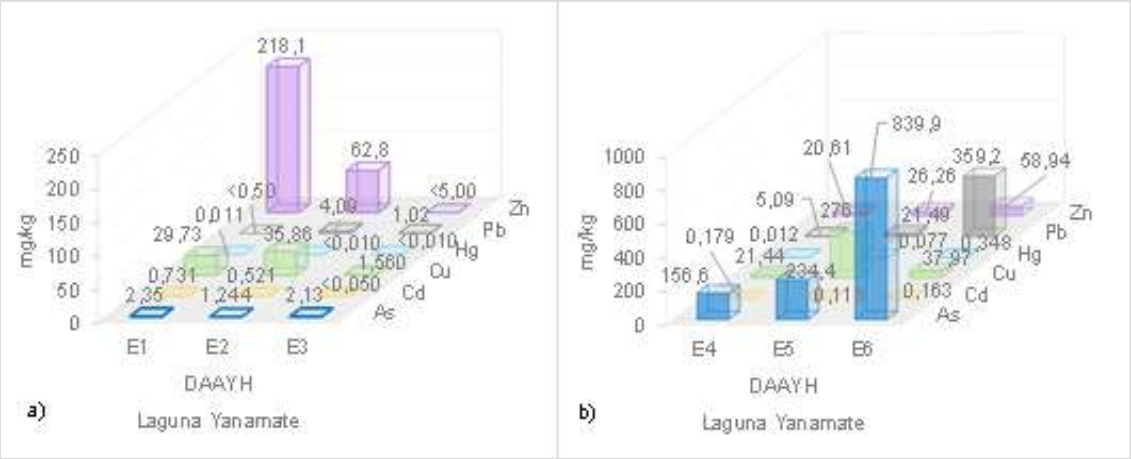


Figura 6.61. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto DAAYH en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020

En las Figuras 6.62a y b del punto de muestreo LYA-6A (laguna Yanamate), los mayores valores de concentración de metales se presentaron en zinc en la extracción 1, además en esta extracción arsénico, cadmio, cobre y plomo registraron sus mayores valores de concentración y se encontrarían en fase extraíble. Por otra parte mercurio registró su mayor valor de concentración en la extracción 6 en fase residual.

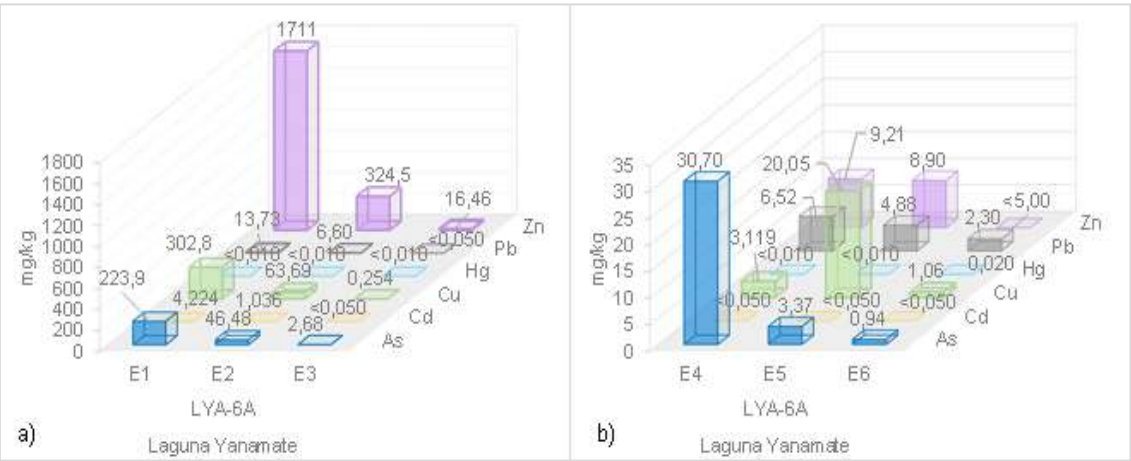


Figura 6.62. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto LYA-6A en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020

En las Figuras 6.63a y b del punto de muestreo LYA-6A (laguna Yanamate), los mayores valores de concentración de metales se presentaron en plomo en la extracción 6; además, en esta extracción arsénico y mercurio registraron sus mayores valores de concentración y se encontrarían en fase residual. Respecto al cadmio, cobre y zinc registraron sus mayores valores de concentración en la extracción 5 encontrándose ligados a materia orgánica.

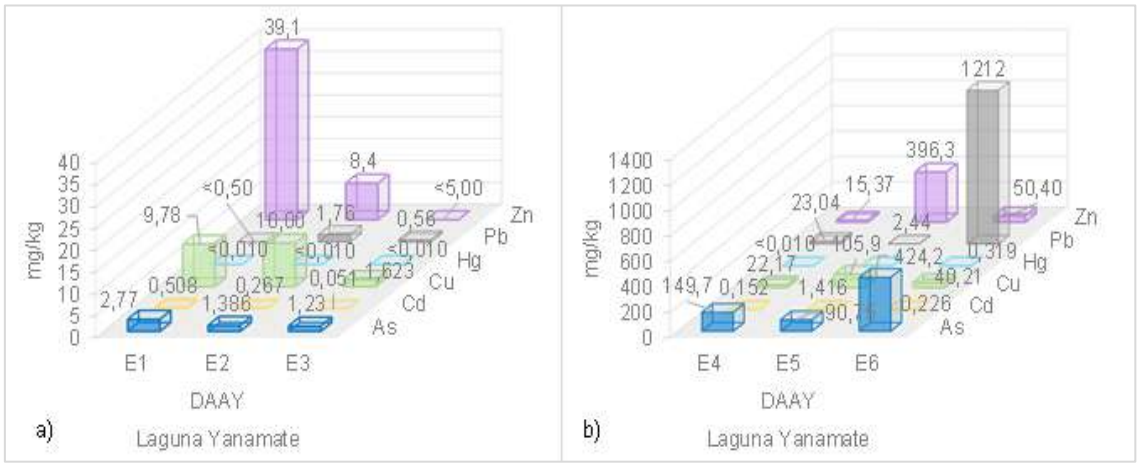


Figura 6.63. Resultados de metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc) por extracción Tessier del punto DAAY en a) extracciones E1, E2 y E3; y b) extracciones E4, E5 y E6 – agostos 2020

Además, se realizó análisis mineralógico de la muestra extraída del punto LQui-02 de la laguna Quilcamachay. La muestra posee minerales compuestos de hierro y oxígeno, en la mayoría de ellos; en tanto que existen minerales como la bourmonita que tienen mayor predominio en su composición de plomo, así como zinc en esfalerita, bario en baritina, titanio en rutilo, estaño en caseterita y azufre en pirita (Figura 6.64).

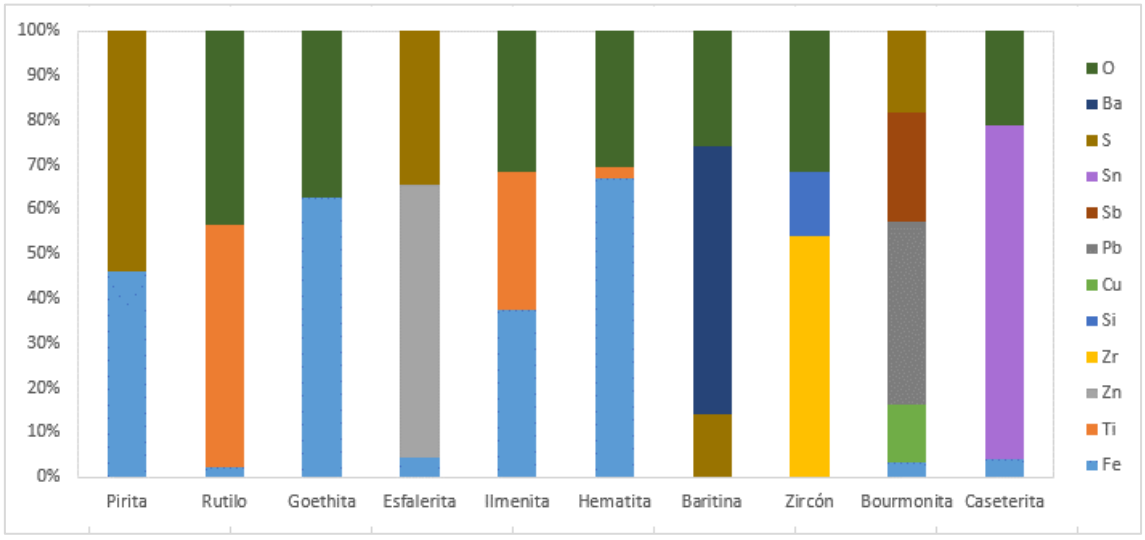


Figura 6.64. Resultados de análisis mineralógico de la muestra del punto LQui-02 de la laguna Quilcamachay – agosto 2020

6.4.4. Comunidades hidrobiológicas

Los resultados de laboratorio de la identificación taxonómica de las comunidades hidrobiológicas obtenidas de los ríos (Ragra y San Juan) y lagunas (Quilcamachay y Cuchis), se presentan en el Anexo 3 (reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC). El muestreo de comunidades hidrobiológicas se realizó durante el mes de agosto. En la Tabla 6.22 se detallan las comunidades hidrobiológicas evaluadas y punto de muestreo.

Tabla 6.22. Comunidades hidrobiológicas evaluadas en agosto 2020

N.°	Puntos de muestreo	Identificación taxonómica		
		Plancton	Perifiton	Macroinvertebrados Bentónicos
1	E-01	---	x	x
2	RRA-01	---	x	x
3	PC-01	---	x	x
4	PC-02	---	x	x
5	E-215	---	x	x
6	E-214	---	x	x
7	E-213	---	x	x
8	LQui-01	x	---	x
9	LQui-02*	x	---	x
10	LCuc-1	x	---	x

(*): Se realizó la identificación taxonómica de los peces obtenidos en la captura incidental, determinándose que los individuos pertenecen a la especie «*Orestias* sp.».
---: No aplica

A continuación, se muestran los resultados de cada comunidad hidrobiológica en cada punto de muestreo evaluados por ambientes lóticos y lenticos. En cada punto de muestreo se evaluará la composición, riqueza, abundancia, índices de diversidad alfa, beta y estimación del estado ecológico.

6.4.4.1. Ambientes lóticos

6.4.4.1.1. Perifiton

Fueron evaluados siete puntos de muestreo en agosto 2020. El análisis de perifiton se realizó por separado para las microalgas o perifiton vegetal y para los microorganismos o perifiton animal. Los resultados son presentados con mayor detalle en el Anexo 5 (RRE-029-2020-STEC).

Microalgas

Composición y riqueza

Fueron encontradas un total de 77 especies agrupadas en seis phyla, ocho clases, 25 órdenes en los ríos Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02 y E-215) y San Juan (E-213 y E-214). El phylum más representativo fue Bacillariophyta, el cual representó la mayor riqueza en todos los puntos evaluados, excepto en el punto RRA-01 donde Cyanobacteria registro la mayor riqueza, mientras que los phyla Chlorophyta, Euglenozoa, Charophyta y Ochrophyta presentaron una menor riqueza (Figura 6.65).

La riqueza varió entre 10 y 40 especies en los puntos evaluados en los ríos Ragra y San Juan, el menor valor registrado correspondió al punto PC-01 y el mayor valor se registró en el punto E-213 (Figura 6.65).

Abundancia

Fueron encontrados un total de 1937270 organismos en los ríos Ragra y San Juan. El phylum con mayor número de organismos fue Bacillariophyta, el cual representó la mayor abundancia en todos los puntos evaluados, a excepción de los puntos PC-01, PC-02 y E-

215 donde Cyanobacteria tuvo la mayor abundancia, mientras que los Chlorophyta, Euglenozoa, Ochrophyta y Charophyta presentaron una menor abundancia (Figura 6.66).

La abundancia varió entre 17000 y 887850 organismos entre los puntos evaluados en el río Ragra y San Juan, el menor valor se registró en el punto PC-02 y el mayor valor se registró en el punto E-213 (Figura 6.66).

Diversidad alfa

Los números de Hill N1 y N2 evaluados en los puntos de agua superficial en los ríos Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02, E-215) y San Juan (E-213 y E-214), registraron valores de N1 entre 2,887 y 10,03, mientras en N2 se registraron valores entre 1,765 y 6,923 (Figura 6.67).

Respecto al índice de Shannon-Wiener en los ríos Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02, E-215) y San Juan (E-213 y E-214), registraron valores entre 1,06 y 2,305. La equidad de Pielou evidenció alta equidad en la mayoría de los puntos evaluados excepto en los puntos PC-01 y E-213, donde se evidencia una distribución heterogénea de la abundancia de organismos (Figura 6.68).

Diversidad beta

Fue evaluada la diversidad beta generándose los dendrogramas de similitud correspondientes, teniendo como base el índice de similitud de Bray-Curtis. Se aprecia que, la formación de un grupo conformado por los puntos PC-01 y E-215, que presentó una similitud de 54,37 %, el valor alto observado estaría asociado a valores similares de riqueza y abundancia de organismos registrados en los puntos de muestreo (Figura 6.69).

Microorganismos

Fueron encontrados un total de 1156 organismos pertenecientes a los phyla Amoebozoa, Ciliophora, Rotífera y Nematoda. Los índices de diversidad alfa hallados se detallan en la Tabla 6.23.

Tabla 6.23. Índices de diversidad alfa de los microorganismos-agosto 2020

Phylum	Nombre científico	E-01	RRA-01	PC-01	PC-02	E-215	E-213	E-214
		Organismos/cm^2						
Amoebozoa	*Amoeba proteus*	0	0	0	20	0	30	0
Ciliophora	*Euplotes* sp.	0	0	10	0	0	0	0
Ciliophora	Vorticella sp.	0	0	0	0	0	0	240
Ciliophora	Paramecium sp.	0	10	10	0	30	0	560
Rotífera	*Mytilina* sp.	0	0	0	0	0	10	0
Nematoda	*Nematoda* sp. 1	16	30	0	70	40	20	60
Índices de diversidad alfa								
Riqueza (S)		1	2	2	2	2	3	3
Abundancia (N)		16	40	20	90	70	60	860
Equidad de Pielou (J')		0	0,8113	1	0,7642	0,9852	0,9206	0,7476
Número de Hill N1		1	1,755	2	1,698	1,98	2,749	2,273
Número de Hill N2		1	1,6	2	1,528	1,96	2,571	1,973
Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')		0	0,5623	0,6931	0,5297	0,6829	1,011	0,8213

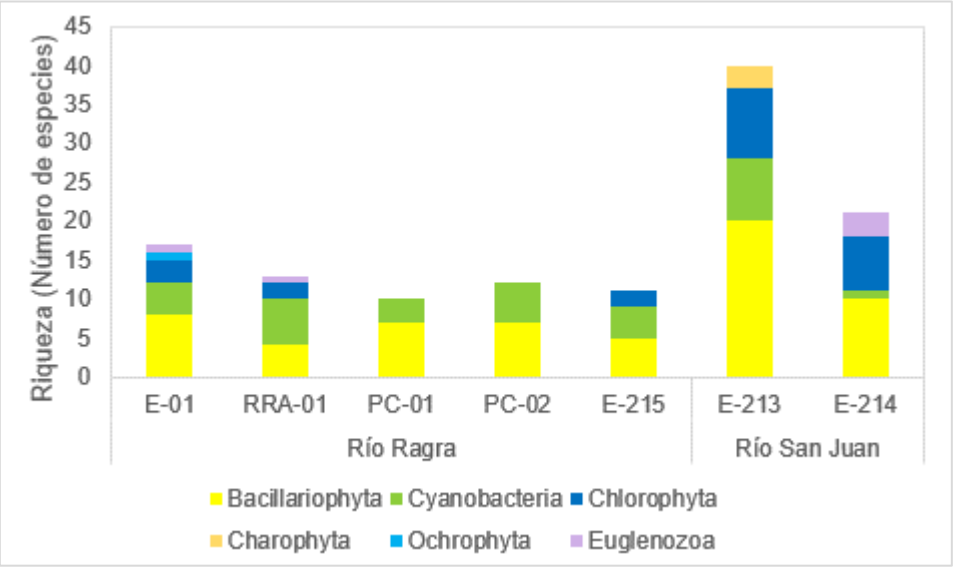


Figura 6.65. Composición y riqueza de microalgas – agosto 2020

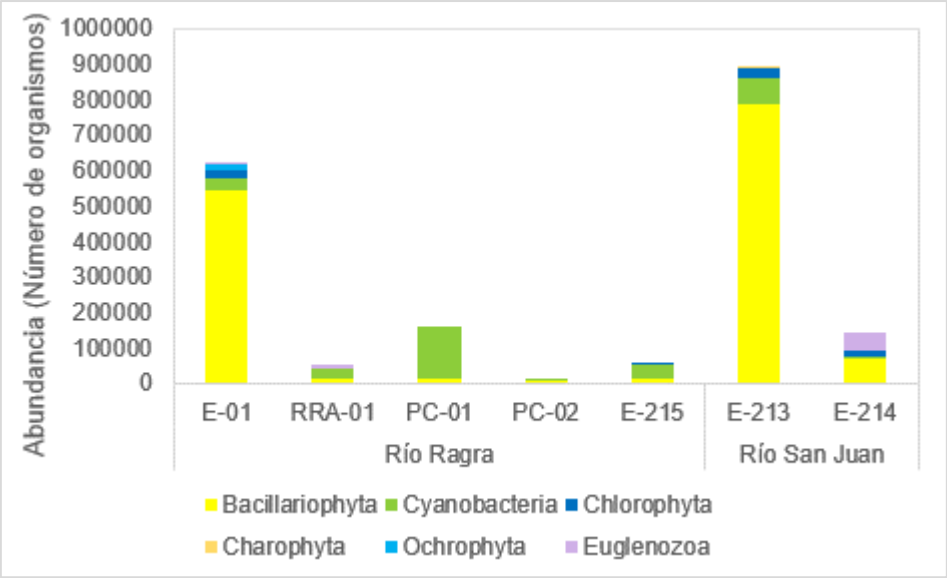


Figura 6.66. Abundancia de microalgas – agosto 2020

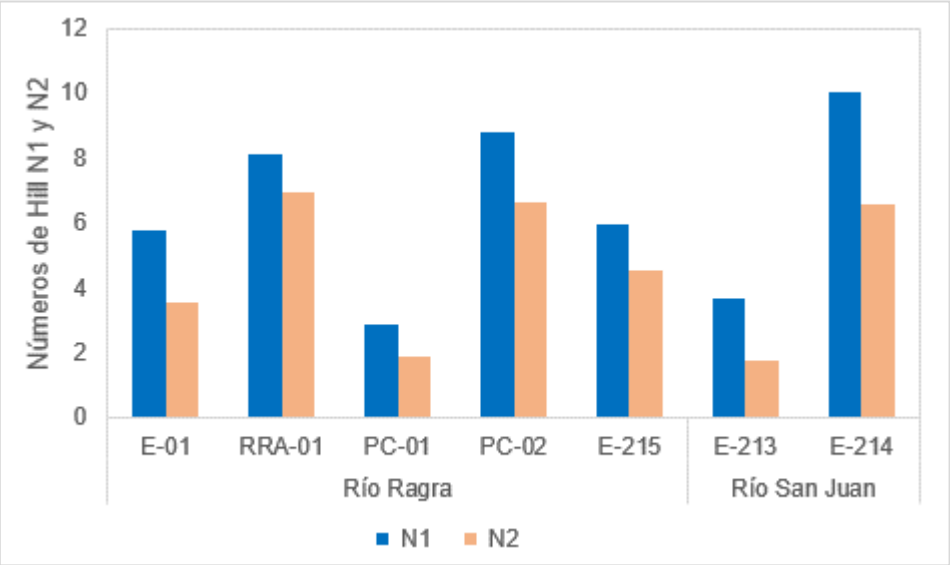


Figura 6.67. Números de Hill N1 y N2 de microalgas – agosto 2020

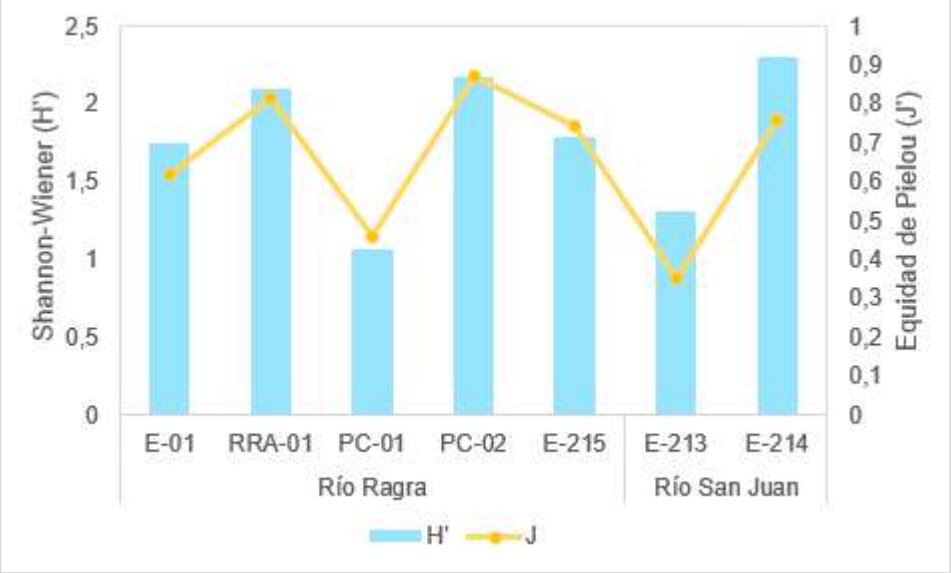


Figura 6.68. Índice de Shannon –Wiener de microalgas – agosto 2020

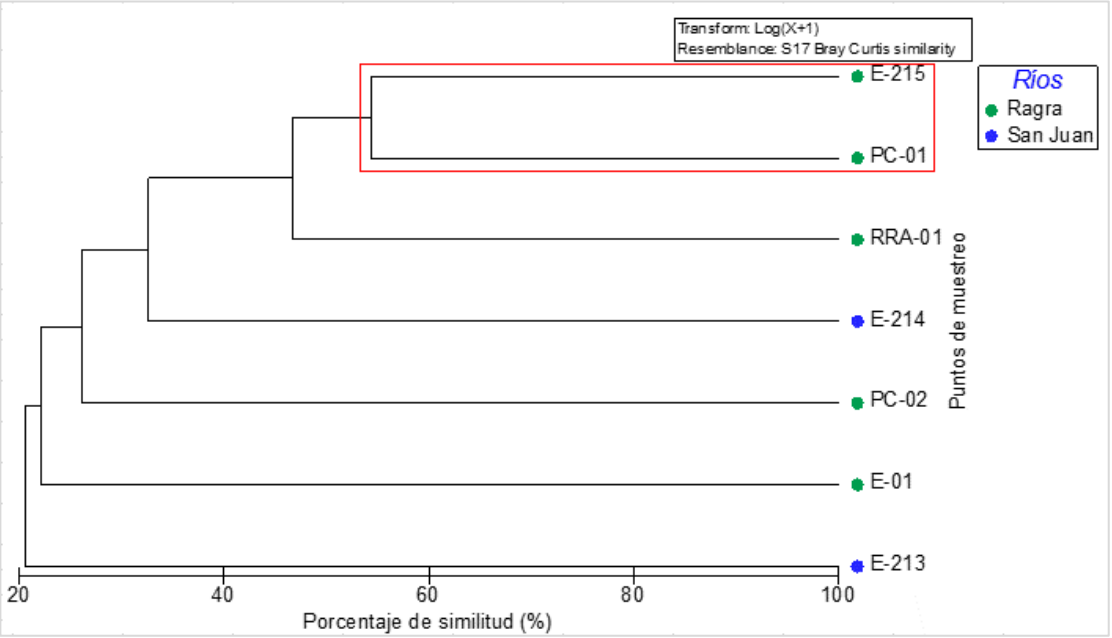


Figura 6.69. Dendrograma de similitud de microalgas – agosto 2020

6.4.4.1.2. Macroinvertebrados bentónicos

Fueron evaluados siete puntos de muestreo en agosto de 2020. Los resultados son presentados con mayor detalle en el Anexo 5 (RRE-023-2020-STEC).

Composición y riqueza

Fueron encontradas un total de 20 especies agrupadas en cuatro phyla, siete clases, 13 órdenes en los ríos Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02 y E-215) y San Juan (E-213 y E-214). El orden más representativo y que mostró mayor valor de riqueza en todos los puntos evaluados fue Díptera, excepto en los puntos PC-02, E-215 y E-214 donde la riqueza fue igual a Haplotaxida, además en el punto PC-02 también fue igual a Coleoptera (Figura 6.70).

La riqueza varió entre 2 y 5 especies entre los órdenes de macroinvertebrados bentónicos evaluados en el río Ragra, perteneciendo el menor valor a los puntos E-215, y el mayor valor al punto PC-01. En el río San Juan la riqueza vario entre 2 y 14 especies, el mayor valor se registró en el punto E-213, mientras el menor valor se registró en E-214 (Figura 6.70).

Abundancia

Fueron encontrados un total de 813 individuos en los ríos Ragra y San Juan. El orden con mayor número de individuos fue Díptera en todos los puntos evaluados, excepto en los puntos PC-02, E-215 y E-214, donde fue superado el orden Haplotaxida (Figura 6.71).

La abundancia varió entre 12 y 641 individuos entre los puntos evaluados en el río Ragra y San Juan. El menor valor se registró en el punto PC-02, mientras el mayor valor de abundancia se registró en el punto E-213 (Figura 6.71).

Diversidad alfa

Los números de Hill N1 y N2 evaluados en los puntos de agua superficial en los ríos Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02, E-215) y San Juan (E-213 y E-214), registraron valores de N1 entre 1,263 y 3,156, mientras en N2 se registraron valores entre 1,133 y 2,806. Además, los mayores valores se N1 y N2 se registraron en el punto RRA-01, mientras los menores valores se registraron en el punto E-214 (Figura 6.72).

Respecto al índice de Shannon-Wiener en los ríos Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02, E-215) y San Juan (E-213 y E-214), registraron valores entre 0,2338 y 1,149. La equidad de Pielou evidenció baja equidad en la mayoría de puntos evaluados excepto en los puntos E-01, RRA-01 y PC-02, donde se evidencia una distribución homogénea de la abundancia de los individuos (Figura 6.73).

Diversidad beta

Fue evaluada la diversidad beta generándose los dendrogramas de similitud, teniendo como base el índice de similitud de Bray-Curtis. Se aprecia que, la formación de dos grupos, un grupo conformado por los puntos E-215 y E-214 que presentó una similitud de 70,01 %, el valor alto observado estaría asociado a valores similares de riqueza y abundancia de individuos registrados en los puntos de muestreo, y el segundo conformado por los puntos E-01, RRA-01 y PC-01 con una similitud de 67,79 % el alto valor observado indicaría que comparten muchas especies en común los puntos evaluados (Figura 6.74).

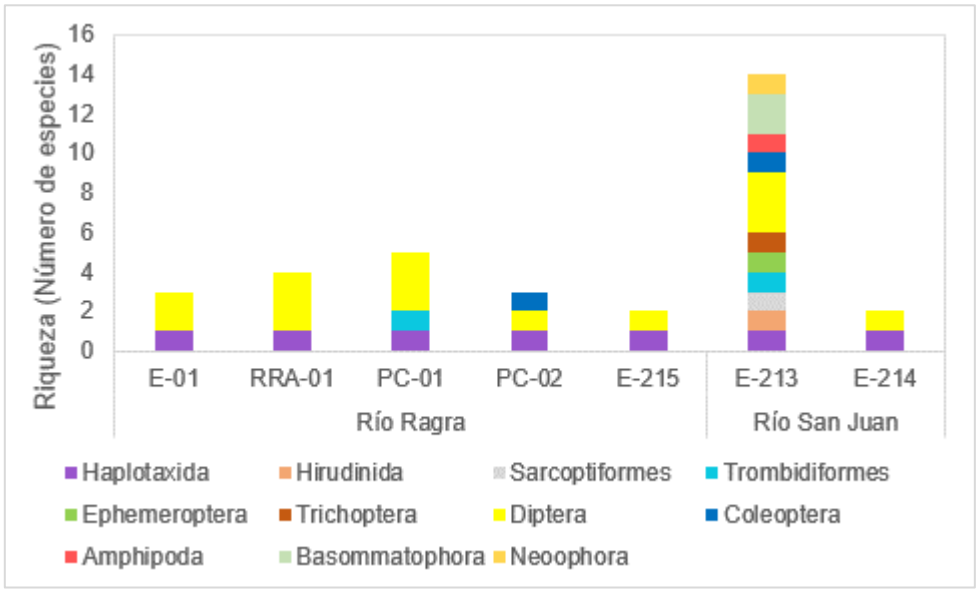


Figura 6.70. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020

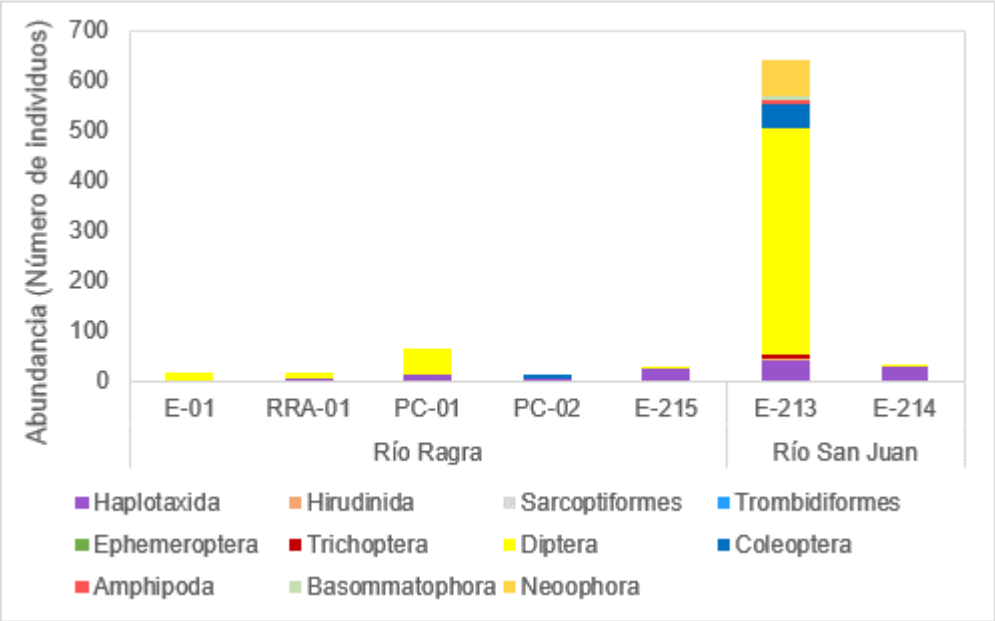


Figura 6.71. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020

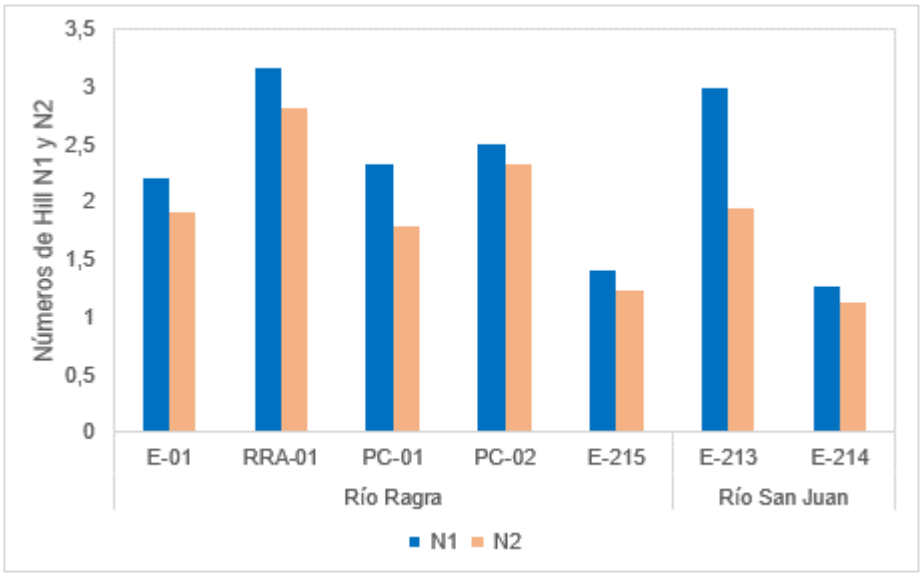


Figura 6.72. Números de Hill N1 y N2 de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020



Figura 6.73. Índices de Shannon-Wiener en macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020

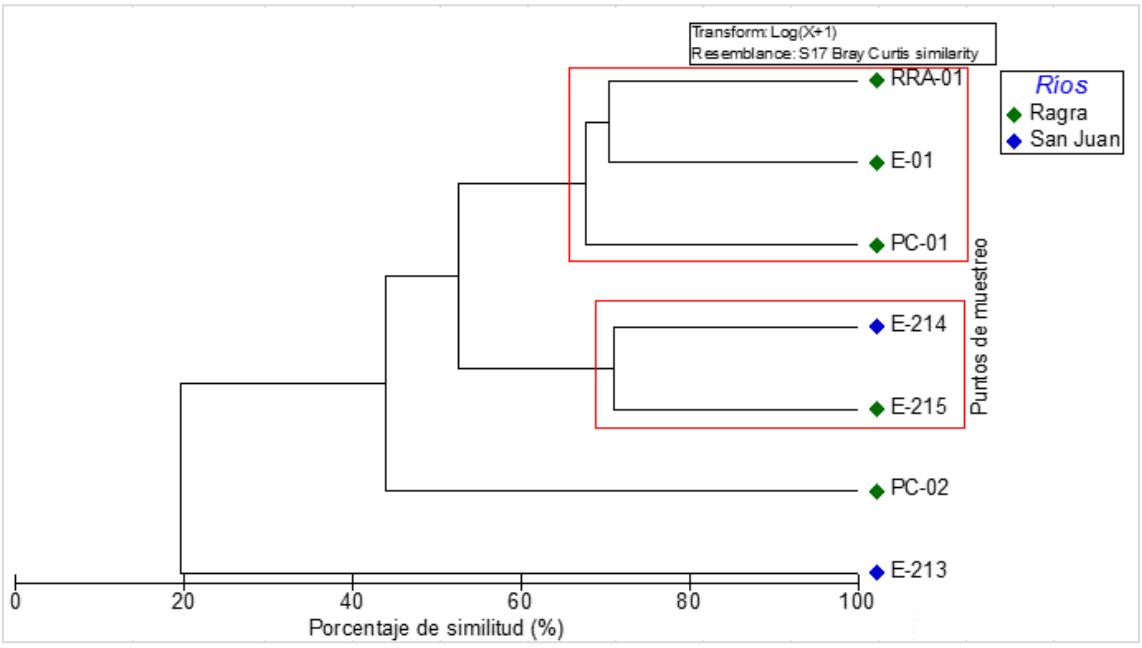


Figura 6.74. Dendrograma de similitud de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020

Calidad ecológica

En la Tabla 6.24 se presenta la calidad ecológica en los ríos Ragra y San Juan. Los resultados de este análisis constituyen una buena aproximación del estado ecológico, teniendo como base los métodos planteados en el protocolo de evaluación de calidad ecológica de ríos andinos.

En los puntos donde se estimó la calidad ecológica, se observó una pésima calidad ecológica en los puntos E-01, RRA-01, PC-02, E-215 y E-214; una mala calidad en el punto PC-01 y una moderada calidad ecológica en el punto E-213.

Tabla 6.24. Calidad ecológica de acuerdo al protocolo CERA-S

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Río Ragra	E-01	Pésima	Pésima	Pésima
	RRA-01	Pésima	Mala	Pésima
	PC-01	Mala	Mala	Mala
	PC-02	Pésima	Moderada	Pésima
	E-215	Pésima	Mala	Pésima
Río San Juan	E-213	Buena	Mala	Moderada
	E-214	Pésima	Mala	Pésima

6.4.4.2. Ambientes lénticos

6.4.4.2.1. Plancton

Fueron evaluados tres puntos de muestreo en agosto 2020. El análisis de plancton se realizó por separado para las microalgas o fitoplancton y para los microorganismos o zooplancton. Los resultados son presentados con mayor detalle en el Anexo 5 (RRE-023-2020-STEC).

Fitoplancton

Composición y riqueza

Fueron encontradas un total de 29 especies agrupadas en siete phyla, ocho clases, 17 órdenes en la laguna Quicamachay (LQui-01 y LQui-02). El phylum más representativo fue Bacillariophyta, el cual representó la mayor riqueza en todos los puntos evaluados. La riqueza varió entre 17 y 25 especies en los puntos evaluados laguna Quilcamachay, el menor valor correspondió al punto LQui-01 y el mayor valor al punto LQui-02 (Figura 6.75a).

La laguna Cuchis registró 36 especies en el punto evaluado LCuc-1. Los phyla más representativos fueron Charophyta y Chlorophyta, además los phyla Bacillariophyta, Cyanobacteria y Mizozoa también estuvieron presentes (Figura 6.75b).

Abundancia

Fueron encontrados un total de 51077 organismos en la laguna Quilcamachay. El phylum con mayor número de organismos fue Bacillariophyta, el cual representó la mayor abundancia en los dos puntos evaluados (Figura 6.76a).

Asimismo, en la laguna Cuchis registraron 25540 organismos en el punto evaluado LCuc-1, la mayor abundancia la registró el phylum Bacillariophyta (Figura 6.76b).

Diversidad alfa

Los números de Hill N1 y N2 evaluados en los puntos de agua superficial en la laguna Quilcamachay, los mayores valores se registraron en el punto LQui-02 (N1= 10,28 y N2= 5,83), mientras que los mayores valores se registraron el punto LQui-01(N1= 5,041 y N2= 3,189) (Figura 6.77a). Por otra parte, en la laguna Cuchis presento valores de N1 y N2 de 23,48 y 16,32 respectivamente (Figura 6.77b).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener en la laguna Quilcamachay fue 1,618 en el punto LQui-01 y 2,33 en LQui-02. Respecto a la equidad de Pielou los puntos LQui-01 y LQui-02

presentaron una equidad alta por lo que presentarían una distribución homogénea de la abundancia del fitoplancton (Figura 6.78a).

Respecto al índice de Shannon-Wiener en la laguna Cuchis fue 3,156 en el punto LCuc-1. En cuanto al índice de equidad de Pielou presento un valor alto, lo cual indicaría que presenta una distribución homogénea (Figura 6.78b)

Zooplancton

Esta comunidad tuvo una representatividad mínima, habiéndose encontrado pocas especies y abundancia de organismos en los puntos de muestreo evaluados en las lagunas Quilcamachay y Cuchis. Fueron encontrados un total de 88 organismos, distribuidos en ocho especies, pertenecientes a los phyla Amoebozoa y Rotífera. Dada su escasa representatividad, los índices de diversidad alfa hallados presentaron valores muy bajos, los cuales son detallados en la Tabla 6.25.

Tabla 6.25. Índices de diversidad alfa de los microorganismos – agosto 2020

Phylum	Nombre científico	LQui-01	LQui-02	LCuc-1
		Organismos/L		
Amoebozoa	*Arcella discoides*	0	0	6
Amoebozoa	*Difflugia globulosa*	0	0	13
Rotífera	*Keratella quadrata*	0	0	13
Rotífera	*Keratella americana*	19	6	0
Rotífera	*Trichocerca* sp. 1	13	6	0
Rotífera	*Ptygura* sp.	6	6	0
Índices de diversidad alfa				
Riqueza (S)		3	3	3
Abundancia (N)		38	18	32
Equidad de Pielou (J')		0,9148	1	0,9519
Número de Hill N1		2,732	3	2,846
Número de Hill N2		2,551	3	2,738
Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H')		1,005	1,099	1,046

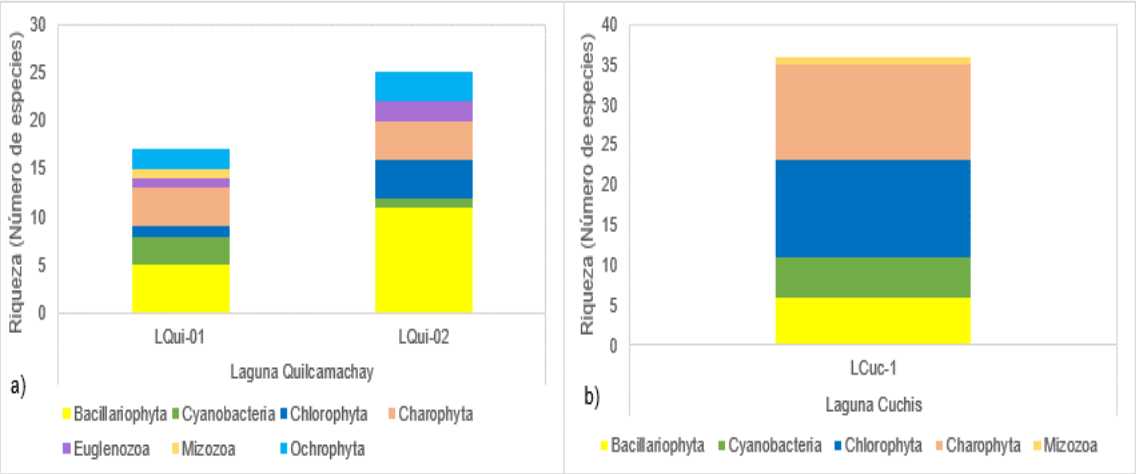


Figura 6.75. Composición y riqueza de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020

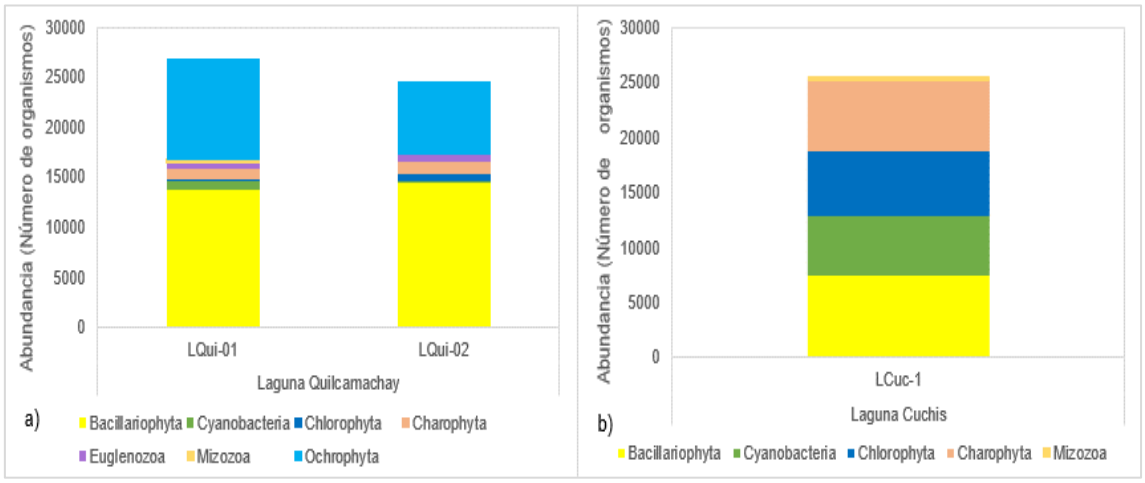


Figura 6.76. Abundancia de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020

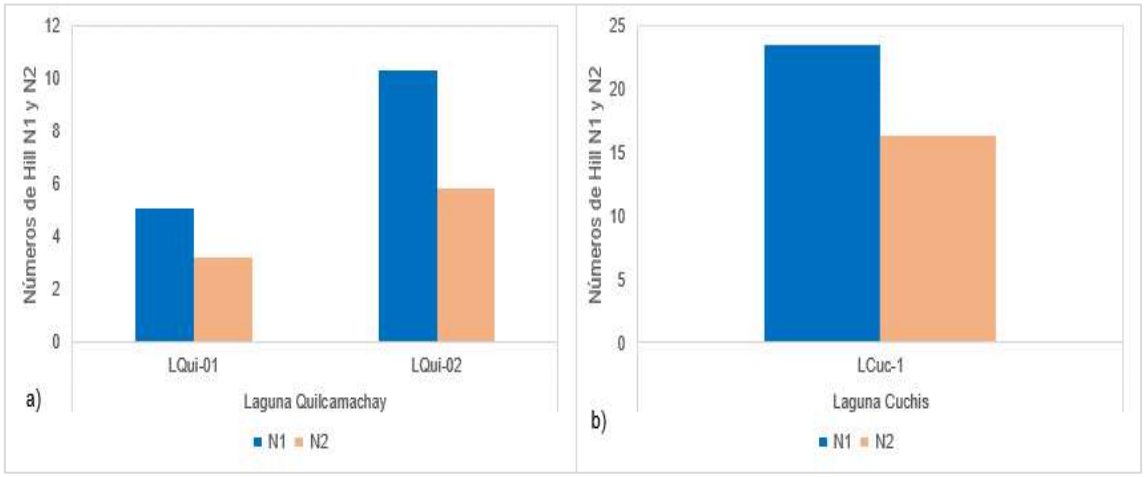


Figura 6.77. Números de Hill N1 y N2 de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020

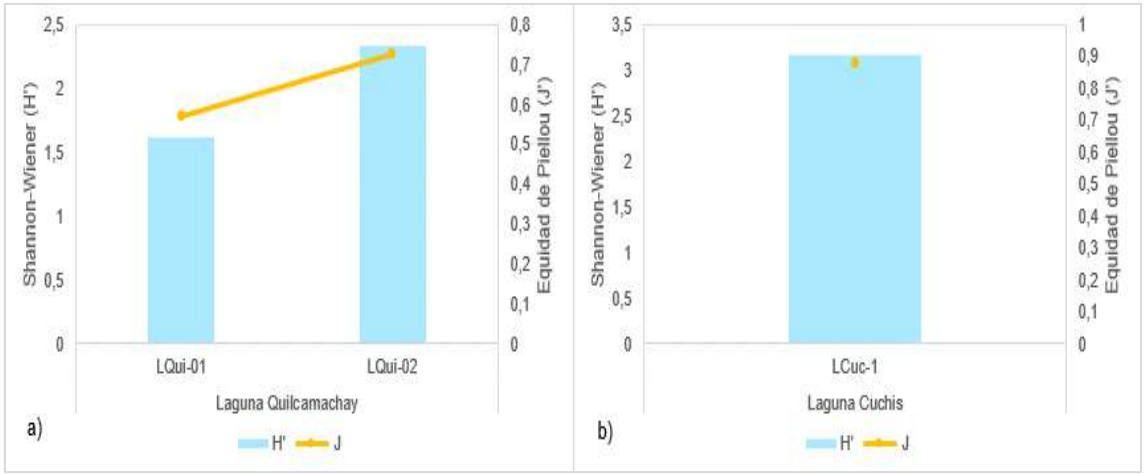


Figura 6.78. Índice de Shannon –Wiener y equidad de Pielou de microalgas en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020

6.4.4.2.2. Macroinvertebrados bentónicos

Fueron evaluados tres puntos de muestreo en agosto de 2020. Los resultados son presentados con mayor detalle en el Anexo 5 (RRE-023-2020-STEC).

Composición y riqueza

Fueron encontradas un total de 13 especies agrupadas en cuatro phyla, seis clases y diez órdenes en la laguna Quilcamachay. El orden más representativo y que mostró mayor valor de riqueza en los dos puntos evaluados fue Diptera. La riqueza varió entre 10 y 12 especies en la laguna Quilcamachay, el punto LQui-01 registró el mayor valor de riqueza, mientras el punto LQui-02 registró el menor valor (Figura 6.79a).

La laguna Cuchis registró 10 especies en el punto evaluado LCuc-1. Los phyla más representativos y con mayores valores de riqueza fueron Coleoptera y Basommatophora, además los phyla Haplotaxida, Hirudinida, Sarcoptiformes, Hemíptera, Díptera, Coleoptera, Basommatophora, Neoophora también estuvieron presentes (Figura 6.79b).

Abundancia

Fueron encontrados un total de 1010 individuos en los puntos evaluados en la laguna Quilcamachay. El orden con mayor número de individuos fue Díptera en los dos puntos evaluados, (Figura 6.80a).

Asimismo, en la laguna Cuchis registraron 548 individuos en el punto evaluado LCuc-1, la mayor abundancia la registró el orden Hemíptera, seguido de Díptera (Figura 6.80b).

Diversidad alfa

Los números de Hill N1 y N2 evaluados en los puntos de agua superficial en la laguna Quilcamachay, los mayores valores se registraron en el punto LQui-01 (N1= 5,515 y N2= 4,413), mientras que los mayores valores se registraron el punto LQui-02 (N1= 4,546 y N2= 3,146) (Figura 6.81a). Por otra parte en la laguna Cuchis presento valores de N1 y N2 de 2,175 y 1,591 respectivamente (Figura 6.81b).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener, en la laguna Quilcamachay fue 1,707 en el punto LQui-01 y 1,514 en LQui-02. Respecto a la equidad de Pielou los puntos LQui-01 y LQui-02 presentaron una distribución homogénea de la abundancia de los individuos por presentar valores altos de equidad (Figura 6.82a).

Respecto al índice de Shannon-Wiener, en la laguna Cuchis fue 0,777en el punto LCuc-1. En cuanto al índice de equidad de Pielou presentó una baja equidad por presentar valor cercano a cero, lo cual indicaría que presenta una distribución heterogénea (Figura 6.82b)

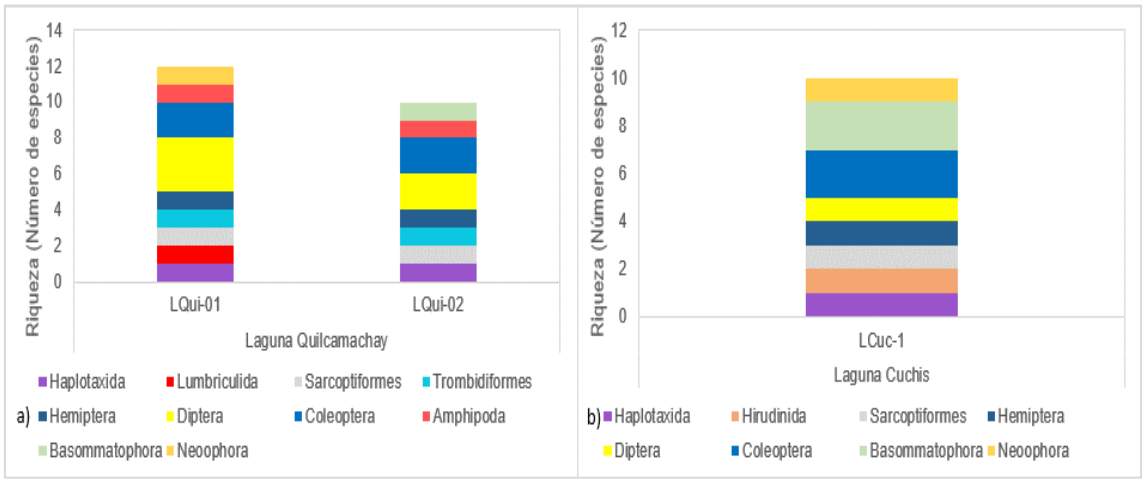


Figura 6.79. Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis

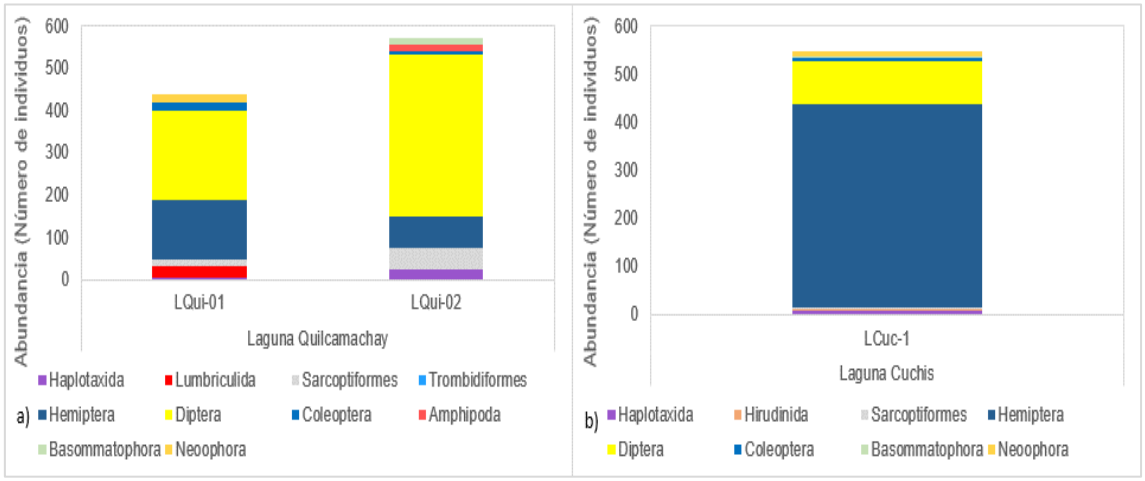


Figura 6.80. Abundancia de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020

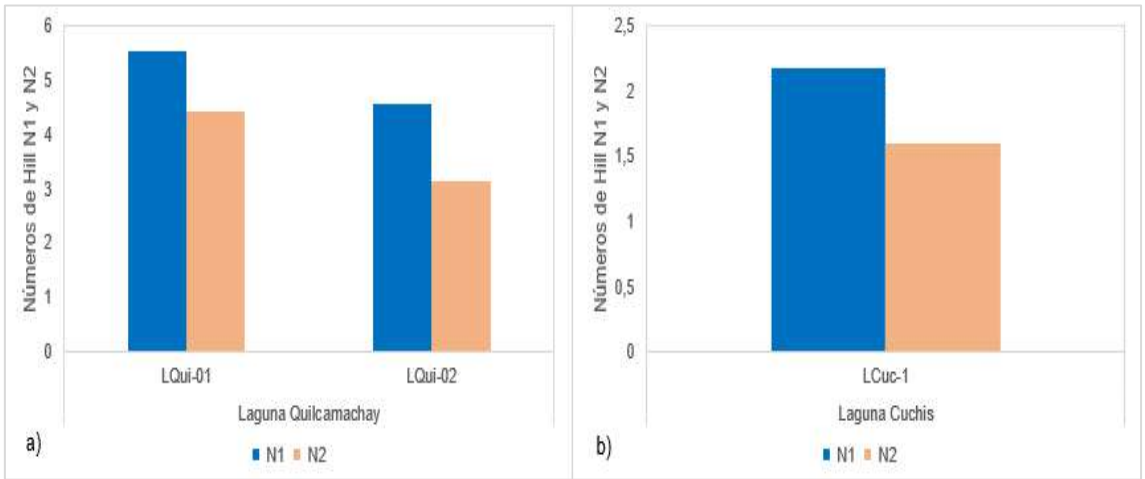


Figura 6.81. Números de Hill N1 y N2 de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020

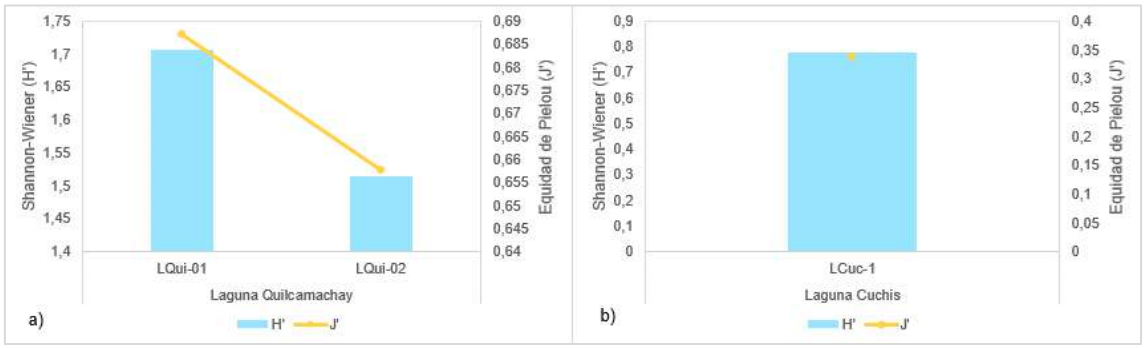


Figura 6.82. Índices de Shannon-Wiener y equidad de Pielou de macroinvertebrados bentónicos en a) laguna Quilcamachay y b) laguna Cuchis – agosto 2020

6.5. Objetivo específico 5: Establecer la influencia de los depósitos de desmonte Hanancocha, Rumiallana y Miraflores, *stock piles* y tajo Raúl sobre el suelo, aire y polvo sedimentable del distrito Simón Bolivar

6.5.1. Aire

Se realizó el monitoreo entre el 6 y 16 de agosto 2020, en la estación CA-SB-01 ubicada en el parque infantil ecológico del centro poblado Paragsha. La ubicación de la estación se muestra en la Figura 6.83, mientras que la totalidad de resultados se representan en el reporte de resultados RRE-029-2020-STEC (Anexo 5).



Figura 6.83. Ubicación de la estación de monitoreo de aire CA-SB-01 en el área de influencia de la UM Cerro Pasco

6.5.1.1. Parámetros meteorológicos

Los valores de los parámetros meteorológicos obtenidos en el monitoreo se muestran en la Tabla 6.26. La velocidad de viento, temperatura y humedad relativa entre el 6 y 16 de agosto 2020 oscilaron de 0,0 a 3,1 m/s, -5,9 a 13,4 °C y 11 a 94% en CA-SB-01.

Tabla 6.26. Parámetros meteorológicos registrados en la estación CA-SB-01 dentro del área de influencia de la UM Cerro de Pasco

Días	Fecha de monitoreo	Valor	Temperatura (°C)	Presión atmosférica (mmHg)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad relativa (%)
Día 1	06/08/2020 13:00 07/08/2020 12:00	Máximo	12,8	460,0	2,7	83,0
		Mínimo	-5,9	458,1	0,0	11,0
		Promedio	3,4	459,0	0,9	50,2
Día 2	07/08/2020 13:00 08/08/2020 12:00	Máximo	10,8	460,4	2,7	80,0
		Mínimo	-4,8	458,8	0,0	24,0
		Promedio	3,0	459,6	1,0	55,3
Día 3	08/08/2020 13:00 09/08/2020 12:00	Máximo	11,2	460,2	2,7	88,0
		Mínimo	0,4	458,9	0,0	33,0
		Promedio	5,1	459,5	1,2	69,1
Día 4	09/08/2020 15:00 10/08/2020 14:00	Máximo	10,7	459,6	2,2	94,0
		Mínimo	-3,0	458,3	0,0	44,0
		Promedio	3,7	458,9	1,0	75,4
Día 5	10/08/2020 16:00 11/08/2020 15:00	Máximo	12,5	458,8	2,2	94,0
		Mínimo	-0,7	457,1	0,0	36,0
		Promedio	4,9	457,8	1,1	72,3
Día 6	11/08/2020 16:00 12/08/2020 15:00	Máximo	12,3	458,8	3,1	88,0
		Mínimo	1,2	456,6	0,0	36,0
		Promedio	5,7	457,7	1,6	69,4
Día 7	12/08/2020 16:00 13/08/2020 15:00	Máximo	12,9	458,8	2,7	93,0
		Mínimo	-0,3	456,3	0,4	37,0
		Promedio	5,7	457,6	1,1	71,2
Día 8	13/08/2020 16:00 14/08/2020 15:00	Máximo	13,0	458,9	2,2	94,0
		Mínimo	-0,8	456,1	0,0	37,0
		Promedio	6,0	457,5	1,1	71,3
Día 9	14/08/2020 17:00 15/08/2020 16:00	Máximo	12,7	458,6	2,7	92,0
		Mínimo	0,6	456,2	0,4	43,0
		Promedio	6,3	457,5	1,2	72,4
Día 10	15/08/2020 17:00 16/08/2020 16:00	Máximo	13,2	458,9	2,7	91,0
		Mínimo	1,9	456,3	0,0	43,0
		Promedio	6,6	457,9	1,5	73,5
Máximo durante monitoreo			**13,4**	**460,4**	**3,1**	**94,0**
Mínimo durante monitoreo			**-5,9**	**456,1**	**0,0**	**11,0**
Promedio durante monitoreo			**5,1**	**458,3**	**1,2**	**67,7**

En cuanto a la dirección del viento, la representación gráfica de la rosa de vientos se realizó con el propósito de obtener información estadística relativa a la dirección y velocidad del viento, en la cual se observa que las direcciones predominantes del viento durante el monitoreo fueron de noreste (NE) y norte noreste (NNE) para el punto CA-SB-01 (Figura 6.84).

Las frecuencias[28] de las predominancias de dirección de viento fueron de 19,26 % (NE) y 24,59 % (NNE), mientras que, respecto a la velocidad del viento, el 42,2 % presentó de 0,5 a 2,10 m/s (ventolina) y un 22.5% de 2,1 a 3,6 m/s (Flojito), siendo el valor máximo de 3,1 m/s registrado en 11 de agosto 2020, a las 19:00 horas.

[28] Guía de instrumentos y métodos de observaciones meteorológicos, Organización Meterorológica Mundial, Edición de 2014, Capítulo 5: Medición del viento de superficie, Cuadro 5.1: Equivalencia de la velocidad del viento

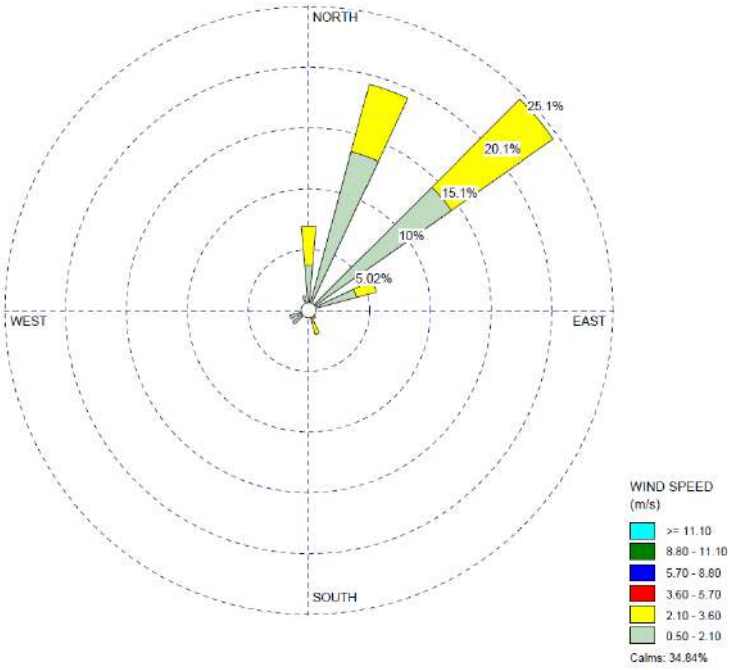


Figura 6.84. Rosa de viento de el punto de monitoreo CA-SB-01; evaluados del 06/08/2020 al 16/08/2020

6.5.1.2. Análisis de material particulado PM_{10}

Los resultados del monitoreo del parámetro material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) fueron comparados con los valores establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (en adelante, ECA para aire), aprobado mediante Decreto Supremo N.° 074-2001-PCM.

La Figura 6.85 muestra las concentraciones diarias de PM_{10} registradas en el punto de monitoreo CA-SB-01, las cuales no excedieron el valor establecido en los ECA para aire de PM_{10} igual a 150 µg/m^3, para un periodo de 24 horas. La fluctuación de concentraciones de PM_{10} fue de 11,5 a 65,4 µg/m^3.

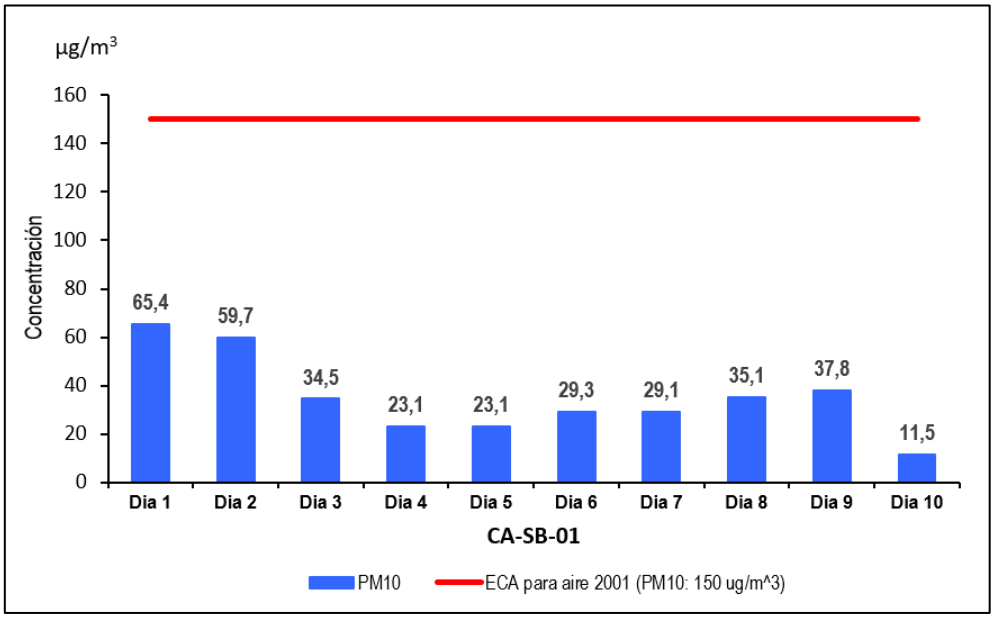


Figura 6.85. Concentración diaria de PM_{10} en el punto de monitoreo CA-SB-01 comparada con los ECA para aire 2001

6.5.1.3. Análisis de metales en PM_{10}

Los resultados registrados del monitoreo de metales en material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) en el punto de muestreo CA-SB-01, el arsénico fue comparado con los Niveles máximos permisibles de elementos y compuestos gaseosos provenientes de las unidades minero-metalúrgicas (en adelante, NMP para aire), aprobado mediante Resolución Ministerial N.° 315-96-EM/VMM; mientras que, el plomo fue comparado con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado mediante Decreto Supremo N.° 074-2001-PCM.

Las concentraciones de arsénico (As) determinados en PM_{10}, no excedieron el valor establecido en los NMP para aire de As igual a 6 µg/m^3, para un periodo de 24 horas, siendo el valor más alto registrado de 0,0107 µg/m^3. Las concentraciones de plomo (Pb), no excedieron los ECA para aire de 1,5 µg/m^3, para un periodo mensual.

Adicionalmente, las concentraciones de metales en PM_{10} en el punto de monitoreo CA-SB-01, fueron comparadas referencialmente con los valores de los criterios de calidad ambiental del aire (en adelante, AAQC). La Figura 6.86 muestra las concentraciones de metales manganeso, plomo, zinc y cadmio en PM_{10}, representados por diagrama de cajas[29]; donde se observó la excedencia referencial para el manganeso, para un periodo de 24 horas, según la norma canadiense.

[29] Conocido como Box Plot o diagrama de cajas y bigotes.

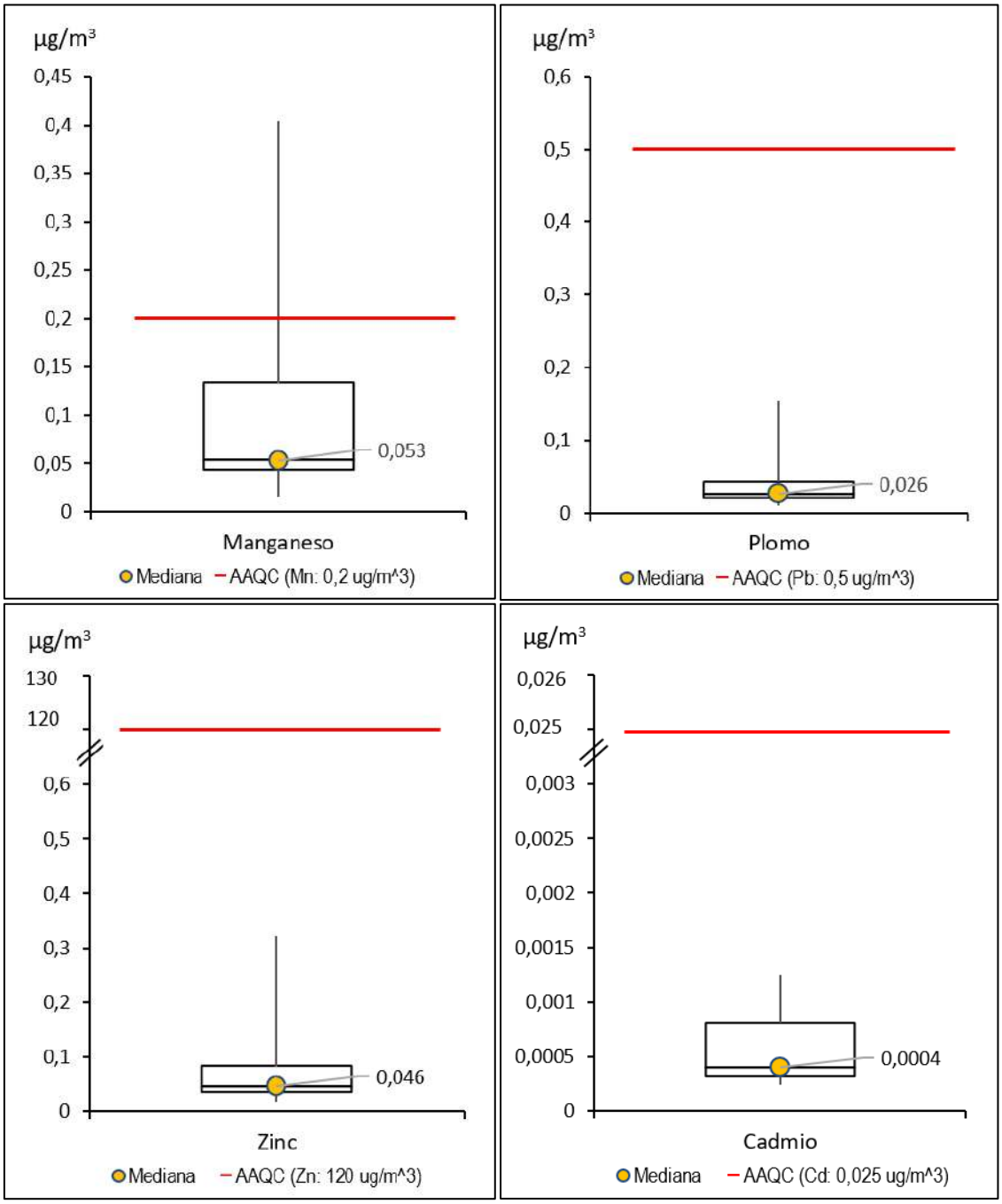


Figura 6.86. Concentración de metales en PM_{10} en el punto de monitoreo CA-SB-01, comparada referencialmente con la norma AAQC; evaluados del 06/08/2020 al 16/08/2020

6.5.1.4. Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido (MEB) en PM_{10}

El análisis mineralógico realizado en la muestra de PM_{10} del punto de monitoreo CA-SB-01, ubicada en el parque infantil ecológico del centro poblado Paragsha, determinó la composición cualitativa de minerales presentes, según se muestra en la Tabla 6.27.

Tabla 6.27. Resultados del análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido en filtros de aire PM_{10}

Código de estación de monitoreo			CA-SB-01
Fecha y hora de inicio de muestreo			06/08/2020 12:40:00
Fecha y hora de fin de muestreo			07/08/2020 12:40:00
Parámetro	Unidad	Fórmula general	
Galena	Observaciones	PbS	8
Esfalerita	Observaciones	ZnS	14
Barita	Observaciones	BaSO4	1
Goethita	Observaciones	FeO.OH.	3
Pirita	Observaciones	FeS2	1
Cerusita	Observaciones	PbCO3	2
Silicato con contenido de hierro	Observaciones	---	2
Fosfatos con contenidos de plomo	Observaciones	---	1
Mezcla de sulfuros o sulfosales con contenido de zinc, hierro, arsénico y cobre	Observaciones	---	1

* Las observaciones de la cantidad de elementos minerales corresponden a las regiones descritas en las figuras del informe de ensayo PTE-001MI-085 - Lote 8, anexado en el Reporte de resultado RRE-029-2020-STEC (Anexo 5).

La composición de los minerales identificados por MEB, muestra un mayor porcentaje de plomo en la galena, cerusita y fosfatos con plomo, así como, mayor contenido de bario en barita, zinc en esfalerita y sulfosales, hierro en goethita, pirita y silicatos (Figura 6.87).

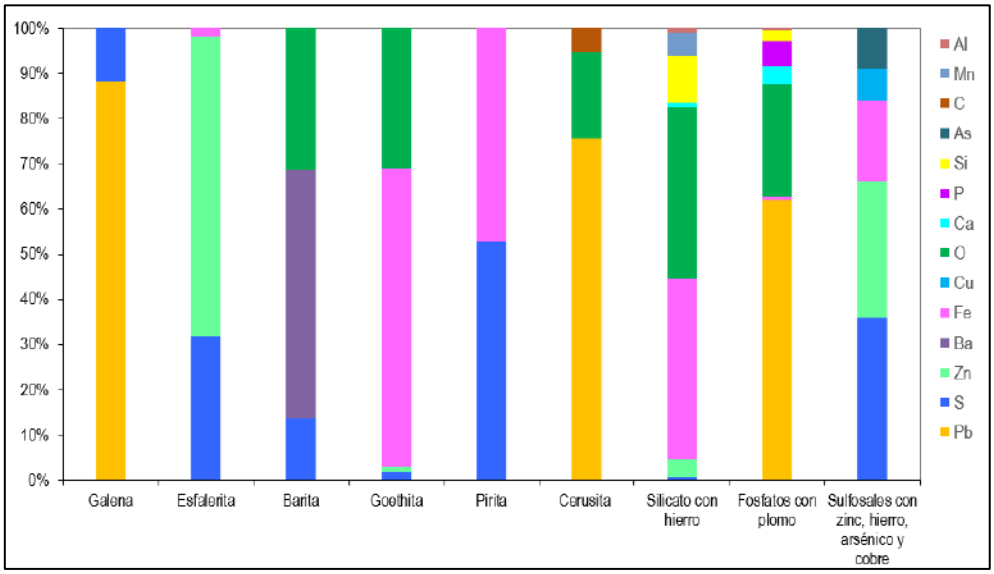


Figura 6.87. Microscopia electrónica de barrido en filtro de aire PM_{10}

6.5.2. Polvo sedimentable

Los resultados obtenidos de polvo sedimentable, muestreados en 20 colectores de PVC, entre el 14 de agosto y 17 de setiembre 2020, en puntos ubicados frente a los botaderos Hanancocha y Rumiallana, Planta Paragsha, parque infantil ecológico y estadio del centro poblado Paragsha, así como en el asentamiento humano José Carlos Mariátegui, se presentan a continuación. Cabe aclarar que la totalidad de resultados se representan en el reporte de resultados RRE-029-2020-STEC (Anexo 5).

6.5.2.1. Estimación del polvo sedimentable

Los resultados de la concentración de polvo sedimentable se presentan en la Tabla 6.28, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentaron a los 20 y 60 m de un componente.

Tabla 6.28. Concentración de polvo sedimentable (g/m^2/mes) colectados entre agosto y setiembre 2020 a distancias de 5, 20 y 60 m

Distancias	PS (5m)	PS (20 m)	PS (60 m)
Media	6,461	5,840	7,417
Mediana	5,14	5,16	5,045
Desviación estándar	2,858	3,278	6,538
Varianza de la muestra	8,166	10,745	42,742
Curtosis	-0,742	5,845	5,778
Coeficiente de asimetría	1,122	2,346	2,390
Mínimo	4,08	3,6	3,72
Máximo	10,99	13,07	20,69
Suma	45,23	40,88	44,5
Cuenta	7	7	6

El análisis de varianza de un factor muestra que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de polvo sedimentable al 5%, a los 5, 20 y 60 metros de distancia de los componentes evaluados.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN

Grupos	*Cuenta*	*Suma*	*Promedio*	*Varianza*
PS (5m)	7	45,23	6,461428571	8,16591429
PS (20 m)	7	40,88	5,84	10,7447333
PS (60 m)	6	44,5	7,416666667	42,7418667

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	*Suma de cuadrados*	*Grados de libertad*	*Promedio de los cuadrados*	*F*	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
Entre grupos	8,082675952	2	4,041337976	0,2099889	0,812664435	3,591530568
Dentro de los grupos	327,173219	17	19,24548347			
Total	335,255895	19				

Los resultados de polvo sedimentable fueron comparados con los valores referenciales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (SENAMHI, 2008, 2013) y NSW EPA Australia (2016).

La Figura 6.88 muestra las concentraciones de polvo sedimentable a distancias de 5, 20 y 60 m, las cuales presentan excedencias al valor establecido de la OMS (5 g/m^2/mes) y NSW EPA Australia (4 g/m^2/mes). Las mayores concentraciones de polvo sedimentable a 5, 20 y 60 m de distancia se presentaron en los puntos PS-02-4, PS-02-2 (ubicados cerca al botadero Rumiallana) y PS-01-3 (Frente a la chancha de minerales planta Paragsha)

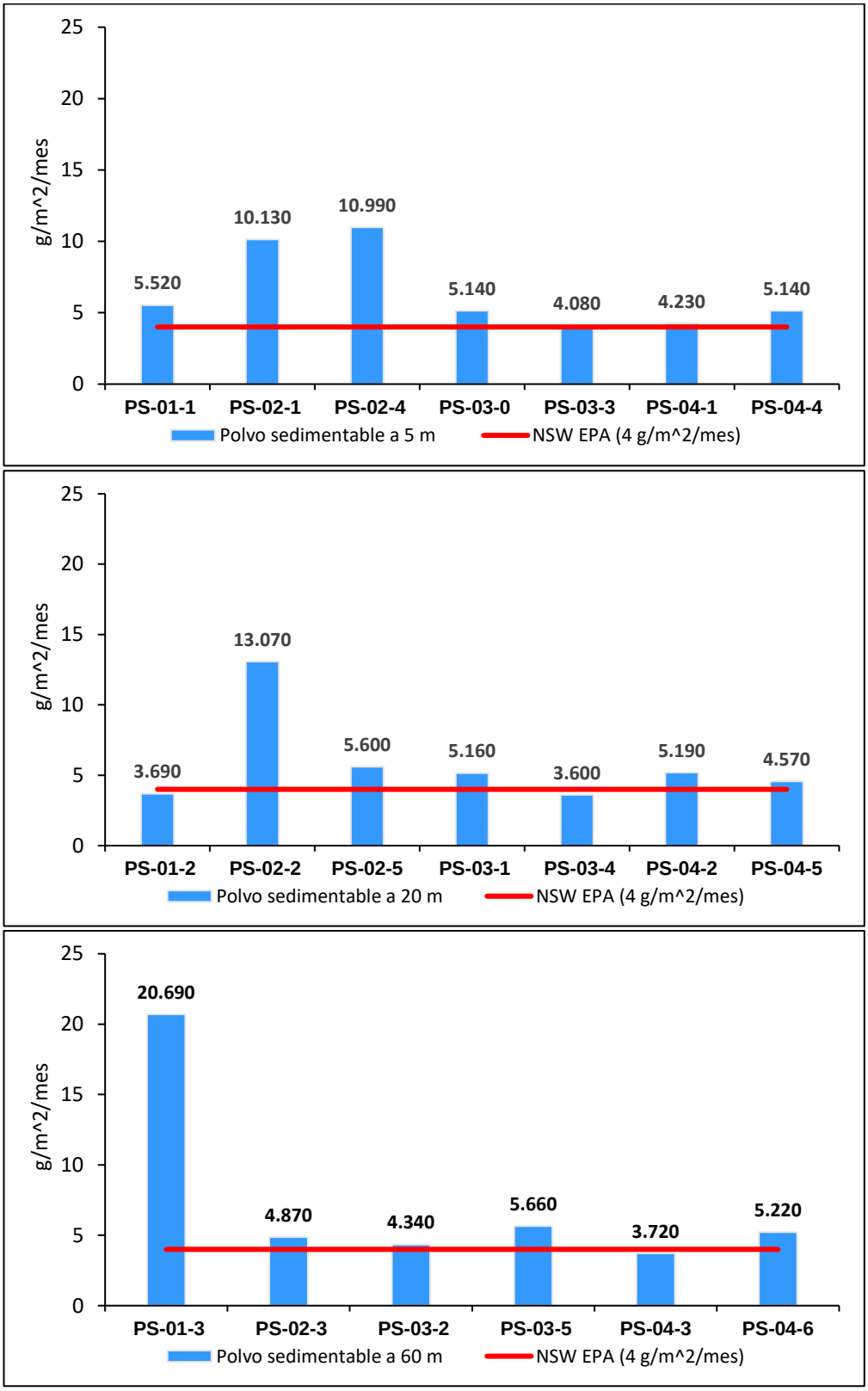


Figura 6.88. Concentración de polvo sedimentable g/m^2/mes a) 5 m, b) 20 m y 60 m) de distancia componentes evaluados

6.5.2.2. Análisis de metales en polvo sedimentable

Los resultados del análisis del contenido de metales en las 20 muestras de polvo sedimentable colectadas entre el 14 de agosto y 17 de setiembre 2020, se presentan en la Tabla 6.29, en la que se observa que las mayores concentraciones se presentan en Fe, con valores de 39229 a 93629 mg/kg. Los elementos Al, Ba, B, Ca, Mg, Mn, Pb, K, Na y Zn presentaron concentraciones superiores a 1000 mg/kg; cabe aclarar que el mayor número de resultados menores al límite de cuantificación (L.C.) se presentó en el punto PS-03-5.

Tabla 6.29. Concentración de metales en polvo sedimentable (mg/kg) muestreados entre agosto y setiembre 2020

Estadísticos descriptivos					
Metales	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Aluminio	20	4773,0	27075,0	15991,950	6752,1833
Antimonio	20	7,9	98,8	48,340	26,3194
Arsénico	20	121,2	624,9	211,365	113,4697
Bario	19	4478	53513	27517,47	14781,290
Berilio	20	,5000	1,3000	,810000	,2198085
Boro	19	3927	40412	22116,32	10895,565
Cadmio	20	4,300	32,400	15,23500	8,932571
Calcio	20	10672,0	56678,0	38734,500	13745,2619
Cobalto	20	3,7	15,8	8,690	2,5929
Cobre	20	149,1	871,6	307,145	153,6821
Cromo	20	13,3	54,8	33,900	11,3225
Estaño	20	2,700	10,100	6,39000	2,190145
Estroncio	15	11	331	129,96	91,061
Hierro	20	39229,0	93629,0	58945,050	17489,4386
Litio	20	3,2	24,5	12,455	6,0093
Magnesio	20	3907,0	18072,0	10402,600	4293,4954
Manganeso	20	1862,0	13070,0	6143,050	3434,1056
Mercurio	20	,6	7,9	2,125	1,9894
Molibdeno	20	1,9	14,9	3,870	2,7808
Níquel	20	9,0	24,4	16,480	4,2625
Plata	20	4,4	38,2	20,195	9,4785
Plomo	20	1382,0	7183,0	3532,950	1386,4211
Potasio	20	1	37079	19513,05	9687,781
Selenio	20	1,5	2,7	2,035	,3422
Sodio	19	9352	88087	48833,89	23391,992
Talio	20	1,3	5,1	2,735	1,0624
Titanio	18	17	981	299,85	275,358
Vanadio	20	22,3	84,0	41,115	16,8432
Zinc	19	5308	40804	23900,95	10750,485
Silicio	20	112,4	2464,0	1251,305	697,2976

N válido (por lista), N<20: presenta valores menores al límite de cuantificación (L.C.)

Las concentraciones de metales en polvo sedimentable de las muestras PS-01-1, PS-01-2, PS-01-3, PS-02-1, PS-02-2, PS-02-3, PS-02-4, PS-02-5, PS-03-0, PS-03-1, PS-03-2, PS-03-3, PS-03-4, PS-03-5, PS-04-1, PS-04-2, PS-04-3, PS-04-4, PS-04-5 y PS-04-6, comparadas con las concentraciones de metales de la corteza terrestre (Wedepohl, 1994 y 1995), presentaron al Sb, As, Ba, B, Cd, Ca, Cu, Sn, Fe, Mn, Hg, Mo, Pb, k, Se, Na y Zn que sobrepasan estos valores (Figura 6.89).

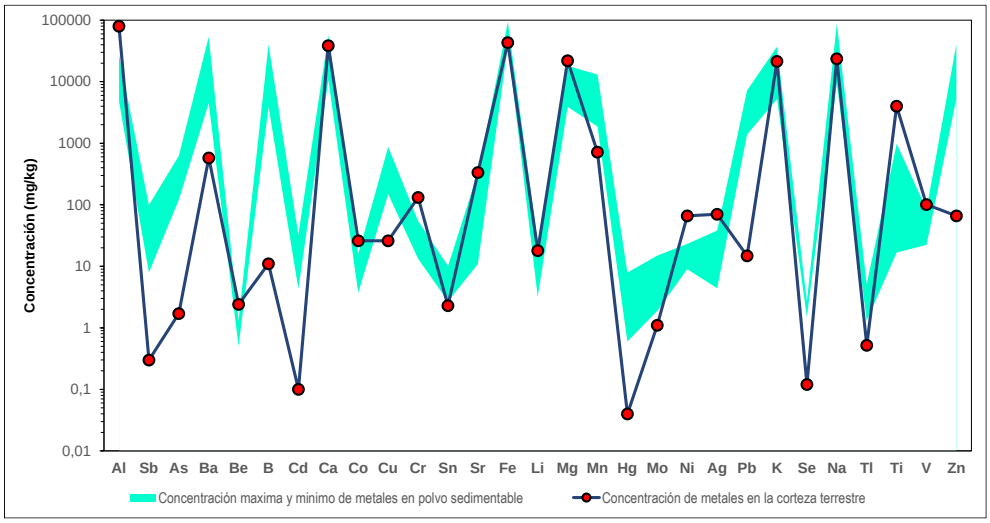


Figura 6.89. Concentración máxima y mínima de metales en polvo sedimentable comparados con la concentración promedio de metales en la corteza terrestre

6.5.3. Calidad ambiental del suelo en los sectores Paragsha y José Carlos Mariátegui

6.5.3.1. Levantamiento de campo

La evaluación de campo se realizó siguiendo las recomendaciones de los «Documentos técnicos usados durante el estudio de suelos», pero principalmente se siguieron los lineamientos descritos en la cuarta edición del Manual de estudios de suelos (*Soil Survey Manual*), publicado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en 2017, en la guía para el muestreo de suelos del MINAM, y en los anexos del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de uso Mayor (Decreto Supremo N.° 017-2009-AG). Esto ayudó para poder describir el paisaje, la litología, el material parental, la secuencia de horizontes y capas identificables dentro del perfil de los cuerpos del suelo ubicados dentro del ANF-CS-CP y API-CS-CP, entre otras características internas y externas de los suelos evaluados.

El área de potencial interés API-CS-CP y el área de nivel de fondo ANF-CS-CP, geológicamente se emplazan en su mayor parte sobre el Complejo Volcánico Cerro de Pasco (formación Rumillana) el cual se trata de diatremas asociadas a domos subvolcanicos distintos; litológicamente el área de estudio está dominada por cuarzo latitas (Nm-cl) y piroclastos (Nm-p) de la diatrema Rumillana, con depósitos aluviales (Q-al) al este y oeste formados por clastos subredondeados de diferente composición y matriz areno limosa.

Sobre esta base geológica, la fisiografía está conformada por colinas de roca intrusiva (RC-ri), colinas en roca metamórfica (RC-rm), lomadas, superficies hidromórficas y unidades antropogénicas como las llanuras antrópicas y asentamientos humanos en ladera de colina.

El material parental de los suelos desarrollados sobre el área evaluada es de dos tipos, residual y transportado; entre los residuales están los suelos formados por la meteorización de rocas volcánicas y sedimentarias y los suelos orgánicos (bofedales), y entre los transportados destacan los subtipos coluvial, coluvio-aluvial. Es importante precisar que dentro del API-CS-CP se encontró material antrópico de carácter mineral y en otros casos material de préstamo sobre residuos mineros de carácter mineral.

La profundidad efectiva de estos suelos varía desde muy superficiales hasta moderadamente profundos, los muy superficiales presentan limitaciones por la presencia de contactos líticos o paralíticos. en algunos los suelos dentro del API-CS-CP la profundidad efectiva se vio interrumpida por una capa de material antrópico.

La vegetación está compuesta por pastos naturales, predominando el ichu, la superficie hidromórfica está compuesta por pastos naturales de bofedal; los pastos son utilizados para el pastoreo de ganado vacuno, ovino y camélidos. El API-CS_CP presenta generalmente tejido urbano, suelo disturbado, pastos cultivados y naturales en parques y estadio. La pendiente va de < 2 % en zonas de llanuras antrópicas y parques, hasta 75 % en ladera y cima de colina. La erosión se presentó modera dentro del ANF-CS-CP y de moderada a severa dentro del API-CS-CP.

El drenaje que presentan estos suelos es prioritariamente bueno, a excepción de las superficies hidromórficas donde el drenaje es imperfecto, la napa freática se presentó a partir de 1,10 m en la calicata CS-CP11-CAL, a 1,20 m en la calicata CS-CP24-CAL (ambias sobre superficie hidromórfica) y a 1,44 m en la calicata CS-CP57-CAL que consta de horizontes antrópicos; en las demás calicatas no se registró napa freática. Las características generales del suelo en las calicatas evaluadas se indican en la Tabla 6.30. El desarrollo y secuencia de horizontes se explica de manera puntual en los apartados correspondientes al ANF-CS-CP y API-CS-CP.

Tabla 6.30. Características generales de los suelos evaluados en ANF-CS-CP y API-CS-CP

Calicata	Litología	Material parental	Paisaje	Pendiente (%)	Pedregosidad superficial (%)	Profundidad efectiva (m)	Drenaje	Erosión	Vegetación	Uso actual	Napa freática (m)
Área de nivel de fondo ANF-CS-CP											
CS-CP4-CAL	Rocas ígneas	Coluvial sobre residual	Ladera de colina	25 - 50	Ninguna	0,55	Imperfecto	Moderada	Pastos naturales	Pastoreo	---
CS-CP9-CAL	Conglomerado Shuco	Residual mineral	Lomada	15 - 25	5	0,26	Bueno	Moderada	Pastos naturales	Pastoreo	---
CS-CP11-CAL	Material orgánico	Residual orgánico	Superficie hidromórfica	2 - 8	10	0,90	Imperfecto	Moderada	Pastos naturales	Pastoreo	1,10
CS-CP17-CAL	Rocas ígneas	Coluvial	Ladera de lomada	15 - 25	Libre	0,40	Bueno	Moderada	Pastos naturales	Pastoreo	---
CS-CP24-CAL	Orgánico / rocas ígneas	Orgánico sobre Coluvial	Superficie hidromórfica	2 - 15	Libre	0,34	Imperfecto	Moderada	Pastos naturales	Pastoreo	1,20
CS-CP31-CAL	Conglomerad	Coluvial sobre residual	Ladera de colina	25 - 50	Libre	0,13	Bueno	Modera	Pastos naturales	Pastoreo	---
CS-CP33-CAL	Rocas ígneas	Coluvial sobre residual	Ladera de lomada	25 - 50	Libre	0,22	Bueno	Moderada	Pastos Naturales	Pastoreo	---
CS-CP45-CAL	Rocas ígneas	Coluvial	Ladera de colina	50 - 75	Libre	0,20	Bueno	Moderada	Pastos Naturales	Pastoreo	---
CS-CP46-CAL	Rocas ígneas	Residual	Cima de colina	50 - 75	Libre	0,20	Bueno	Moderada	Pastos Naturales	Pastoreo	---
CS-CP48-CAL	Rocas ígneas	Coluvial sobre residual	Ladera de colina	50 – 70	Libre	0,38	Bueno	Moderada	Pastos Naturales	Pastoreo	---
CS-CP53-CAL	Rocas ígneas	Residual mineral	Ladera de colina	50 - 75	70	0,10	Bueno	Moderada	Pastos Naturales	Pastoreo	---
CS-CP55-CAL	Rocas ígneas	Coluvial	AA. HH. en colina	25 - 50	Libre	0,40	Bueno	Moderada	Pastos Naturales	Pastoreo / residencial	---
CS-CP70-CAL	Rocas ígneas	Coluvial sobre residual	Ladera de colina	50 - 70	2	0,29	Bueno	Moderada a severa	Pastos Naturales	Pastoreo	---
Área de potencial interés NPI-CS-CP											
CS-CP20-CAL	Orgánico sobre rocas volcánicas (dacitas)	Orgánico sobre mineral	Superficie hidromórfica	< 5	Libre	0,24	Imperfecto	Sin evidencia	Pastos naturales	Pastoreo	---
CS-CP8-CAL	Material antrópico mineral	Antrópico mineral	Ladera de colina	15 - 25	30	0,10	Bueno	Moderada a severa	Escasos pastos naturales	Suelo disturbado	---
CS-CP28-CAL	Rocas intrusivas	Residual mineral	AA. HH. en colina	15 - 25	2	0,20	Bueno	Moderada a severa	Pastos naturales / sin cobertura	Parques	---

Calicata	Litología	Material parental	Paisaje	Pendiente (%)	Pedregosidad superficial (%)	Profundidad efectiva (m)	Drenaje	Erosión	Vegetación	Uso actual	Napa freática (m)
CS-CP35-CAL	Material antrópico sobre suelo natural.	Antrópico sobre coluvial	AA. HH. en colina	25 - 50	---	---	Bueno	Moderada a severa	---	Residencial	---
CS-CP49-CAL	Material de préstamo sobre residuos mineros de carácter mineral.	Mineral antrópico	Parque infantil	< 2	Libre	0,40	Bueno	Sin evidencia	Pastos cultivados	Parques	---
CS-CP57-CAL	Material de préstamo sobre residuos mineros de carácter mineral.	Mineral antrópico	Llanura antrópica	< 2	Libre	0,08	Bueno	Moderada	Pastos naturales	Recreación (estadio)	1,44
CS-CP59-CAL	Material de préstamo sobre residuos mineros de carácter mineral.	Mineral antrópico	Parque infantil	< 2	Libre	0,19	Bueno	Sin evidencia	Pastos naturales	Residencial	---
CS-CP60-CAL	Material de préstamo sobre residuos mineros de carácter mineral.	Mineral antrópico	Llanura antrópica	< 2	Libre	0,30	Bueno	Moderada	Pastos naturales	Parques	---
CS-CP66-CAL	Rocas intrusivas	Residual mineral	AA. HH. en ladera de colina	< 2	Libre	0,16	Bueno	Moderada	Pastos naturales	Parques	---
CS-CP69-CAL	Rocas intrusivas	Coluvial sobre residual mineral	AA. HH. en ladera de colina	25 - 50	20	0,30	Bueno	Moderada	Pastos naturales	Residencial	---

Fuente: Fichas de campo – suelo, Anexo 2

6.5.3.2. Área de nivel de fondo ANF-CS-CP

Esta área se ubica en el distrito de Simón Bolívar, aledaña al área de potencial interés API-CS-CP, dentro de ella se llevó a cabo el muestreo de nivel de fondo de acuerdo con lo explicado en la metodología del componente suelo del presente informe. Los valores de nivel de fondo obtenidos proporcionan información acerca de las concentraciones de origen natural de los metales presentes en el suelo, que pueden incluir el aporte de fuentes antrópicas no relacionadas al sitio de evaluación (D.S. N.° 011-2017-MINAM).

Clasificación de parámetros edáficos

La clasificación de parámetros edáficos para suelos dentro del área de nivel de fondo se presenta en la Tabla 7-xx, y se realizó tomando en cuenta el Anexo N.° IV «Guía para la clasificación de los parámetros edáficos» del Decreto Supremo N.° 017-2009-AG (para los parámetros pH y materia orgánica) y la propuesta del laboratorio análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF- UNALM) para la conductividad eléctrica y el nivel de carbonato de calcio.

Dentro del área de nivel de fondo se encontraron suelos con poco desarrollo (ausencia del horizonte B), ubicados generalmente en las cimas o laderas de colina y en suelos hidromórficos con una secuencia de horizontes A – C – R, A – AC – R, Oe – Oi1 – Oi2 – Oa1 – Oa2 – Cg - W y otros presentan mayor desarrollo con una secuencia de horizontes Oi – OA – A – Bw – Cg – R, A1 – A2 – Bh – C, estos están ubicados en las partes bajas de las colinas y pequeñas llanuras.

El pH de estos suelos está dentro del rango de la acidez (de extremadamente acido a ligeramente acido), la conductividad eléctrica es baja, por lo que naturalmente son suelos no salinos; no presentan $CaCO_3$ (<0,03), la materia orgánica presentó niveles variables (altos, bajos y medios) dentro de los perfiles naturales evaluados, los mayores contenidos de materia orgánica se registraron en suelos de bofedal o superficies hidromórficas desarrollados a partir de materiales orgánicos. La textura predominante en los suelos minerales fue la franco arenosa.

En la Tabla 6.31, solamente se presentan resultados obtenidos de las muestras tomadas dentro del perfil de las calicatas evaluadas en el área de nivel de fondo ANF-CS-CP; los resultados completos, incluyendo muestras superficiales se presentan en el Anexo 7.

Tabla 6.31. Clasificación de parámetros edáficos en calicatas dentro del ANF-CS-CP

Código de calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Hz.	pH		C.E. (dS/m)		$CaCO_3$ (%)		M.O (%)		Análisis mecánico %			Clase textual
				Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	A	L	Ar	
CS-CP4-CAL	CP4-OA	0,05 - 0,10	OA	4,25	Extremadamente ácida	0,328	No salino	<0,03	Bajo	4,59	Alto	77	15	8	Franco arenosa
	CP4-A	0,10 - 0,30	A	5,12	Fuertemente ácida	0,0447	No salino	<0,03	Bajo	1,98	Bajo	82	15	3	Arena francosa
	CP4-Bw	0,30 - 0,45	Bw	4,93	Muy fuertemente ácida	0,045	No salino	<0,03	Bajo	1,45	Bajo	77	15	8	Franco arenosa
	CP4-Cg	0,45 - 0,83	Cg	5,42	Fuertemente ácida	0,032	No salino	<0,03	Bajo	0,29	Bajo	72	18	10	Franco arenosa
CS-CP9-CAL	CP9-A	0 - 0,17	A	4,94	Muy fuertemente ácida	0,0409	No salino	<0,03	Bajo	2,06	Medio	77	20	3	Arena francosa
	CP9-AC	0,17 - 0,28	AC	4,85	Muy fuertemente ácida	0,0258	No salino	<0,03	Bajo	1,43	Bajo	77	18	5	Arena francosa
CS-CP11-CAL	CP11-Oe	0 - 0,23	Oe	5,63	Moderadamente ácida	0,282	No salino	<0,03	Bajo	70,79	Alto	Suelo orgánico			
	CP11-Oi1	0,23 - 0,36	Oi1	4,89	Muy fuertemente ácida	0,204	No salino	<0,03	Bajo	76,46	Alto	Suelo orgánico			
	CP11-Oi2	0,36 - 0,50	Oi2	4,03	Extremadamente ácida	0,447	No salino	<0,03	Bajo	80,71	Alto	Suelo orgánico			
	CP11-Oa1	0,50 - 0,66	Oa1	5,18	Fuertemente ácida	0,109	No salino	<0,03	Bajo	52,84	Alto	Suelo orgánico			
	CP11-Oa2	0,66 - 0,90	Oa2	5,24	Fuertemente ácida	0,0819	No salino	<0,03	Bajo	42,51	Alto	Suelo orgánico			
	CP11-Cg	0,90 - 1,10	Cg	4,59	Extremadamente ácida	0,154	No salino	<0,03	Bajo	2,06	Medio	57	18	25	Franco arcillosa arenosa
CS-CP17-CAL	CP17-A1	0 - 0,10	A1	6,20	Ligeramente ácida	0,196	No salino	<0,03	Bajo	4,30	Alto	72	18	10	Franco arenosa
	CP17-A2	0,10 - 0,22	A2	5,75	Moderadamente ácida	0,1284	No salino	<0,03	Bajo	1,58	Bajo	72	20	8	Franco arenosa
	CP17-Bw	0,22 - 0,40	Bh	5,24	Fuertemente ácida	0,0719	No salino	<0,03	Bajo	2,35	Medio	67	20	13	Franco arenosa
	CP17-C	0,40 - 0,58	C	5,41	Fuertemente ácida	0,0645	No salino	<0,03	Bajo	1,23	Bajo	82	15	3	Arena francosa
CS-CP24-CAL	CP24-OA	0 - 0,34	OA/C	4,01	Extremadamente ácida	0,1826	No salino	<0,03	Bajo	5,13	Alto	77	13	10	Franco arenosa
	CP24-OA/C-OA			4,06	Extremadamente ácida	0,529	No salino	<0,03	Bajo	4,65	Alto	92	8	0	Arenosa
	CP24-OA/C-C			4,03	Extremadamente ácida	1,185	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	1,38	Bajo	77	15	8	Franco arenosa
	CP24-C1	0,34 - 0,50	C1	4,42	Extremadamente ácida	0,1059	No salino	<0,03	Bajo	1,45	Bajo	45	25	30	Franco arcillosa arenosa
	CP24-C2	0,50 - 0,94	C2	4,63	Muy fuertemente ácida	0,0754	No salino	<0,03	Bajo	0,42	Bajo	75	15	10	Franco arenosa
	CP24-Cg3	0,94 - 1,10	Cg1	4,64	Muy fuertemente ácida	0,072	No salino	<0,03	Bajo	0,55	Bajo	65	25	10	Franco arenosa
CS-CP31-CAL	CP31-A	0 - 0,13	A	4,46	Extremadamente ácida	0,0378	No salino	<0,03	Bajo	1,56	Bajo	74	15	11	Franco arenosa
CS-CP33-CAL	CP33-A	0 - 0,22	A	6,40	Ligeramente ácida	0,203	No salino	<0,03	Bajo	2,97	Medio	70	18	12	Franco arenosa
	CP33-C1	0,22 - 0,54	C1	6,12	Ligeramente ácida	0,106	No salino	<0,03	Bajo	0,39	Bajo	82	13	5	Arena francosa
	CP33-C2	0,54 - 0,80	C2	5,77	Moderadamente ácida	0,1509	No salino	<0,03	Bajo	0,52	Bajo	82	10	8	Arena francosa
CS-CP45-CAL	CP45-OA	0 - 0,20	OA	3,76	Extremadamente ácida	0,1281	No salino	<0,03	Bajo	4,26	Alto	70	15	15	Franco arenosa
	CP45-C1	0,20 - 0,36	C1	4,28	Extremadamente ácida	0,0408	No salino	<0,03	Bajo	0,69	Bajo	77	18	5	Arena francosa
	CP45-C2	0,36 - 1,20	C2	4,40	Extremadamente ácida	0,0470	No salino	<0,03	Bajo	0,32	Bajo	42	25	33	Franco arcillosa
CS-CP46-CAL	CP46-A	0 - 0,20	A	4,46	Extremadamente ácida	0,060	No salino	<0,03	Bajo	1,75	Bajo	72	18	10	Franco arenosa

Código de calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Hz.	pH		C.E. (dS/m)		$CaCO_3$ (%)		M.O (%)		Análisis mecánico %			Clase textual
				Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	A	L	Ar	
	CP46-C1	0,20 - 0,55	C1	4,72	Muy fuertemente ácida	0,0211	No salino	<0,03	Bajo	0,43	Bajo	47	23	30	Franco arcillo arenosa
CS-CP48-CAL	CP48-A	0 - 0,38	A	4,62	Muy fuertemente ácida	0,0455	No salino	<0,03	Bajo	2,48	Medio	62	33	5	Franco arenosa
	CP48-C	0,38 - 0,64	C	4,52	Extremadamente ácida	0,0181	No salino	<0,03	Bajo	0,74	Bajo	77	15	8	Franco arenosa
CS-CP53-CAL	CP53-AC	0 - 0,10	AC	4,49	Extremadamente ácida	0,0429	No salino	<0,03	Bajo	2,73	Medio	70	22	8	Franco arenosa
CS-CP55-CAL	CP55-A1	0 - 0,12	A1	4,84	Muy fuertemente ácida	0,0539	No salino	<0,03	Bajo	3,10	Medio	75	15	10	Franco arenosa
	CP55-A2	0,12 - 0,36	A2	4,88	Muy fuertemente ácida	0,0368	No salino	<0,03	Bajo	1,60	Bajo	74	18	5	Franco arenosa
	CP55-C1	0,36 - 0,70	C1	5,01	Muy fuertemente ácida	0,038	No salino	<0,03	Bajo	0,79	Bajo	87	10	3	Arenosa
	CP55-C2	0,70 - 0,90	C2	4,52	Extremadamente ácida	0,0361	No salino	<0,03	Bajo	0,42	Bajo	82	10	8	Arena francosa
CS-CP70-CAL	CP70-OA	0 - 0,18	OA	5,02	Muy fuertemente ácida	0,0453	No salino	<0,03	Bajo	5,00	Alto	77	13	10	Franco arenosa
	CP70-AC	0,18 - 0,29	AC	5,32	Fuertemente ácida	0,0170	No salino	<0,03	Bajo	3,45	Medio	75	16	9	Franco arenosa
	CP70-C1	0,29 - 0,50	C1	5,56	Fuertemente ácida	0,0132	No salino	<0,03	Bajo	1,42	Bajo	78	14	8	Franco arenosa
	CP70-C2	0,50 - 0,70	C2	4,81	Muy fuertemente ácida	0,0369	No salino	<0,03	Bajo	1,51	Bajo	92	8	0	Arenosa

Fuente: Informes de ensayo TYPSA. «---»: No se realizó calicata / Horizonte no definido. «C.S»: Clasificación de parámetros edáficos en el suelo. «C.E.»: Conductividad eléctrica. «M.O»: Materia orgánica. «A»: Arena. «L»: Limo. «Ar»: Arcilla. La clasificación de parámetros edáficos como el pH y la M.O se realizó tomando en cuenta el Anexo N.° IV «Guía para la clasificación de los parámetros edáficos» del Decreto Supremo N.° 017-2009-AG; mientras que, la conductividad eléctrica y el nivel de CaCO3 se clasificó referencialmente en base a la propuesta del laboratorio análisis de fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF- UNALM).

Determinación de valores de niveles de fondo y referencia

Los valores de nivel de fondo y referencia presentados en la Tabla 6.32, fueron determinados teniendo en cuenta los horizontes superficiales (calicatas y parcelas) y subsuperficiales (calicatas) evaluados dentro del área de nivel de fondo ANF-CS-CP y fueron denominados como Hz. Superficial, Hz. Subsuperficial 1, Hz. Subsuperficial 2 y Hz. Subsuperficial 3, de acuerdo con lo descrito en la metodología del presente informe. En los Anexos 8 y 9, se puede verificar las fichas estadísticas obtenidas mediante el tratamiento de los datos para cada metal; así como el Reporte Estadístico N° 018-2020 y el Reporte Estadístico N° 024-2020.

Las fichas están compuestas de un histograma, diagrama de caja, diagrama Q-Q de normalidad y un resumen de los datos estadísticos característicos de la población original como: número de datos, valor mínimo, valor máximo, media, percentil 95, varianza, desviación estándar, nivel de fondo, nivel de referencia, distribución, valores censurados y valores anómalos.

Los valores de nivel de fondo y referencia determinados para las 4 profundidades (Hz. Superficial, Hz. Subsuperficial 1, Hz. Subsuperficial 2 y Hz. Subsuperficial 3) fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo de uso agrícola y/o con las directrices canadienses (CEQG) para suelos de uso agrícola, según corresponda; a partir de ello en la Tabla 6.32 se puede observar que el ECA fue superado por los valores de nivel de fondo y referencia para arsénico y plomo en todas las profundidades, al igual que el boro superó a la CEQG.

En cuanto al cadmio, el nivel de referencia de Hz. Superficial y los niveles de fondo y referencia de Hz. Subsuperficial 3 superaron a la CEQG. Para cobre, los únicos que no superaron a la CEQG fueron los niveles de fondo de Hz. Superficial y Hz. Subsuperficial 3.

Los niveles de fondo y referencia para selenio también superaron a la CEQG, con excepción del nivel de fondo de Hz. Superficial. Finalmente, el talio solamente superó a la CEQG con los valores de nivel de referencia de Hz, superficial y Hz. Subsuperficial 1.

Tabla 6.32. Valores de nivel de fondo y referencia comparados con la normativa ambiental

Parámetro (mg/kg)	Hz. Superficial		Hz. Subsuperf. 1		Hz. Subsuperf. 2		Hz. Subsuperf. 3		ECA suelo - Uso agrícola	CEQG para suelos - Uso agrícola
	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia		
Al	17494	28015	21002	43808	20539	29848	20790	29044	---	---
As	81,41	126,5	64,99	94,12	177,4	335,2	144,3	289	50	---
B	3,337	5,608	3,197	5,317	3,838	4,902	4,268	6,269	---	2
Ba	154,3	332,8	170,3	273,9	222,6	316,7	237,3	432,3	750	---
Be	0,687	1,239	0,753	1,426	0,779	0,977	1,819	3,39	---	4
Ca	981,1	1821	772,5	1836	1088	1618	2087	4150	---	---
Cd	0,869	1,475	0,357	0,665	0,507	0,996	1,434	3,45	1,4	---
Co	2,895	6,159	3,743	5,61	3,047	4,571	5,486	10	---	40
Cr	7,163	11,38	6,315	11,3	6,738	11,09	7,095	12,4	---	64
Cu	59,58	80,48	71,88	111,5	89,56	140,1	53,03	70	---	63
Fe	23688	40475	32513	46732	36987	52651	57006	103891	---	---
K	2344	3853	2476	3294	3650	4990	3319	3534	---	---
Li	6,575	13,06	8,292	20,01	10,21	14,84	9,849	18,55	---	---

Parámetro (mg/kg)	Hz. Superficial		Hz. Subsuperf. 1		Hz. Subsuperf. 2		Hz. Subsuperf. 3		ECA suelo - Uso agrícola	CEQG para suelos - Uso agrícola
	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia	Nivel de fondo	Nivel de referencia		
Mg	1282	2393	1539	2360	1793	2684	1983	2806	---	---
Mn	257,8	544,6	338,4	618,8	152,9	217,9	352,1	694	---	---
Mo	1,533	2,842	1,906	3,713	1,844	2,549	2,1	3,322	---	5
Na	123	199,2	179,4	277,1	208,9	287,4	216	303	---	---
Ni	4,884	8,955	5,522	12,01	5,79	7,788	8,678	14,3	---	45
P	1308	1998	1126	1603	1229	1589	1139	1432	---	---
Pb	348,2	645,9	373,4	558,5	178,4	392,3	266,3	487	70	---
Sb	0,626	1,191	2,489	4,557	4,598	13,38	3,414	8,09	---	20
Se	0,96	1,55	1,496	3,112	1,515	2,036	2,094	2,948	---	1
Sr	16,57	30,06	23,69	34,45	31,68	45,14	112	245,8	---	---
Ti	20,17	36,01	602,3	3191	906,5	12554	433,3	706	---	---
Tl	0,722	1,118	0,64	1,011	0,595	0,956	0,471	0,601	---	1
V	25,34	39,45	20,22	34,71	22,62	36,85	21,54	30	---	130
Zn	138	235,8	106,7	171,1	109,3	170,6	128,4	166	---	250
Hg	0,259	0,614	0,529	1,616	0,512	1,11	0,717	1,44	6,6	---
Sn	0,308	0,84	0,822	1,316	1,352	1,984	0,928	1,61	---	5
Ag	1,984	7,913	0,822	2,52	1,672	3,556	0,705	1,254	---	20

Fuente: Reporte Estadístico N° 018-2020 y Reporte Estadístico N° 024-2020.

Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier

A continuación, se presentan los resultados para evaluar la biodiponibilidad de metales por la metodología de extracción secuencial de Tessier para las muestras colectadas en el área nivel de fondo ANF-CS-CP.

La muestra CP4-OA (Figura 6.90) registró concentraciones bajas de arsénico (0,51 mg/kg) en la extracción 3 (ligado a carbonatos); mientras que cadmio (0,356 mg/kg) y cobre (0,48 mg/kg) en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además plomo presentó concentraciones similares de 34,72 mg/kg y 38,01 mg/kg en la extracción 2 y extracción 6 respectivamente; mientras que zinc presentó su mayor concentración en la extracción 2; por su parte mercurio presentó concentraciones que estuvieron por debajo del límite de detección en las 3 primeras extracciones.

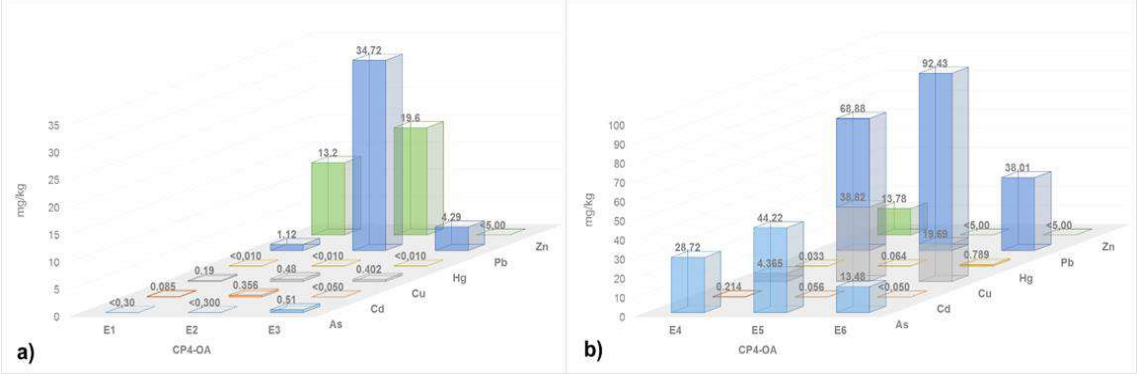


Figura 6.90. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP4-OA

La Figura 6.91 correspondiente a la muestra CP17-A1, donde se registró concentraciones bajas de arsénico y cobre de 0,41 mg/kg y 0,329 mg/kg en la extracción 3 (ligado en carbonatos); mientras que cadmio, plomo y zinc presentaron valores de 0,895 mg/kg, 5,12 mg/kg y 64,4 mg/kg respectivamente disponibles en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además mercurio presentó concentraciones que estuvieron por debajo del límite de detección en las 3 primeras extracciones.

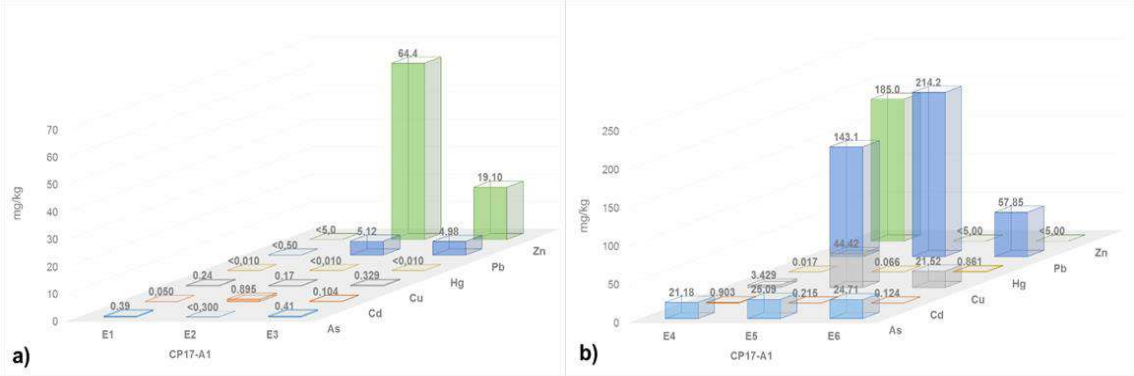


Figura 6.91. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP17-A1

La Figura 6.92 correspondiente a la muestra CP24-OA, donde se registró concentraciones bajas de arsénico (0,37 mg/kg) en la extracción 3 (ligado a carbonatos), cadmio (0,229 mg/kg) en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas) y cobre (1,43 mg/kg) en la extracción 1 (extraíbles); mientras que las concentraciones de mercurio están por debajo del límite de detección en las primeras 5 extracciones; por su parte plomo presentó concentraciones de 45,06 mg/kg en la extracción 2, así mismo zinc presentó su mayor concentración en la extracción 1.

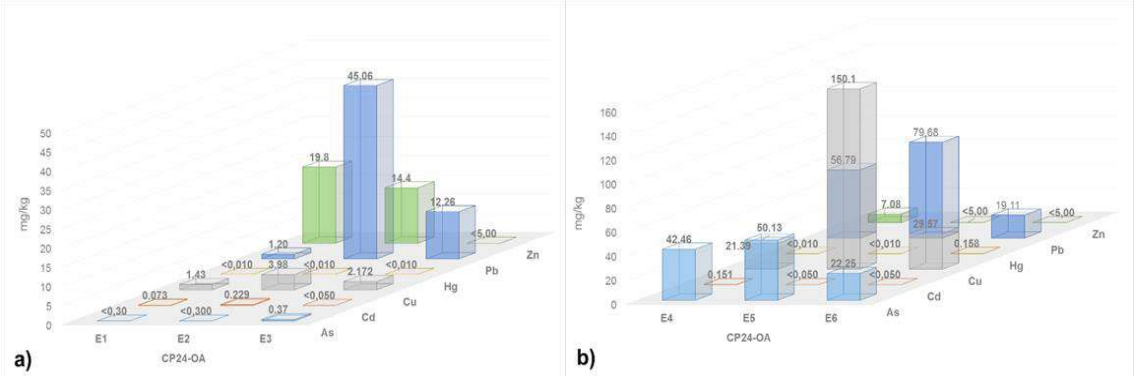


Figura 6.92. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP24-OA

La Figura 6.93 corresponde a la muestra CS-CP32, donde se registraron concentraciones bajas de arsénico (0,43 mg/kg) en la extracción 3 (ligado a carbonatos), cadmio (0,356 mg/kg) en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas) y cobre (0,05 mg/kg) en la extracción 1 (extraíbles); mientras que las concentraciones de mercurio están por debajo del límite de detección en las primeras 3 extracciones; además plomo presentó concentración de 9,14 mg/kg en la extracción 2; por otro lado zinc presentó concentraciones sólo en las extracciones 2 y 4.

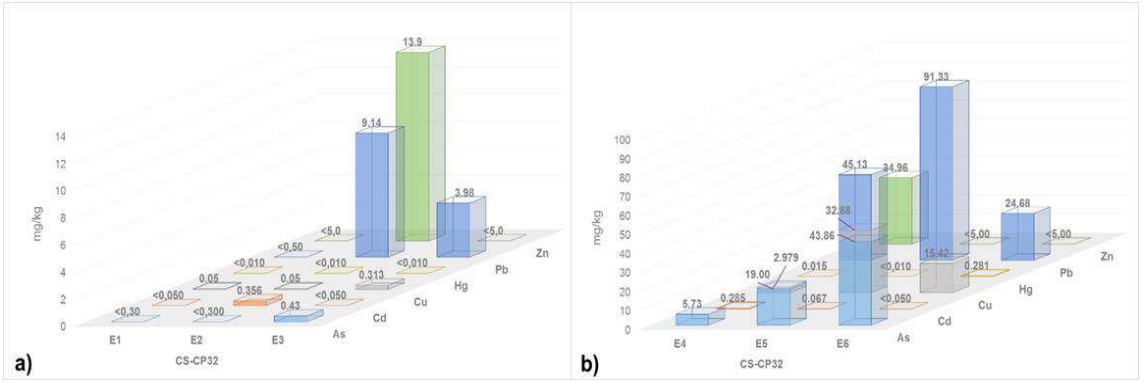


Figura 6.93. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP32

La Figura 6.94 correspondiente a la muestra CP33-A, donde se registró concentraciones de arsénico y mercurio por debajo del límite de detección en las 3 primeras extracciones; mientras que cadmio presentó su mayor concentración de 0,368 mg/kg en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además presentó valores de 8,74 mg/kg y 4,40 mg/kg en las extracciones 2 y 3 respectivamente; por su parte zinc presentó concentraciones de 17,7 mg/kg en la extracción 2 y concentraciones por debajo del límite de detección en las extracciones 1, 3, 5 y 6.

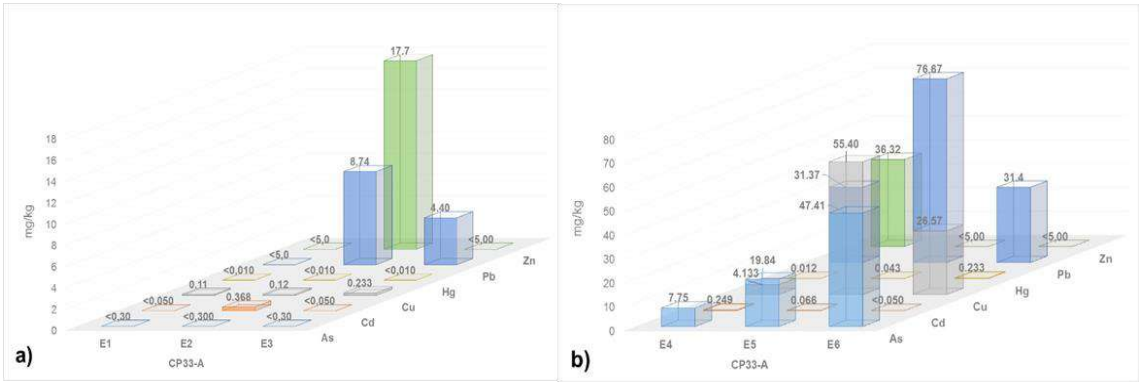


Figura 6.94. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP33-A

La Figura 6.95 correspondiente a la muestra CP46-A, donde se registró concentraciones de arsénico por debajo del límite de detección en las 3 primeras extracciones a comparación su máxima concentración (208 mg/kg) en la extracción 6 (residual), cadmio y cobre presentan concentraciones bajas de 0.180 mg/kg y 0,69 mg/kg en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además las concentraciones de plomo de la extracción 2 son similares a los reportados en la extracción 5; mientras que la concentración más alta de zinc se reportó en la extracción 1 (extraíbles).

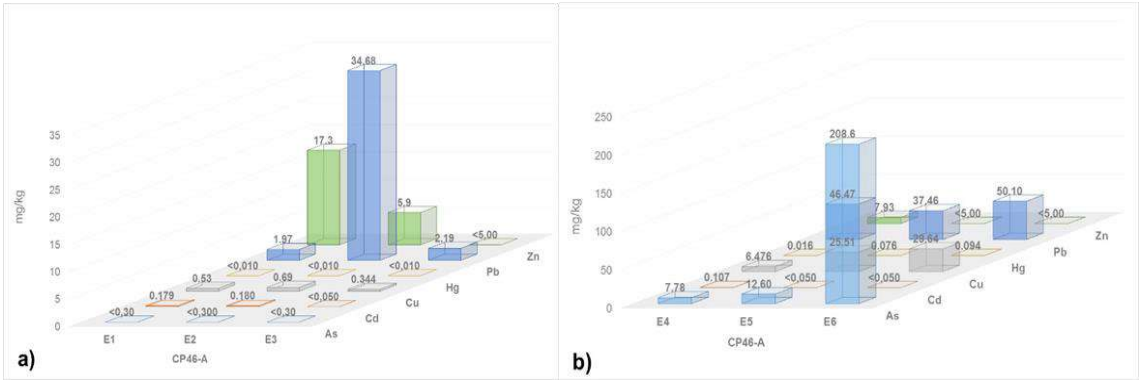


Figura 6.95. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP46-A

La Figura 6.96 correspondiente al punto CP53-AC, donde se registró concentraciones bajas de arsénico (0,31 mg/kg) en la extracción 3 (ligado a carbonatos); por su parte cadmio presentó su mayor concentración (0,212 mg/kg) en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas), además, cobre presentó concentración de 1,56 mg/kg en la extracción 1 (extraíbles); además plomo presentó concentraciones de 2,68 mg/kg en la extracción 1, mientras que el zinc presentó su mayor concentración en la extracción 1; por su parte mercurio presentó concentraciones que están por debajo del límite de detección en las 3 primeras extracciones.

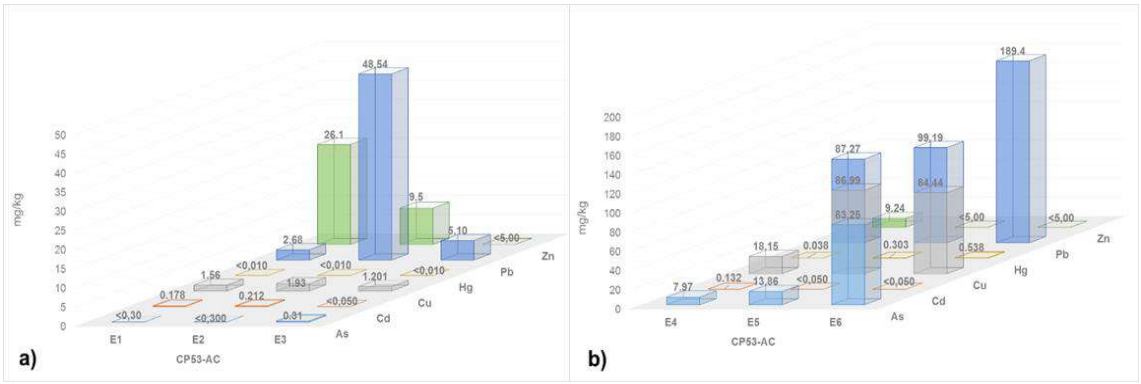


Figura 6.96. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en el punto CP53-AC

La Figura 6.97 correspondiente al punto CS-CP74, donde se registró concentraciones de arsénico y mercurio por debajo del límite de detección en las primeras 3 extracciones, mientras que cadmio presentó su concentración más alta en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además cobre presentó una concentración de 0,17 mg/kg en la extracción 2 que presenta mucha diferencia con la concentración de cobre (21,31 mg/kg) en la extracción 5 (ligado a materia orgánica) y zinc presentó concentraciones de 5,1 mg/kg en la extracción 1 y de 16,6 mg/kg en la extracción 2.

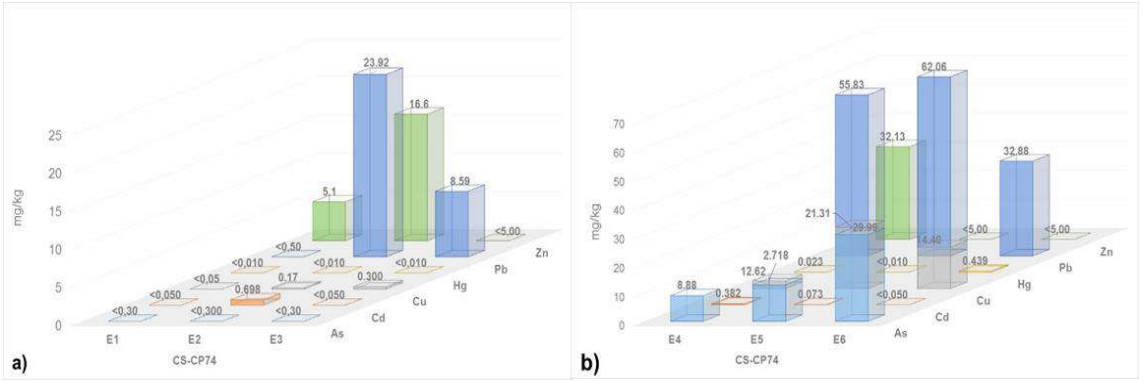


Figura 6.97. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en el punto CS-CP74

Análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido

La muestra CP4-OA extraída de la calicata CS-CP4-CAL del área del nivel de fondo ANF-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de cobre como la calcopirita y covelita, de la misma forma el fierro como la goethita y pirita; así como la ilmenita y rutilo que aportan en titanio (Figura 6.98).

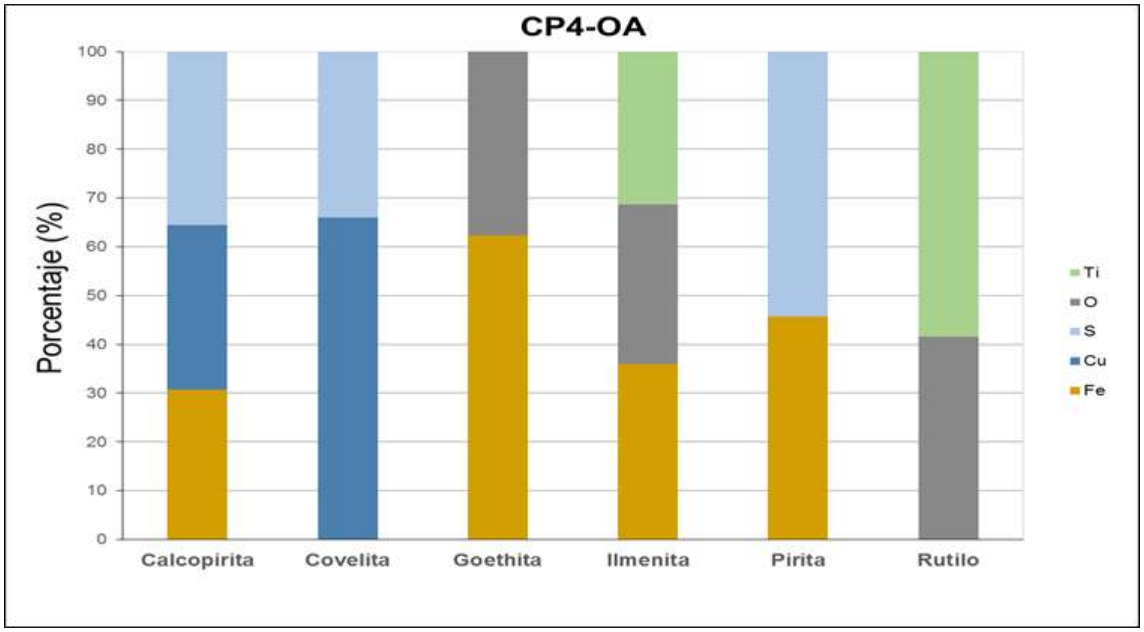


Figura 6.98. MEB de la muestra CP4-O ubicado próximo a la subestación eléctrica

La muestra CP46-A extraída de la calicata CS-CP46-CAL del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de fierro como la goethita, hematita, pirita y magnetita; así como la ilmenita y rutilo que aportan en titanio (Tabla 6.32 y Figura 6.99).

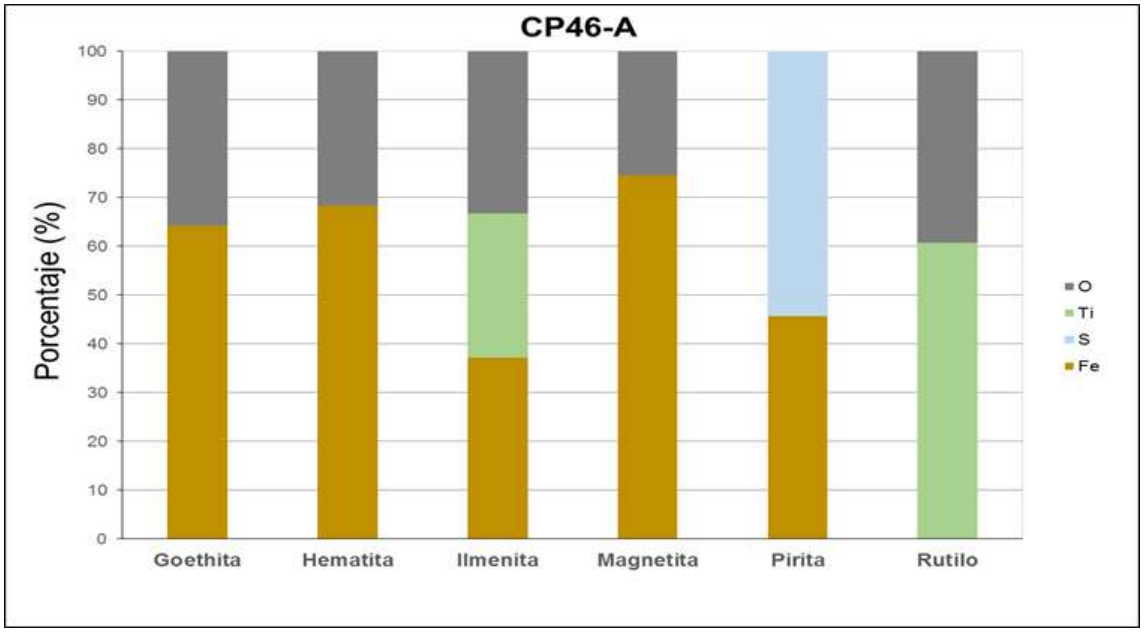


Figura 6.99. MEB de la muestra CP46-A ubicada próximo al cementerio del AAHH José Carlos Mariátegui

6.5.3.3. Área de potencial interés API-CS-CP

Esta área se ubica en el distrito de Simón Bolívar, abarcando tejido urbano del centro poblado de Paragsha y el AA. HH. José Carlos Mariátegui, se encuentra aledaña al área de nivel de fondo ANF-CS-CP y está rodeada de los siguientes componentes mineros: polvorín, botadero Hanancocha, stock piles, botadero Miraflores, Tajo Raúl Rojas y botadero Rumiallana; dentro de esta área se llevó a cabo el muestreo de identificación de acuerdo con lo explicado en la metodología del componente suelo del presente informe.

Clasificación de parámetros edáficos

La clasificación de parámetros edáficos para suelos dentro del área de potencial interés API-CS-CP se presenta en la Tabla 6.33, y se realizó tomando en cuenta el Anexo N.° IV «Guía para la clasificación de los parámetros edáficos» del Decreto Supremo N.° 017-2009-AG (para los parámetros pH y materia orgánica) y la propuesta del laboratorio análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF-UNALM) para la conductividad eléctrica y el nivel de carbonato de calcio.

El origen y afectación de estos suelos es diversa; es así que dentro del área de potencial interés API-CS-CP, se encontraron suelos que presentaron secuencias de horizontes antrópicos como por ejemplo ^A – ^C1 – 2^C2, ^A - ^C1 - ^C2 - ^C3 - ^C4 - ^C5 - 2^Cg1 - 2^Cg2, ^OA - ^A - ^C1 - ^C2 - ^2C3; suelos con artefactos entre sus horizontes Oi – Au – ACu – Cr – R; y suelos sin afectación visible A – CR – R, A – R, Oi – Oe – Cg.

Bajo estos contextos se evidenciaron suelos muy superficiales a superficiales, en algunos casos la profundidad efectiva se vio interrumpida por una capa de material producto de eventos o actividades antrópicas y en otros casos por materiales propios de la génesis del suelo.

El pH de estos suelos es muy variable, se encontraron suelos dentro del rango de la acidez (ultra acido a ligeramente acido), suelos neutros y un suelo ligeramente básico; los valores

de conductividad eléctrica registrados indican la presencia de suelos no salinos, muy ligeramente salinos y ligeramente salinos, los dos últimos corresponderían a horizontes antrópicos con altas concentraciones de metales pesados.

Estos suelos presentaron texturas variables, desde finas (arcillosos), medias (franco limosa), moderadamente gruesa (franco arenosa) y gruesa (arena franca y arena), no presentaron $CaCO_3$ (<0,03), los contenidos de la materia orgánica generalmente fueron bajos y en algunos casos medios (suelos sin alteración y/o materiales de préstamo); es necesario indicar que las únicas muestras donde se obtuvieron altos niveles de materia orgánica fueron tomadas de los horizontes orgánicos de la calicata CS-CP20-CAL que se encuentra dentro de la superficie hidromórfica de un bofedal.

Tabla 6.33. Clasificación de parámetros edáficos dentro del API-CS-CP

Código de calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Hz.	pH		C.E.*		$CaCO_3$		M.O		Análisis mecánico			Clase textual
						(dS/m)		(%)		(%)		A	L	Ar	
				Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	%			
CS-CP20-CAL	CP20-Oi	0 – 0,10	Oi	5,75	Moderadamente ácida	0,333	No salino	<0,03	Bajo	48,58	Alto	Suelo orgánico			
	CP20-Oe	0,10 – 0,24	Oe	4,88	Muy fuertemente ácida	0,1517	No salino	<0,03	Bajo	33,16	Alto	Suelo orgánico			
	CP20-Cg	0,24 – 0,40	Cg	5,04	Muy fuertemente ácida	0,1019	No salino	<0,03	Bajo	0,72	Bajo	75	15	10	Franco arenosa
---	CS-CP72	0 - 0,10	---	2,31	Ultra ácida	1,349	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	1,26	Bajo	87	8	5	Arena francosa
---	CS-CP73	0 – 0,10	---	3,73	Extremadamente ácida	2,920	Ligeramente salino	<0,03	Bajo	2,27	Medio	77	20	3	Arena francosa
CS-CP8-CAL	CP8-Ap	0 – 0,10	^A	6,34	Ligeramente ácida	0,241	No salino	<0,03	Bajo	2,12	Medio	79	13	8	Arena francosa
---	CS-CP27	0 – 0,10	---	6,07	Moderadamente ácida	1,608	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,24	Bajo	87	8	5	Arena francosa
CS-CP28-CAL	CP28-A	0 – 0,20	A	7,48	Ligeramente básica	0,525	No salino	<0,03	Bajo	1,22	Bajo	85	10	5	Arena francosa
	CP28-CR	0,20 – 0,40	CR	5,58	Fuertemente ácida	0,376	No salino	<0,03	Bajo	0,7	Bajo	74	13	13	Franco arenosa
---	CS-CP34	0 – 0,10	---	6,51	Ligeramente ácida	1,426	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	1,27	Bajo	84	13	3	Arena francosa
CS-CP35-CAL	CP35-Ap	0 – 0,10	^A	2,03	Ultra ácida	3,550	Ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,73	Bajo	77	13	10	Franco arenosa
	CP35-Ab	0,10 – 1,30	Ab	1,73	Ultra ácida	6,330	Moderadamente salino	<0,03	Bajo	2,77	Medio	75	15	10	Franco arenosa
	CP35-C	1,40 – a más	C	1,76	Ultra ácida	4,490	Moderadamente salino	<0,03	Bajo	0,88	Bajo	57	25	18	Franco arenosa
---	CS-CP36	0 – 0,10	---	6,17	Ligeramente ácida	1,726	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,89	Bajo	85	10	5	Arena francosa
---	CS-CP37	0 – 0,10	---	6,82	Neutra	0,275	No salino	<0,03	Bajo	2,63	Medio	72	23	5	Franco arenosa
---	CS-CP38	0 – 0,10	---	7,14	Neutra	0,630	No salino	<0,03	Bajo	0,94	Bajo	84	8	8	Arena francosa
---	CS-CP43	0 – 0,20	---	6,94	Neutra	2,060	Ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,7	Bajo	62	20	18	Franco arenosa
CS-CP49-CAL	CP49-Ap	0 – 0,40	^Ap	5,94	Moderadamente ácida	0,315	No salino	<0,03	Bajo	2,62	Medio	75	15	10	Franco arenosa

Código de calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Hz.	pH		C.E.*		$CaCO_3$		M.O		Análisis mecánico			Clase textual
						(dS/m)		(%)		(%)		A	L	Ar	
				Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	%			
	CP49-C	0,40 – 0,50	^C1	7,37	Neutra	0,391	No salino	<0,03	Bajo	0,45	Bajo	17	40	43	Arcilloso
	CP49-2C1	0,50 – a más	^2C2	6,75	Neutra	0,383	No salino	<0,03	Bajo	0,34	Bajo	85	10	5	Arena francosa
---	CS-CP56	0 – 0,10	---	5,13	Fuertemente ácida	0,497	No salino	<0,03	Bajo	3,11	Medio	79	18	3	Arena francosa
CS-CP57-CAL	CP57-Ap	0 – 0,08	^A	6,12	Ligeramente ácida	1,277	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	1,86	Bajo	75	15	10	Franco arenosa
	CP57-C1	0,08 – 0,16	^C1	7,11	Neutra	1,498	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,98	Bajo	82	15	3	Arena francosa
	CP57-C2	0,16 – 0,26	^C2	7,20	Neutra	1,627	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,83	Bajo	79	18	3	Areno francosa
	CP57-C3	0,26 – 0,33	^C3	4,78	Muy fuertemente ácida	1,674	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,92	Bajo	75	20	5	Franco arenosa
	CP57-C4	0,33 – 0,48	^C4	6,65	Neutra	2,030	Ligeramente salino	<0,03	Bajo	1,09	Bajo	72	18	10	Franco arenosa
	CP57-C5	0,48 – 0,75	^C5	6,25	Ligeramente ácida	2,110	Ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,93	Bajo	80	15	5	Arena francosa
	CP57-2C1	0,75 – 0,95	2^Cg1	5,51	Fuertemente ácida	1,433	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,77	Bajo	57	30	13	Franco arenosa
	CP57-2Cg2	0,95 – a más	2^Cg2	5,67	Moderadamente ácida	1,251	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	0,49	Bajo	32	55	13	Franco limosa
CS-CP59-CAL	CP59-OA	0 – 0,12	^OA	5,98	Moderadamente ácida	0,460	No salino	<0,03	Bajo	4,76	Alto	74	18	5	Franco arenosa
	CP59-A	0,12 – 0,19	^A	7,45	Ligeramente básica	0,377	No salino	<0,03	Bajo	1,95	Bajo	79	18	3	Arena francosa
	CP59-M1	0,19 – 0,44	^C1	6,85	Neutra	1,728	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	1,05	Bajo	89	8	3	Arenosa
	CP59-M2	0,44 – 0,67	^C2	5,10	Fuertemente ácida	1,749	Muy ligeramente salino	<0,03	Bajo	1,63	Bajo	92	5	3	Arenosa
CS-CP60-CAL	CP60-Ap	0 – 0,30	^A	6,99	Neutra	0,254	No salino	<0,03	Bajo	1,30	Bajo	69	28	3	Franco arenosa

Código de calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Hz.	pH		C.E.*		$CaCO_3$		M.O		Análisis mecánico			Clase textual
						(dS/m)		(%)		(%)		A	L	Ar	
				Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	Valor	C.S	%			
---	CS-CP61	0 – 0,10	---	6,17	Ligeramente ácida	0,282	No salino	<0,03	Bajo	3,29	Medio	87	10	3	Arenosa
---	CS-CP62	0 – 0,10	---	5,57	Fuertemente ácida	0,379	No salino	<0,03	Bajo	0,86	Bajo	70	20	10	Franco arenosa
---	CS-CP64	0 – 0,10	---	4,94	Muy fuertemente ácida	0,0401	No salino	<0,03	Bajo	2,71	Medio	67	18	15	Franco arenosa
CS-CP66	CP66-AC	0 – 0,16	AC	6,86	Neutra	0,398	No salino	<0,03	Bajo	1,98	Bajo	87	8	5	Arena francosa
---	CS-CP67	0 – 0,10	---	6,92	Neutra	0,235	No salino	<0,03	Bajo	1,97	Bajo	70	20	10	Franco arenosa
CS-CP69-CAL	CP69-A	0,05 – 0,17	Au	5,41	Fuertemente ácida	0,261	No salino	<0,03	Bajo	1,68	Bajo	75	17	8	Franco arenosa
	CP69-AC	0,17 – 0,35	ACu	5,18	Fuertemente ácida	0,206	No salino	<0,03	Bajo	1,69	Bajo	77	23	0	Arena francosa
	CP69-Cr	0,35 – 0,43	Cr	4,53	Extremadamente ácida	0,1463	No salino	<0,03	Bajo	0,84	Bajo	80	15	5	Arena francosa

Fuente: Informes de ensayo TYPSA. «---»: No se realizó calicata / Horizonte no definido. «C.S»: Clasificación de parámetros edáficos en el suelo. «C.E.»: Conductividad eléctrica. «M.O»: Materia orgánica. «A»: Arena. «L»: Limo. «Ar»: Arcilla. La clasificación de parámetros edáficos como el pH y la M.O se realizó tomando en cuenta el Anexo N.° IV «Guía para la clasificación de los parámetros edáficos» del Decreto Supremo N.° 017-2009-AG; mientras que, la conductividad eléctrica y el nivel de CaCO3 se clasificó referencialmente en base a la propuesta del laboratorio análisis de fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF- UNALM). * El valor de conductividad eléctrica es referencial ya que no se utilizó extractor de pasta saturada para su análisis.

Metales en horizontes superficiales y subsuperficiales comparado con ECA – MINAM y niveles de fondo

El área de potencial interés API-CS-CP abarca 3 tipos de uso de suelo, residencial, agrícola e industrial. En el presente acápite se empezarán a describir los puntos (calicatas y muestras superficiales) ubicados en suelos de uso agrícola, luego los puntos (calicatas y muestras superficiales) ubicados en suelos de uso industrial y finalmente los puntos (calicatas y muestras superficiales) ubicados en suelos de uso residencial que son la mayoría.

Para los puntos ubicados dentro de suelos de uso agrícola, los resultados de arsénico y plomo serán comparados de manera prioritaria con los valores de nivel de fondo determinados para estos elementos, ya que estos valores superaron al estándar de calidad ambiental para este tipo de uso; mientras que los resultados de bario, cadmio y mercurio, cuyo nivel de fondo está por debajo del ECA para suelo de uso agrícola, serán comparados de manera prioritaria con los estándares de esta normativa, cumpliendo con lo estipulado en el Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.

Según se observa en la Tabla 7-xxx, las concentraciones de arsénico dentro del suelo de uso agrícola del API-CS-CP, son superiores al nivel de fondo en todas las muestras superficiales; la mayor concentración de este metal se registró en el punto CS-CP6-1 y fue superior en 2050,8 % al valor de nivel de fondo, es necesario indicar que este punto se ubica en suelo disturbado fuera del polvorín. Las muestras tomadas en los horizontes (Oi – Oe – Cg) de la calicata CS-CP20-CAL presentaron concentraciones de arsénico por debajo del nivel de fondo.

El plomo presentó concentraciones superiores al nivel de fondo en ocho de las nueve muestras superficiales tomadas en suelo de uso agrícola dentro del API-CS-CP, la mayor concentración también se registró en el punto CS-CP6-1 y fue superior en 1502,5 % al valor de nivel de fondo. Las muestras de la calicata CS-CP20-CAL fueron inferiores al nivel de fondo (Tabla 6.34).

Las concentraciones de cadmio superaron al ECA para suelos de uso agrícola en cuatro de las nueve muestras superficiales, la mayor concentración de este elemento se registró en el punto CS-CP6 que también se encuentra en suelo disturbado fuera del polvorín y es superior al ECA en 1001 %. Las concentraciones de bario y mercurio no superaron al estándar de calidad ambiental para suelos de uso agrícola. En la calicata CS-CP20-CAL, las concentraciones de estos elementos se registraron menores al ECA (Tabla 6.34).

Tabla 6.34. Metales en API-CS-CP comparados ECA – uso agrícola y con niveles de fondo

Código de Calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Horizonte	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
				mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
---	CS-CP6*	0 - 0,20	---	585	233,0	15,416	< 0,010	2121
---	CS-CP6-1*	0 - 0,20	---	1751	132,5	6,8259	2,15	5580
---	CS-CP75*	0 - 0,20	---	541	184,2	0,20262	0,017	441
---	CS-CP72*	0 - 0,10	---	730	186,0	0,36613	< 0,010	1652
---	CS-CP71*	0 – 0,10	---	709	218,9	1,1928	0,176	1337
---	CS-CP73*	0 – 0,10	---	882	258,1	2,5008	0,336	1763
CS-CP20-CAL	CP20-Oi	0 – 0,10	Oi	49,4	144,6	1,1859	0,171	218
	CP20-Oe	0,10 - 0,24	Oe	69,3	168,9	0,63995	0,085	214
	CP20-Cg	0,24 - 0,40	Cg	19,2	111,9	0,04132	< 0,010	89,8

Código de Calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Horizonte	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
				mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
---	CS-CP40	0 – 0,10	---	418	283,9	5,1208	0,198	1184
---	CS-CP47	0 – 0,10	---	190	215,3	0,16383	< 0,010	173
---	CS-CP64	0 – 0,10	---	143	54,78	0,43122	1,05	429
ECA para suelo (D.S. N.° 011-2017-MINAM) - Uso agrícola				50	750	1,4	6,6	70
Nivel de fondo				81,41	154,3	0,869	0,259	348,2

«---»: No se realizó calicata, muestra superficial / Horizonte no definido. «*»: En el reporte de resultados N° RRE-029-2020-STEC, la comparación de estos puntos está errada, prevaleciendo la comparación de la presente Tabla.
: Puntos de muestreo que superan a los niveles de fondo (estos superan al ECA para suelos – Uso agrícola).
: Puntos de muestreo que superan los ECA para suelo - Uso agrícola (los niveles de fondo no superan al ECA).

En la Tabla 6.35 se presentan resultados de las muestras colectadas en suelos de uso industrial dentro del API-CS-CP, donde las concentraciones de arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo son comparadas prioritariamente con los ECA para suelos de uso industrial; ya que los valores de nivel de fondo para estos elementos resultaron ser inferiores a dichos estándares, cumpliendo de esta manera con lo estipulado en el Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.

Las concentraciones de arsénico y plomo superaron al ECA para suelos de uso industrial en dos de las tres muestras superficiales tomadas en suelos de este tipo de uso dentro del API-CS-CP, y las concentraciones de cadmio superaron a dicho estándar en una muestra. La concentración más elevada de arsénico se registró en el punto CS-CP7 y fue superior al ECA en 471.4 %; mientras que, las concentraciones más elevadas de cadmio y plomo se registraron en el punto CS-CP65 y superaron al ECA en 39,3 % y 620,6 % respectivamente. Las concentraciones de bario y mercurio no superaron a dicho estándar.

Las muestras tomadas en los horizontes con influencia antrópica (^A - ^C) de la calicata CS-CP8-CAL presentaron concentraciones de plomo que superaron el ECA para suelos de uso industrial en los dos horizontes; la mayor concentración se registró en el horizonte ^C y fue superior al ECA en 33,4 %. Es necesario indicar que las concentraciones de nivel de fondo para arsénico, bario, cadmio, mercurio y plomo también fueron superadas en varios puntos (calicatas y muestras superficiales).

Tabla 6.35. Metales en API-CS-CP comparados ECA – uso industrial y con niveles de fondo

Código de Calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Horizonte	Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
				mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
---	CS-CP7	0 - 0,20	---	811	117,9	14,175	1,12	3924
CS-CP8-CAL	CP8-Ap	0 - 0,10	^A	89,1	111,9	7,8610	0,107	862
	CP8-C	0,10 - 0,25	^C	71,2	193,9	4,6409	0,097	1067
---	CS-CP13	0 - 0,20	---	65,9	129,3	1,5506	0,431	324
---	CS-CP65	0 - 0,10	---	562	311,3	30,639	0,700	5765
ECA para suelo (D.S. N.° 011-2017-MINAM) - Uso industrial				140	2000	22	24	800
Nivel de fondo				81,41	154,3	0,869	0,259	348,2

«---»: No se realizó calicata, muestra superficial / Horizonte no definido.
: Puntos de muestreo que superan los ECA para suelo - Uso industrial (los niveles de fondo no superan al ECA).

En las figuras 6.100 a) y b), se presentan las concentraciones de arsénico y plomo registradas en muestras colectadas en suelos de uso residencial dentro del API-CS-CP, las cuales serán comparadas con los valores de nivel de fondo determinados para estos elementos; ya que de manera natural el arsénico y plomo superan al ECA para suelos de uso industrial.

Se debe de tener en cuenta que en adelante las figuras utilizadas para mostrar graficas de concentración de metales en suelo dentro del acápite resultados, llevaran el siguiente orden: las muestras colectadas en calicatas están agrupadas a la izquierda con el sufijo CAL; mientras que las muestras superficiales están agrupadas a la derecha y en la parte baja se muestra el siguiente símbolo «---».

Las concentraciones de arsénico se muestran en la Figura 6.100 a), donde se puede observar que el nivel de fondo es superado en 42 muestras (superficiales y calicatas) de las 50 evaluadas. Las mayores concentraciones de este elemento se registraron en horizontes con influencia antrópica (los que llevan el símbolo «^»), dos de ellos son: ^C1 (1197 mg/kg) y 2^C2 (2301 mg/kg) de la calicata CS-CP60-CAL que superaron en 1370 % y en 2726 % al nivel de fondo respectivamente.

En la figura 6.100 b) se puede apreciar que el nivel de fondo para plomo es superado en 37 muestras de las 50 evaluadas; al igual que para el arsénico las mayores concentraciones se registraron en horizontes con influencia antrópica. La concentración más elevada fue de 26801 mg/kg y se registró en el horizonte ^A de la calicata CS-CP60-CAL, este fue superior en 7597 % al nivel de fondo para plomo.



Figura 6.100. Concentraciones de a) arsénico total y b) plomo total comparadas con nivel de fondo (NF), nivel de referencia (NR) y ECA para suelos de uso residencial (ECA-SUR)

En las figuras 6.101 a), b) y c), se presentan las concentraciones de bario, cadmio y mercurio registradas en muestras colectadas en suelos de uso residencial dentro del API-CS-CP. Las concentraciones de estos metales serán comparadas con los ECA para suelos de uso residencial; debido a que los niveles de fondo determinados para estos elementos fueron inferiores a los ECA mencionados.

Las concentraciones de bario se muestran en la Figura 6.101 a), donde se puede observar que el ECA para suelos de uso residencial es superado en ocho muestras (calicatas) de las 50 evaluadas. Las mayores concentraciones de este elemento se registraron en horizontes con influencia antrópica de la calicata CS-CP57-CAL, registrándose en el horizonte ^C1 una concentración de 2364 mg/kg, que fue superior en 372,8 % al valor del ECA.

En la figura 6.101 b) se puede apreciar que el ECA para suelos de uso residencial para cadmio es superado en 11 muestras (calicatas) de las 50 evaluadas; al igual que para los elementos anteriores las mayores concentraciones para cadmio se registraron en horizontes con influencia antrópica. La concentración más elevada fue de 76,118 mg/kg y se registró en el horizonte ^A de la calicata CS-CP60-CAL, este fue superior en 661.18 % al valor del ECA para suelos de uso residencial.

Las concentraciones de mercurio en suelos de uso residencial ubicados dentro del API-CS-CP se presentan en la Figura 6.102 c), donde se puede apreciar que el ECA para suelos de este uso, es superado por las concentraciones de tres muestras de las 50 evaluadas. Las mayores concentraciones para este elemento también se registraron en muestras tomadas dentro de horizontes antrópicos. En el horizonte ^A de la calicata CS-CP59-CAL, se registró una concentración de 20,5 mg/kg siendo superior el ECA para suelos de uso industrial en 210.6 %.

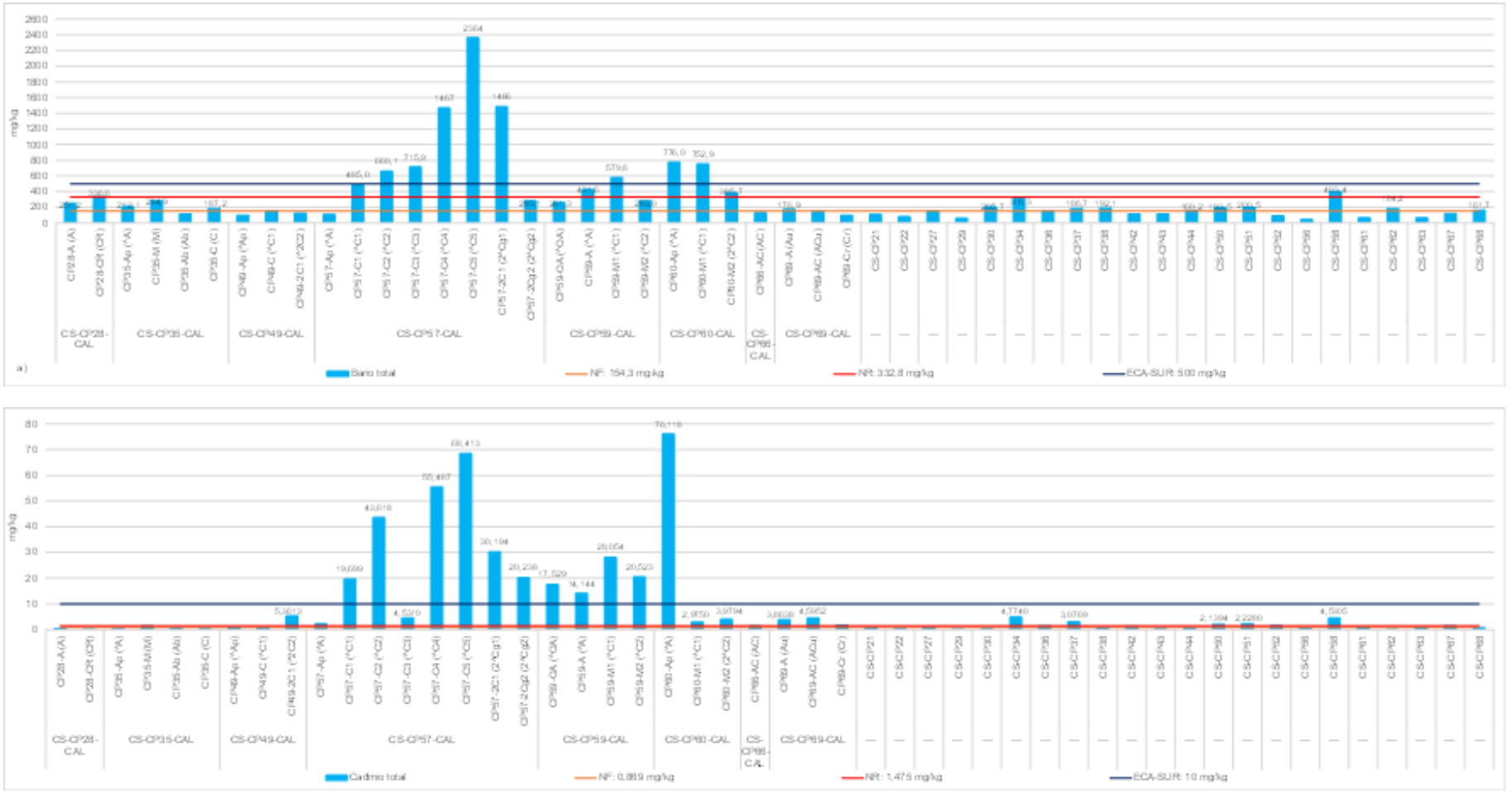


Figura 6.101. Concentraciones de a) bario total y b) cadmio total comparadas con ECA para suelos de uso residencial (ECA-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (NR)

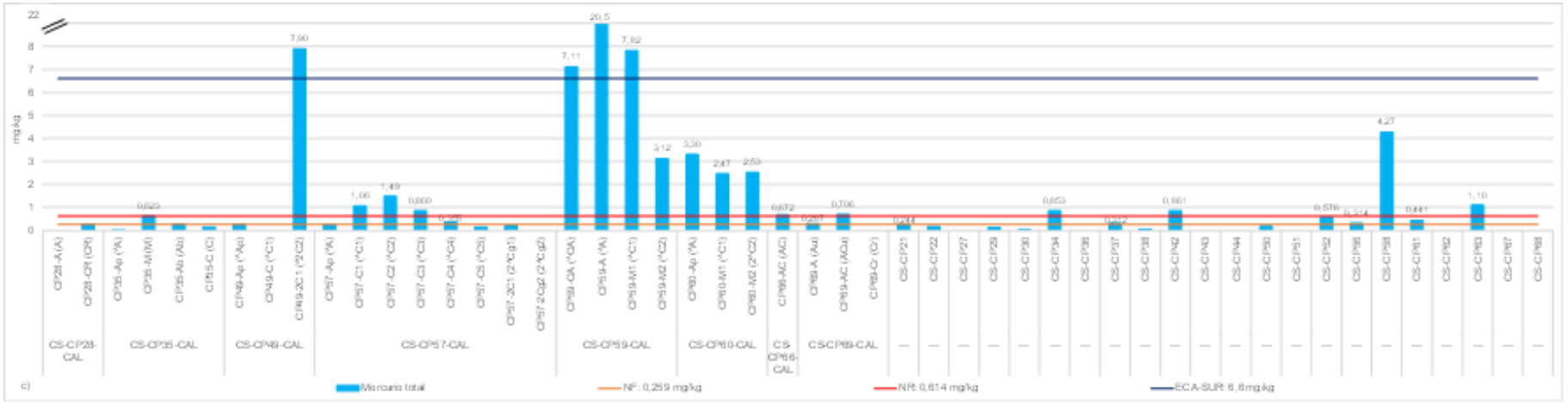


Figura 6.102. Concentraciones de mercurio total comparadas con ECA para suelos de uso residencial (ECA-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (N)

Metales en Horizontes superficiales y subsuperficiales comparados con nivel de fondo y CEQG

Como se mencionó anteriormente el área de potencial interés API-CS-CP abarca 3 tipos de uso de suelo, residencial, agrícola e industrial. En el presente acápite se empezarán a describir los puntos (calicatas y muestras superficiales) ubicados en suelos de uso agrícola, luego los puntos (calicatas y muestras superficiales) ubicados en suelos de uso industrial y finalmente los puntos (calicatas y muestras superficiales) ubicados en suelos de uso residencial que son la mayoría.

En este acápite se presentan resultados de los metales cobre, plata, talio y zinc, cuya comparación se realizó con los valores de la guía canadiense para suelos de uso agrícola, industrial o residencial, según corresponda; conforme a lo dispuesto en el ítem 1.4 de la «Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos», aprobada mediante Resolución Ministerial N.° 085-2014-MINAM; Además el nivel de fondo determinado para estos elementos está por debajo de los valores de la guía canadiense. La comparación de otros elementos con la guía canadiense se puede observar en los Anexos xxx, ya que estos presentan un comportamiento similar.

Según se observa en la Tabla 6.36, las concentraciones de cobre dentro del suelo de uso agrícola del API-CS-CP, son superiores al valor de la guía canadiense en la mayoría de las muestras, con excepción de la muestra tomada en el horizonte Cg de la calicata CS-CP20-CAL. La mayor concentración de este metal se registró en el punto CS-CP6-1 y fue superior en 6260,3 % al valor de la guía canadiense para cobre en suelos de uso agrícola.

Las concentraciones de plata solamente superaron en una muestra (CS-CP6-1= 68.66 mg/kg) al valor de la guía canadiense. El talio presentó concentraciones superiores al valor de la guía canadiense en siete de las nueve muestras superficiales tomadas en suelo de uso agrícola dentro del API-CS-CP, la mayor concentración se registró en el punto CS-CP72 y fue superior en 2302 % al valor de la guía. Las muestras de la calicata CS-CP20-CAL fueron inferiores al valor de la guía canadiense (Tabla 6.36).

Las concentraciones de zinc superaron al valor de la guía canadiense para suelos de uso agrícola en cinco de las nueve muestras superficiales, la mayor concentración de este elemento se registró en el punto CS-CP6 (9709 mg/kg) que se encuentra en suelo disturbado fuera del polvorín y es superior a la guía en 3782,8 %. En la calicata CS-CP20-CAL, las concentraciones de zinc se registraron menores a la guía canadiense para suelos de uso agrícola (Tabla 6.36).

Tabla 6.36. Metales en API-CS-CP comparados CEQG – uso agrícola y con niveles de fondo

Código de Calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Horizonte	Cobre Total	Plata Total	Talio Total	Zinc Total
				mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
---	CS-CP6*	0 - 0,20	---	677	10,37	7,225	9707
---	CS-CP6-1*	0 - 0,20	---	4007	68,66	12,07	2628
---	CS-CP75*	0 - 0,20	---	118	6,283	7,883	138
---	CS-CP72*	0 - 0,10	---	229	3,819	24,02	250
---	CS-CP71*	0 – 0,10	---	401	9,023	9,493	551
---	CS-CP73*	0 – 0,10	---	619	13,82	11,07	970
CS-CP20-CAL	CP20-Oi	0 – 0,10	Oi	69	0,0058	0,5911	201
	CP20-Oe	0,10 - 0,24	Oe	100	0,2326	0,9044	87

Código de Calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Horizonte	Cobre Total	Plata Total	Talio Total	Zinc Total
				mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
	CP20-Cg	0,24 - 0,40	Cg	39	0,4984	0,5367	53
---	CS-CP40	0 – 0,10	---	289	2,576	4,294	1661
---	CS-CP47	0 – 0,10	---	95	0,3360	0,4660	81
---	CS-CP64	0 – 0,10	---	113	1,096	0,9042	175
Directrices canadienses de calidad ambiental (CEQG) para suelos - Uso agrícola				63	20	1	250
Nivel de fondo				59,58	1,984	0,722	138

«---»: No se realizó calicata / Horizonte no definido. «*»: En el reporte de resultados N° RRE-029-2020-STEC, la comparación de estos puntos está errada, prevaleciendo la comparación de la presente Tabla.
: Puntos de muestreo que superan las CEQG para suelo - Uso agrícola (los niveles de fondo no superan CEQG).

Las concentraciones de cobre y talio superaron a al valor de la guía canadiense para suelos de uso industrial en dos de las tres muestras superficiales tomadas en suelos de este tipo de uso dentro del API-CS-CP, y las concentraciones de zinc superaron a dicha guía en las tres muestras. Las concentraciones más elevadas de estos elementos se registraron en el punto CS-CP65, el cobre fue superior al valor de la guía en 457,1 %, el talio fue superior en 542.1 % y el zinc fue superior en 2250.9 %.

Las muestras tomadas en los horizontes con influencia antrópica (^A - ^C) de la calicata CS-CP8-CAL presentaron concentraciones de zinc y talio que superaron al valor de la guía canadiense para suelos de uso industrial en los dos horizontes; la mayor concentración de estos elementos se registró en el horizonte ^A, siendo el zinc superior al valor de la guía canadiense en 389.02 % y el talio en 160.6 %. El cobre solamente supero al valor de la guía en el horizonte ^A la Plata no logro superar a dicha norma.

Es necesario indicar que las concentraciones de nivel de fondo para cobre, plata, talio y zinc también fueron superadas en varios puntos (calicatas y muestras superficiales).

Tabla 6.37. Metales en API-CS-CP comparados CEQG – uso industrial y con niveles de fondo

Código de Calicata	Código de muestra	Profundidad (m) desde-hasta	Horizonte	Cobre Total	Plata Total	Talio Total	Zinc Total
				mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
---	CS-CP7	0 - 0,20	---	210	36,65	6,002	6128
CS-CP8-CAL	CP8-Ap	0 - 0,10	^A	104	< 0,0020	1,607	2005
	CP8-C	0,10 - 0,25	^C	73	0,3149	1,441	1756
---	CS-CP13	0 - 0,20	---	59	8,810	0,3615	436
---	CS-CP65	0 - 0,10	---	507	20,70	6,421	9639
Directrices canadienses de calidad ambiental (CEQG) para suelos - Uso industrial				91	40	1	410
Nivel de fondo				59,58	1,984	0,722	138

«---»: No se realizó calicata / Horizonte no definido.
: Puntos de muestreo que superan las CEQG para suelo - Uso industrial (los niveles de fondo no superan CEQG).

En las Figuras 6.103 a) y b) se presentan las concentraciones de cobre y zinc registradas en muestras colectadas en suelos de uso residencial dentro del API-CS-CP. Para las concentraciones de cobre (Figura 6.103 a)) se puede observar que el valor de la guía para suelos de uso residencial es superado en 40 muestras (calicatas y superficiales) de las 50 evaluadas. Las mayores concentraciones de este elemento se registraron en horizontes con influencia antrópica de la calicata CS-CP60-CAL, registrándose en el horizonte 2^C2 una concentración de 6516 mg/kg, que fue superior en 10242,9 % al valor de la guía.

En la Figura 6.103 b) se puede apreciar que el valor de la guía canadiense para suelos de uso residencial para zinc es superado en 33 muestras (calicatas y superficiales) de las 50 evaluadas; al igual que para el cobre las mayores concentraciones de cadmio se registraron en horizontes con influencia antrópica. La concentración más elevada fue de 35657 mg/kg y se registró en el horizonte ^A de la calicata CS-CP60-CAL, este fue superior en 14162.8 % al valor de la guía canadiense para suelos de uso residencial.

Las concentraciones de talio en suelos de uso residencial ubicados dentro del API-CS-CP se presentan en la Figura 6.104 a), donde se puede apreciar que el valor para talio de la guía canadiense para suelos de este uso es superado por las concentraciones de 29 muestras de las 50 evaluadas. Las mayores concentraciones para este elemento también se registraron en muestras tomadas dentro de horizontes antrópicos. En el horizonte 2^Cg2 de la calicata CS-CP57-CAL, se registró una concentración de 44,36 mg/kg siendo superior el valor de la guía canadiense para suelos de uso industrial en 4336 %.

En la Figura 6.104 b) se puede apreciar que el valor de la guía canadiense para plata es superado en 15 muestras de las 50 evaluadas; al igual que para los elementos descritos anteriormente, las mayores concentraciones de plata se registraron en horizontes con influencia antrópica. En este caso la concentración más elevada de plata fue de 132.8 mg/kg y se registró en la muestra superficial CS-CP58, este fue superior en 564 % al valor de la guía canadiense para plata en suelos de uso residencial.



Figura 6.103. Concentraciones de a) cobre total y b) zinc total comparadas con las CEQG para suelos de uso residencial (CEQG-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (NR)

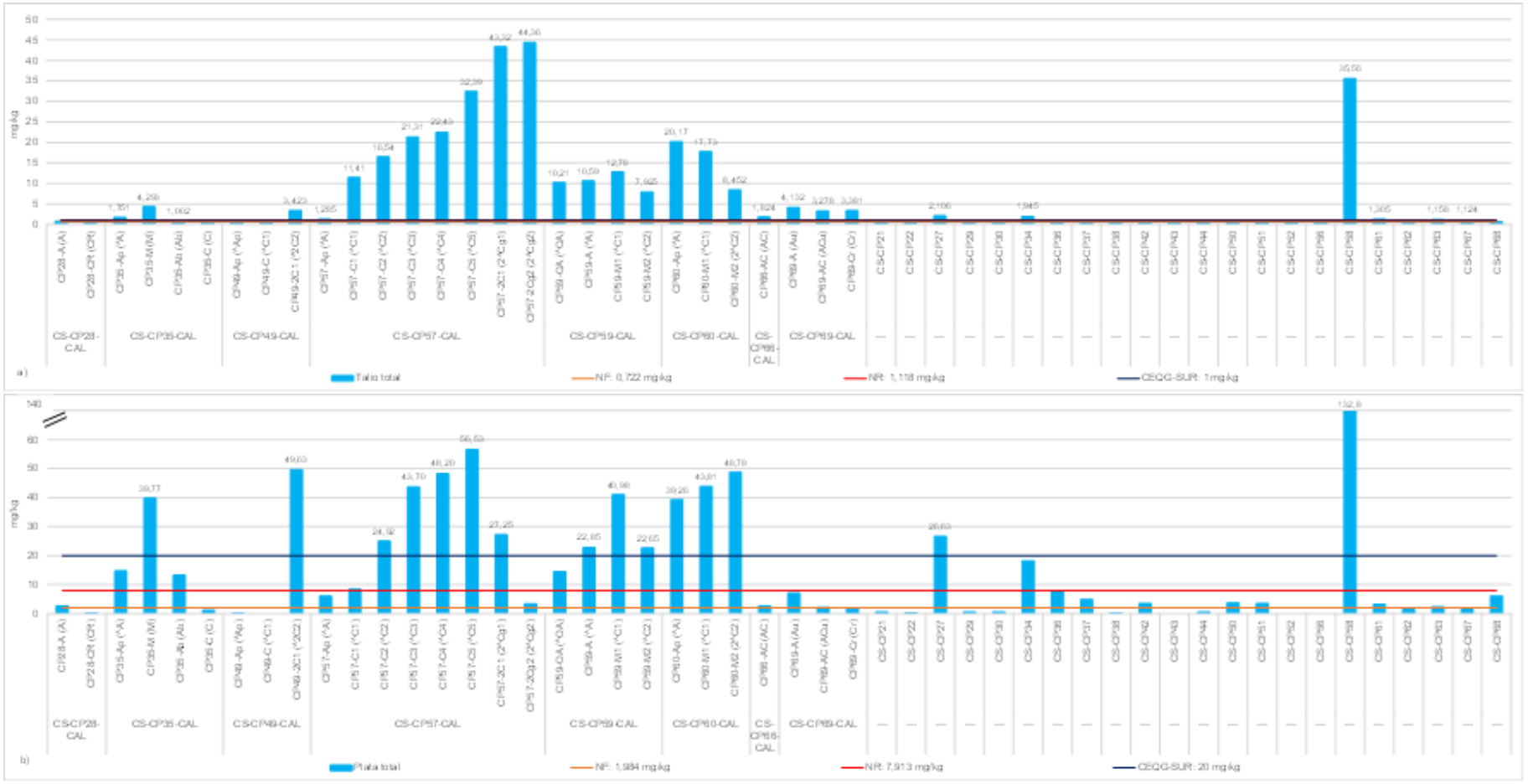


Figura 6.104. Concentraciones de a) talio total y b) plata total comparadas con las CEQG para suelos de uso residencial (CEQG-SUR), nivel de fondo (NF) y nivel de referencia (NR)

Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier

En este apartado se presentan los resultados de biodisponibilidad de metales por la metodología de Tessier, estos resultados nos servirán para poder definir en cuanto y en que extracciones los metales serán biodisponibles en los suelos del API-CS-CP.

En Figura 6.105 correspondiente a la muestra CS-CP6, se observa que el cadmio presentó su mayor concentración (3,665 mg/kg) en la extracción 1 (extraíbles); mientras que, las concentraciones de arsénico (524,1 mg /kg), cobre (146,4 mg/kg) y plomo (1863 mg/kg) estuvieron relacionados a la fracción 5 (ligado a la materia orgánica); mercurio presentó concentraciones que no superaron el límite de detección en las primeras cuatro extracciones y su mayor concentración (0,591 mg/kg) se presentó en la extracción 6 (residual); zinc presentó concentraciones altas de 1596 mg/kg y 2480 mg/kg en la extracción 1 (extraíbles) y extracción 4 (fácilmente reducibles y óxidos de hierro) respectivamente.

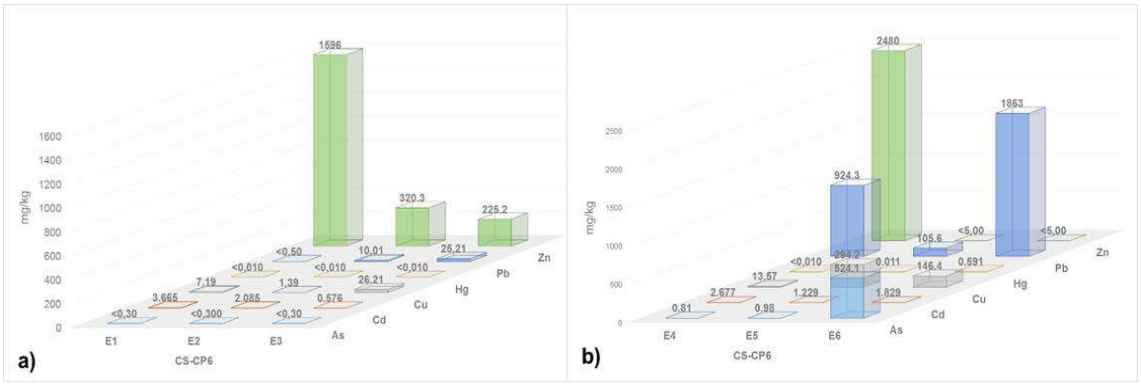


Figura 6.105. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP6

La Figura 6.106 correspondiente a la muestra CS-CP6-1, muestra que arsénico, cobre y zinc presentaron concentraciones de 110,5 mg/kg, 206,8 mg/kg y 113,9 mg/kg respectivamente, encontrándose en forma extraíble (extracción 1); además plomo presentó su mayor concentración (3051 mg/kg) en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); mientras que cadmio y mercurio presentaron mayores concentraciones en la extracción 6 (residual).

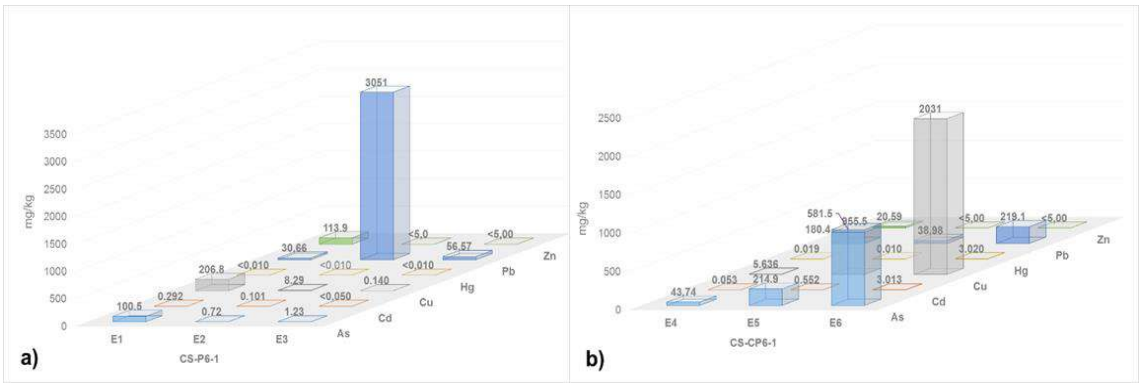


Figura 6.106. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-P6-1

La Figura 6.107 correspondiente a la muestra CS-CP72, registró que arsénico, cadmio y mercurio presentaron concentraciones que no superaron los límites de detección en las primeras 3 extracciones; además, cobre presentó concentraciones similares de 5,30 mg/kg

y 3,48 mg/kg en la extracción 1 (extraíbles) y extracción 2 (intercambiable y adsorbidas) respectivamente; además, zinc presentó su mayor concentración de 8,4 mg/kg encontrándose en forma extraíble (extracción 1).

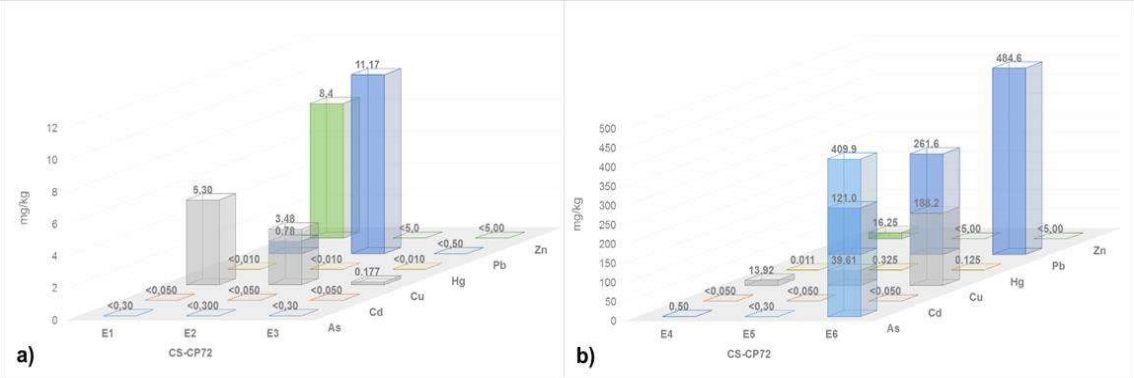


Figura 6.107. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP72

La Figura 6.108 correspondiente a la muestra CS-CP73, donde se registró que arsénico y cadmio presentaron concentraciones bajas de 1,576 mg/kg y 0,765 mg/kg en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); así como, cobre y plomo presentaron concentraciones de 47,67 mg/kg y 151,0 mg/kg respectivamente en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); zinc presentó su mayor concentración (301,9 mg/kg) en la extracción 1 (extraíbles); cabe mencionar que arsénico y plomo presentaron sus mayores concentraciones en la extracción 5 (ligado a materia orgánica).

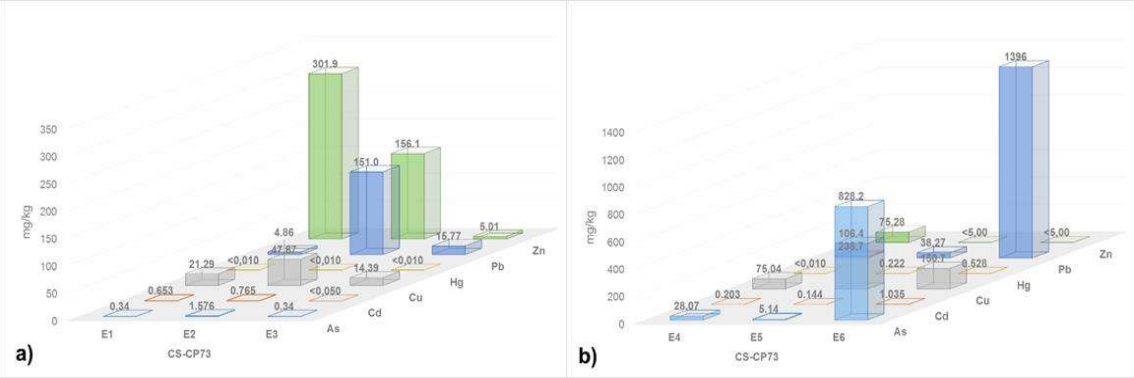


Figura 6.108. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP73

La Figura 6.109 correspondiente a la muestra CS-CP27, donde se registró que arsénico y mercurio presentaron valores que no superaron los límites de detección; cadmio y plomo presentaron concentraciones bajas de 0,294 mg/kg y 0,222 mg/kg en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); mientras que cobre presentó concentraciones similares en la extracción 1 (extraíbles) y 3 (ligado a carbonato); mientras que zinc presentó biodisponible en la extracción 1 (extraíbles) con valor de concentración de 79,7 mg/kg.

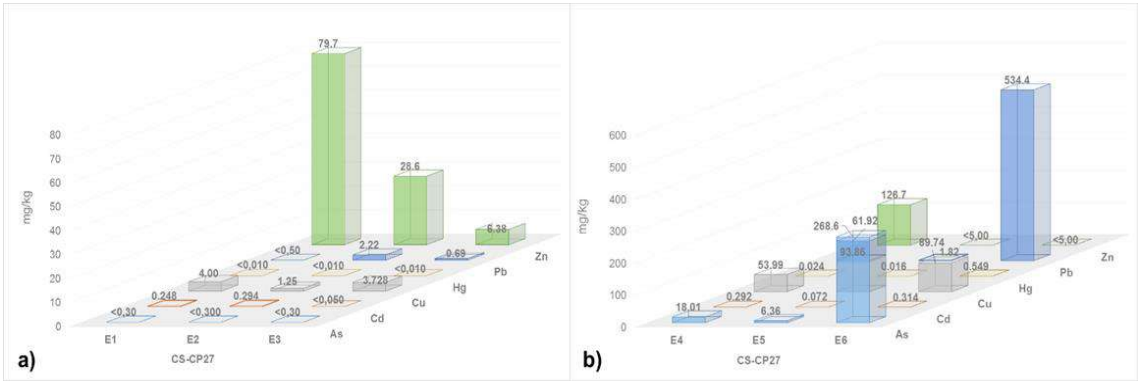


Figura 6.109. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP27

La Figura 6.110 correspondiente a la muestra CP28-A, donde se registró que arsénico, mercurio, plomo y zinc presentaron concentraciones que no superaron los límites de detección; cobre presentó concentraciones bajas en las 3 primeras extracciones con valores de 0,06 mg/kg, 0,16 mg/kg y 0,141 mg/kg; además, cadmio presentó concentraciones que no superaron el límite de detección en la extracción 1 y extracción 3, mientras que en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas) presentó concentración baja de 0,066 mg/kg.

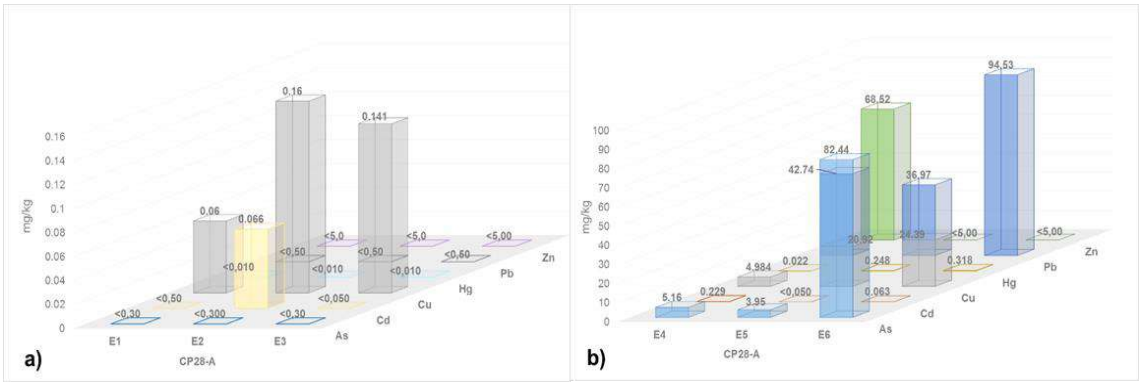


Figura 6.110. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP28-A

La Figura 6.111 correspondiente a la muestra CP35-Ap, donde se registró que arsénico y cadmio presentaron concentraciones bajas de 1,55 mg/kg y 0,058 mg/kg respectivamente en la extracción 1 (extraíbles); además, cobre y plomo presentaron concentraciones de 16,70 mg/kg y 21,11 mg/kg en la extracción 1 (extraíbles) y extracción 2 (intercambiable y adsorbidas) respectivamente; por su parte, zinc presentó su mayor concentración (18,6 mg/kg) en la extracción 1.

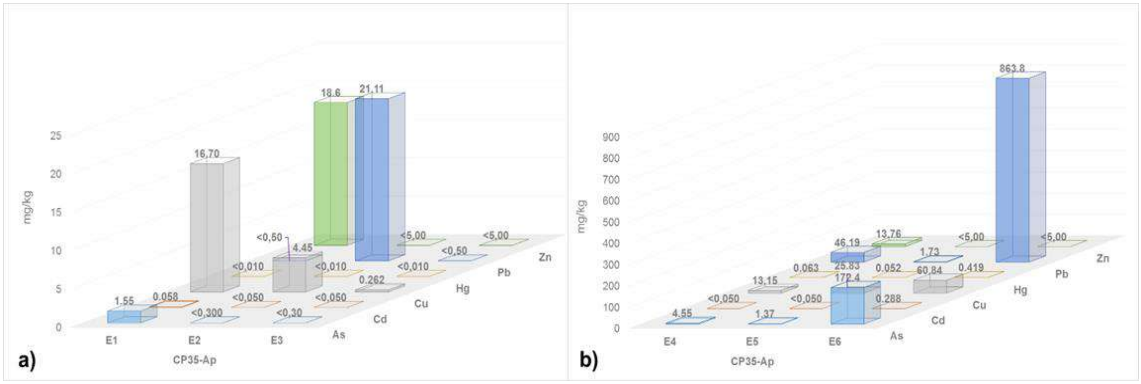


Figura 6.111. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP35-Ap

La Figura 6.112, correspondiente a la muestra CS-CP43, donde se registró que arsénico y mercurio presentaron concentraciones que no superaron los límites de detección en las primeras 3 extracciones; cobre, plomo y zinc presentaron concentraciones bajas de 0,823 mg/kg, 3,13 mg/kg y 5,46 mg/kg respectivamente en la extracción 3 (ligado a carbonato); de misma manera cadmio presentó concentración baja de 0,070 mg/kg en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además las mayores concentraciones de arsénico, cobre y plomo se presentaron en la extracción 6 (residual).

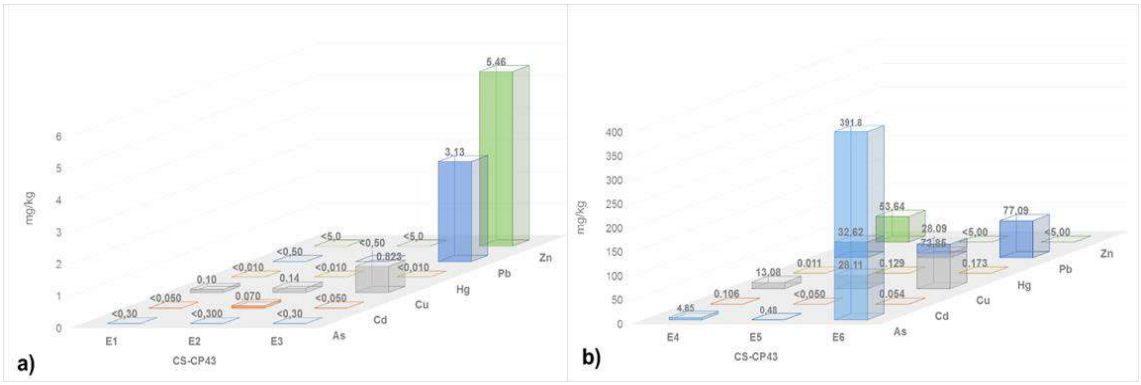


Figura 6.112. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CS-CP43

La Figura 6.113 correspondiente a la muestra CP57-Ap, donde se registró que cadmio y plomo presentaron concentraciones bajas de 0,858 mg/kg y 4,84 mg/kg respectivamente en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además, arsénico y mercurio presentaron concentraciones que no superaron el límite de detección en las 3 primeras extracciones, presentando su mayores concentraciones en la extracción 6 (residual); por su parte cobre presentó concentraciones bajas en las 3 primeras extracciones y zinc obtuvo menores concentraciones en las extracciones 1, 2 y 3 en comparación de la extracción 4.

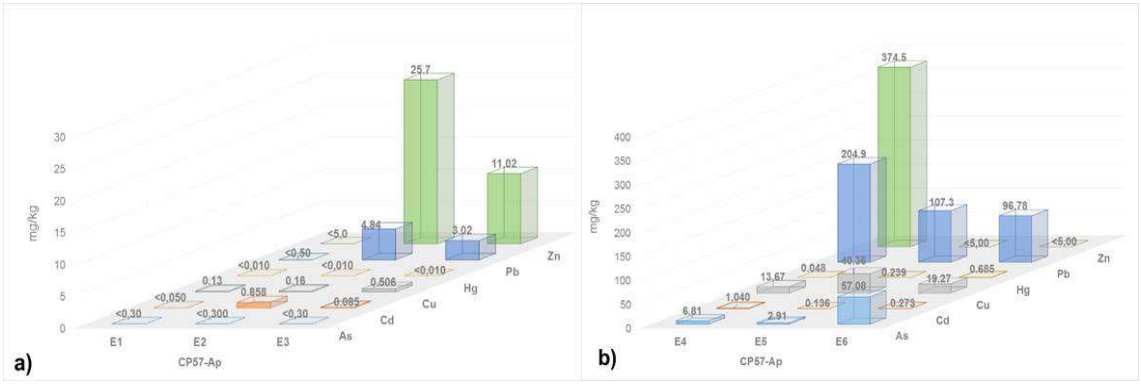


Figura 6.113. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP57-Ap

La Figura 6.114 correspondiente a la muestra CP59-OA, donde se registró que arsénico y plomo presentaron concentraciones bajas de 0,83 mg/kg y 6,59 mg/kg respectivamente en la extracción 1 (extraíbles); además, cadmio y cobre presentaron valores de 6,127 mg/kg y 2,656 mg/kg en las extracciones 2 (intercambiable y adsorbidas) y 3 (ligado a carbonatos) respectivamente; mientras que la concentración de zinc en la extracción fue mucho mayor a las demás concentraciones; por su parte mercurio presentó su mayor concentración (5,019 mg/kg) en la extracción 6 (residual).

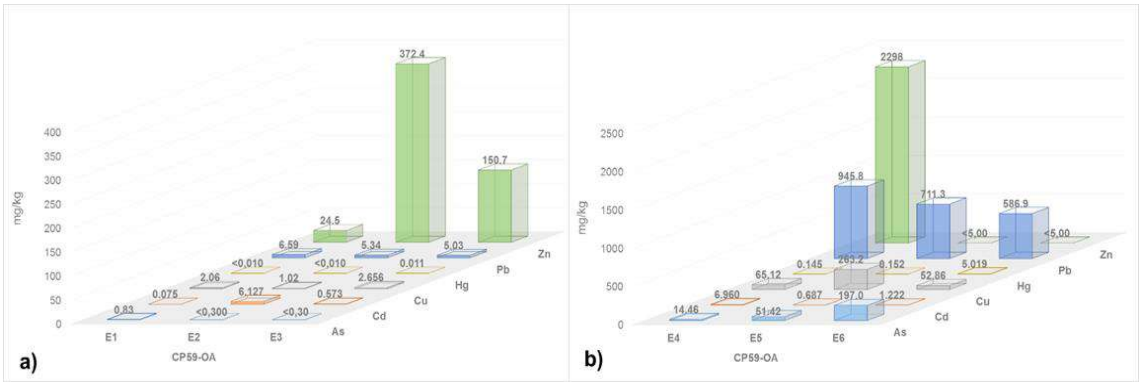


Figura 6.114. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP59-OA

La Figura 6.115 correspondiente a la muestra CP60-Ap, donde se registró que arsénico, cadmio y cobre presentaron concentraciones bajas de 0,313 mg/kg, 14,62 mg/kg y 1,22 mg/kg respectivamente en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas); además, plomo zinc presentaron concentraciones de 330,4 mg/kg y 2090 mg/kg respectivamente en la extracción ligado a carbonatos; mientras que mercurio presentó concentraciones que están por debajo del límite de detección en las 3 primeras extracciones.

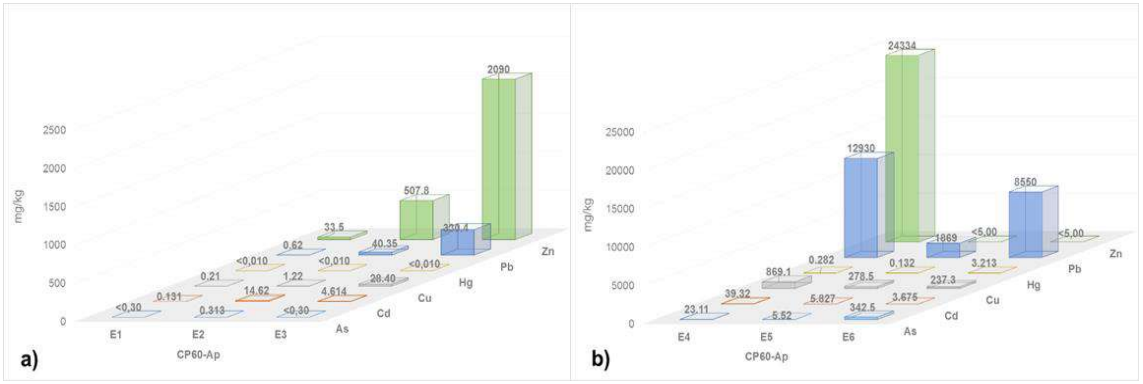


Figura 6.115. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP60-Ap

La Figura 6.116 correspondiente a la muestra CP69-A, donde se registró que arsénico y mercurio presentaron concentraciones que no superaron el límite de detección en las primeras 3 extracciones, presentando sus mayores valores en la extracción 6 (residual); mientras que cadmio, cobre, plomo y zinc presentaron concentraciones de 0,947 mg/kg, 2,56 mg/kg, 31,02 mg/kg y 83,5 mg/kg respectivamente, encontrándose disponibles en la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas).

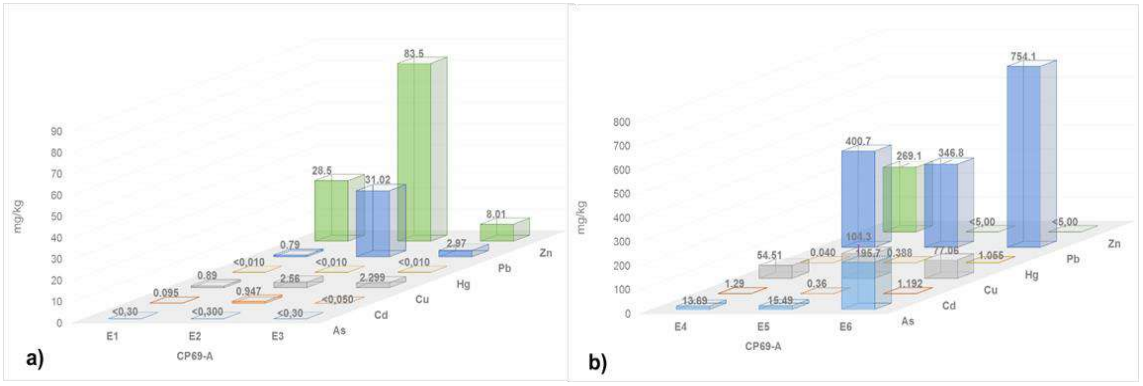


Figura 6.116. Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier, a) extracción 1, 2 y 3; y b) extracción 4, 5 y 6 en la muestra CP69-A

Análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido

La muestra CP57-Ap extraída de la calicata CS-CP57-CAL perteneciente al API-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de fierro como la goethita, hematita, magnetita y pirita; así como la covelita y calcopirita que aportan azufre (Figura 6.117).

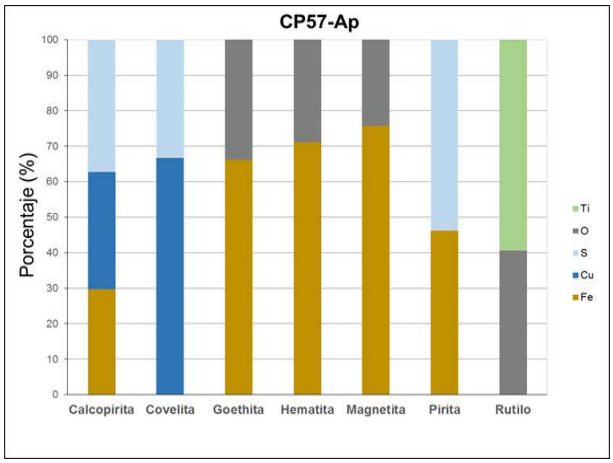


Figura 6.117. MEB de la muestra CP57-Ap ubicada en el centro poblado de Paragsha a 100 metros aproximadamente del botadero Miraflores, en el estadio de futbol

La muestra CP28-A extraída de suelo perteneciente al API-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de fierro como la calcopirita, goethita, hematita, pirita y rutilo; así como la Galena que aportan en plomo (Figura 6.118).

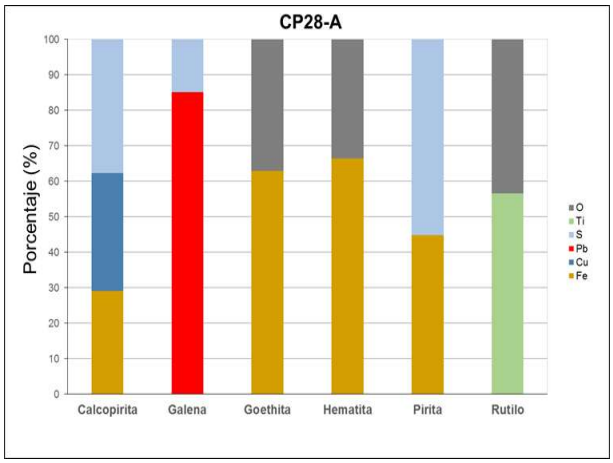


Figura 6.118. MEB de la muestra CP28-A ubicada en el parque infantil dentro del AAHH José Carlos Mariátegui

La muestra CP57 (compuesta de muestras de los horizontes ^C1, ^C2, ^C3, ^C4 y ^C5) extraída de la calicata CS-CP57-CAL del suelo perteneciente al API-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de fierro como la calcopirita, goethita, hematita y pirita; así como óxidos de Fe y Mn que aporta en manganeso (Figura 6.119).

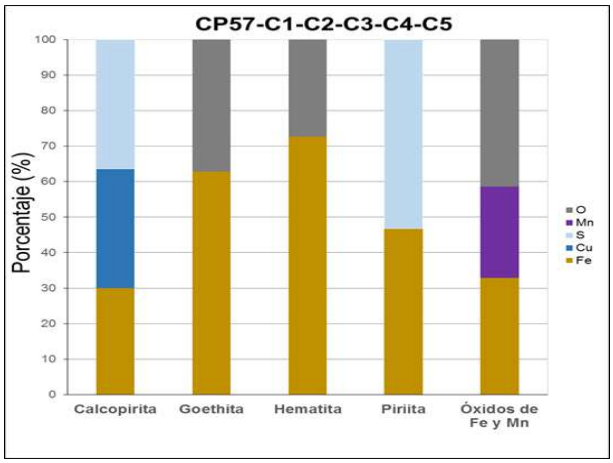


Figura 6.119. MEB de la muestra CP57 (horizontes ^C1, ^C2, ^C3, ^C4 y ^C5) extraída de la calicata CS-CP57-CAL en suelos del centro poblado de Paragsha ubicado próximo al botadero Miraflores

La muestra CP57 (horizontes 2^Cg1 y ^2Cg2) extraída de la calicata CS-CP57-CAL Perteneciente al API-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de fierro como la hematita, magnetita y pirita; así como molibdenita que aporta azufre y molibdeno (Figura 6.120).

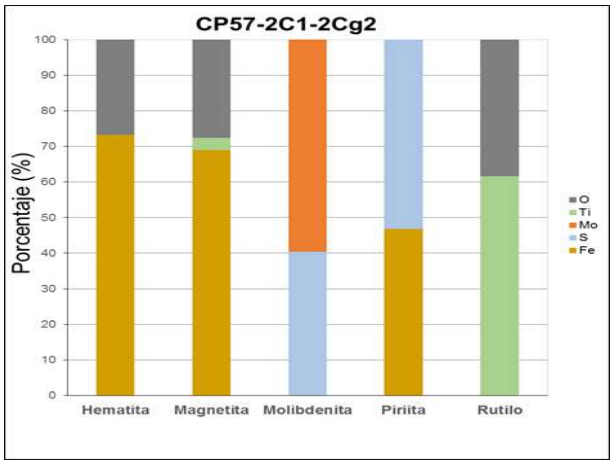


Figura 6.120. MEB de la muestra CP57 (horizontes 2^Cg1 y ^2Cg2) ubicado próximo al botadero Miraflores

La muestra CS-CP27 extraída de suelo del perteneciente al área de potencial interés API-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de fierro como la calcopirita, magnetita y pirita; así como la enargita que aporta azufre y arsénico (Figura 6.121).

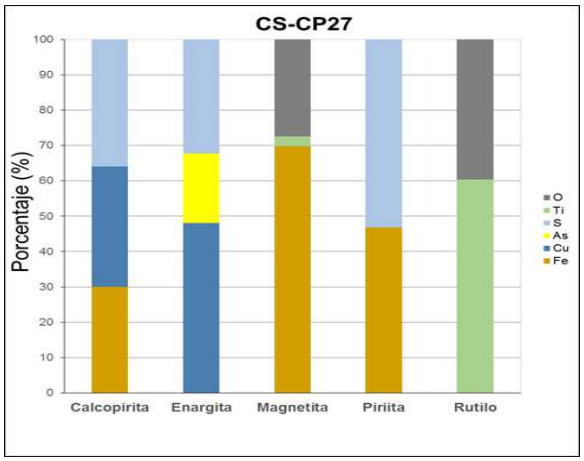


Figura 6.121. MEB de la muestra CS-CP27, en el AA. HH. José Carlos Mariátegui ubicado próximo al botadero Hanancocha

La muestra CS-CP6-1 extraída de suelo perteneciente al área de potencial interés API-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de fierro y azufre como la esfalerita, pirita y tennantita; así como la anglesita que aporta plomo y rutilo que porta titanio (Figura 6.122).

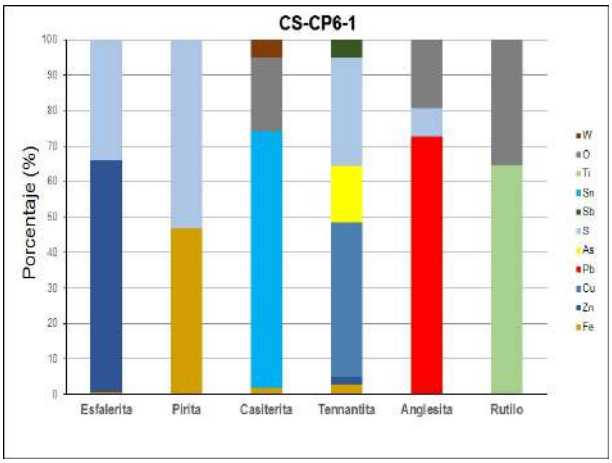


Figura 6.122. MEB de la muestra CS-CP6-1 ubicado fuera del cerco perimetral del polvorín

La muestra CS-CP73 extraída de suelo perteneciente al área de potencial interés API-CS-CP, posee minerales que contienen mayor porcentaje de como la ilmenita, goethita, pirita y casiterita; así como el zircón que aporta el mineral del mismo nombre y baritina que porta bario (Figura 6.123).

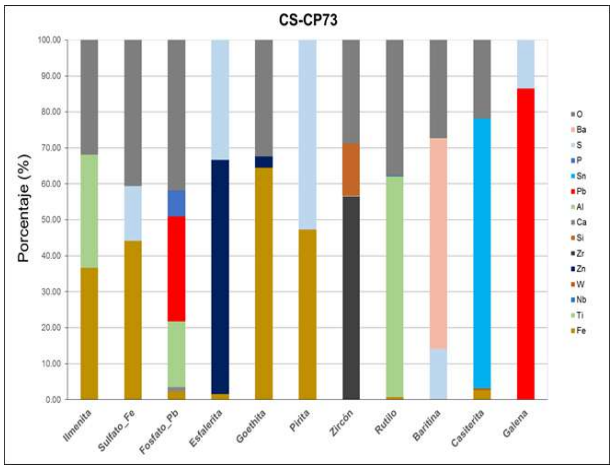
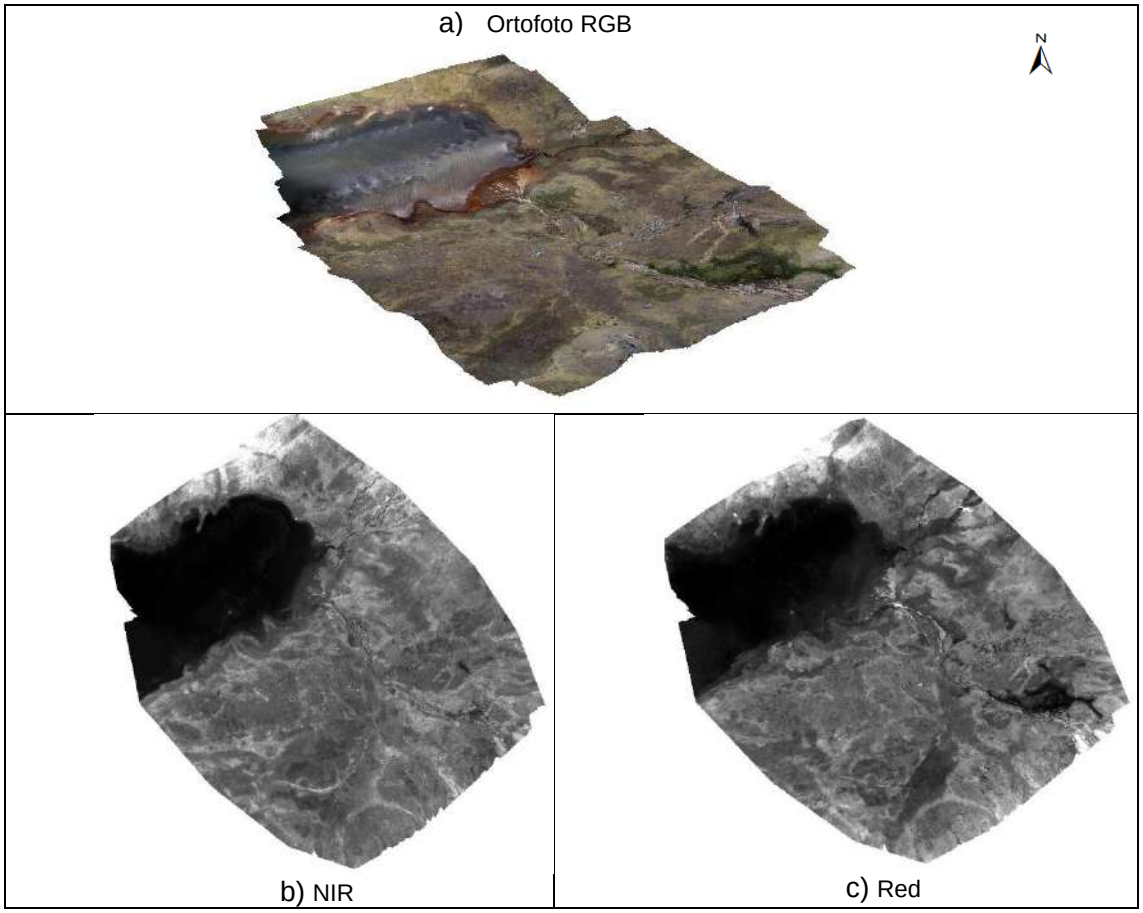


Figura 6.123. MEB de la muestra CS-CP73 ubicada en el cono de deyección de ingreso de las aguas ácidas provenientes del polvorín a la laguna Quilcamachay.

Levantamiento fotogramétrico con RPAS en la laguna Quilcamamchay

Los resultados de evaluación en el área de estudio, respecto a los índices de vegetación con relación a la posible alteración en la cobertura vegetal por agentes o actividades externas. La ubicación y descripción de las áreas de sobrevuelo se detallan en el reporte de campo RC-064-2020-STEC.



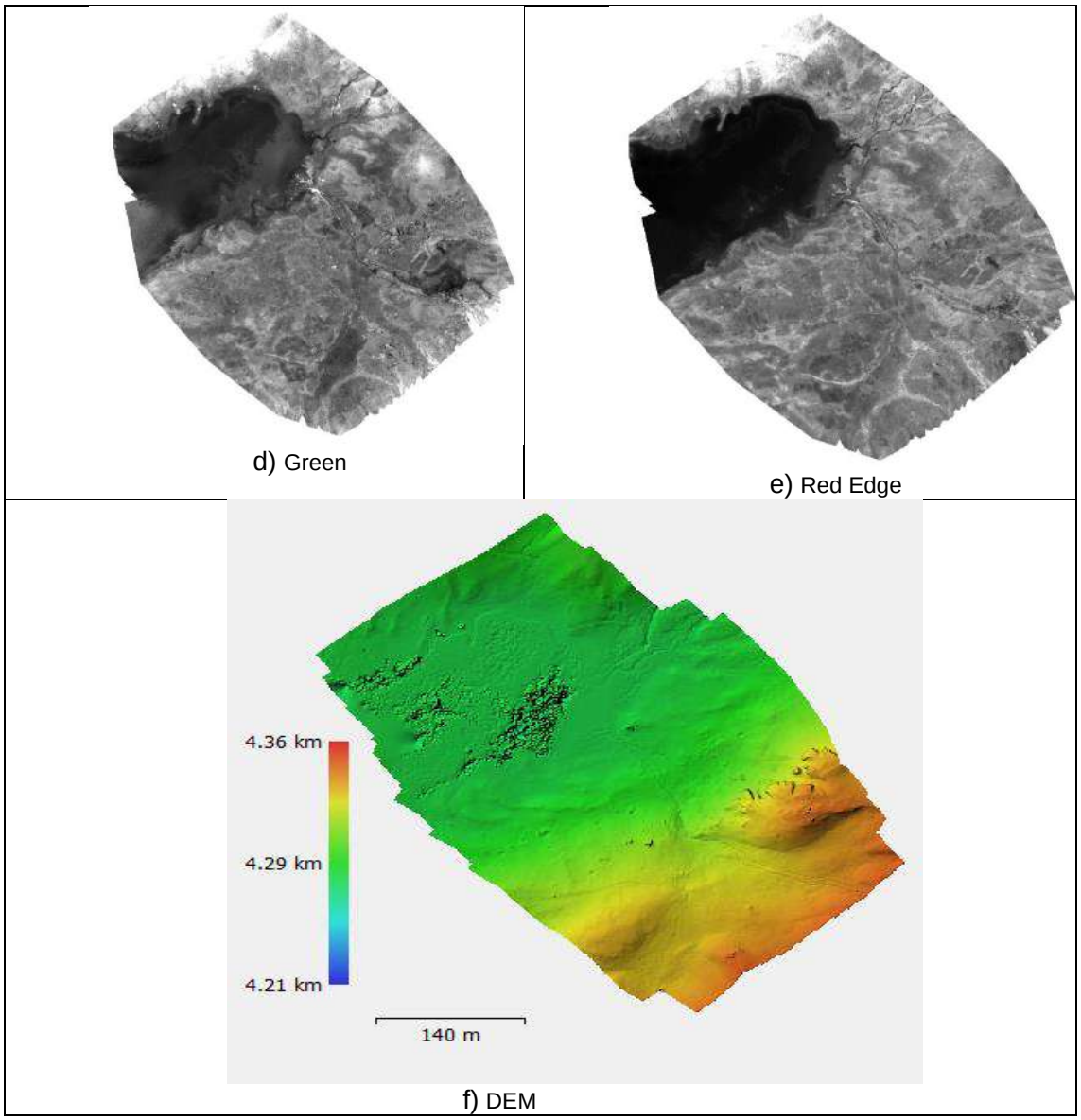


Figura 6.124. Ortomosaico RGB, **a)** hasta **e)** imágenes monocromas, **f)** Modelo digital del terreno

Índices de la formación vegetal

En esta zona se hizo un sobrevuelo de un área de 68,0763 ha, que conforma la formación de cobertura vegetal Césped con pajonal y bofedal en la que se realizó el análisis de los índices de vegetación de NDVI y NDRE. (Tabla 6.38; Tabla 6.39 y Figura 6.125; Figura 6.126).

Tabla 6.38. Información estadística de los índices de vegetación NDVI por cobertura

Descripción	Código	Área_Ha	Count_NDVI	Sum_NDVI	Mean_NDVI	Stdev_NDVI	Min_NDVI	Max_NDVI
Laguna	La	4,890	3396222,000	581984,604	0.171	0.136	-0.332	0.819
Césped	Ce	10,252	7119380,000	2960478,810	3.343	0.440	1.463	5.834
Bofedal	Bo	5,708	3963634,000	2045787,478	2.739	0.437	1.121	4.185
Roquedal	Ro	0,534	370733,000	139953,826	0.706	0.091	0.361	1.320

Tabla 6.39. Información estadística de los índices de vegetación NDRE por cobertura

Descripción	Código	Área_Ha	Count_NDRE	Sum_NDRE	Mean_NDRE	Stdev_NDRE	Min_NDRE	Max_NDRE
Césped	La	4.890	3396222.000	598321.902	0.176	0.059	-0.380	0.616
Bofedal	Ce	10.252	7119460.000	1748141.664	2.046	0.211	0.387	3.562
Roquedal	Bo	5.708	3963647.000	1047764.893	1.323	0.144	0.279	2.396
	Ro	0.534	370738.000	84548.801	0.443	0.054	0.124	0.772

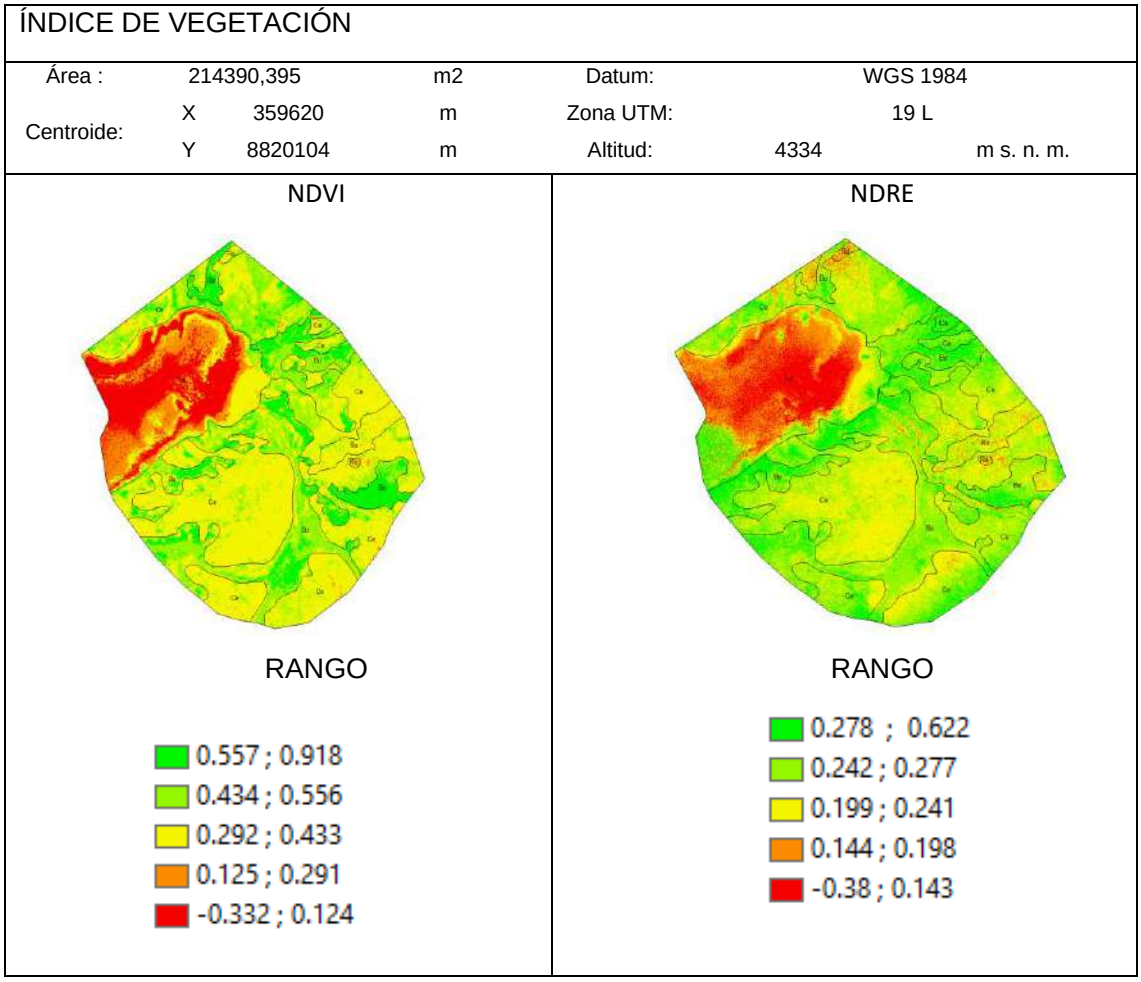
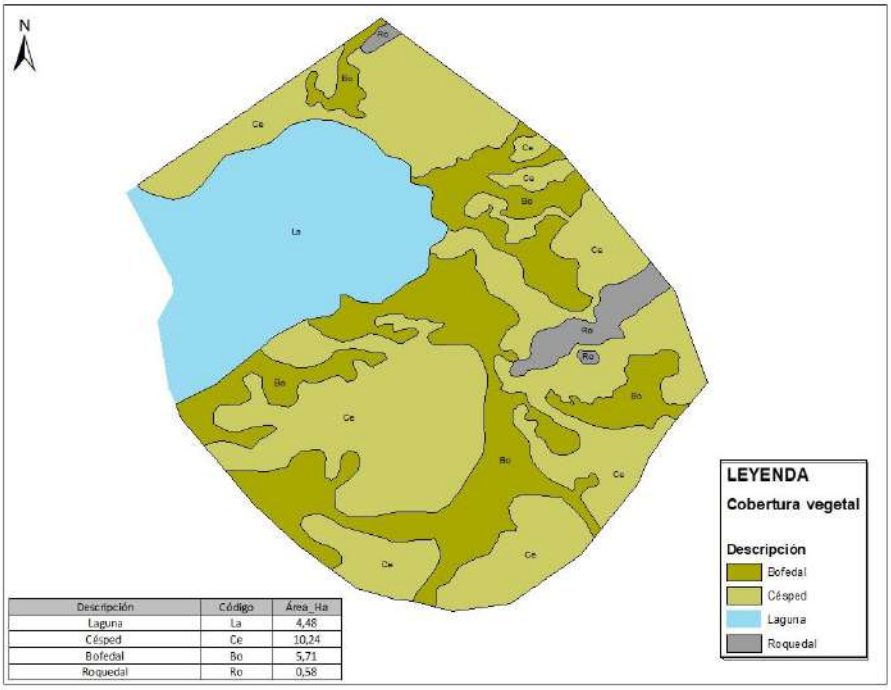


Figura 6.125. Índice de vegetación (NDVI y NDRE) de la formación vegetal



Descripción	Código	Área_Ha
Laguna	La	4,48
Césped	Ce	10,24
Bofedal	Bo	5,71
Roquedal	Ro	0,58

Figura 6.126. Cobertura vegetal de área sobrevolada

7. DISCUSIÓN

7.1. Influencia del Polvorín

Durante las actividades en campo se observó en el polvorín de la UF Cerro de Pasco, una descarga de agua ácida (ESP-POL) de 0,131 L/s con pH de 3,03 (agosto 2020) y 0,044L/s con pH de 2,87 (setiembre 2020). Dicha descarga discurre por una quebrada s/n hacia la laguna Quilcamachay, uniéndose en su trayecto con la mezcla de aguas de una segunda descarga proveniente de la infraestructura del polvorín (ESP-POL2) con pH de 8,35 y un caudal de 0,199 L/s, descargada mediante una tubería parcialmente enterrada, y los flujos de un bofedal en el sector. Dicha mezcla de aguas se muestreó en el punto denominado ESP-BK, de pH 7,40 en agosto 2020 (Figura 7.2). Además, se muestreó la laguna Quilcamachay en los puntos LQui-01 y LQui-02 (agosto 2020) y LQui-03 (setiembre 2020).

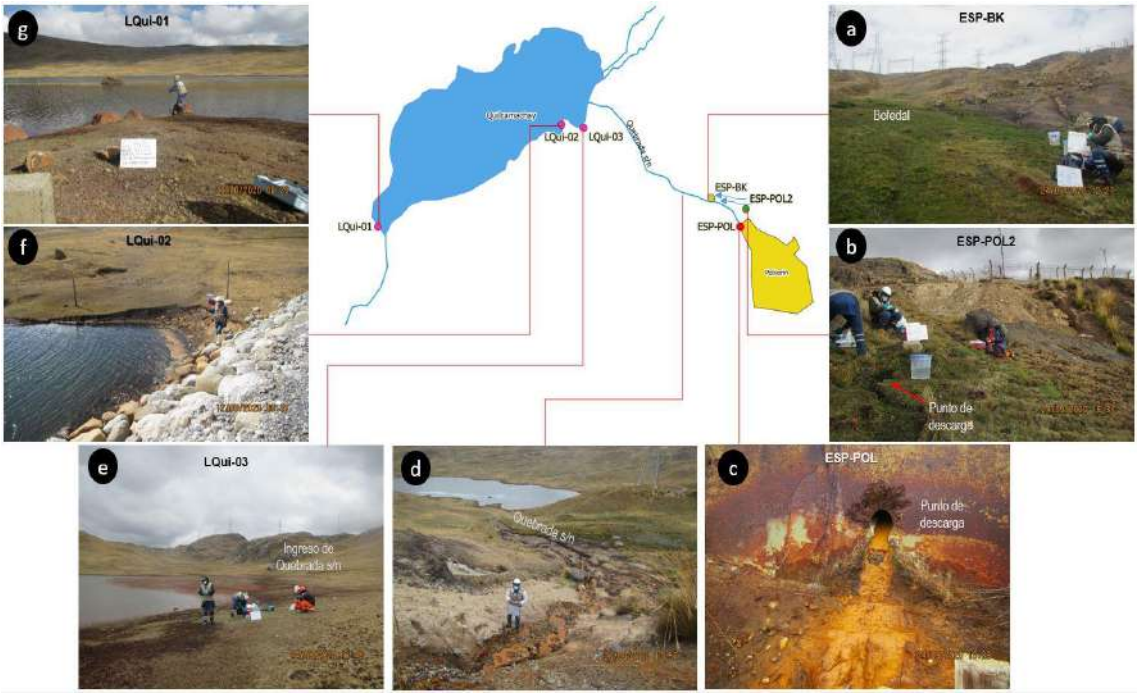


Figura 7.1. Secuencia de fotografias que muestran el flujo de agua desde su origen en el polvorin hasta la laguna Quicamachay, **a)** mezcla de aguas ESP-BK, b) punto de descarga ESP-POL2, c) punto de descarga ESP-POL, d) flujo de aguas acidas en quebrada s/n, **e) f) y g)**, puntos de muestreo en laguna Quicamachay.

Se observó que el material de relleno sobre el que está edificado el cerco perimetrico del polvorín, es un material de prestamo con contenido de minerales sulfurados (Figura 7.2). La presencia de carcavas en el material de relleno, originada por las descargas de aguas acidas desde el polvorin y la precipitación, muestra la erosion y trasporte de este material por la quebrada s/n hasta depositarse en el cono de deyección de la quebrada s/n, identificandose como parte del área de potencial interés (API-CS-CP) todo el tramo de la quebrada s/n entre el polvorin y la laguna (Figura 7.3).



Figura 7.2. Resultado de presencia de minerales en el punto CS-CP6-1, material de relleno del cerco perimetral del polvorín



Figura 7.3. Sector Polvorín **a)** Dirección de flujo de agua desde el polvorín hacia la laguna Quilcamachay, **b)** punto CS-CP6 ubicado en el exterior del cerco perimetral del polvorín y **c)** vista panorámica

Se obtuvieron tres muestras de suelo en el cono de deyección de ingreso de las aguas acidas provenientes del polvorín a la laguna Quilcamachay: CS-CP71, CS-CP72 y CS-CP73, una muestra aledaño al tramo de la quebrada s/n CS-CP75 y dos muestras del material de relleno CS-CP6 y CS-CP6-1, asi como dos muestras de nivel de fondo aledaño a la laguna y tramo de la quebrada s/n CS-CP74 y CS-CP76.

Las muestras CS-CP6 y CS-CP6-1 presentan concentraciones de arsénico y plomo que superan ampliamente los ECA para suelo 2017 de uso agrícola y los valores de nivel de fondo en todos los puntos; siendo el punto CS-CP6-1 el punto más crítico donde las concentraciones de arsénico y plomo superaron en 3402 % y 7871,4 % la norma en mención y en 2050,8 % y 1502,5 % los valores del nivel de fondo respectivamente; así mismo cadmio superó en 3 de 6 puntos la mencionada norma y presentó su mayor concentración en el punto CS-CP6 donde superó en 1001,1 % la norma y en 1774 % el valor del nivel de fondo, ambos puntos fueron muestreados en el material de préstamo que forma parte de la base de estabilización del cerco perimetral del polvorín; cabe mencionar que las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en el suelo van en aumento desde el punto del tramo de la quebrada sin nombre (CS-CP75) hacia la laguna Quilcamachay, siendo el cono de deyección el sector donde es acumulado este material de arrastre y es generandor de una gran carga de metales (Figura 7.4).

De la misma manera el cobre presentó el mismo comportamiento que los metales mencionados anteriormente, donde la mayor concentración se presentó en el punto CS-CP6-1 muestreado en el material de relleno, cabe precisar que todos los puntos muestreados en esta parte del API superaron referencialmente los valores de la guía canadiense para suelo, uso agrícola, en donde el cobre superó en 6260,3 % los valores de la mencionada guía y en 6625,4 % el valor del nivel de fondo. Además, las concentraciones de hierro de las muestras de esta parte del API superaron en todos los puntos al valor del nivel de fondo, siendo su valor más alto 209426 mg/kg en el punto CS-CP6-1 (Figura 7.4).

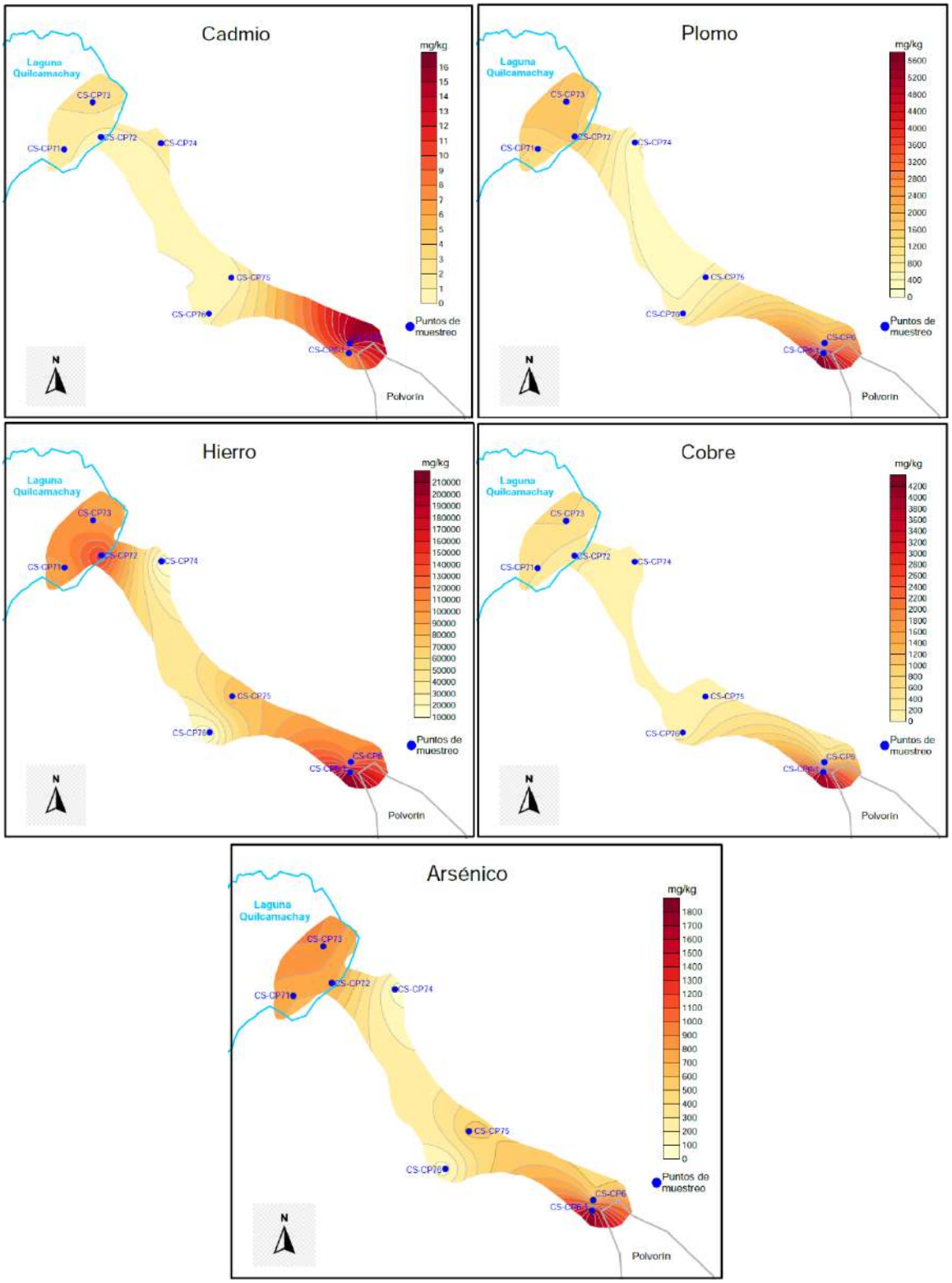


Figura 7.4. Distribución espacial de las concentraciones de **a)** cadmio, **b)** plomo, **c)** hierro, **d)** cobre, y **e)** arsénico

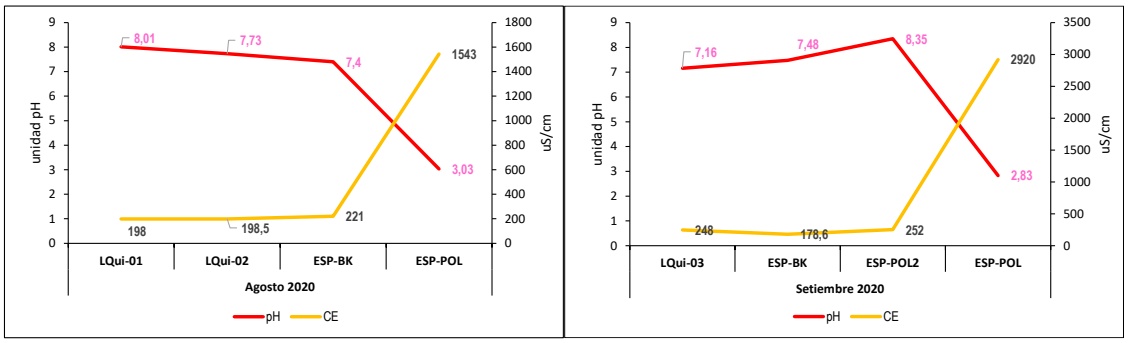
Galán *et al.* (2008) menciona que, de todos los elementos traza encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Éstos son: plata, arsénico,

bismuto, cadmio, cobalto, cobre, mercurio, níquel, plomo, paladio, platino, antimonio, selenio, estaño, teluro, talio y zinc.

De acuerdo a lo mencionado, la elevada carga de metales que son transportados a la laguna Quilcamachay y depositados en el cono de deyección provenientes del material de prestamo de la base del cerco perimetral del polvorín esta contaminando el suelo aledaño a la quebrada sin nombre, siendo este suelo una fuente de contaminación secundaría, que en época de avenidas podría generar el aporte de metales a la laguna antes mencionda, estos metales como el arsénico, cadmio, plomo y cobre son biodisponibles de acuerdo a los resultados de extracción secuencial por la metodología de Tessier, además los suelos muestreados presentan una composición química de minerales conformados principalmente por sulfuros de hierro que son generadores de drenaje ácido de mina.

El análisis de los resultados fisicoquímicos de los puntos de agua, reportaron que las aguas acidas provenientes del polvorín (ESP-POL), presentaron los mayores valores de conductividad eléctrica, concentración de sulfatos y sólidos totales disueltos, así como metales totales arsénico, cobre, plomo, zinc y hierro disuelto en concentraciones que superaron la comparación referencial con los LMP para efluentes minero-metalúrgicos (2010), presentándose las mayores concentraciones en el mes de setiembre (Figura 7.5).

En la laguna Quilcamachay los puntos ubicados cercano a la descarga de la quebrada s/n proveniente del polvorín, presentaron concentraciones de cobre y plomo (LQui-02 y LQui-03), así como, arsénico y zinc (LQui-03) que superaron el ECA para agua 2008, Cat. 4. Así mismo, el plomo en el punto LQui-01, cerca al dique de la laguna, supero la normativa en referencia. Resultados similares se presentaron en sedimento, donde las concentraciones de metales en el punto LQui-02 fueron superiores respecto a los presentados en LQui-01; en ambos puntos, las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc superaron los valores ISQG y PEL de la guía canadiense, a excepción del cadmio y cobre en LQuil-01 que solo supero los valores ISQG. Cabe resaltar que los resultados de Tessier en sedimento (LQui-02), señalaron que los metales cobre, arsénico, cadmio, plomo y zinc presentaron concentraciones en fase biodisponible; a diferencia del mercurio cuyas concentraciones están como no biodisponibles (Figura 7.5).



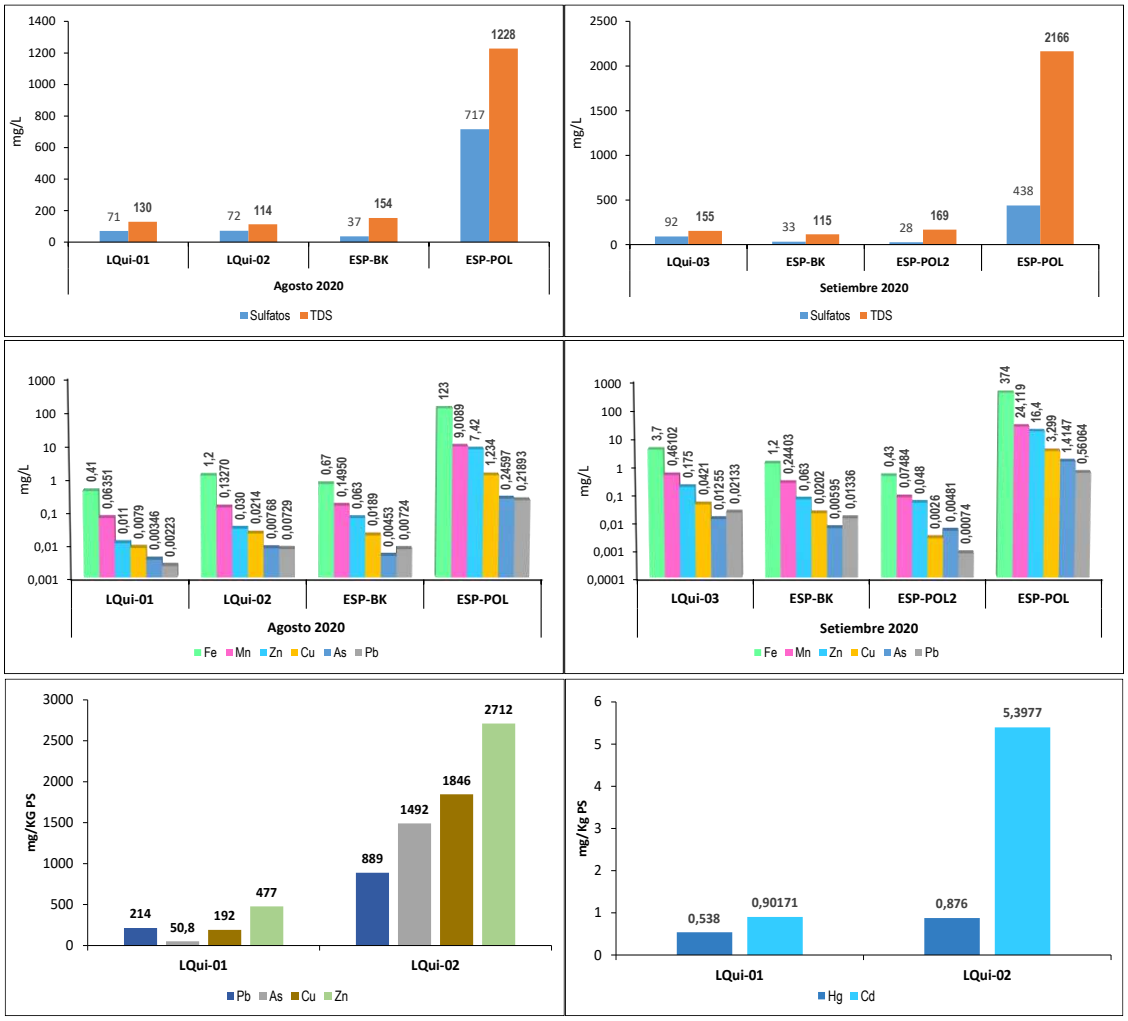


Figura 7.5. Resultados de **a)** pH y conductividad eléctrica **b)** concentraciones de sulfatos y solidos totales disueltos **c)** hierro, manganeso, zinc, cobre, arsénico y plomo en agua en agosto y setiembre 2020, y **d)** plomo, arsénico, cobre y zinc en sedimento en agosto 2020

En base a lo determinado en agua y sedimento, se observó que el fitoplancton presentó una mayor riqueza de especies en el punto LQui-02, resaltando los phyla Ochrophyta, Chlorophyta y Bacillariophyta; sin embargo, este punto presentó una menor abundancia, especialmente de Ochrophyta (Figura 7.6). Es importante mencionar que en el punto LQui-02, con altas concentraciones de plomo, cobre, arsénico y zinc, se registró la predominancia de géneros considerados tolerantes a la contaminación como *Pinnularia* y *Fragilaria* (Bacillariophyta), *Scenedesmus* y *Ankistrodesmus* (Chlorophyta), Euglena y Trachelomonas (Euglenozoa) y se encuentran en ambientes eutróficos (Palmer, 1969). Se destaca la presencia del género *Pseudanabaena* en ambos puntos de muestreo, el cual es tolerante a altas concentraciones de metales (Rand *et al*., 2010).

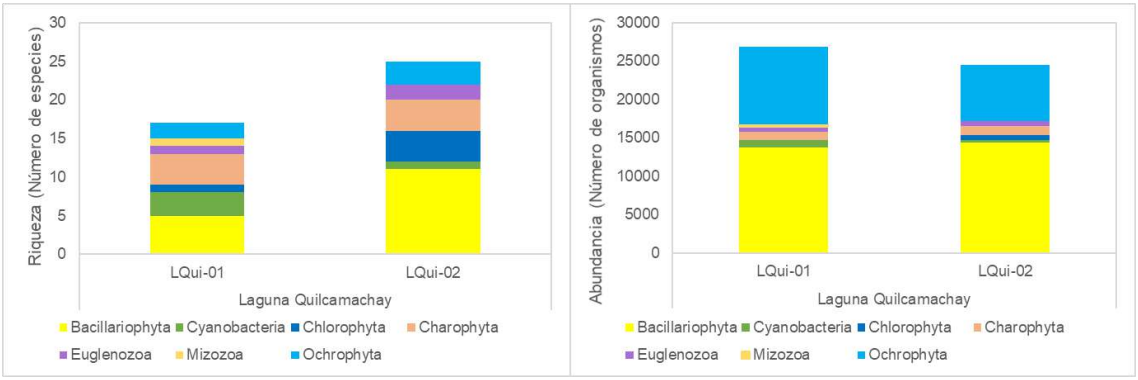


Figura 7.6. a) Composición y riqueza de fitoplancton (microalgas), agosto 2020; **b)** Abundancia de fitoplancton (microalgas), agosto 2020

En base a las concentraciones de metales biodisponibles en sedimento, en la evaluación de macroinvertebrados bentónicos se evidenció una menor riqueza en el punto LQui-02 con 10 especies; sin embargo, este punto registró una mayor abundancia, especialmente de Díptera (Figura 7.7), considerados tolerantes a los cambios medioambientales (Domínguez y Fernández, 2009). Es importante mencionar que en el punto LQui-02, se registró cobre, arsénico, cadmio, plomo y zinc en fase biodisponible; además, de la predominancia de grupos considerados tolerantes como Haplotaxidae, Chironomidae y Lymnaeidae (Acosta *et al*., 2009; Domínguez y Fernández, 2009). El orden Díptera se caracteriza por ser colonizadores oportunistas (Armitage y Blackburn, 1990; Munn y Brusven, 1991; Torralva et al., 1996), siendo la familia Chironomidae utilizada como indicadora de varios niveles tróficos de contaminación acuática (Wolff 2006). El orden Haplotaxida se encuentra en una gran variedad de hábitats desde aguas corrientes a estancadas, y algunos grupos son abundantes en zonas con altos niveles de polución orgánica (Encalada *et al*., 2011).

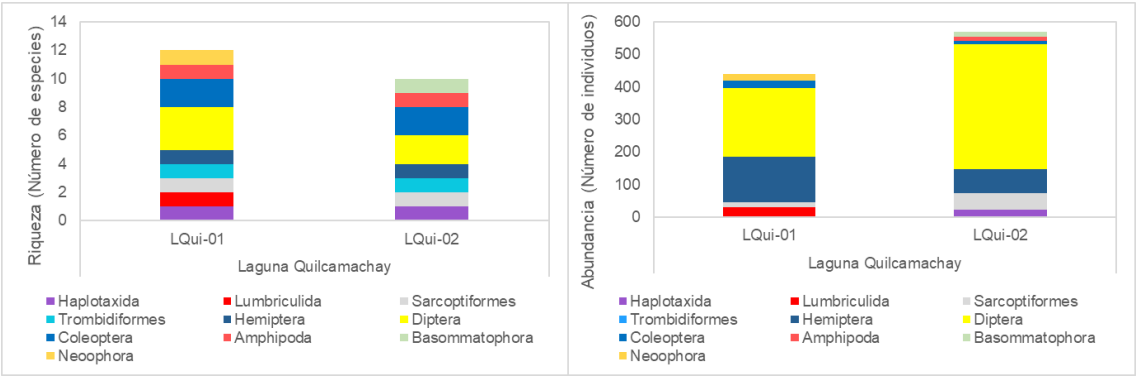


Figura 7.7. a) Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos y **b)** Abundancia de macroinvertebrados bentónicos, agosto 2020

De lo expuesto, se determinó como fuentes aportantes de elementos contaminantes al vertimiento ESP-POL y al material de relleno de la base del cerco perimétrico del polvorín de la UF Cerro de Pasco. Ambos influyen tanto en la quebrada s/n como en la laguna Quilcamachay (agua, sedimento) y en suelos aledaños. Además, el análisis del índice NDWI de imágenes satelitales de 1985 al 2020 (Anexo 13), muestra que hay disminución del volumen de agua de la laguna.

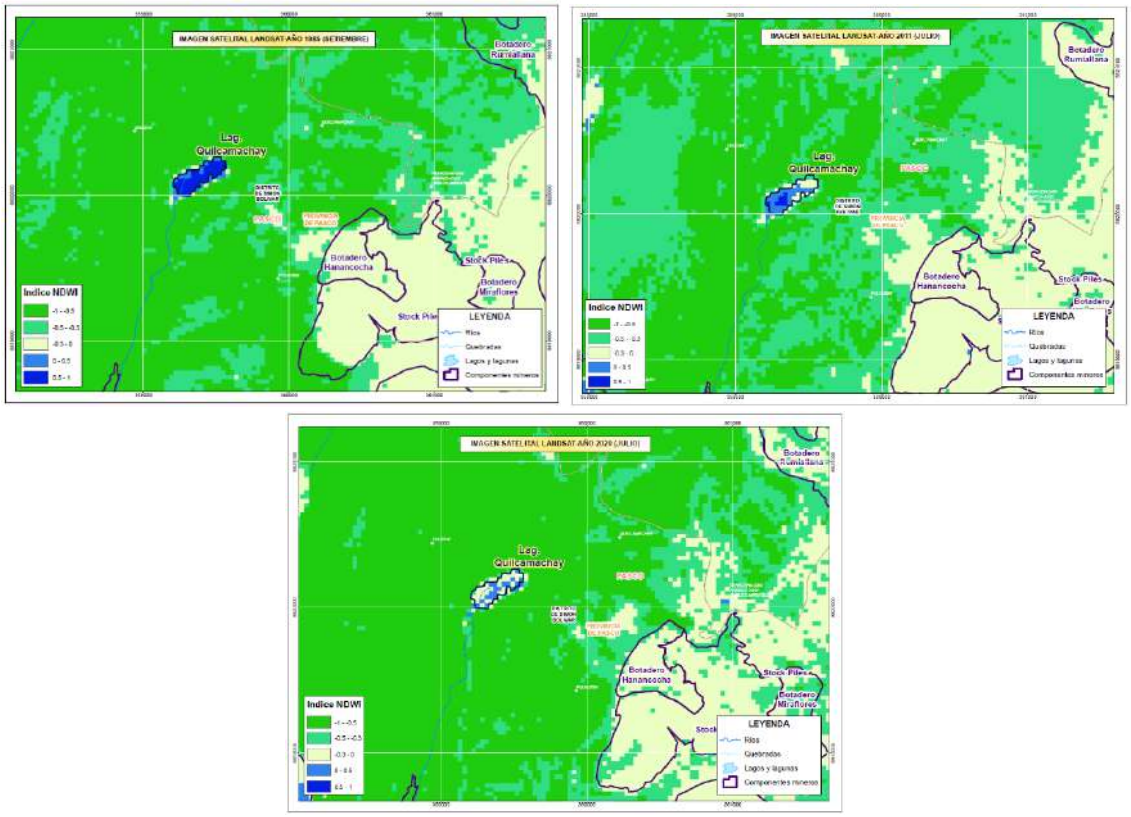


Figura 7.8 Análisis del índice NDWI en la laguna Quilcamachay para los años 1985 (setiembre), 2011 (julio) y 2020 (julio)

7.2. Influencia de stock pile Aeropuerto y Pampa Seca

El *stock pile* Aeropuerto[30] se encuentra ubicado al noreste de la Planta de Neutralización y margen derecho del tramo canalizado del río Ragra, siendo su límite la ruta de acceso de este sector, según se señala en el Segundo Informe Técnico Sustentatorio para la Implementación de Medidas Ambientales Complementarias (ITS 2018). En la Figura 7.9 se detalla la ubicación del *stock pile* Aeropuerto en relación con la canalización del río Ragra.

30 En el estudio hidrogeológico (2020) de la UF Cerro de Pasco, indican al *stock pile* Aeropuerto como parte del stock pile Pampa Seca; sin embargo, en el presente informe se mantiene el nombre de la zona como Aeropuerto, según indican sus IGA.

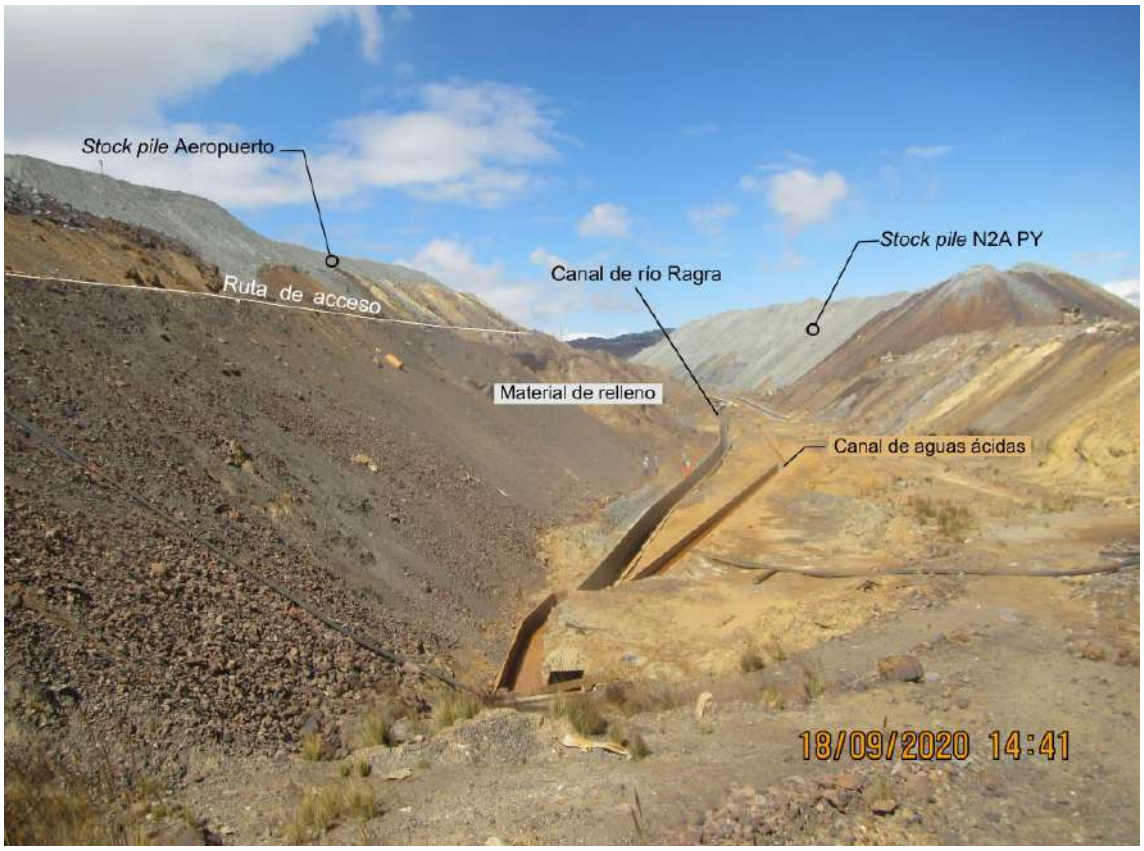


Figura 7.9. Ubicación de *stock pile* Aeropuerto y material de relleno con relación al canal del río Ragra

Los resultados de las muestras del *stock pile* mostraron que son potenciales generadores de acidez; coincidente con la geoquímica presentada en el EIA 2010. Asímismo, posee mayor concentración de hierro, debido a su composición de minerales como pirita, calcopirita, goethita, óxidos de hierro, manganeso y zinc; siendo estos dos últimos elementos los que se encuentran en mayor concentración entre los elementos traza y son más móviles a sistemas acuosos bajo pH neutros. Además, de acuerdo a las pruebas de *shake flask*, el sulfato se encuentra más movil que los demás aniones debido a su alto contenido de azufre detallado en el Estudio hidrogeológico de la unidad Cerro de Pasco (2020).

Del estudio de tomografía de resistividad eléctrica en este sector se infirió la existencia de humedad al interior del material (lixiviado) el cual fluye en sub superficie hacia el canal del río Ragra y profundiza por debajo del lecho del mismo. Este flujo que estaría originándose a la altura de la línea LT-02, profundiza y se desvía lateralmente, atravesándolo por debajo del lecho del canal en dirección a la línea LT-05 en sentido de la pendiente, abarcando una profundidad de hasta 6 metros aproximadamente y un ancho aproximado de 56 metros, con valores de resistividad de 3,4 a 9 Ohm.m (LT-02) y 4,5 a 9 Ohm.m (LT-05) (Figura 7.10).

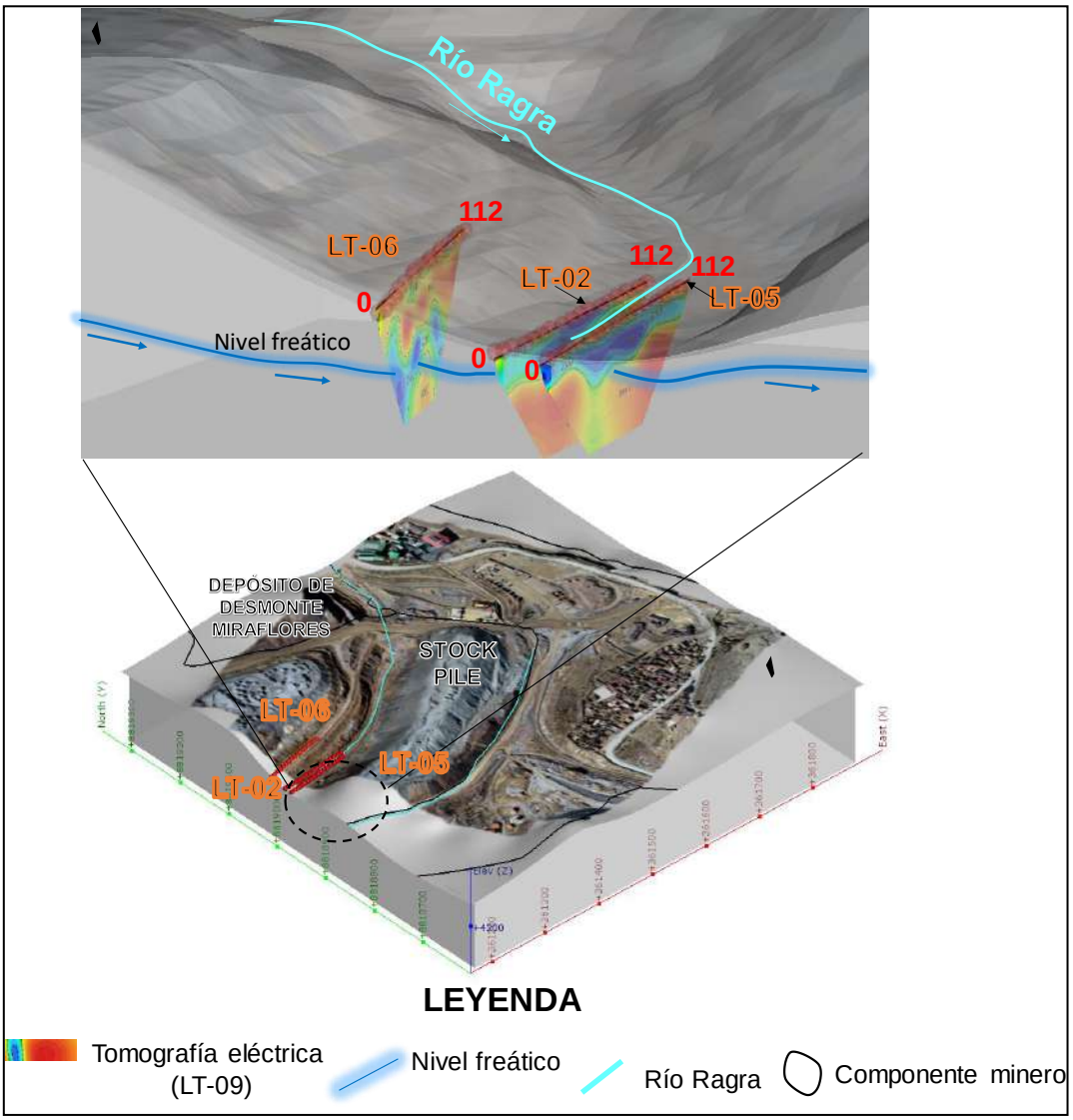
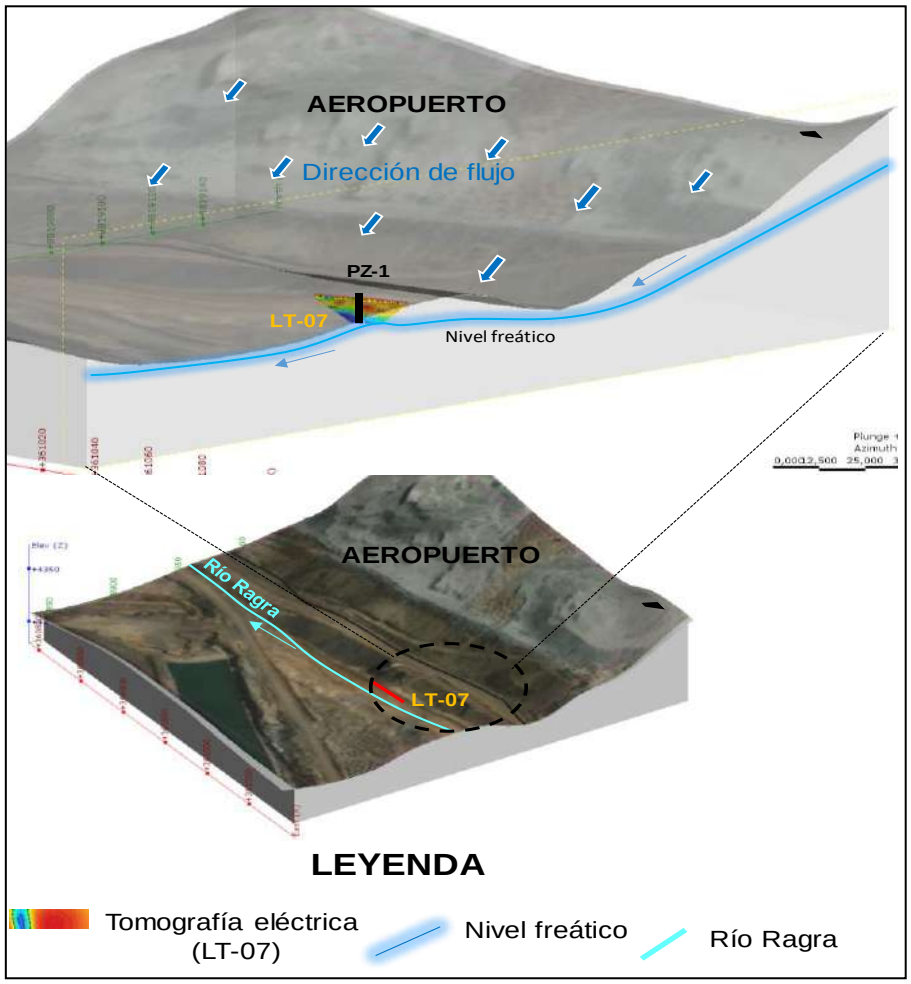


Figura 7.10. Secuencia de líneas de tomografía de resistividad eléctrica, mostrando zonas saturadas en LT-02 y LT-05

Del mismo modo, en la línea tomográfica LT-07, ubicada aproximadamente a 135 metros al oeste de la línea LT-05, en el *stock pile* Aeropuerto, se identificó una zona (zona A) de resistividades de 1,8 a 5,6 Ohm.m., ubicado entre las estaciones 4 y 24 a profundidades de 6 metros aproximadamente, asociados a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas (Reynolds, 2011). Las características sulfatadas y pH ácido del piezómetro PZ-1 coincide con la presencia de lixiviados inferidos en el perfil tomográfico (Figura 7.11).



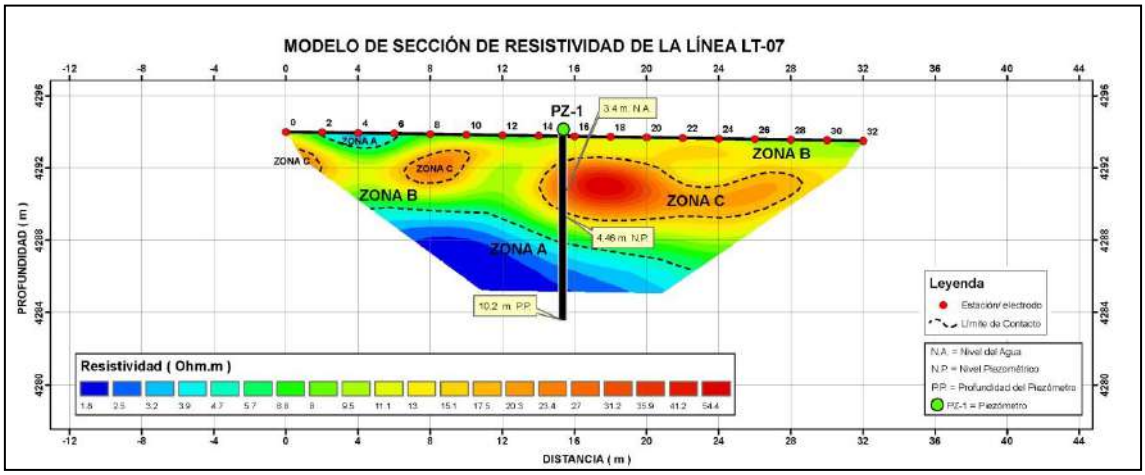


Figura 7.11. Esquema de ubicación de la línea LT-07 y modelo de sección de resistividades mostrando zonas saturadas

En la zona se realizó la evaluación de dos puntos de muestreo de agua subterránea PZ-1 y DH-18-02 (setiembre 2020), así como también del punto ESP-3 (canal de colección de aguas ácidas, setiembre 2020). La clasificación hidrogeoquímica (diagrama de Stiff) de dichas muestras indicaron la misma clasificación en el piezómetro PZ-1 y en el punto ESP-3 que se encuentran en la facie sulfatada magnésica, a diferencia del piezómetro DH -18-02 que se encuentra en la facies sulfatada cálcica.

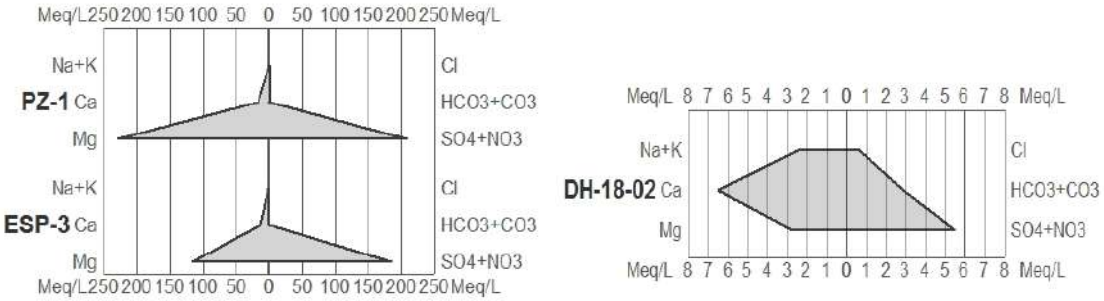


Figura 7.12. Graficas de Stiff de los piezómetros PZ-1 y DH-18-02, y punto de agua residual ESP-3

Del análisis de los resultados fisicoquímicos se determinó que PZ-1 tiene pH ácido (2,23), alta conductividad (27700 mg/L µS/cm), y concentración de sulfatos (> 10000 mg/L), aluminio total (275 mg/L), arsénico total (11,174 mg/L), cadmio total (4,4179 mg/L), calcio total (352 mg/L), cobalto total (0,32130 mg/L), cobre total (78,57 mg/L), hierro total (11215), magnesio total (3222 mg/L), manganeso total (2051 mg/L), mercurio total (0,192560 mg/L), níquel total (0,8752 mg/L) y zinc total (2403 mg/L) que fueron comparados de forma referencial con el ECA Cat. 3 (2008), superando dicho estándar. A diferencia del piezómetro DH-18-02, en el cual se observa que algunos elementos superan el mencionado estándar como son las concentraciones de arsénico (0,53380 mg/L), hierro total (7,8 mg/L), y manganeso total (2,5720 mg/L).[31]

En el punto de muestreo ESP-3, los resultados obtenidos fueron comparados referencialmente con los LMP 2010, obteniéndose valores que superan la norma en varios parámetros como conductividad eléctrica (10630 mg/L), arsénico total (7,1033 mg/L), cadmio total (0,50000 mg/L), cobre total (9,558 mg/L), hierro disuelto (1097 mg/L), magnesio total (1476 mg/L), plomo total (0,22891 mg/L) y zinc total (287 mg/L), además de tener un pH ácido (2,98). En la Figura 7.13 se muestran los resultados de piezómetros y el agua residual (ESP-3).

[31] Cabe mencionar que UM Cerro de Pasco manifiesta no contar con registros de calidad de aguas subterráneas tal como señala el Informe Técnico Sustentatorio del Estudio de Impacto Ambiental Excepcional Planta Complementaria para el Beneficio de Oxidados – "Implementación de Medidas de Manejo Ambiental Complementarias para las Operaciones de los Stockpiles Óxidos", sin embargo se cuenta con los resultados del primer monitoreo del piezómetro PZ-1 después de su instalación, inicialmente codificado como PM06-6 zona StockPile (E 361251, N 8819328), tal como consta en el Informe Preliminar «Investigación Hidrogeológica de la Mina Subterránea y de las Facilidades Superficiales de la Unidad Minera Cerro de Pasco» que fue elaborado para generar información para la elaboración del Plan de Cierre de la UEA Cerro de Pasco.

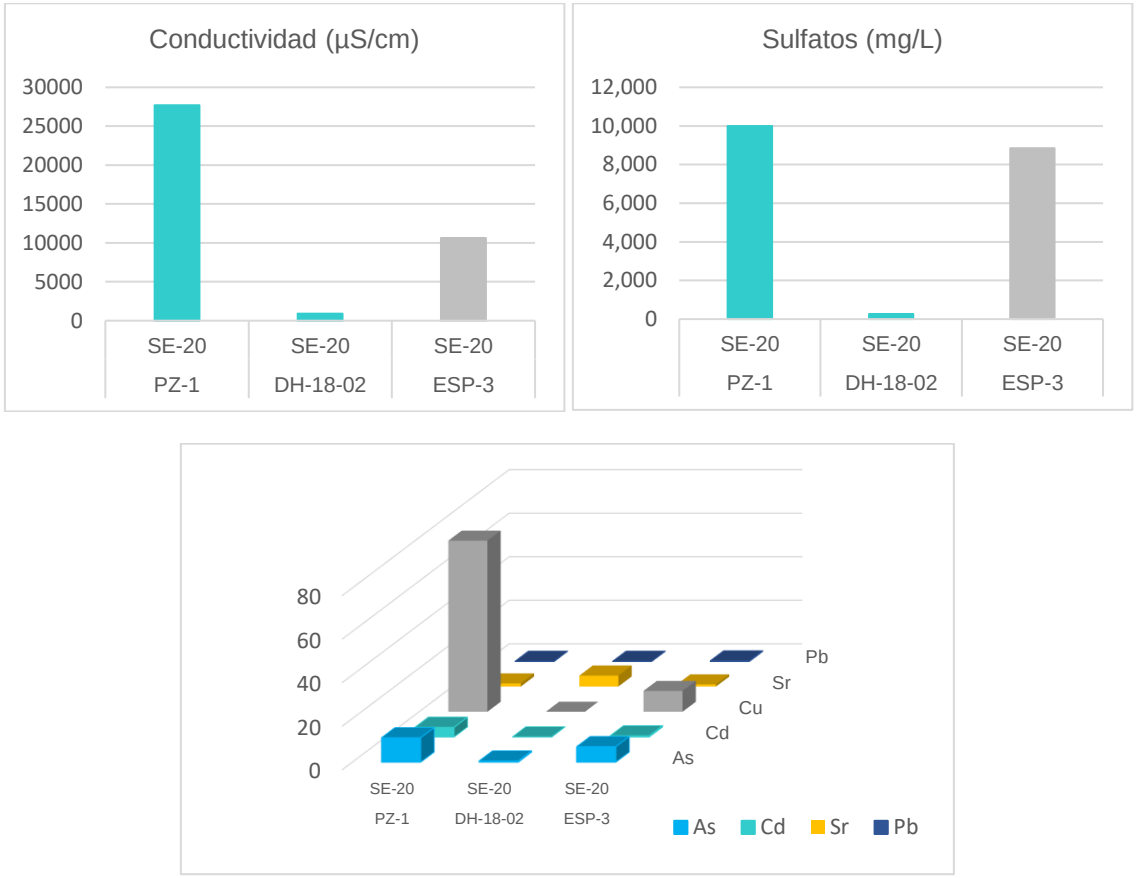


Figura 7.13. Resultados de a) conductividad, b) sulfatos y c) metales en agua subterránea (PZ-1 y DH-18-02) y agua residual (ESP-3)

De los resultados, se determinó que el piezómetro denominado PZ-1 (PM6-06, del estudio hidrogeológico 2006) está influenciado en su calidad por las aguas de contacto (ESP-3) del *stock pile* Aeropuerto en la concentración de metales y pH. Del mismo modo, en el sector Pampa Seca, el EIA (2008) menciona que «el agua subterránea en el pozo PM06-7 y en el piezómetro Pampa Seca (410) indican altos niveles de contaminación del agua subterránea (muy bajo pH, muy alto STD, elevados metales pesados, sulfatos y fluoruros) asociado con operaciones de lixiviados de cobre en esta área».

Los resultados obtenidos del estudio geofísico y la muestra de agua subterránea coinciden en evidenciar presencia de lixiviados de los *stock piles*. Conforme lo manifestado por el administrado en el Informe de Investigación Hidrogeológica, el 21 % de las aguas de infiltración fluyen hacia la mina subterránea, 30 %, corresponde a escorrentías que son captadas en los drenes de lixiviación, y el 49 % corresponde a aguas de infiltración que descargan desde los *stock piles* hacia los drenes de derivación.

Según información presentada por el administrado[32], las aguas de contacto generadas por el riego de los *stock piles* y la precipitación pluvial tiene dos destinos. El primero, las aguas que no infiltran son captadas en el canal de coronación y derivadas a la planta de neutralización para tratamiento. En segundo lugar, las aguas de infiltración (aproximadamente el 70% o 3 L/s se infiltra) se dirigen hacia el cono de depresión del desaguado de mina y son manejadas como agua de contacto. Según el estudio

32 Recurso impugnatorio presentado por Óxidos de Pasco SAC, como parte del Expediente N° 214-2018-OEFA/DFAI/PAS. En Resolución Directoral N° 1004-2018-OEFA-DFAI aprobada el 28 de mayo 2018

hidrogeológico (2020), los lixiviados no captados migran verticalmente a las aguas subterráneas de dirección noroeste a sureste. En la Figura 7.14 se muestra los flujos subterráneos en este sector.

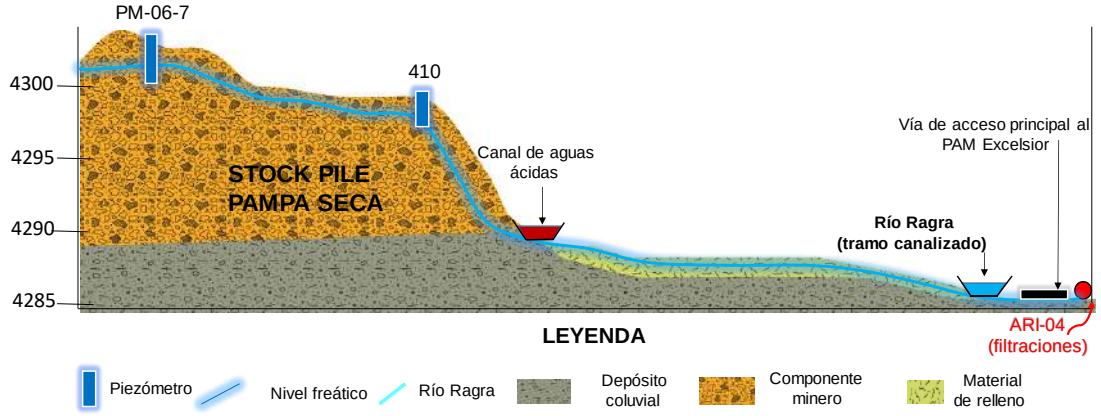


Figura 7.14. Esquema conceptual del comportamiento hidrodinámico del stock pile Pampa Seca y canal de aguas ácidas

Con relación a ello, el Informe N° 00244-2020-OEFA/DEAM-STEC, Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del pasivo ambiental minero depósito de desmontes Excelsior a cargo de Activos Mineros S.A.C. en el 2020, determinó la existencia de filtraciones (ARI-02, ARI-03 y ARI-04) que afloran en la margen derecha del canal de aguas ácidas del PAM Excelsior (debajo de la vía de acceso principal al PAM Excelsior) con caudales acumulados de 0,26 L/s, caracterizados con pH ácido (2,66 – 2,83 unidades de pH), conductividades elevadas (8980 – 11380 µS/cm) y altas concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, zinc total y hierro disuelto, además de facies sulfatadas magnésicas; estas características fueron similares a las filtraciones colectadas al pie del talud del Stock Pile Pampa Seca de la Empresa Administradora Cerro S.A.C. según el Estudio hidrogeológico realizado por Amphos (2020). Estos flujos corresponden a lixiviados no captados en el sistema de colección de aguas de contacto del Stock Pile de Cerro S.A.C.

El canal de aguas ácidas de Excelsior recibe aportes de aguas de los *stock piles* Pampa Seca, por ello se deben contemplar compromisos de manejo, como los asumidos en el programa de mantenimiento del Segundo Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco para la implementación de Medidas Ambientales Complementarias[33], el cual menciona que las aguas de contacto de los *stock piles* deben ser trasladadas mediante canales de derivación hacia la planta de tratamiento; asimismo, el administrado se compromete a realizar actividades de mantenimiento y limpieza de dichos canales.

7.3. Influencia de los depósitos de desmonte al aire y material de polvo sedimentado (MPS)

El monitoreo de la calidad de aire para material particulado con diámetro menor a 10 micras PM_{10} entre el 6 y 16 de agosto 2020 en la estación CA-SB-01, ubicado en el parque infantil del centro poblado Paragsha, presentó concentraciones entre 11,5 a 65,4 µg/m3, las cuales no excedieron el valor establecido en los ECA para aire 2001[34] de PM_{10} (150 µg/m^3), estos valores registrados concuerdan con los reportados entre enero y diciembre 2019 por el

[33] Aprobado mediante Resolución Directoral N° 27-2018-SENACE-JEF/DEAR
[34] Para un periodo de 24 horas, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 074-2001-PCM

OEFA[35] en esta estación, donde el PM_{10} presentó valores menores a los 100 µg/m^3, así como los reportados por Empresa Administradora Cerro S.A.C. entre enero 2018 y diciembre 2019 en la estación E-201[36] (a 380 metros al NEE de CA-SB-01), donde se registró concentraciones de 1,07 a 62,015 µg/m^3.

La concentración de arsénico y plomo en PM_{10} cumplieron con los valores establecidos en el estándar de comparación ambiental (NMP Aire y en el ECA Aire 2001, respectivamente). En cuanto al manganeso, presentó concentraciones de 0,0156 a 0,404 µg/m^3 que excedieron al valor referencial de 0,2 µg/m^3 de los Criterios de Calidad Ambiental del Aire de Ontario – Canadá. De forma similar, en los puntos de polvo sedimentable del parque infantil de Paragsha, se registraron las mayores concentraciones de manganeso (mayor a 7000 mg/kg) en material particulado sedimentable (en adelante, MPS).

El MPS fue evaluado frente a los componentes: planta Paragsha, botadero Rumiallana, Corasma - Rumiallana, botadero Hanancocha (en el AA. HH José Carlos Mariátegui), Stock pile (en el parque infantil Paragsha) y botadero Miraflores (en estadio Paragsha), presentaron concentraciones de 3,6 a 20,69 g/m^2/mes de MPS, superando el 85 % de receptores el valor referencial establecido por la New South Wales de la EPA Australia (4 g/m^2/mes).

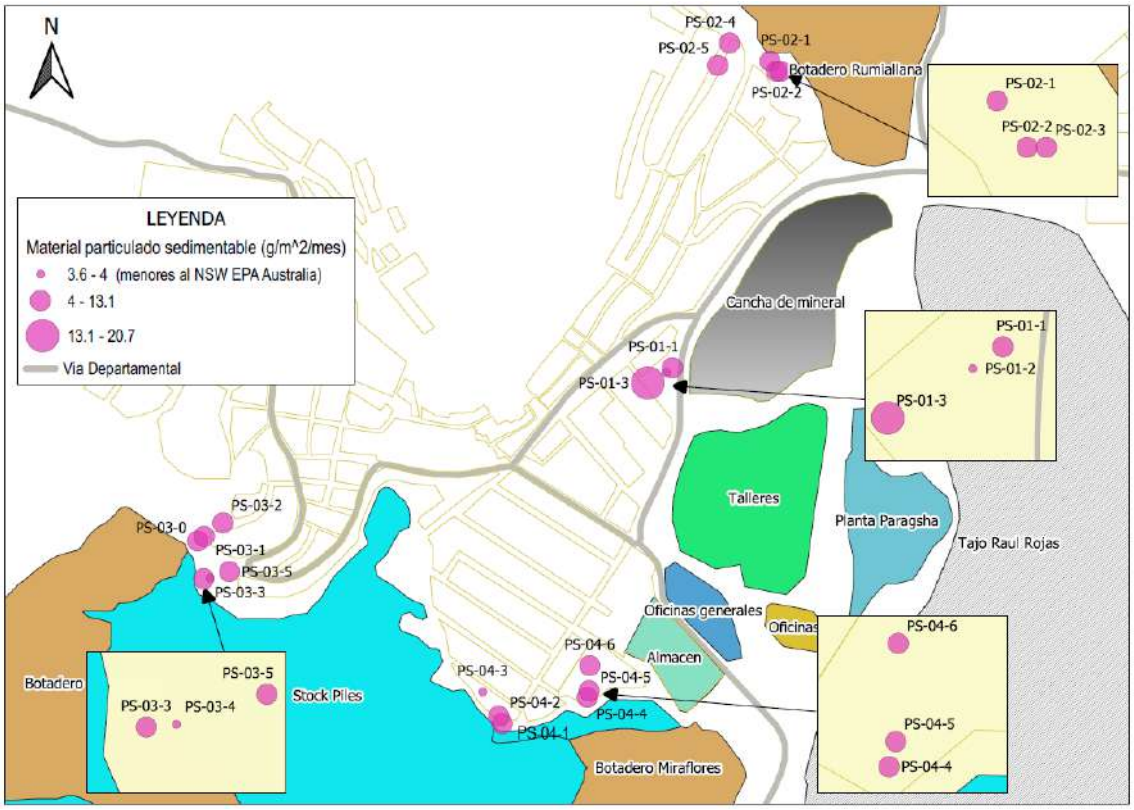


Figura 7.15. Distribución de las concentraciones de MPS

[35] Vigilancia ambiental de la calidad del aire realizada en el centro poblado Paragsha, distrito Simón Bolívar, provincia y departamento Pasco, de enero a diciembre del 2019, aprobado el 13 de febrero 2020 con informe N.° 00011-2020-OEFA/DEAM-STEC

[36] Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco, aprobado el 18 de agosto 2020 con Resolución Directoral N° 00097-2020-SENACE-PE/DEAR

La caracterización de metales en MPS presentó los valores más altos en los receptores ubicados en el parque infantil y el estadio del centro poblado Paragsha, seguida de los ubicados frente a la planta Paragsha y botadero Hanancocha, donde los elementos como bario, manganeso, zinc y plomo presentaron concentraciones superiores a 1000 mg/kg. En la Figura 7.15 se muestra la distribución de las concentraciones de plomo, arsénico, cobre, cadmio, zinc y mercurio.

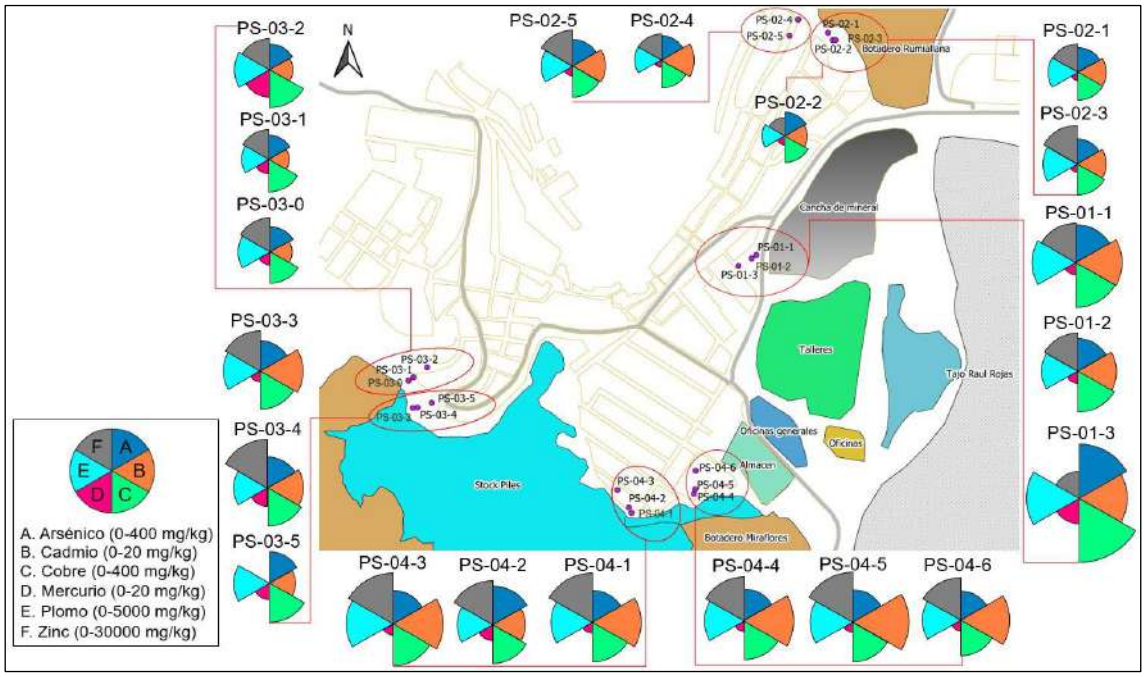


Figura 7.16. Distribución de las concentraciones de metales en material particulado sedimentable para arsénico, zinc, plomo, cadmio, cobre y mercurio, evaluados en el ámbito de la UF Cerro de Pasco

Se identificó como fuentes de metales en MPS a los componentes de la UF Cerro de Pasco, tales como los botaderos Hanancocha (CMOxP1), Rumiallana (CMOxP7 y CMOxP8), Miraflores (CMOxP2 y CMOxP3), el *stock piles* (CMOxP4) y cancha de mineral en la planta de Paragsha (CMOxP15 y CMOxP16), así como al suelo degradado del API-CS-CP.

Para determinar si existen relaciones entre las concentraciones de metales (arsénico, cadmio, plomo, mercurio, manganeso, zinc, estaño y cobre) en suelo, componente minero y polvo sedimentable, se realizó el análisis de coordenadas principales (PCO)[37], el cual presentó el ordenamiento de los puntos en base a las distancias considerando las dos primeras coordenadas que sumadas explican el mayor porcentaje de la varianza total (>65%), además sobre el PCO se proyectaron los vectores (metales) de mayor correlación (Pearson 0,7), con la finalidad de explicar su influencia sobre el ordenamiento de los puntos (Figura 7.17)

Los resultados de PCO mostraron que en el sector ubicado frente a la planta Paragsha, los puntos de MPS (PS-01-2 y PS-01-3), componente minero (CMOxP15) y suelo (CS-CP60-Ap) presentaron concentraciones similares (principalmente en cadmio, manganeso y zinc), siendo más próximas las concentraciones entre el componente (pila de minerales en planta

[37] El análisis de coordenadas principales permite ordenar los puntos en un espacio de dimensionalidad reducida conservando sus relaciones de distancia de la matriz de similitud; utilizando distancias euclidianas (Legendre y Legendre, 2012).

Paragsha) y el polvo sedimentado (en el sector frente a la planta Paragsha PS-01-2 y PS-01-3), mostrando así, que la ruta de aporte fue del componente al suelo a través del polvo sedimentable. En la zona se presentó diferencias marcadas en el desarrollo de sus suelos y depósito de material mineral por acción antrópica, ocasionando la formación de suelos nuevos con horizontes genéticos antrópicos, mientras que el punto de componente minero (CMOxP16) presentó las mayores concentraciones de arsénico, cobre y plomo (Figura 7.17a)

En el sector del AA. HH José Carlos Mariategui (frente al depósito Rumiallana) (Figura 7.17b) se observa que los puntos de MPS (PS-02-1, PS-02-2, PS-02-3, PS-02-4, PS-02-5) y suelo (CS-CP68) presentan concentraciones similares, principalmente respecto a cobre, mercurio y estaño; sin embargo, están menos relacionados a las concentraciones del depósito de desmonte Rumiallana. De forma similar, en la Figura 7.17c se observa que los puntos de MPS (PS-03-0, PS-03-1, PS-03-2, PS-03-3) y los puntos de suelo (CS-CP27 y CS-CP34) son similares respecto a las concentraciones de mercurio, manganeso y zinc, estando menos relacionados al material de depósito de desmonte Hanancocha.

Los puntos de MPS en el parque infantil Paragsha (PS-04-1, PS-04-2 y PS-04-3) y estadio Paragsha (PS-04-4, PS-04-5 y PS-04-6) (Figura 7.17d), se observa que los puntos de MPS y el punto de suelo (CS-CP65) ubicado en el parqueo de camiones y maquinaria frente al ingreso a planta Paragsha de la UF Cerro de Pasco, se aproximan relacionado a concentraciones de zinc, manganeso y cadmio, mientras que el punto de suelo CS-CP58 presenta mayores concentraciones de arsénico, cobre, plomo y mercurio. Las mayores concentraciones en este sector se dan en el depósito de desmonte Miraflores, seguido del MPS; el suelo presenta menor concentraciones de los elementos mencionados.

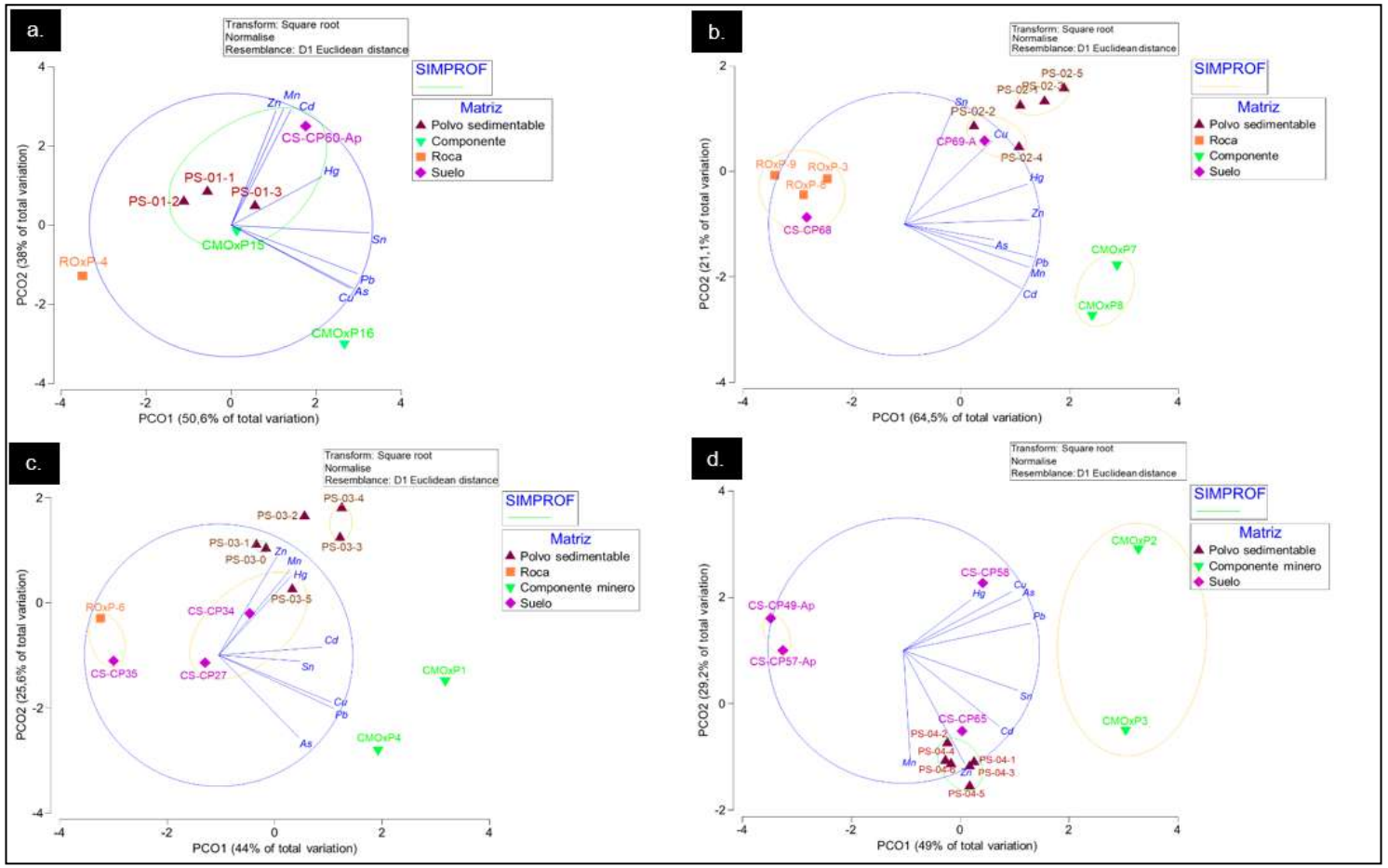


Figura 7.17. Análisis multivariado que explican los agrupamientos de los puntos evaluados en las matrices de roca, componente minero, suelo y polvo sedimentable en **a)** frente a la planta Paragsha, **b)** frente a Rumiallana **c)** frente a Hanancocha y **d)** frente al parque infantil Paragsha

Las concentraciones altas de metales en MPS pueden explicarse debido a su ubicación a favor de la dirección del viento, la cual fue predominante en dirección norte-noreste (NNE) y noreste (NE) con frecuencias de 24,59 % y 19,26 % (Figura 7.18), similares a los reportados por OEFA entre enero y diciembre 2019 (Figura 7.19), con vientos de tipo ventolina y brisa ligera, para los horarios diurno, vespertino y nocturno. Estas condiciones meteorológicas favorecen el transporte de material particulado desde la cancha de mineral de la planta Paragsha hacia el parque infantil y estadio de este sector; además, en horario nocturno se producen vientos provenientes desde botadero Miraflores (Figura 7.19). Se precisa que en ambos componentes mineros se registraron las mayores concentraciones de los metales indicados. Se determinó que las concentraciones de metales en MPS obtenidas en el parque infantil Paragsha (PS-04,1 a 3), estadio Paragsha (PS-04, 4 a 6) y las obtenidas frente a la planta Paragsha (PS-1, 1 a 3) fueron similares (Figura 7.20).

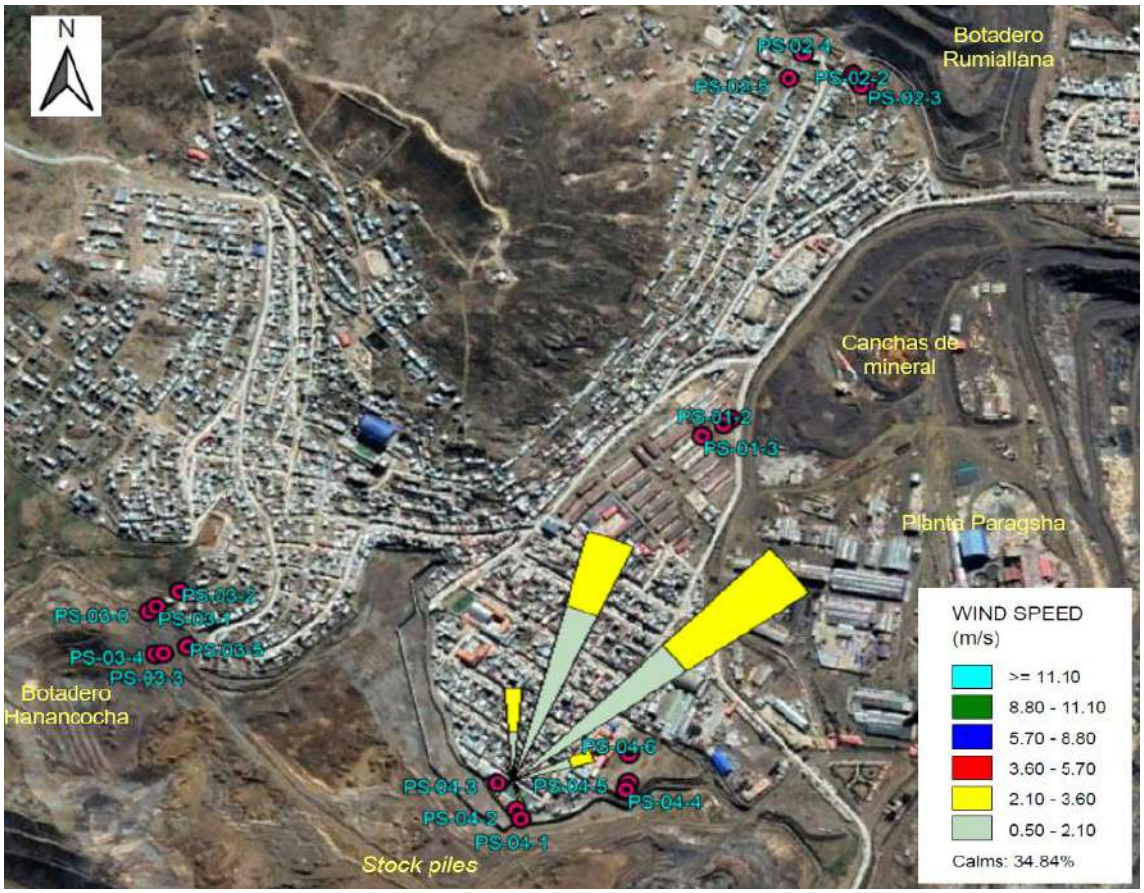


Figura 7.18. Dirección del viento de la estación CA-SB-01 y ubicación de receptores de polvo sedimentable

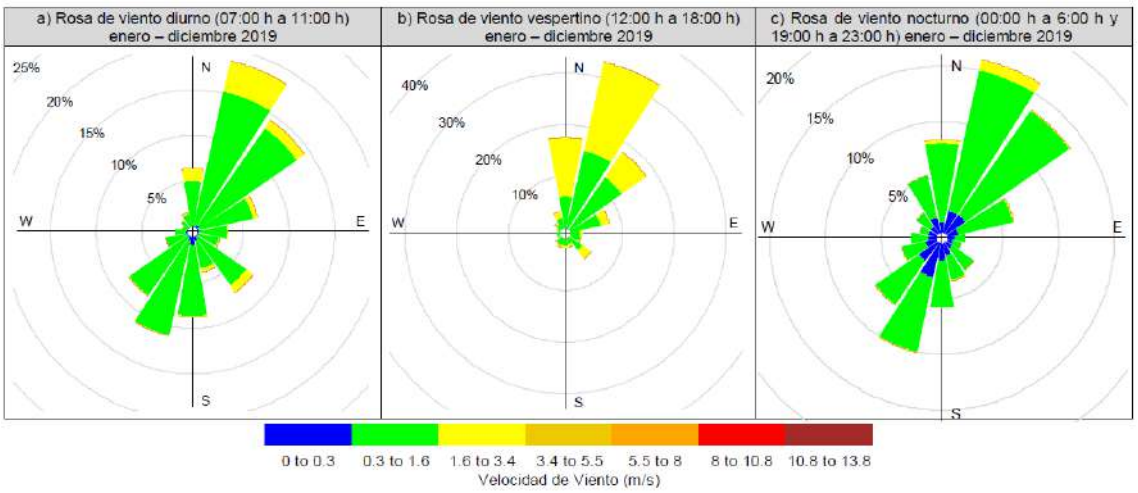


Figura 7.19. Rosa de viento en el distrito de Simón Bolívar, durante el periodo de evaluación enero - diciembre 2019, clasificados en a) En horario diurno (07:00 h a 11:00 h), b) En horario vespertino (12:00 h a 18:00 h), c) En horario nocturno (00:00 h a 6:00 h y 19:00 h a 23:00 h)
Fuente: Vigilancia ambiental de la calidad del aire realizada en el centro poblado Paragsha, distrito Simón Bolívar, provincia y departamento Pasco, de enero a diciembre del 2019, aprobado el 13 de febrero 2020 con informe N.° 00011-2020-OEFA/DEAM-STEC

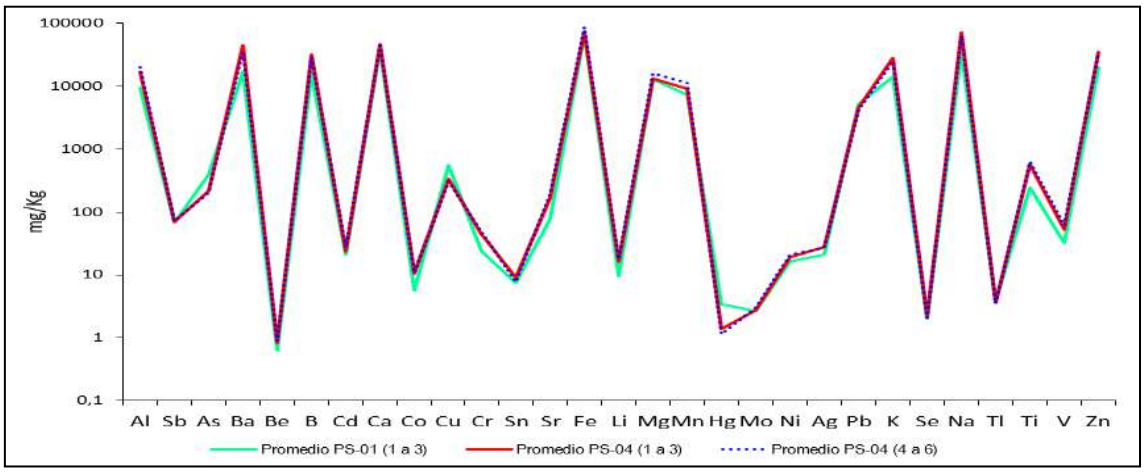


Figura 7.20. Concentración promedio de metales en material particulado sedimentable frente a la planta Paragsha, parque infantil Paragsha y estadio Paragsha,

7.4. Influencia de los depósitos de desmonte al suelo

Para evaluar la calidad ambiental del suelo se definió el área de potencial interés API-CS-CP, ubicada en el distrito de Simón Bolívar, abarcando tejido urbano del centro poblado Paragsha y del AA. HH. José Carlos Mariátegui; así como también terrenos agrícolas aledaños a la subestación eléctrica y polvorín. El área de potencial interés está rodeada de los siguientes componentes mineros: polvorín, botadero Hanancocha, *stock piles*, botadero Miraflores, Tajo Raúl Rojas y botadero Rumiallana. Aledaña al API-CS-CP, se definió el área de nivel de fondo ANF-CS-CP, cuyos suelos de carácter natural sirvieron para medir en parte la magnitud de la afectación de los suelos evaluados dentro del API (Figura 7.21).

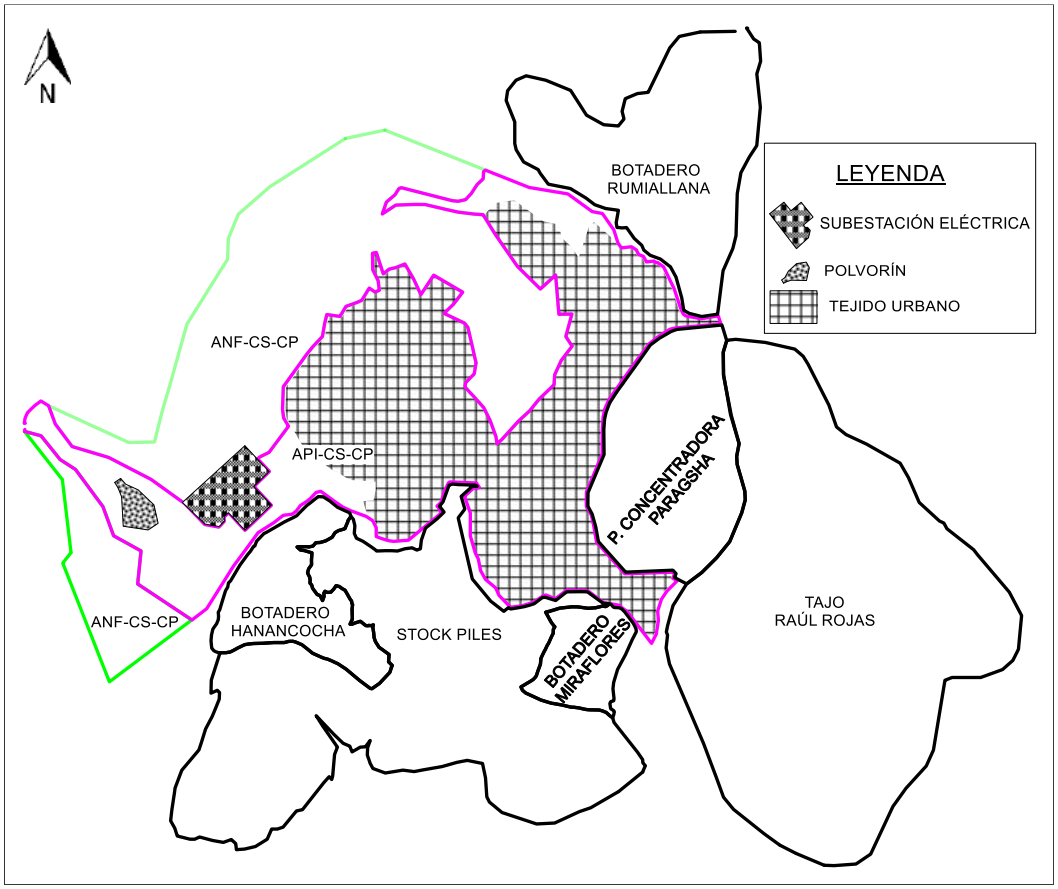


Figura 7.21. Ubicación del API-CS-CP y del ANF-CS-CP, con respecto a los componentes mineros

Durante el levantamiento técnico y muestreo se pudo apreciar que el área de nivel de fondo ANF-CS-CP y el área de potencial interés API-CS-CP, presentaron diferencias marcadas en cuanto al desarrollo de sus suelos. Principalmente se observó que, sobre el suelo natural del API (parte baja de C.P. Paragsha y del AA.HH. José Carlos Mariátegui), se depositó material mineral por acción antrópica ocasionando la formación de suelos nuevos con horizontes genéticos antrópicos; los cuales no se encontraron en suelos del ANF.

Estos suelos (API-CS-CP) desarrollados sobre un paisaje alterado podrían ser el resultado de la perturbación de la superficie natural debido a actividades mineras o traslado de material mineral de origen minero para formar llanuras antrópicas; ya que difieren drásticamente de los suelos naturales de la zona (ANF-CS-CP) y se están desarrollando a partir de una mezcla de fragmentos de roca y suelo, lo cual es muy similar al material de desmonte y residuos mineros que se encuentran aledaños.

En la Tabla 7.1 y la Figura 7.22 se presentan características generales y detalles de algunos suelos minerales ubicados dentro del API-CS-CP y del ANF-CS-CP, de lo cual podemos advertir que los suelos naturales (ANF-CS-CP) se encuentran sobre un paisaje de ladera de colina y ladera de lomada, desarrollados a partir de un material transportado de tipo coluvial y transportado sobre residual (coluvial sobre residual), la profundidad efectiva se ve limitada de manera natural por los materiales genéticos del suelo, dando como resultado suelos superficiales a moderadamente profundos, los cuales presentan una secuencia natural de horizontes: Oi – OA – A – Bw – Cg – R, A1 – A2 – Bh – C – R y A – C1 – C2 – R.

Los suelos degradados (API-CS-CP) muy por el contrario a los suelos naturales, se ubican sobre un paisaje de llanura antrópica, desarrollados a partir de material mineral transportado por el hombre, la profundidad efectiva se ve interrumpida por el mismo material transportado, dando como resultado suelos jóvenes superficiales a muy superficiales con una secuencia de horizontes ^A - ^C1 - ^C2 - ^C3 - ^C4 - ^C5 - 2^Cg1 - 2^Cg2 - W, ^OA - ^A - ^C1 - ^C2 - 2^C3 y ^A - ^C1 - 2^C2.

Según Jiménez (2017) las características que presentan los suelos degradados del API-CS-CP, hacen que estos sean denominados en la literatura como suelos mineros (*minesoils*) suelos degradados (*spoils*) suelos antropogénicos (*anthropogenic soils*) o suelos influenciados por el hombre (*man-influenced soils*). Además, menciona estos suelos presentan distintas características morfológicas, son relativamente jóvenes y que al principio carecen de horizontes, pero en pocos años se forma una delgada capa que da origen al horizonte A; por tanto, muchos de estos suelos tienen perfiles con una secuencia de horizontes A-C o A-AC-C y sus propiedades están controladas por la influencia humana, lo cual concuerda con los suelos del API-CS-CP presentados en la Tabla 7.1 y Figura 7.22.

En la Figura 7.22 se puede observar que los suelos naturales presentan colores definidos asociados a los horizontes pedogénicos, mientras que los suelos antrópicos o degradados presentan colores mezclados o machas que según Fanning y Fanning (1989) están relacionados con vestigios del material parental transportado o puede ser el resultado de la meteorización y/o reacciones químicas relacionadas con los procesos de oxidación de la pirita. También podría deberse a la oxidación del manganeso.

Otro indicio que se puede advertir en la Tabla 7.1 y en Figura 7.22 es que la profundidad total de los suelos naturales se ve interrumpida por la roca madre, en cambio en los suelos degradados la profundidad total se ve interrumpida por capas cementadas, que según Blowes *et al*. (1991) estas capas están compuestas de granos de pyrrhotita (FeS) y pirita (FeSe) cementados en estructura por oxi-hidrato de hierro (goetita); este fenómeno ocurre debido a la cementación de minerales secundarios derivados de solutos liberados por la oxidación de sulfuros y ha sido atribuido a la oxidación del Fe^{2+} a oxi-hidratos de hierro que forman estas capas en áreas concretas de los depósitos mineros (Jiménez, 2017).

Según Jiménez (2017) se entiende como degradación a todo proceso que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir cuantitativa y cualitativamente bienes y servicios. En los suelos del API-CS-CP, la degradación física en las calicatas presentadas en la Figura 7.22 es evidente, ya que en campo se observó interrupción de la profundidad efectiva por una capa de material antropogénico, alto contenido de guijarros, gravas y gravillas en los horizontes, compactación, endurecimiento, pérdida de estructura, pérdida de materia orgánica e interrupción del flujo de entrada y salida de agua en el perfil.

Tabla 7.1. Comparación de características generales de suelos degradados y suelos naturales

Característica	Suelo natural – ANF-CS-CP						Suelo degradado – API-CS-CP					
	CS-CP4-CAL		CS-CP17-CAL		CS-CP33-CAL		CS-CP57-CAL		CS-CP59-CAL		CS-CP60-CAL	
Material parental	Coluvial sobre residual		Coluvial		Coluvial sobre residual		Mineral antrópico		Mineral antrópico		Mineral antrópico	
Paisaje	Ladera de colina		Ladera de lomada		Ladera de lomada		Llanura antrópica		Parque infantil sobre llanura antrópica		Llanura antrópica	
Profundidad efectiva (m)	0, 55		0,40		0,22		0,08		0,19		0,30	
Horizontes (m)	Oi	0 – 0,05	A1	0 – 0,10	A	0 – 0,22	^A	0 – 0,08	^OA	0 – 0,12	^A	0 – 0,30
	OA	0,05 – 0,10	A2	0,10 – 0,22	C1	0,22 – 0,54	^C1	0,08 – 0,16	^A	0,12 – 0,19	^C1	0,30 – 0,45
	A	0,10 – 0,30	Bh	0,22 – 0,40	C2	0,54 – 0,80	^C2	0,16 – 0,26	^C1	0,19 – 0,44	2^C2	0,45 – a más
	Bw	0,30 – 0,45	C	0,40 – 0,58	Roca		^C3	0,26 – 0,33	^C2	0,44 – 0,67	Capa cementada	
	Cg	0,45 – 0,83	Roca		---		^C4	0,33 – 0,48	2^C3	0,67 – a más	---	
	Roca		---		---		^C5	0,48 – 0,75	Capa cementada		---	
	---		---		---		2^Cg1	0,75 – 0,95	---		---	
	---		---		---		2^Cg2	0,95 – a más	---		---	
	---		---		---		W				---	

(^): Según el Soil Survey Manual (USDA, 2017), se usa el símbolo de intercalación como prefijo en la designación de horizontes mayores para indicar capas minerales u orgánicas de material transportado por el hombre.

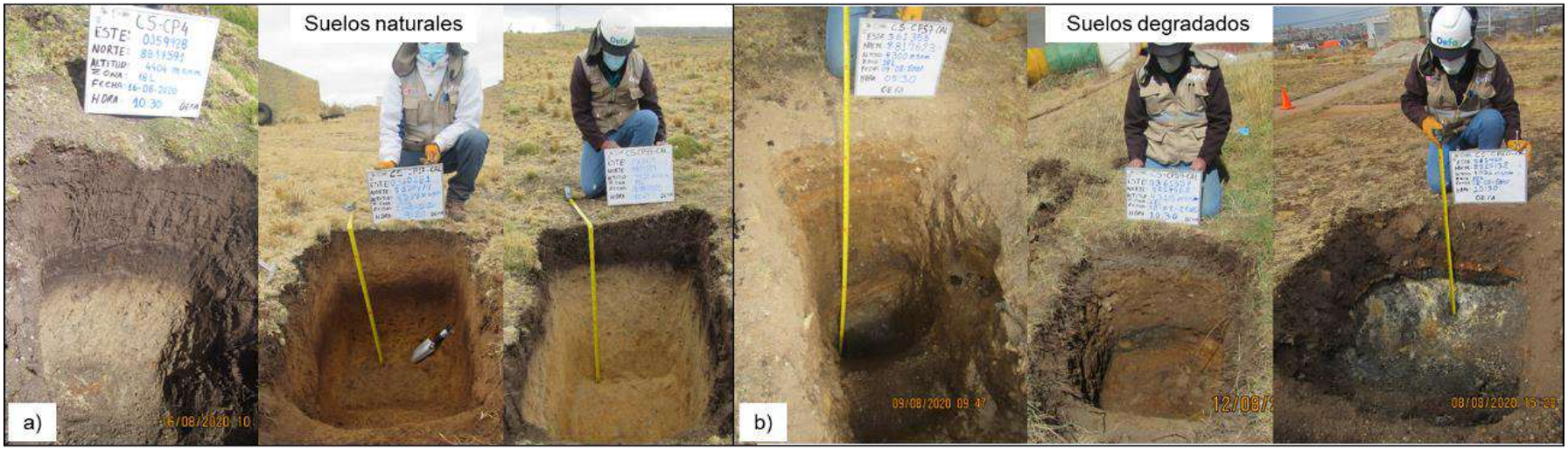


Figura 7.22. a) Perfiles de suelos con desarrollo natural en ANF-CS-CP y b) perfiles de suelos con desarrollo antrópico en API-CS-CP

La degradación física de los suelos descrita anteriormente trajo consigo un desequilibrio elemental considerable en algunas zonas del área de potencial interés API-CS-CP con respecto al área de nivel de fondo ANF-CS-CP. La presencia natural de metales en el suelo es condicionada por la roca madre, así como por los procesos edafogénicos que han intervenido en su formación, normalmente los metales se concentran en contenidos muy bajos; sin embargo, por la acción antrópica pueden alcanzar concentraciones superiores a los naturales (Jiménez *et al*., 2017). Esto se puede observar en los suelos degradados del API-CS-CP que presentaron concentraciones de arsénico, plomo, bario, cadmio, mercurio, cobre, plata, talio, zinc y manganeso, superiores a los niveles de fondo, niveles de referencia, al ECA para suelo, a los valores de la CEQG (para suelos de uso residencial, industrial y agrícola según corresponda) incluso a las concentraciones de la roca (Tabla 7.2, Figura 7.23, Figura 7.24).

Tabla 7.2. Descriptores estadísticos de metales pesados en suelos del API-CS-CP comparados con nivel de fondo, nivel de referencia y material parental

Metales (mg/kg)	API-CS-CP			ANF-CS-CP		ROCA	
	Mínimo	máximo	media	Nivel de fondo	Nivel de referencia	ROxP-4	ROxP-6
Arsénico	43	1751	313,6	81,541	126,5	71,9	45,3
Plomo	106	26801	1869	348,2	645,9	271	275
Bario	43,71	776	181,5	154,3	332,8	50,33	292,5
Cadmio	0,0998	76,12	4,999	0,869	1,475	0,52615	2,6933
Mercurio	0,01	7,11	0,635	0,259	0,614	0,053	0,014
Cobre	19	4007	309,2	59,58	80,48	53	57
Plata	0,002	132,8	11,06	1,984	7,913	1,570	1,068
Talio	0,362	35,56	4,242	0,722	1,118	3,612	2,687
Zinc	35	35657	1994	138	235,8	948	212
Manganeso	117	27729	2695	1282	2393	1077	359

El nivel de referencia es un valor que representa a la carga crítica del suelo (Brizuela & Jiménez, 2012), su superación es poco probable si no hubiese alteraciones (Jiménez *et al*., 2017); por lo que, las altas concentraciones de los elementos señalados, en el suelo de las API son atribuidas a su migración desde los componentes mineros, favorecido por el relieve, el tiempo, viento y eventos antropogénicos que actuaron sobre este escenario.

La contaminación de suelos puede definirse como el aporte de un elemento o compuesto químico desde el exterior, provocando un aumento respecto a la concentración inicial (Porta *et al*., 2003). Por su parte Durán (2010) indica que, para poder hablar de contaminación de suelos, es necesario tener una referencia de cuando estos suelos estuvieron libres de contaminación (nivel de fondo y nivel de referencia). En base a ello, y teniendo en cuenta que las concentraciones de arsénico, plomo, bario, cadmio, mercurio, cobre, plata, talio, zinc y manganeso superan los valores de nivel de fondo y de nivel de referencia, puede señalarse que existe contaminación del suelo en algunas zonas del API-CS-CP (Tabla 7.2, Figura 7.23, Figura 7.24). Estas zonas son:

- Zona aledaña al depósito de desmonte Hanancocha (sector oeste) hasta la parte baja del polvorín (cono de deyección)
- Sector 1 del AA. HH. José Carlos Mariátegui, frente al botadero Hanancocha
- Estadio del C.P. Paragsha
- Zona aledaña al Centro de Salud Paragsha, frente a la planta concentradora
- Zona aledaña a la Municipalidad de Paragsha
- Colegio San Andrés del C.P. Paragsha
- Parqueadero de camiones frente a Botadero Miraflores
- Sector 2 del AA. HH. José Carlos Mariátegui, frente al depósito Rumiallana

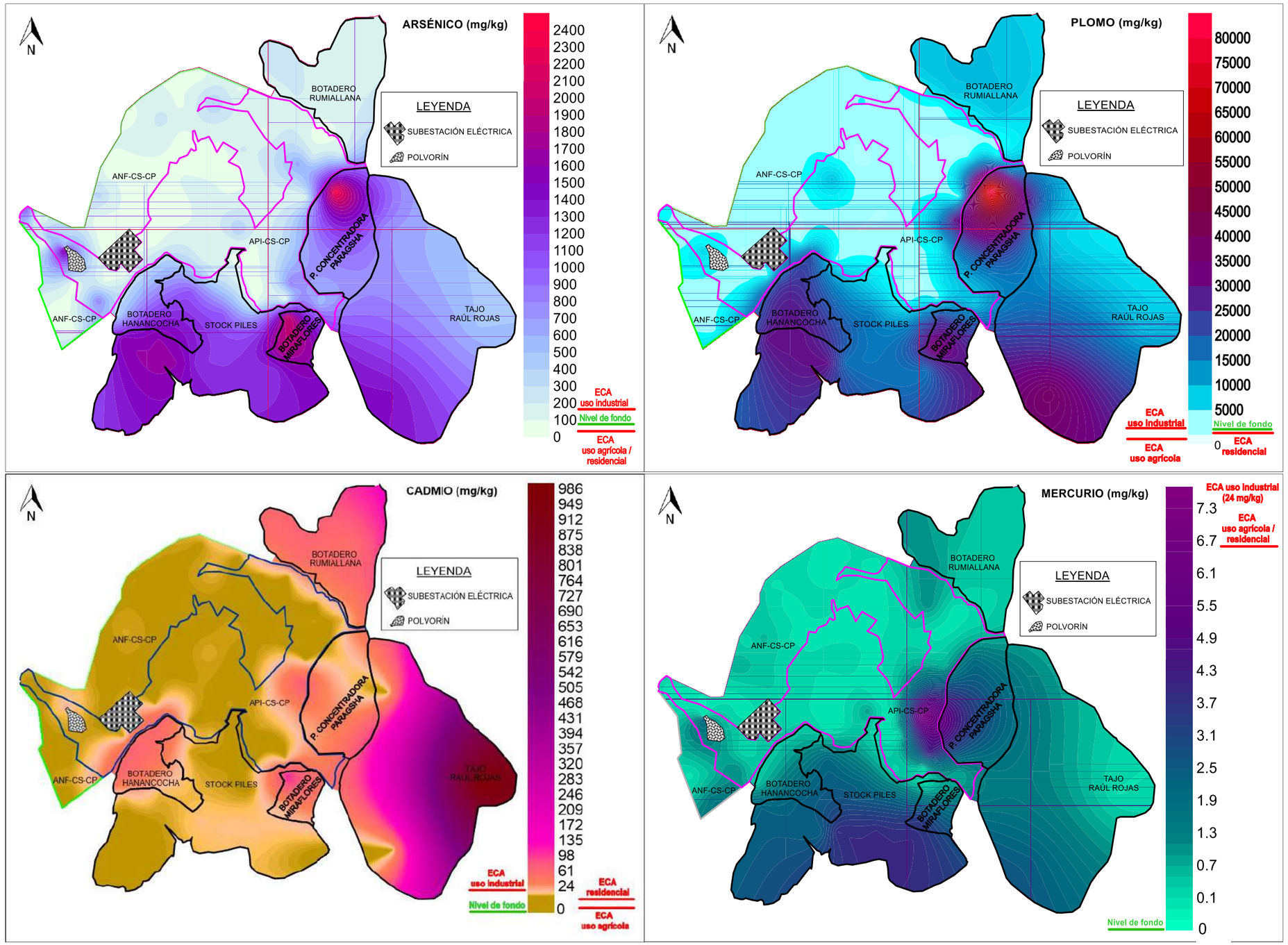


Figura 7.23. Distribución de las concentraciones de As, Pb, Cd y Hg en los suelos del API-CS-CP, ANF-CS-CP y fuentes potenciales (componentes mineros)

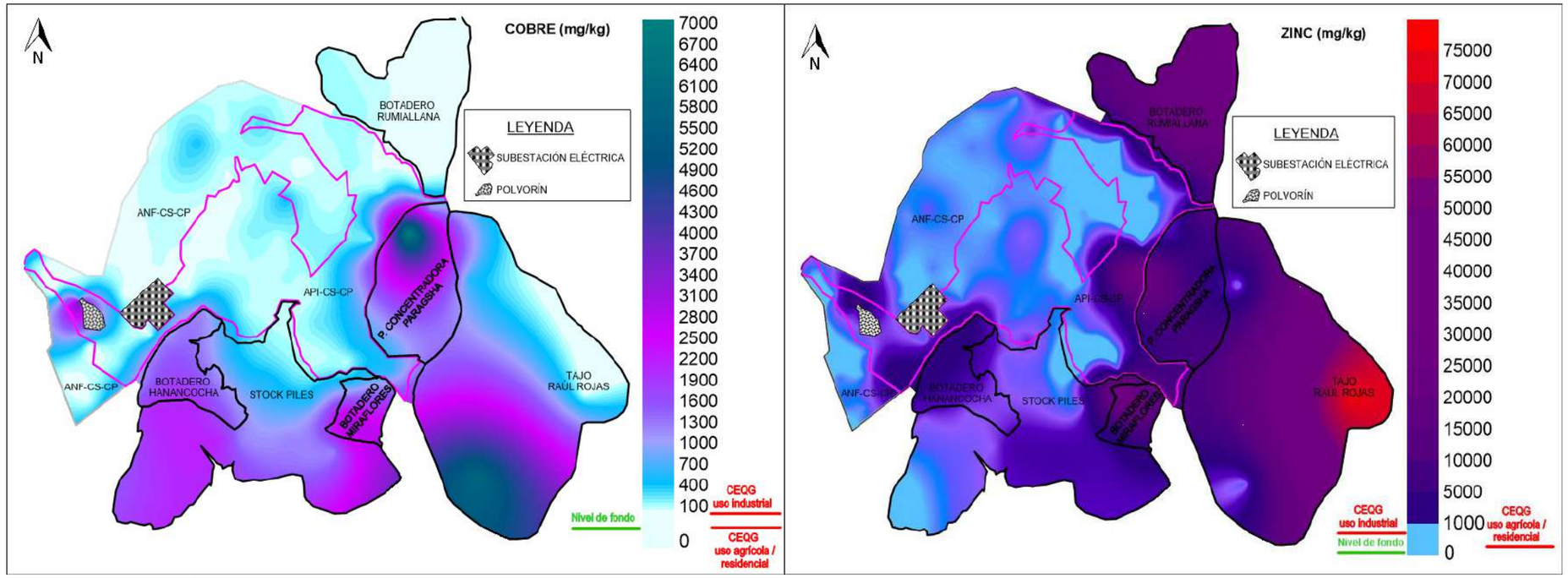


Figura 7.24. Distribución de las concentraciones de As y Cu en los suelos del API-CS-CP, ANF-CS-CP y fuentes potenciales (componentes mineros)

Nota: Los mapas de distribución de todos los metales se presentan en el Anexo 12.

Sobre las concentraciones en suelo de la zona aledaña al depósito de desmonte Hanancocha (sector oeste) hasta la parte baja del polvorín (cono de deyección), se discutió en párrafos anteriores, mostrando la influencia del material de relleno de la cimentación del polvorín a la quebrada s/n y laguna Quilcamachay. Así mismo se señala que en la carretera y zonas aledañas a esta, se dispuso material mineral con altas concentraciones de metales en un área aproximada de 2,7 Ha. En la Figura 7.25 se muestra la zona.

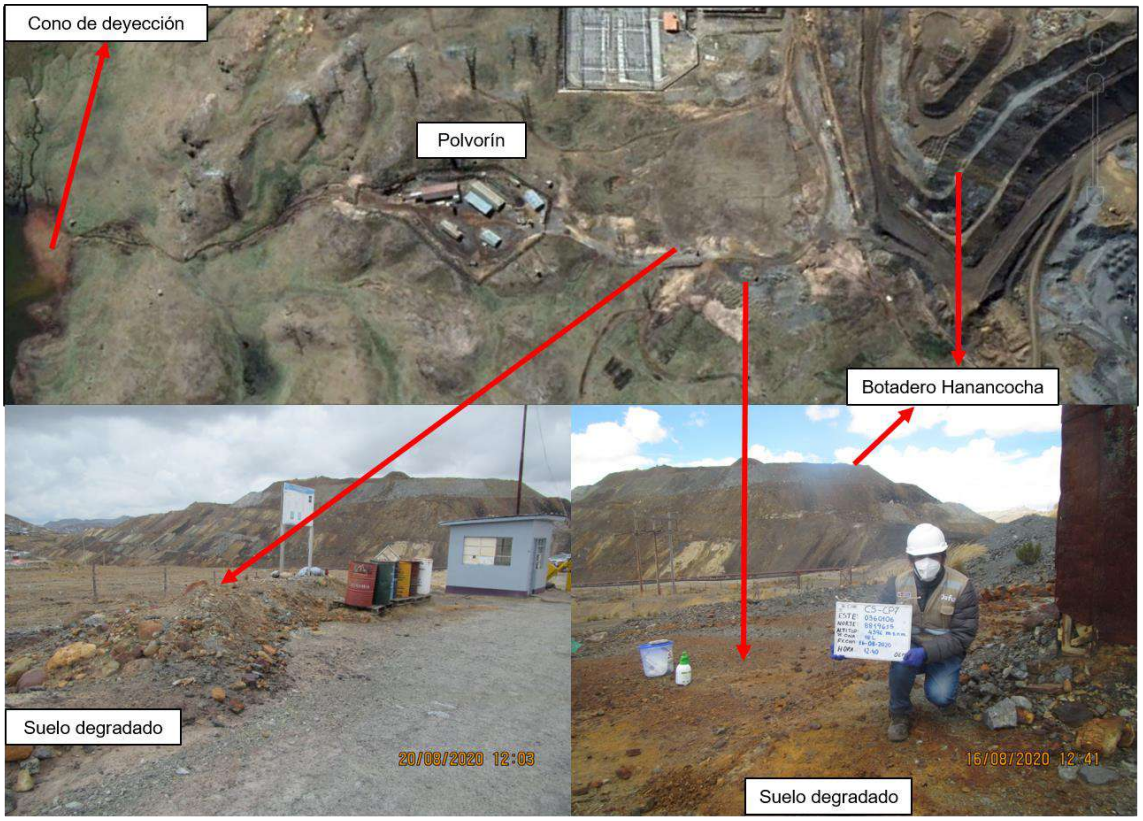


Figura 7.25. Suelos aledaños al sector oeste de Hanancocha y parte baja de polvorín

Respecto a la contaminación del suelo en el Estadio del C.P. Paragsha, Colegio San Andrés del C.P. Paragsha, zona aledaña al Centro de Salud Paragsha (frente a la planta concentradora), zona aledaña a la Municipalidad de Paragsha y en el Sector 2 del AA. HH. José Carlos Mariátegui (frente al depósito Rumiallana). Las concentraciones de metales como arsénico, plomo, bario, cadmio, mercurio, cobre, plata, talio, zinc y manganeso registradas en suelo superficial se deben al transporte de material de los componentes mineros planta concentradora Paragsha, *stock piles* y depósito de desmonte Miraflores, facilitado por los vientos predominantes de dirección norte-noreste (NNE) y noreste (NE). Las mayores concentraciones de metales en componente minero se registraron en el material dispuesto en la planta concentradora Paragsha (Figura 7.24 y 7.25), este componente cuenta con un cerco perimétrico tipo malla, el cual no evita o minimiza la dispersión del material particulado como efecto de la acción eólica que se genera en este componte.

Así mismo, como se señaló en la Resolución N.° 027-2018-OEFA-TFA-SMEPIM, la erosión eólica en el botadero Miraflores y stock piles «transportaría material particulado hacia los suelos, debido a que la altura de los muros es menor en comparación a los componentes». Dicho transporte de particulados se evidenció en el material particulado colectado en el estadio y parque infantil del C.P. Paragsha de PS-04-1 a PS-04-6 y frente a la planta

Paragsha de PS-01-1 a PS-01-3, los cuales fueron señalados en la Figura 7.16, como las zonas de mayor concentración de metales en polvo sedimentable. En la Figura 7.26 se muestra la ubicación de los componentes mencionados.

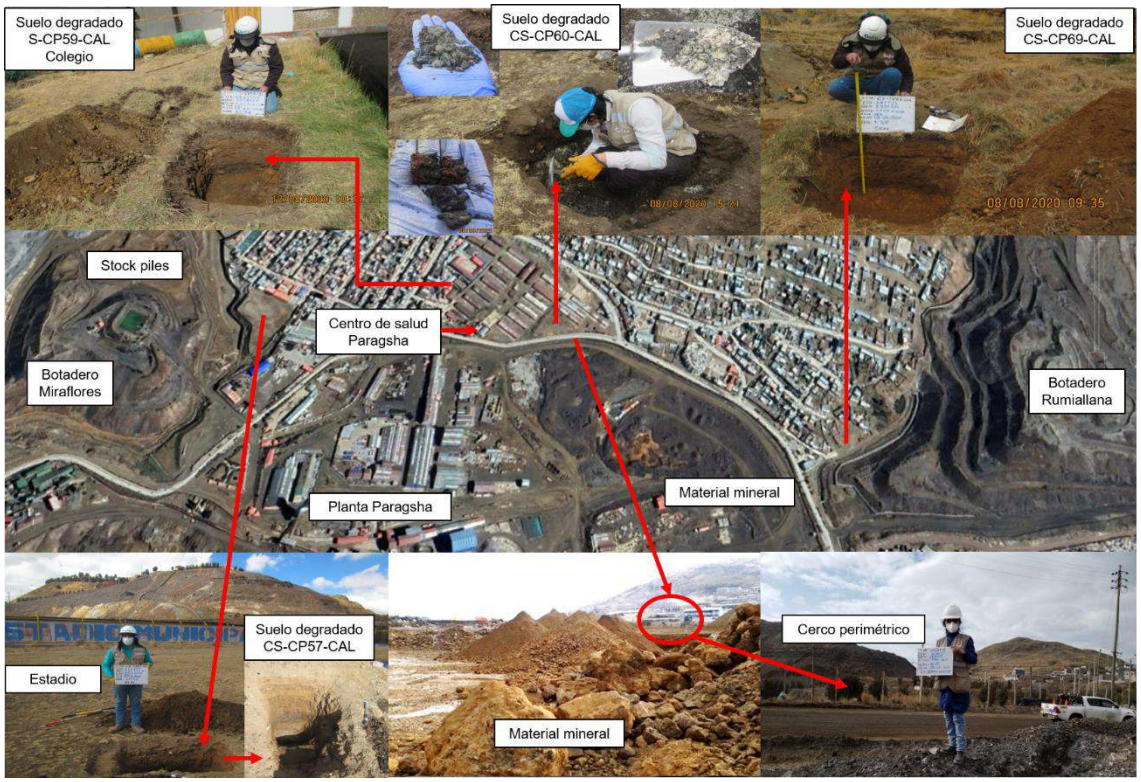


Figura 7.26. Ubicación de la planta Paragsha, estadio, colegio San Andrés y vista del cerco perimétrico de la planta Paragsha

El Parque Infantil Ecológico del C.P. Paragsha se encuentra sobre una llanura antrópica, sobre la cual el administrado realizó actividades de rehabilitación[38], se observó en la calicata CS-CP49-CAL que sobre el material mineralizado (contaminado) se colocó aproximadamente una capa de 10 cm de un material de textura fina y sobre este 40 cm de material tipo *top soil*. Debido a ello las concentraciones actuales de arsénico, cobre, plomo y zinc en el suelo superficial del parque infantil no superaron las normas en comparación ni los niveles de fondo. La Figura 7.27 muestra la ubicación de la calicata muestreada en el parque infantil.

[38] Señalado en Resolución Directoral N° 0374-2018-OEFA/DFAI



Figura 7.27. Ubicación del parque infantil ecológico del C.P Paragsha

Además de las rutas actuales de contaminación mencionadas, se debe tener en cuenta que esta zona de la ciudad de Cerro de Pasco se asentó sobre material de relleno mineralizado con altas concentraciones de metales (Anexo 5), como se muestra en las diferentes calicatas realizadas en el C.P. Paragsha y AA. HH. José Carlos Mariátegui (Anexo 2). Dicho material puede ser observado en superficie en el sector 1 del AA. HH. José Carlos Mariátegui, frente al botadero Hanancocha (Figura 7.28). Las concentraciones de metales en este sector estarían relacionadas principalmente al material de relleno.



Figura 7.28. Sector 1 del AA. HH. José Carlos Mariátegui, frente al botadero Hanancocha

En la zona de parqueadero de camiones frente a Botadero Miraflores (Figura 7.29), se registraron altas concentraciones de los metales mencionados, principalmente cobre, talio, zinc, arsénico, cadmio y plomo, los cuales superaron los ECA y guía canadiense para suelo de uso industrial, niveles de fondo y referencia. La ruta de transporte de contaminantes actualmente sería mediante el tráfico de vehículos y maquinaria pesada provenientes de mina; así mismo, se produce el transporte eólico desde el botadero Miraflores, el cual no cuenta con cerco en este sector de la zona de parqueo que evite el contacto del material del componente con el suelo.

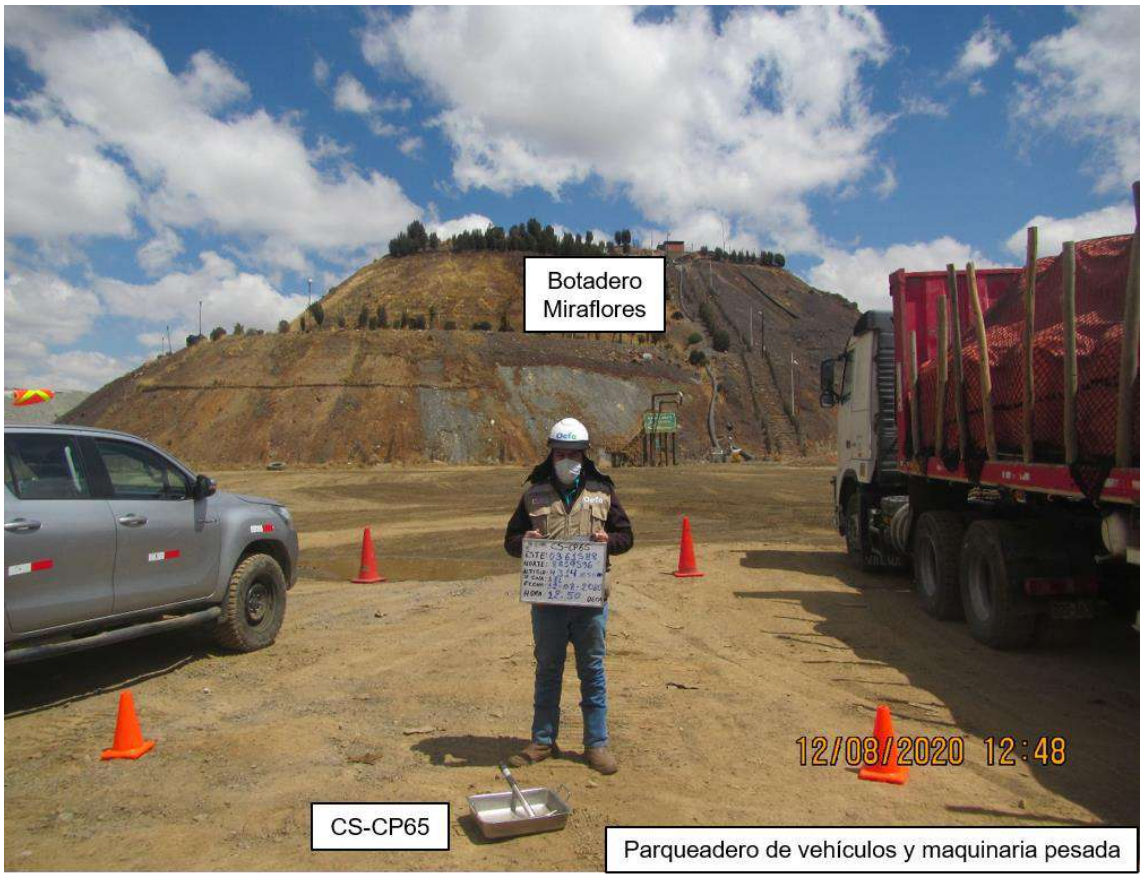


Figura 7.29. Zona de parqueadero de camiones frente a Botadero Miraflores

La dinámica de los contaminantes en el suelo va a depender del sistema edáfico, este puede almacenar o transportar nutrientes y/o contaminantes a través de mecanismos internos, según lo indicado por Shuman (1991), Larios (2014) y Jiménez *et al*. (2017)[39] (Figura 7.30). Asimismo, Ross (1994) menciona que la adsorción de metales se incrementa al aumentar el contenido de arcillas y materia orgánica, ya que los metales pueden quedar retenidos por estos coloides (Rodríguez *et al*., 2009); por otro lado, Bourg (1995) indica que la solubilidad y por tanto la movilidad de los metales se suele incrementar por el descenso de pH; sin embargo, el arsénico está más disponible a pH alcalino (Sánchez, 2003).

[39] Indican que los metales pueden estar: (1) solubles en la solución del suelo, (2) como iones intercambiables de los coloides que integran el complejo de cambio, (3) formando complejos con la materia orgánica, (4) adsorbidos en los óxidos e hidróxidos de hierro, manganeso y aluminio, sulfuros y fosfatos o (5) en la estructura de los minerales primarios y secundarios.

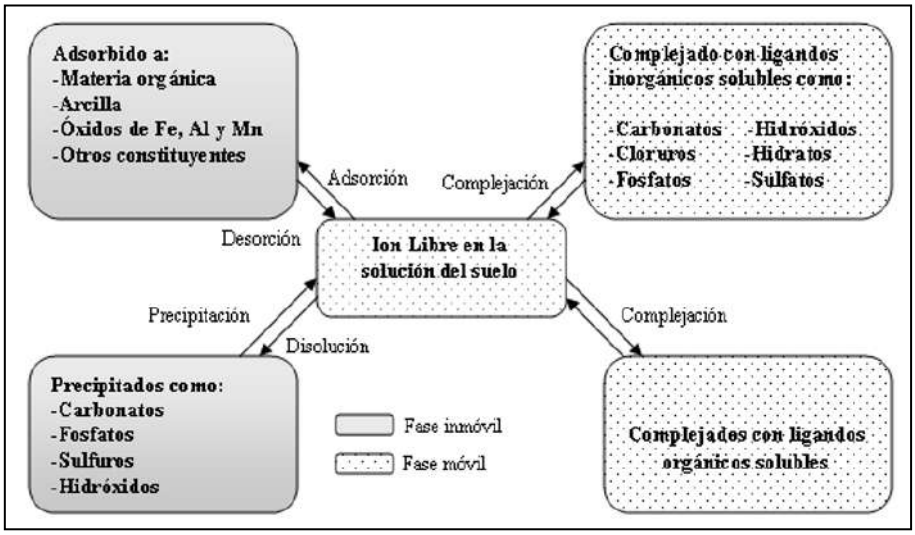


Figura 7.30. Procesos y componentes del suelo que controlan la movilidad de los metales pesados
Fuente: Larios (2014)

Tomando en cuenta la literatura citada y el sistema edáfico de los suelos degradados dentro del API-CS-CP, se puede indicar que estos suelos en general presentan reacción ácida, bajo nivel de materia orgánica, bajo contenido de arcilla, altas concentraciones arsénico, plomo, bario, cadmio, mercurio, cobre, plata, talio, zinc y manganeso. Esto nos indica que el sistema edáfico del suelo solo puede retener una pequeña parte de estos metales; lo cual se confirma con la extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier donde algunos de estos elementos presentan concentraciones considerables en la extracción 1 (extraíbles) y la extracción 2 (intercambiable y adsorbidas) aumentando la preocupación debido a que pueden ingresar fácilmente a la cadena trófica.

En base a estos valores de fondo, se determinaron índices de geoacumulación y factor de enriquecimiento de los suelos dentro del área de potencial interés API-CS-CP, mostrando altos índices de contaminación y enriquecimiento de metales pesados como cadmio, zinc, cobre, plomo y arsénico (Tabla 7.3). Asimismo, en la Figura 7.31 se muestran las concentraciones de los elementos contaminantes por horizonte dentro de las calicatas más afectadas ubicadas dentro del API-CS-CP (CS-CP57-CAL, CS-CP59-CAL y CS-CP60-CAL).

Tabla 7.3. Índices de geoacumulación y factor de enriquecimiento para determinar la calidad del suelo por horizonte dentro del API-CSP.

Horizonte	Índice	Arsénico	Calidad del suelo	Plomo	Calidad del suelo	Cadmio	Calidad del suelo	Mercurio	Calidad del suelo	Cobre	Calidad del suelo	Plata	Calidad del suelo	Talio	Calidad del suelo	Zinc	Calidad del suelo	Manganeso	Calidad del suelo
Hz. Superficial	Igeo	2,53	moderado a muy contaminado	3,01	Muy contaminado	3,11	Muy contaminado	1,88	Moderadamente contaminado	2,96	moderado a muy contaminado	3,06	Muy contaminado	3,14	Muy contaminado	4,44	Muy a extremadamente contaminado	3,97	Muy contaminado
	FE	7,95	Enriquecimiento significativo	11,08	Enriquecimiento significativo	11,88	Enriquecimiento significativo	5,06	Enriquecimiento significativo	10,71	Enriquecimiento significativo	11,51	Enriquecimiento significativo	12,13	Enriquecimiento significativo	29,83	Enriquecimiento muy alto	21,58	Enriquecimiento muy alto
Hz. Subsuperficial 1	Igeo	2,77	moderado a muy contaminado	2,85	moderado a muy contaminado	4,51	Muy a extremadamente contaminado	3,02	Muy contaminado	3,12	Muy contaminado	4,58	Muy a extremadamente contaminado	3,71	Muy contaminado	4,68	Muy a extremadamente contaminado	3,47	Muy contaminado
	FE	9,28	Enriquecimiento significativo	9,75	Enriquecimiento significativo	30,93	Enriquecimiento muy alto	11,04	Enriquecimiento significativo	11,81	Enriquecimiento significativo	32,40	Enriquecimiento muy alto	17,76	Enriquecimiento significativo	34,90	Enriquecimiento muy alto	15,07	Enriquecimiento significativo
Hz. Subsuperficial 2	Igeo	2,37	moderado a muy contaminado	4,87	Muy contaminado	5,14	Extremadamente contaminado	3,07	Muy contaminado	4,35	Muy a extremadamente contaminado	4,53	Muy a extremadamente contaminado	4,05	Muy a extremadamente contaminado	5,74	Extremadamente contaminado	5,50	Extremadamente contaminado
	FE	10,71	Enriquecimiento significativo	60,44	Enriquecimiento extremadamente alto	72,96	Enriquecimiento extremadamente alto	17,39	Enriquecimiento significativo	42,38	Enriquecimiento extremadamente alto	47,76	Enriquecimiento extremadamente alto	34,45	Enriquecimiento muy alto	111,01	Enriquecimiento extremadamente alto	93,74	Enriquecimiento extremadamente alto
Hz. Subsuperficial 3	Igeo	2,42	moderado a muy contaminado	4,37	Muy contaminado	3,14	Muy contaminado	1,53	Moderadamente contaminado	4,29	Muy a extremadamente contaminado	5,58	Extremadamente contaminado	4,98	Muy a extremadamente contaminado	5,02	Extremadamente contaminado	2,83	Moderadamente a muy contaminado
	FE	10,98	Enriquecimiento significativo	42,59	Enriquecimiento extremadamente alto	18,07	Enriquecimiento significativo	5,91	Enriquecimiento significativo	40,13	Enriquecimiento extremadamente alto	98,24	Enriquecimiento extremadamente alto	64,74	Enriquecimiento extremadamente alto	66,56	Enriquecimiento extremadamente alto	14,61	Enriquecimiento significativo

*Mayor detalle se incluye en el Anexo 14

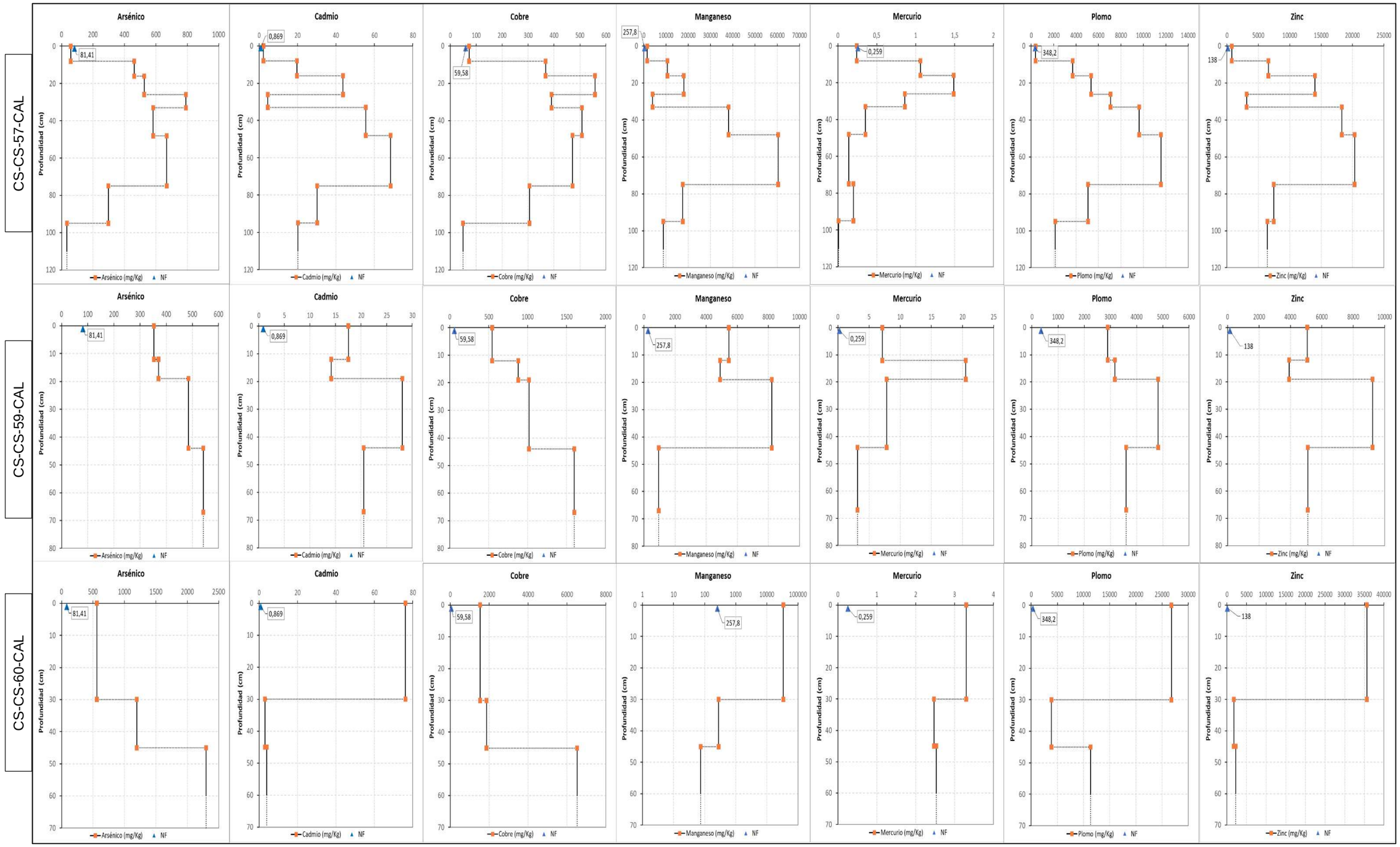


Figura 7.31. Variación de las concentraciones de As, Cd, Cu, Mg, Hg, Pb y Zn en las calicatas más afectadas ubicadas dentro del API-CS-CP

7.5. Influencia de canal de conducción de relave

Los relaves producidos son conducidos por medio de tuberías (línea de conducción de relaves) desde las plantas concentradoras hasta el depósito de relaves Ocroyoc (EIA, 2008), en sentido de la canalización del río Ragra, como se muestra en la Figura 7.32.

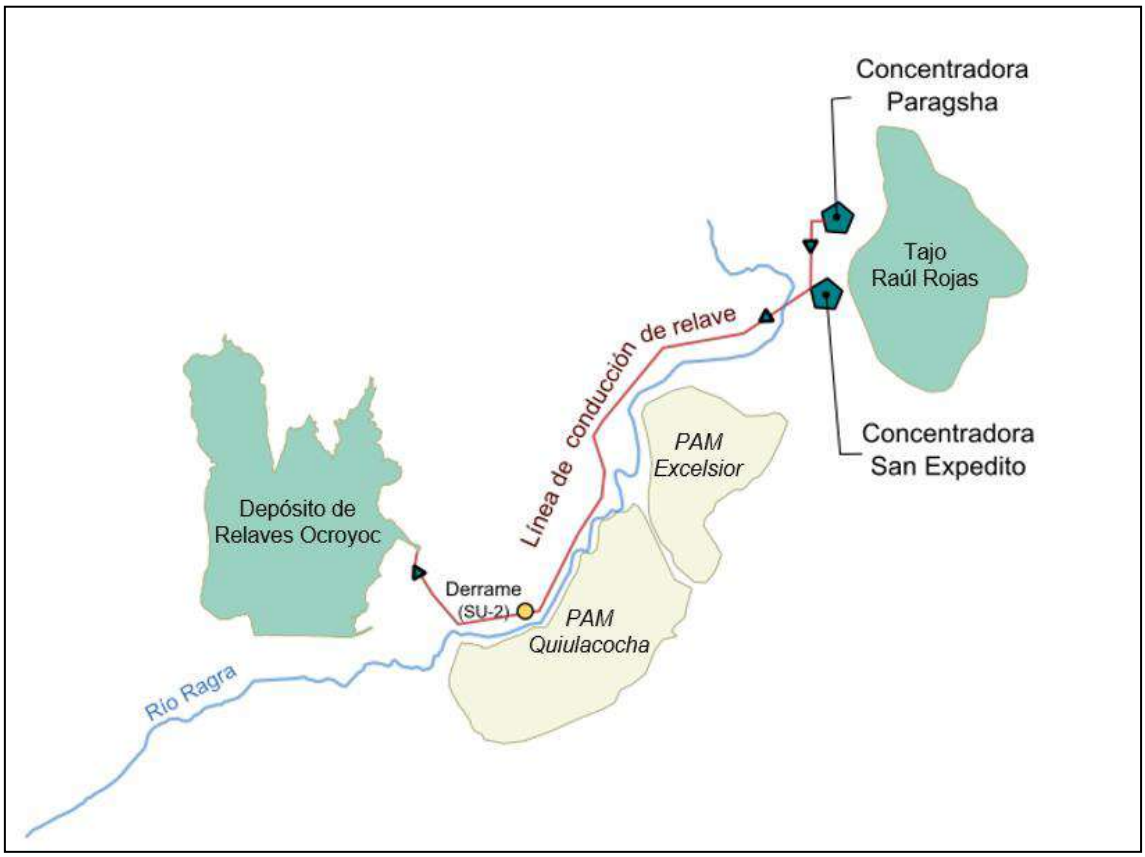


Figura 7.32. Esquema de ubicación de la línea de conducción de relaves
Fuente: Elaborado en base al PAMA

En el recorrido de la línea de conducción se evidenció material de relave dispuesto sobre el suelo aledaño a la línea de conducción, en la falda del cerro Shuco, a la altura del PAM Depósito de Relaves Quiulacocha, extendiéndose aproximadamente 3 metros paralelo a la línea de conducción y en dirección al canal del río Ragra, tal como se muestra en los vídeos adjuntos (Anexo 10) y Figura 7.33. El suelo aledaño (SU-2) al material de relave identificado presentó concentraciones de plomo, cadmio y arsénico superiores al ECA para Suelo de uso industrial 2013. Además, la concentración de metales como arsénico, cadmio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, plomo y zinc en SU-2 es similar a la concentración de estos elementos en el material de relave (CMLR-1), muestreado en el canal de contención, y superior a la concentración en un suelo no afectado (SU-1) ubicado a 5 metros de la línea de conducción. Cabe resaltar que el suelo afectado (SU-2) tiene concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, plomo y zinc, entre 10 y 100 veces mayor que las concentraciones en SU-1 (Figura 7.34).

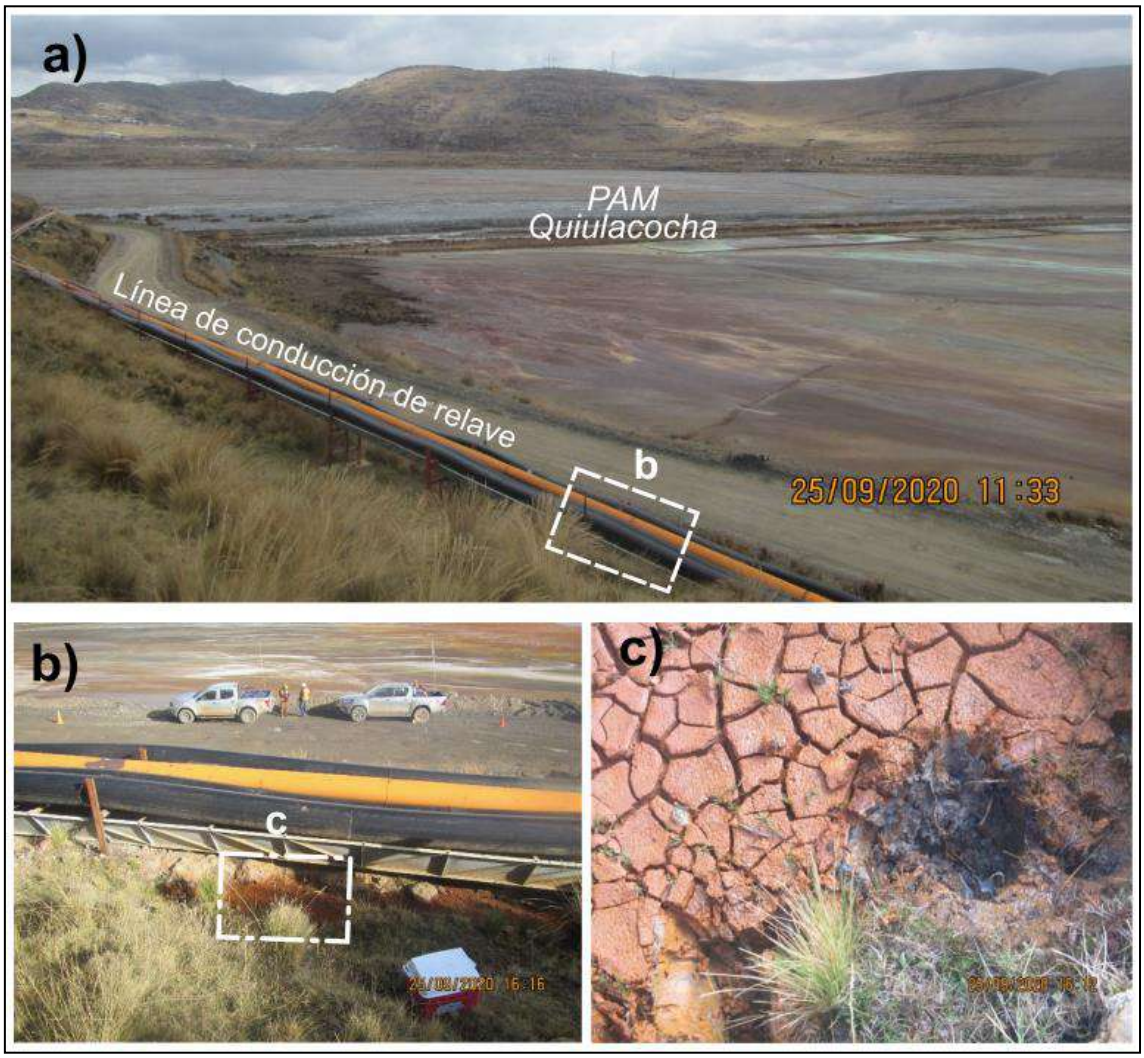


Figura 7.33. **a)** Vista panorámica de la línea de conducción de relaves, **b)** Material de relave sobre suelo aledaño **c)** Punto de suelo SU-2

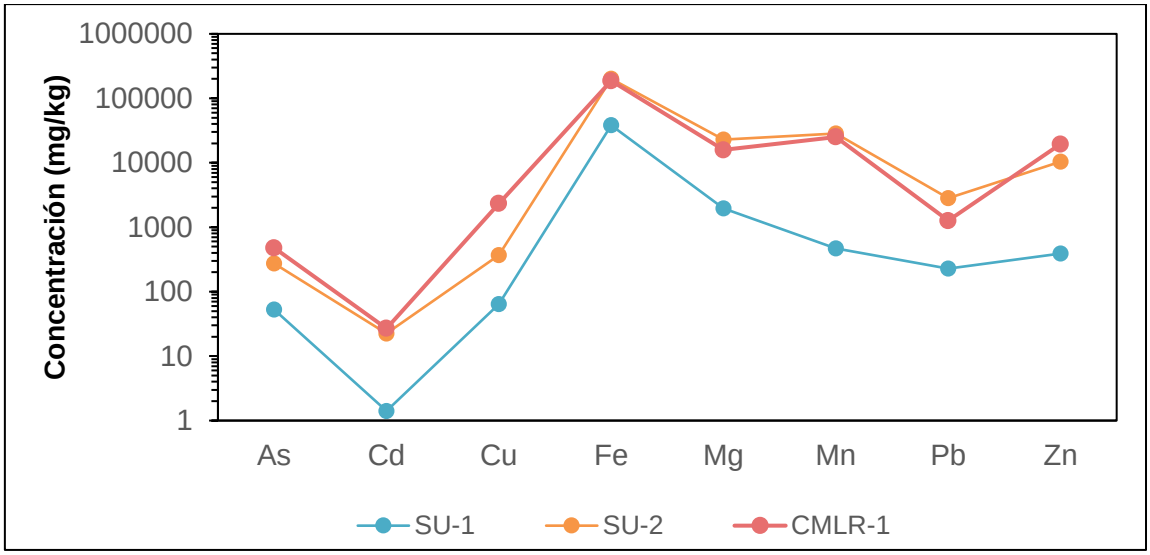


Figura 7.34. Concentraciones en muestras de suelo SU-1 y SU-2, y material de relave en línea de conducción

En el EIA 2008 se contempla como evento posible el derrame de pulpa al ambiente en la conducción de relaves por problemas del canal y tubería de transporte, para lo cual su plan de contingencias prevé medidas como inspecciones semanales a lo largo de las tuberías, cambio de tramos de canal o tuberías deterioradas y limpieza de los canales, entre otras. Sin embargo, a pesar de que el administrado señala al material transportado como abrasivo y corrosivo (EIA, 2008), las medidas de contingencia mencionadas no se evidenciaron en campo, observándose colmatación del canal de contención y derrame del material; así mismo, en la Figura 7.35a se observa las condiciones actuales de la estructura. Si bien no se evidenció el ingreso del derrame al canal del río Ragra, en época de lluvias se pueden generar arrastres hacia el canal de este río.



Figura 7.35. a) Canal de contención colmatado y **b)** prolongación de derrame en dirección a la canalización del río Ragra

7.6. Depósito de aguas ácidas Yanamate

El depósito de aguas ácidas Yanamate se ubica a 3 km al sur de la ciudad de Cerro de Pasco, ocupando una superficie de 260,02 Ha. Esta laguna anteriormente natural fue considerada un componente de la concesión de beneficio denominada Quiulacocha-Yanamate aprobado por Resolución Directoral N° 514-2015-MEM/DGAAM (2da Actualización del Plan de Cierre de Minas de la U.M. Cerro de Pasco). Aproximadamente a 505 metros al oeste de Yanamate, se ubican las lagunas Cuchis, como se muestra en la Figura 7.36.

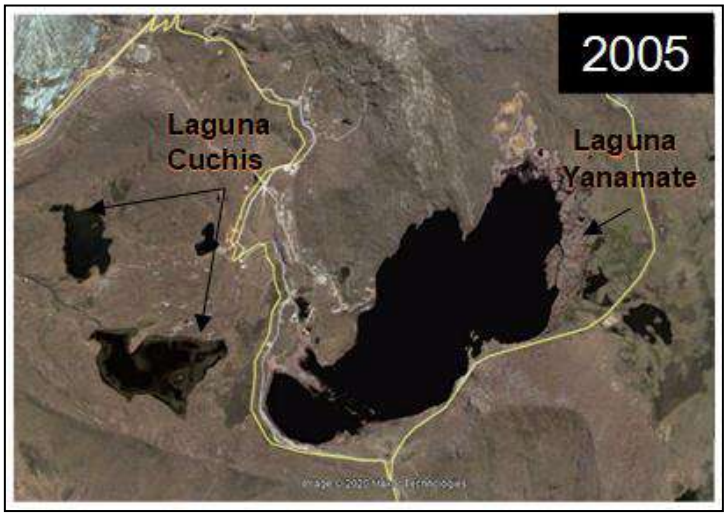


Figura 7.36. Ubicación de lagunas Cuchis y Yanamate

En el depósito de aguas ácidas Yanamate se realizó la descarga de aguas ácidas ferrosas provenientes de la U.P Cerro de Pasco y de la planta SX-EW desde 1982. A fines de 1987 inicia el descenso del nivel del espejo de agua, que según se señala en el PAMA sería ocasionado por activación de la falla geológica que atraviesa el depósito y/o incremento de la velocidad de reacción del lecho de calizas de la laguna. En el EIA (2008) se estima una infiltración de 124 L/s hacia los cimientos como recarga al agua subterránea. De acuerdo con la Figura 7.37, el depósito de aguas ácidas Yanamate en el 2005 formaba un solo cuerpo de agua, cuyo espejo de agua fue descendiendo, ocasionando que al 2007 se forme la laguna Huayhuacocha.

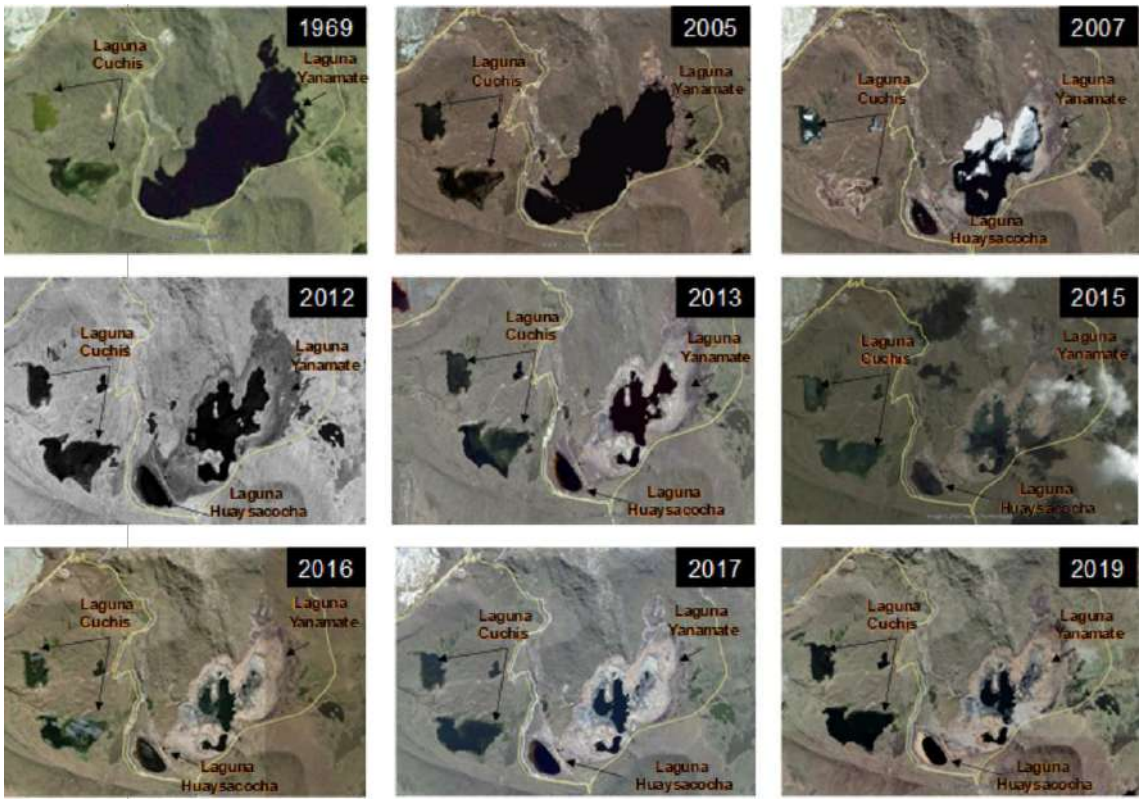


Figura 7.37. Análisis multitemporal de los años 1969, 2005, 2007, 2012, 2013, 2015, 2016, 2017 y 2019 en el ámbito de influencia del depósito de aguas ácidas Yanamate y Huaysacocha, y lagunas Cuchis

De acuerdo con la perforación AMP19-14 (prof.70m) en la caliza (Fm Chambará) del estudio Hidrogeológico de la UF Cerro de Pasco, esta zona forma parte de un acuífero fisurado con las siguientes características:

- Conductividad hidráulica con una media geométrica de 2 x 10^{-2} m/d, lo cual sugiere una permeabilidad más alta que el volcánico Rumillana y rocas intrusivas monzonitas
- RQD[40] menor a 51 %, cuya valoración de acuerdo con la clasificación de Barton, 1947[41], correspondería una roca «mala»

[40] RQD,(*Rock Quality Designation)* porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo. Representa estimación rápida y preliminar de las condiciones del macizo rocoso.

[41] Clasificación geomecánica según Barton &Lien y Lunden,1987, cuya valoración de la roca es: 0-25% (Muy mala), 25%-50% (mala), 50%-75% (regular), 75-90% (Buena) y 90%-100% (excelente)

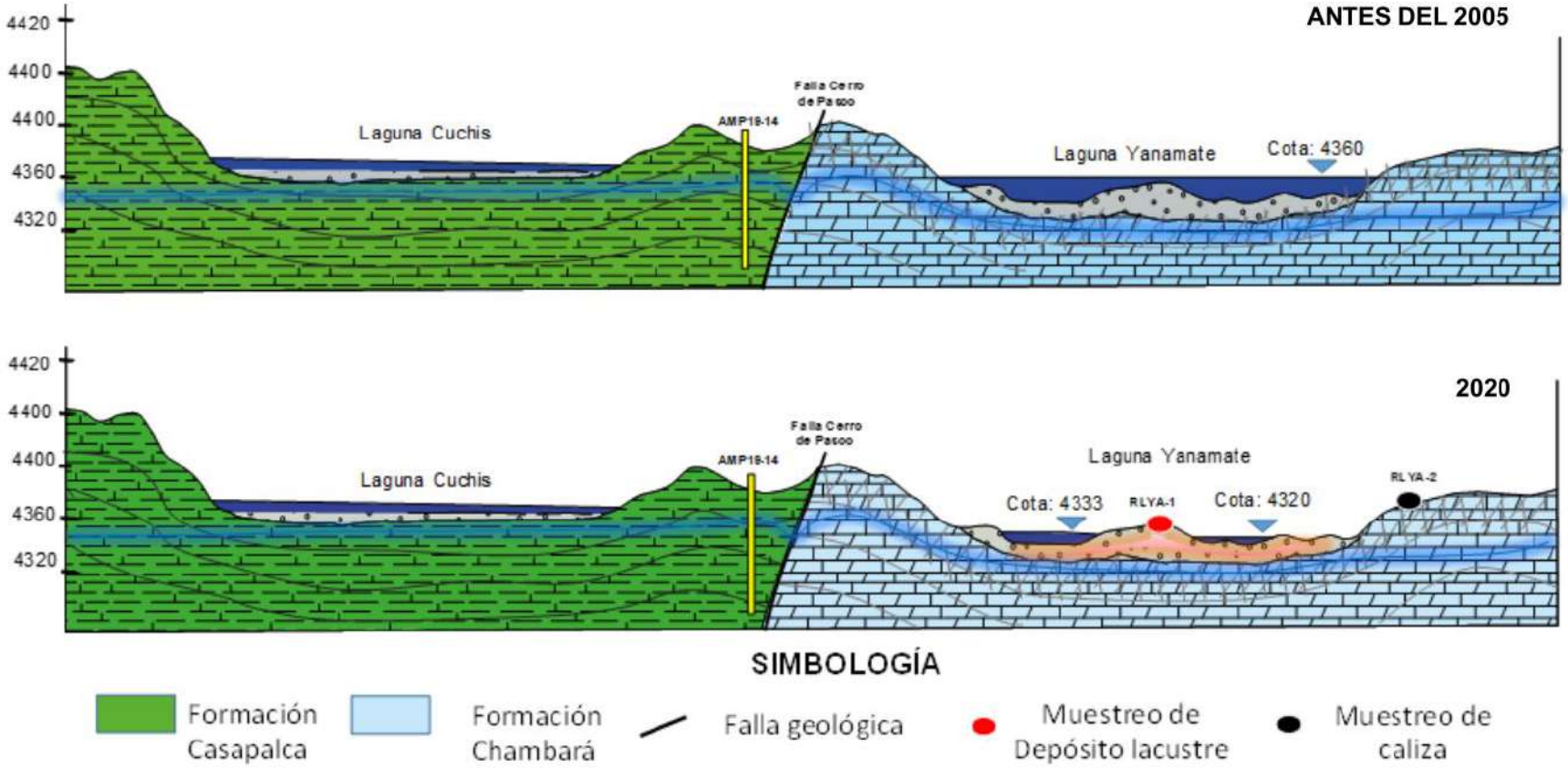


Figura 7.38. Perfil esquemático que muestra la litología del depósito de aguas ácidas Yanamate en el 2005 (cota 4360) y al 2020 (cota 4333 y 4320) mostrando los relictos de sedimentos lacustres alterados

El contacto de las litologías Casapalca y Chambará, y la Falla Cerro de Pasco, originan que las aguas de infiltración del depósito de aguas ácidas Yanamate se desplacen en sentido oeste, no permitiendo el ingreso de flujos subterráneos de Yanamate a la laguna Chuchis, por diferencia de cotas (Figura 7.38).

En el muestreo realizado por el OEFA en agosto 2020, se registró valores de pH <2 unidades en el depósito de aguas ácidas Yanamate, lo cual coincide con el EIA (2008) que señala que el pH de la laguna varía entre 1,9 y 2,5 unidades. Las características hidroquímicas de estas aguas fueron sulfatadas cálcicas y cloruradas magnésicas, debido a la reducción de yeso y oxidación de sulfato respectivamente, las cuales difieren de la laguna Cuchis, que presentó características bicarbonatadas cálcicas y pH de 9,41 debido a la disolución de las rocas carbonatadas que conforman este sector (Figura 7.39). Cabe resaltar que debido al proceso de disolución de rocas calizas en la laguna Cuchis, también se produce la liberación del arsénico de las rocas de la Formación Casapalca hacia el agua, registrándose un valor de 0,02470 mg/L, siendo el único metal que superó los ECA para agua Cat.4 2008, siendo esta concentración menor a las registradas en el depósito de aguas ácidas Yanamate (entre 0,24597 y 109,51 mg/L de arsénico).

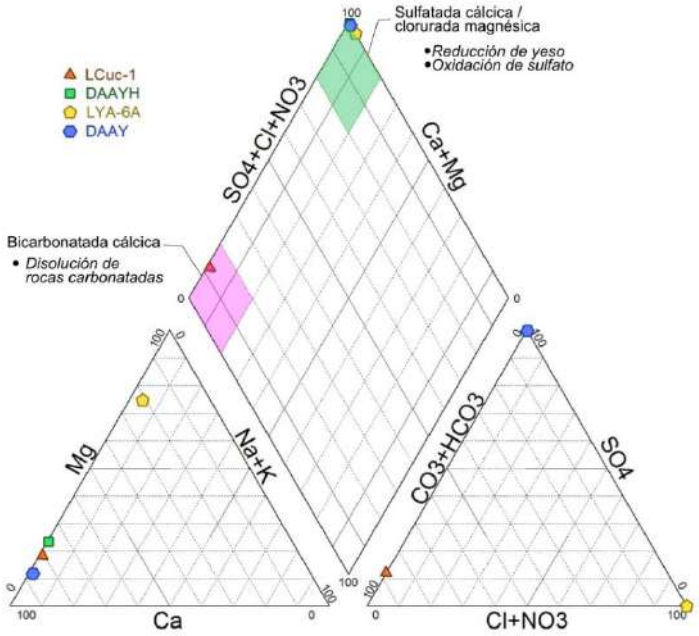


Figura 7.39. Diagrama de Piper para del depósito de aguas ácidas Yanamate (DAAYH, LYA-6A y DAAY) y laguna Cuchis (LCuc-1)

Si bien se descarta la influencia del depósito de aguas ácidas Yanamate sobre la laguna Cuchis, las concentraciones de metales en el sedimento de Yanamate son un aportante continuo de metales al agua subterránea. Los relictos de sedimento lacustres (RLYA-1) fueron influenciados a través del tiempo por la deposición de aguas ácidas, prueba de ello, son las concentraciones de metales de dichos sedimentos (RLYA-1) que en comparación a las calizas de la Formación Chambará (RLYA-2) mostraron mayor concentración de metales (Figura 7.40). Del mismo modo, las concentraciones en el sedimento de la base del depósito de aguas ácidas Yanamate (DAAYH, LYA-6A y DAAY) son mayores que la formación Chambará, con concentraciones altas de arsénico, cobre, plomo y zinc, siendo el zinc y cobre los principales metales presentes en forma biodisponible (Figura 7.41).

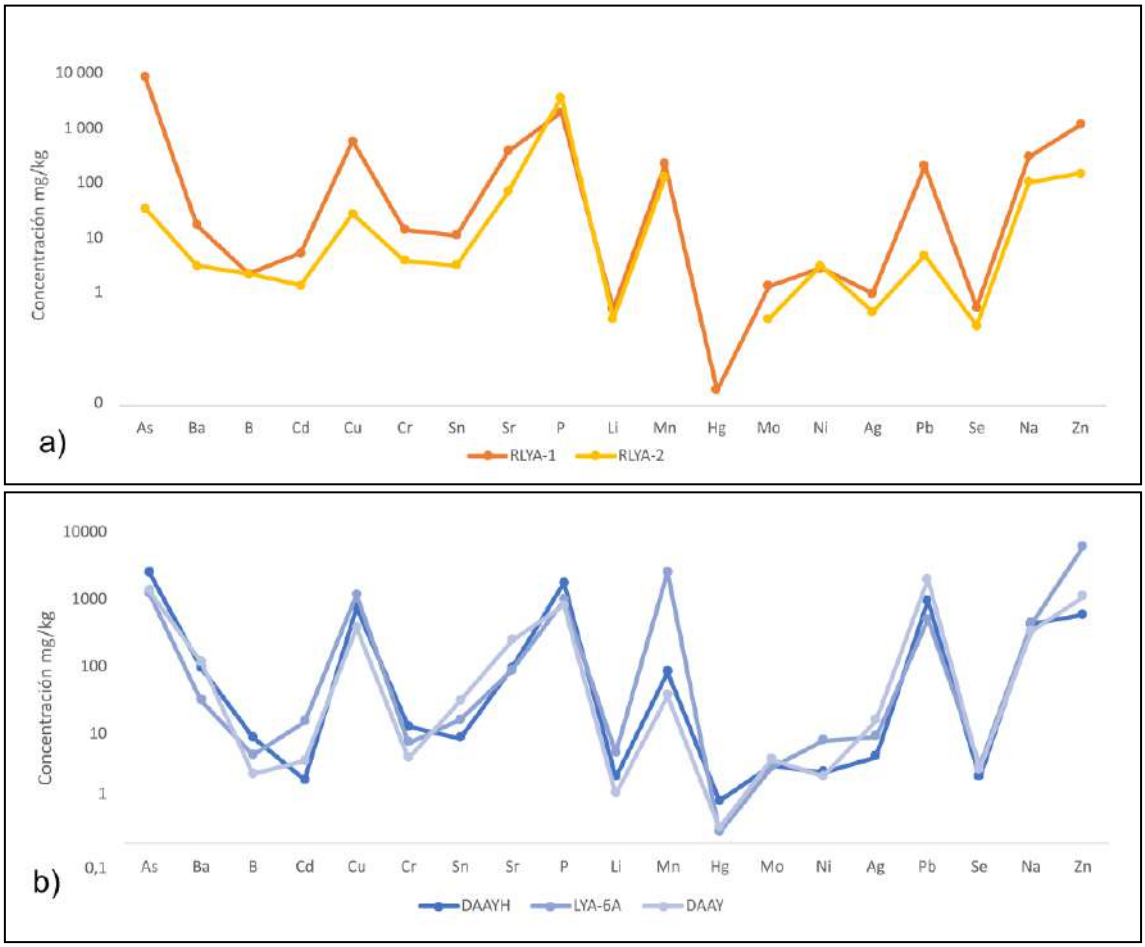


Figura 7.40. Distribución de metales a) en muestras de roca y b) en sedimento de la base del depósito de aguas ácidas Yanamate

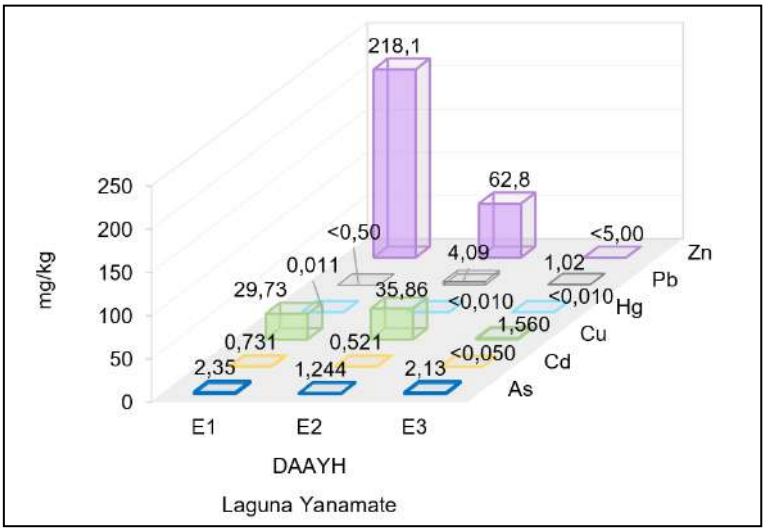


Figura 7.41. Metales biodisponibles en el depósito de aguas ácidas Yanamate

Actualmente, como medida de cierre se ha cercado con alambre de púas de 7,5 km de extensión y letreros de prevención. El EIA (2008) señala además que se espera la recuperación del pH del depósito de aguas ácidas Yanamate en 50 años.

7.7. Influencia de río Ragra al río San Juan

El río Ragra se encuentra canalizado desde la altura de los *stock pile* (inicio) hasta el extremo del depósito de relaves Quiulacocha (final), en su cauce recibe las descargas domésticas poblacionales de Cerro de Pasco, como también los efluentes tratados procedentes de la Planta de Óxidos y de la Planta Paragsha AR-1[42] y AR-3 respectivamente, y los efluentes mineros E-3 (202)[31] (Planta Paragsha), E-5 (204) (agua neutra de la mina subterránea), E-6 (203) (Planta de neutralización) y EO-01 (Ocroyoc), asimismo recibe las escorrentías de las laderas colectadas por el canal de coronación, las aguas provenientes de las laderas a la izquierda del botadero Excelsior y de la relavera Quiulacocha y finalmente el agua de las quebradas Pichca cuncha y Quilcamachay que son colectadas a través de los canales de coronación del depósito de relaves Ocroyoc (margen derecha e izquierda)[43].

En el Estudio Hidrológico e hidrogeológico realizado por AMPHOS (2020) se presentan las estaciones de monitoreo descritos y se consideran adicionalmente los puntos PM-04 (rio Ragra antes de la unión con el agua de la Relavera Quiulacocha), PM-05 (Agua de no contacto botadero Excelsior) y PM-06 (agua de escorrentía margen derecha Ocroyoc), VCO-01 (Canal margen izquierdo Ocroyoc) y 5DV (río Ragra aguas abajo de la confluencia con el canal margen izquierdo de Ocroyoc), lo mencionado se muestra en la Figura 7.42.

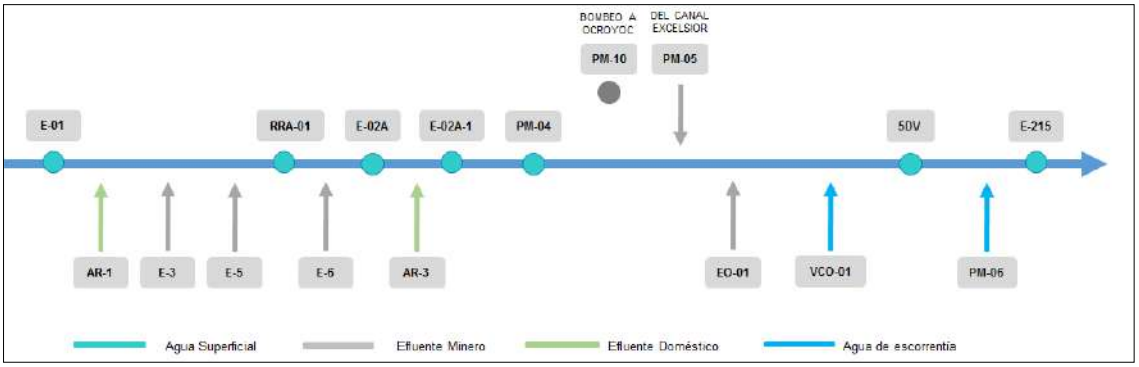


Figura 7.42. Esquema de las estaciones de monitoreo de agua superficial, efluentes y aguas de escorrentía
Fuente: Modificado de AMPHOS 2020

De los resultados de agua superficial del mencionado estudio, se observa un incremento de las concentraciones en el punto RRA-01 en comparación al E-01, dicho incremento se registró después de la descarga de los efluentes mineros E-3 (202) y E-5 (204) en los parámetros de conductividad eléctrica, sulfatos, manganeso total y hierro total superando el ECA para agua Cat.3 2008 en los dos últimos parámetros mencionados; así mismo, se observó un incremento en el punto E-2A-1 con referencia a E-02A incremento que se presentó después la descarga del efluente AR-3, en los parámetros conductividad, sulfatos, manganeso total, hierro total y estroncio total. A demás se observó el incremento del valor de la conductividad y de las concentraciones de sulfatos, manganeso total, hierro total y estroncio total en el punto 5DV que se encuentra aguas abajo del efluente minero EO-01 en

[42] De acuerdo con el INFORME DE SUPERVISIÓN Nº 065 -2019-0EFA/DSEM-CMIN, el vertimiento E-202 fue clausurado y se realizó la derivación del efluente de la Planta Paragsha al canal de relaves hacia el depósito de relaves Ocroyoc. En el mismo informe se señala se procedió a eliminar el vertimiento AR-1

[43] Durante el muestreo realizado en agosto y setiembre 2020, los efluentes AR-1, E-3 (202) y E-6 (203) se encontraron sin flujo

comparación con el punto PM-05 que se ubica antes del vertimiento, se debe tomar en cuenta que el depósito de relaves Ocroyoc recibe los relaves provenientes de las plantas concentradoras San Expedito, Paragsha, Planta de beneficio de minerales oxidados y lodos de la Planta de Neutralización, así mismo durante la época de precipitaciones, entre los meses de octubre a marzo, se descargan las aguas ácidas tratadas de la laguna Quiulacocha[44]. También se analizó la calidad de agua en PM-10 (aguas acidas del depósito de relaves Quiulacocha) donde se tienen altos valores de conductividad y de concentraciones de sulfatos (16840 mg/L), manganeso total (50mg/L), hierro total (>1000 mg/L) y estroncio total, lo descrito se presenta en la Figura 7.38 (las concentraciones de efluentes no son comparadas con el ECA).

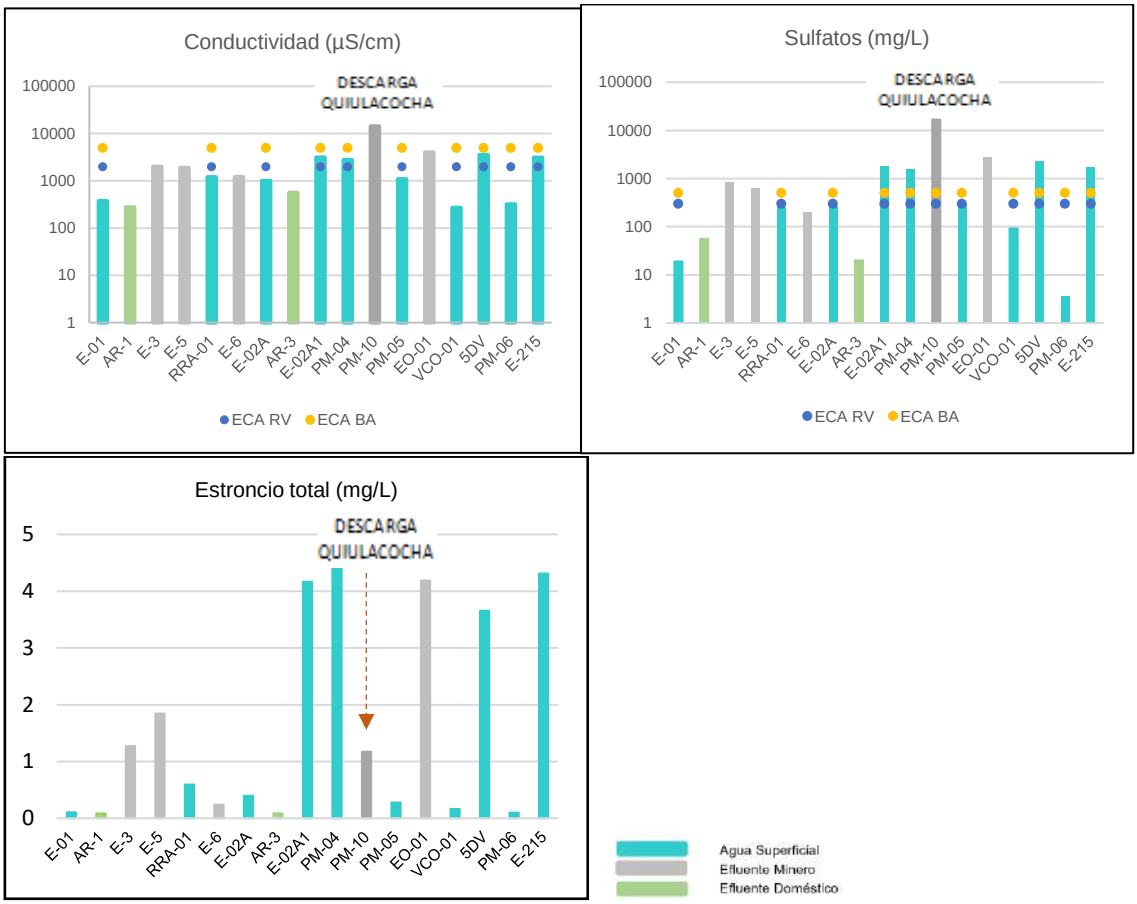
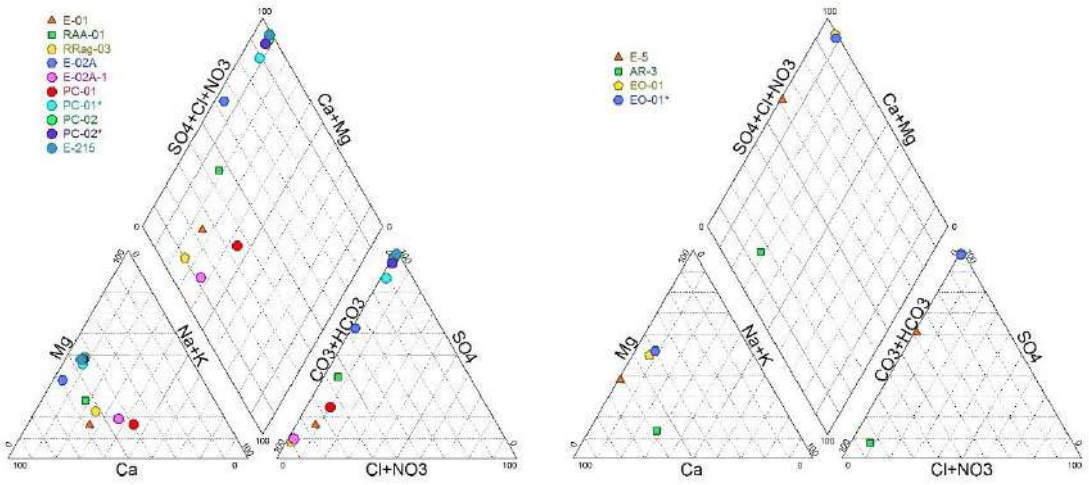


Figura 7.43. Concentración de los parámetros conductividad eléctrica, sulfatos, manganeso total y estroncio en las estaciones de agua superficial E-01, RRA-01, E-02A, E-02A-1, PM-04, PM-10, PM-05, EO-01, VCO-01, 5DV, PM-06 y E-215 y en los efluentes AR-1, E-3, E-5, E-6, AR-3, y EO-01.

Fuente: Estudio Hidrogeológico (AMPHOS 2020)

Para el análisis de los resultados obtenidos en el muestreo de campo, se realizó la clasificación hidrogeoquimica de las aguas superficiales según la concentración de cationes y aniones mayoritarios presentes, observándose diferentes cambios en todo el trayecto del Río Ragra, el agua en los puntos E-01, RRA-01, RRag-03, E-02A-1 y PC-01 se encuentran en las facies bicarbonatadas cálcicas y el agua en los puntos E-02A y PC-01* en las facies sulfatadas cálcicas y PC-02 y E-215 en las facies sulfatadas cálcicas magnésicas. También se clasificó los efluentes mineros y doméstico que son vertidos al río Ragra, siendo

clasificados E-5, en facie sulfatada cálcica y EO-01 en las facies sulfatadas cálcicas magnésicas y el efluente domestico AR-3 como bicarbonatada cálcica, en la Figura 7.44 se presenta los diagramas de Piper para agua superficial y efluentes mineros y doméstica.



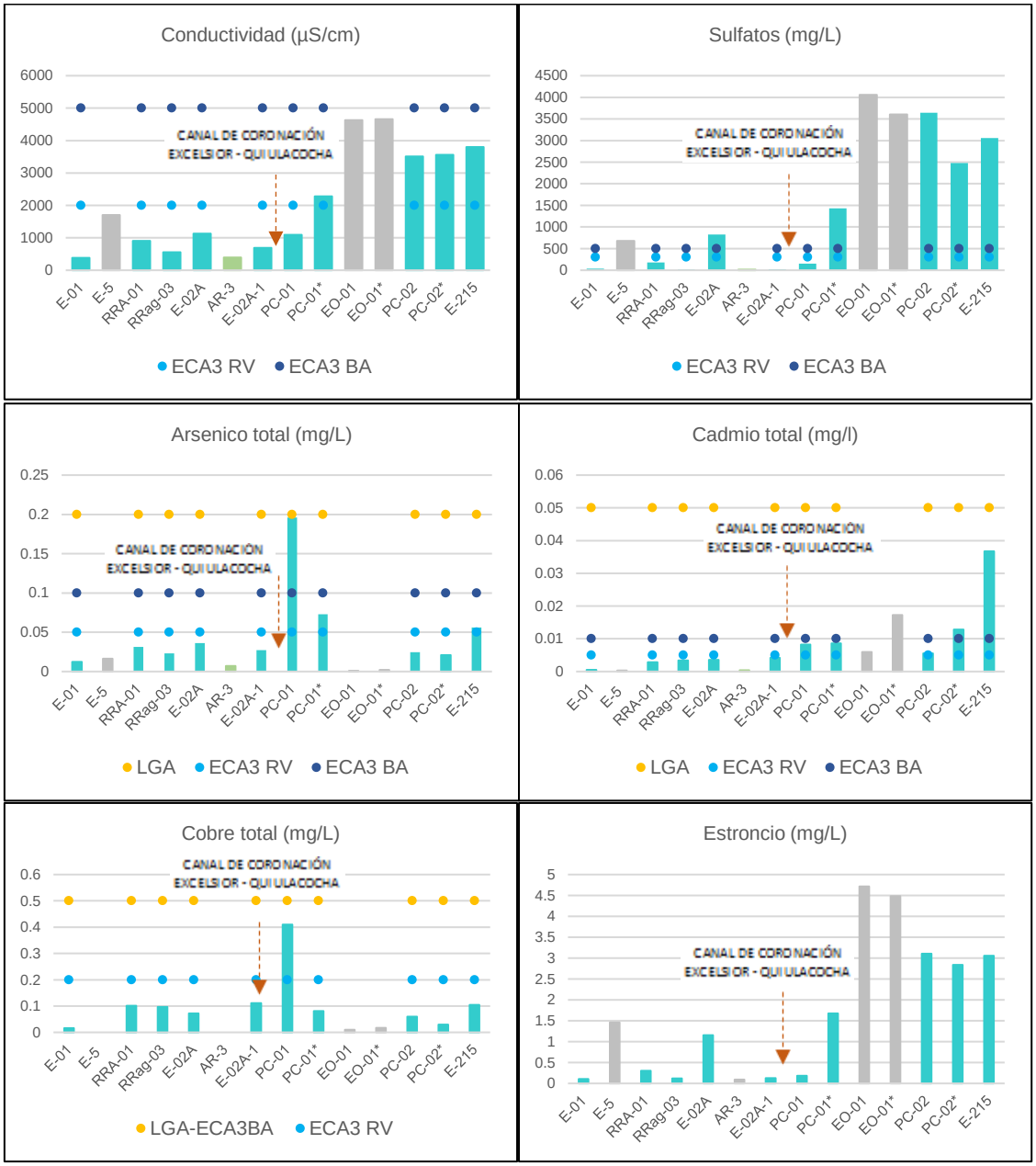
(*) Muestreo realizado en Setiembre 2020.

Figura 7.44. Diagrama de Piper para agua superficial (río Ragra) y residual industrial evaluados en agosto y setiembre 2020.

De los resultados fisicoquímicos de calidad de agua con respecto al efluente minero E-5 (204) se observó un incremento en RRA-01 en comparación a E-01, en los valores de conductividad, concentración de sulfatos, arsénico total, cadmio total, cobre total, magnesio total que no superan el ECA para agua Cat. 3 2008, a excepción de los parámetros hierro total, manganeso total y plomo total, también se observa el incremento de estroncio total que guarda relación con la concentración de este elemento en el efluente minero (E-5); con respecto al efluente EO-01 también se observa un incremento entre los puntos de control PC-01 y PC-02, en los valores de conductividad y concentración de sulfatos, magnesio total, manganeso total y calcio total este comportamiento fue analizado y expuesto en la Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito de los stock piles y depósito de relaves Ocroyoc de la unidad fiscalizable Planta de Óxidos, en el 2020[45], adicionalmente se observa que el elemento traza estroncio se incrementa después del vertido del efluente EO-01 en comparación al punto de control aguas arriba.

Es importante mencionar que se observa un incremento de las concentraciones entre los puntos E-02A-1 y PC-01 en las concentraciones de arsénico total, cadmio total, cobre total, hierro total y plomo total, que se debe a la influencia del flujo de agua proveniente del canal izquierdo, cuyas características se detallan en el Informe N°. 244-2020-OEFA/DEAM [46], en la Figura 7.45 se presenta los gráficos de lo expuesto.

[45] Informe N° 00236-2020-OEFA/DEAM-STEC, aprobado en noviembre 2020
[46] Evaluación Ambiental de Causalidad en el Ámbito del Pasivo Ambiental Minero Depósito de Desmontes Excelsior a Cargo de Activos Mineros S.A.C. en el 2020


Conductividad (µS/cm)
CANAL DE CORONACIÓN EXCELSIOR - QUILLACOCHA
ECA3 RV
ECA3 BA
Sulfatos (mg/L)
CANAL DE CORONACIÓN EXCELSIOR - QUILLACOCHA
ECA3 RV
ECA3 BA
Arsenico total (mg/L)
CANAL DE CORONACIÓN EXCELSIOR - QUILLACOCHA
LGA
ECA3 RV
ECA3 BA
Cadmio total (mg/l)
CANAL DE CORONACIÓN EXCELSIOR - QUILLACOCHA
LGA
ECA3 RV
ECA3 BA
Cobre total (mg/L)
CANAL DE CORONACIÓN EXCELSIOR - QUILLACOCHA
LGA-ECA3BA
ECA3 RV
Estroncio (mg/L)
CANAL DE CORONACIÓN EXCELSIOR - QUILLACOCHA
E-01
E-5
RRA-01
RRag-03
E-02A
AR-3
E-02A-1
PC-01
PC-01*
EO-01
EO-01*
PC-02
PC-02*
E-215

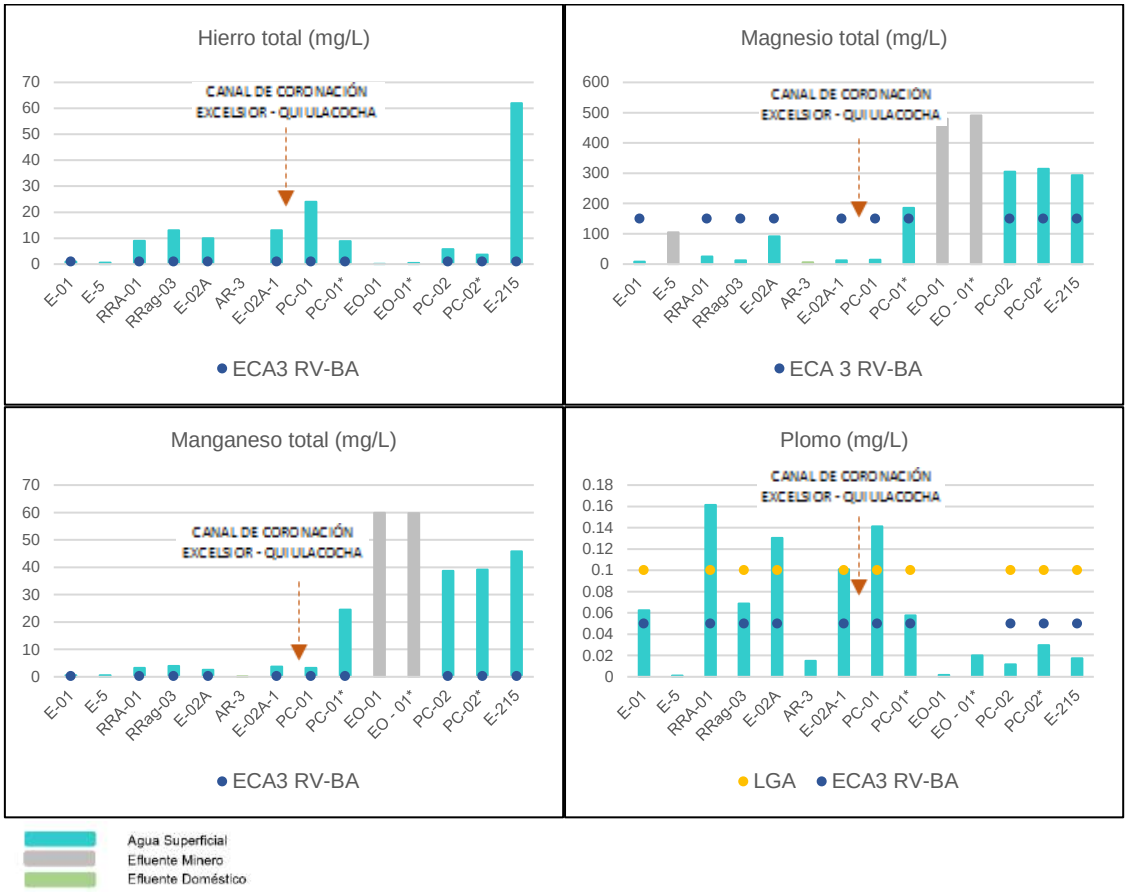


Figura 7.45. Concentración de los parámetros conductividad eléctrica, sulfatos, arsénico total, cadmio total, cobre total, estroncio total, hierro total, magnesio total y manganeso total en los puntos de muestreo de agua superficial E-01, RRA-01, RRag-03, E-02A, E-02A-1, PC-01, PC-02 y E-215 y en los efluente AR-1, E-3, E-5, E-6, AR-3 y EO-01 evaluado en agosto y setiembre 2020.
(*) Muestreo realizado en Setiembre 2020.

Con relación a la influencia del río Ragra sobre el rio San Juan, se ha verificado los resultados obtenidos en el punto E-215, que se denomina como el efluente total Cerro de Pasco que se ubica en el rio Ragra antes de la confluencia con el río San Juan, se observó un incremento en E-215 en relación al punto PC-02 en los parámetros conductividad, sulfatos, arsénico total, cadmio total, cobre total, hierro total, y manganeso total en este tramo se observó residuos mineros en ambos márgenes del río Ragra; además de acuerdo a lo señalado en el Informe N° 00248-2020-STEC/DEAM [47], la calidad de agua superficial en el punto SJ-10 (aguas arriba de AUREX) tuvo valores de conductividad de (3090 µS/cm), DBO_5 (27 mg/L), DQO (48 mg/L), coliformes termotolerantes (54000 NMP/100 mL), hierro total (11 mg/L), manganeso total (37,437 mg/L) y zinc total (2,3 mg/L), con respecto al punto SJ-11 (aguas abajo de la compañía minera Aurex) que pertenece al rubro de la pequeña minería, estas concentraciones se incrementan en algunos parámetros como aceites y grasas, DBO5, DQO, sulfatos y coliformes termotolerantes, en el parámetro hierro total se mantiene con la misma concentración y en el parámetro conductividad disminuye. Por lo

47 Evaluación de Causalidad en el Área de Influencia de los Pasivos Ambientales de Origen Minero en el Río San Juan y Delta Upamayo, Distrito de Simón Bolivar, Tinyahuarco, Vicco, Provincia y Departamento Pasco, en El 2020

que para evaluar la influencia del río Ragra sobre el rio san Juan se considera adicionalmente el aporte de minera Aurex.

Con referencia a los resultados obtenidos en los puntos de muestreo E-213 (aguas arriba de la confluencia del río Ragra) y E-214 (aguas abajo de la confluencia del río Ragra) existe una diferencia marcada, la clasificación del agua según la presencia de iones mayoritarios en E-213 es carbonatada cálcica y en el punto E-214 es sulfatada cálcica al igual que en E-215.

La concentración de metales totales en E-213 es mucho menor a las concentraciones en E-214 que en algunos casos supera el ECA para Cat.3 2008, tal como se muestra en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4. Concentraciones en puntos de muestreo de agua superficial en el río San Juan y río Ragra

Código		E-213	E-215	E-214	LGA	ECA para agua Cat3 2008	
Fecha de muestreo		18/08/2020	10/08/2020	18/08/2020		Riego de vegetales	Bebida de animales
Potencial de hidrógeno (pH)	Unid. de pH	8,98	7,18	8,09	**	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Conductividad eléctrica (CE)	µS/cm	202,6	3800	2800	**	<2000	<=5000
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	10,37	6,05	4,58	3	>=4	>5
Sulfatos	mg SO_4^{-2}/L	14	3056	1792	**	300	500
Arsénico Total	mg/L	0,00801	0,05588	0,01023	0,2	0,05	0,1
Cadmio Total	mg/L	0,00004	0,03672	0,00125	**	0,005	0,01
Calcio Total	mg/L	32	469	386	**	200	**
Cobre Total	mg/L	< 0,0003	0,1044	0,0832	**	0,2	0,5
Estroncio Total	mg/L	0,05501	3,0563	2,1968	**	**	**
Hierro Total	mg/L	0,09	62	1,8	**	1	1
Magnesio Total	mg/L	3,92	293	245	150	150	150
Manganeso Total	mg/L	0,054	45,763	27,142	**	0,2	0,2
Mercurio Total	mg/L	0,000078	<0,000070	0,000189	**	0,001	0,001
Plomo Total	mg/L	0,00241	0,01754	0,00938	0,1	0,05	0,05
Zinc Total	mg/L	0,005	8,98	0,395	**	2	24

: Parámetros que están fuera de los establecido en la Ley General de Aguas y el ECA para aguas Cat. 3 2008

** : Parámetro no señalados en las normas mencionadas.

En relación a los sedimentos, se muestra la distribución de puntos de los río Ragra y San Juan, en el cual se puede observar la predominancia del calcio y hierro en todos los puntos evaluados (PC-01, PC-02, E-215, E-213 y E-214), el calcio se encontraría asociado a la litología dominante de rocas calizas (presencia de carbonato de calcio), este dominio de rocas calizas define el pH alcalino de los ríos Ragra (7,18 y 8,48 und pH en agosto 2020) y río San Juan (8,09 y 8,98 und pH en agosto 2020), además las altas concentraciones de hierro que se observaron en el río Ragra estarían influenciando el incremento de este elemento en el río San Juan por arrastre fluvio aluvial (Figura 7.46).

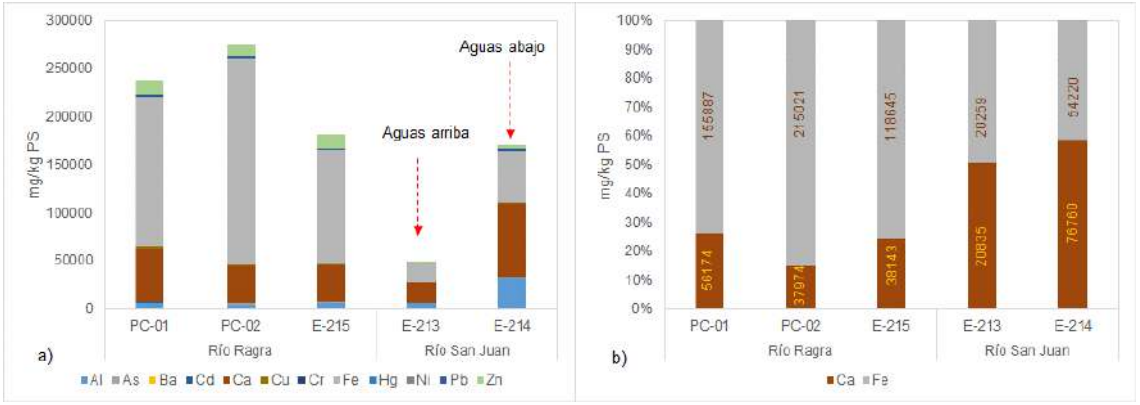


Figura 7.46. a) Comparación de las concentraciones de metales en los sedimentos de los ríos San Juan y Ragra y b) Predominancia de hierro y calcio (%)

Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc registradas en sedimento del río Ragra, superaron los valores ISGQ y PEL de la guía canadiense en los puntos PC-01, PC-02 y E-215. Por otra parte, en los puntos E-214 y E-213 del río San Juan, las concentraciones de metales ya mencionados superaron los valores ISQG y PEL de la guía canadiense, a excepción de los parámetros cadmio, arsénico y mercurio que sólo superaron los valores del ISQG en el punto E-213. Además, los metales mencionados presentaron sus mayores concentraciones en los puntos ubicados en el río Ragra, las altas concentraciones que presenta este aportante del río San Juan estaría influenciando en los incrementos producidos en el punto E-214 (aguas abajo del río San Juan, después de la confluencia con el río Ragra) que serían por arrastre fluvio aluvial, mientras las menores concentraciones se registraron en el punto E-213 (aguas arriba del río San Juan, antes de la confluencia con el río Ragra) (Figura 7.47), además lo mencionado guarda relación con lo señalado en el informe de Evaluación Ambiental de Causalidad en el Área de Influencia de los Pasivos Ambientales de Origen Minero en el Río San Juan y Delta Upamayo, Distrito de Simón Bolivar, Tinyahuarco, Vicco, Provincia y Departamento Pasco, en El 2020.

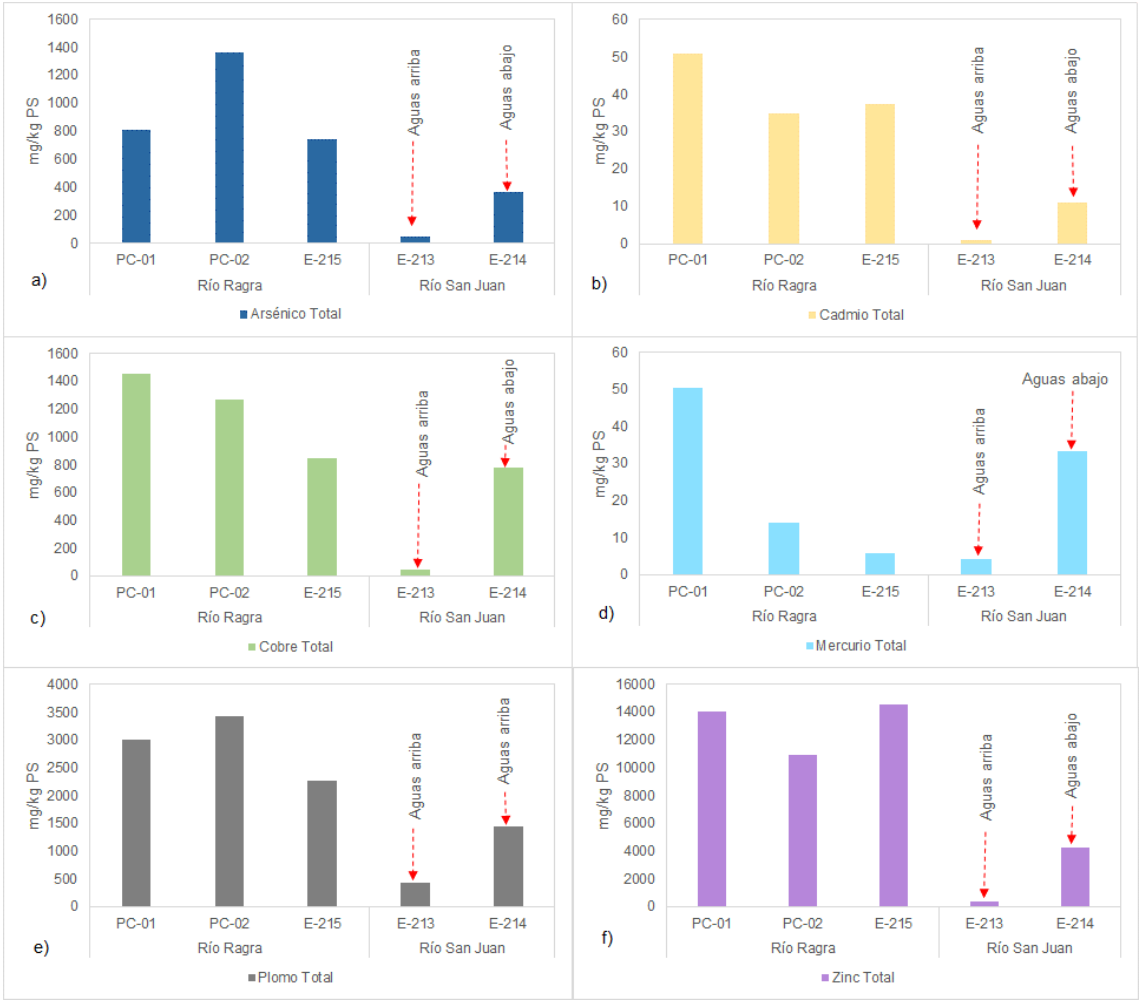


Figura 7.47. Concentraciones de metales en sedimento en el río Ragra y San Juan en a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) mercurio, e) plomo y f) zinc

En relación a las comunidades hidrobiológicas evaluadas fueron perifiton y macroinvertebrados bentónicos en los ríos Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02 y E-215) y San Juan (E-213 y E-214).

En la comunidad del perifiton, las microalgas que se registraron en el río Ragra fueron Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Ochrophyta y Euglenozoa. Los phyla Bacillariophyta (Diatomeas) y Cyanobacteria predominaron en riqueza y abundancia en los puntos evaluados, se resalta la presencia de Bacillariophyta por ser considerada indicador ambiental en ríos y lagos (Stoermer & Smol, 1999) y suelen ser empleadas en programas de monitoreo para estimar el estado ecológico de diversos ambientes acuáticos (*Council of the European Communities*, 1991) (Figura 7.48).

La riqueza de microalgas en el río Ragra, registró valores entre 10 y 17 especies, además se resalta la presencia de los géneros *Nitzschia*, *Encyonema* y *Fragilaria* pertenecientes al grupo Bacillariophyta los cuales se caracterizan por ser tolerantes a cambios ambientales y se encuentran presentes en ambientes eutróficos (Silva-Benavides 1996 y Gómez 1998), y *Pseudanabaena* que pertenece al grupo Cyanobacteria, se caracteriza por ser tolerante a altas concentraciones de metales (Rand *et al*., 2010).

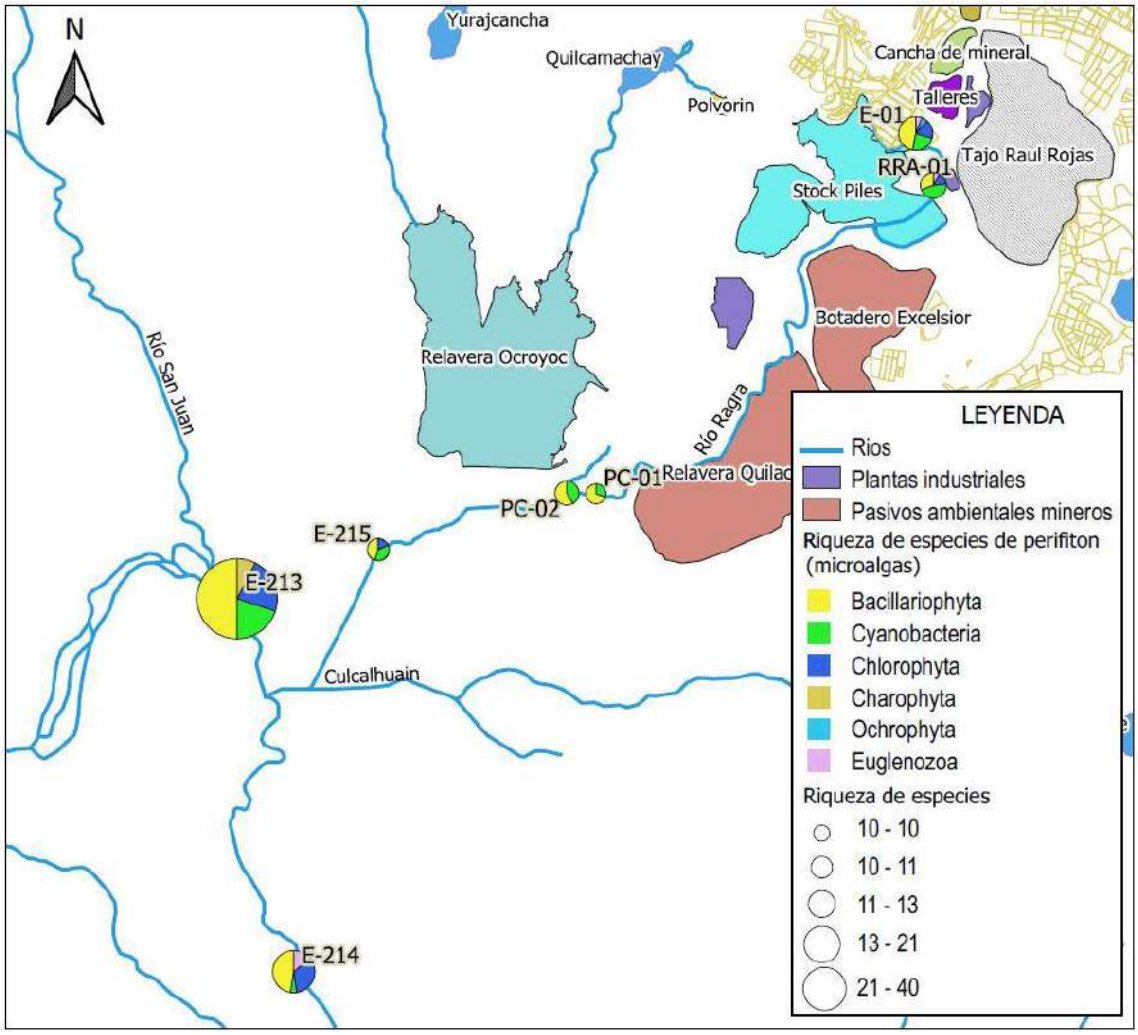


Figura 7.48. Composición de la riqueza de perifiton (microalgas) en el río Ragra y San Juan – agosto 2020

Con relación a la influencia del efluente minero (E-5) al río Ragra (E-01 y RRA-01), las microalgas que se registraron fueron los phyla Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta, Ocrophyta y Euglenozoa. Con respecto a la riqueza, se observa una disminución de Bacillariophyta, Chlorophyta y ausencia de Ocrophyta, mientras que Cyanobacteria registra un incremento en RRA-01 en comparación a E-01; sin embargo, la riqueza del phylum Euglenozoa es similar en ambos puntos. En relación a la abundancia, se aprecia una disminución de los phyla Bacillariophyta, Cyanobacteria y Chlorophyta, mientras Euglenozoa registra un incremento en RRA-01. Los cambios registrados en la riqueza y abundancia de las comunidades de microalgas pueden deberse en parte al aumento de la concentración de sulfatos, calcio, magnesio, manganeso, cadmio, cobre, hierro, plomo y conductividad presentes en el agua debido al aporte del efluente E-5, al respecto Celis *et al*. (2008), menciona que la conductividad influye en la distribución, composición, biomasa y densidad de las microalgas, y Blinn & Bailey (2001) mencionan que los aumentos de iones disueltos afectan la abundancia y la riqueza de Bacillariophyta (Figura 7.49).

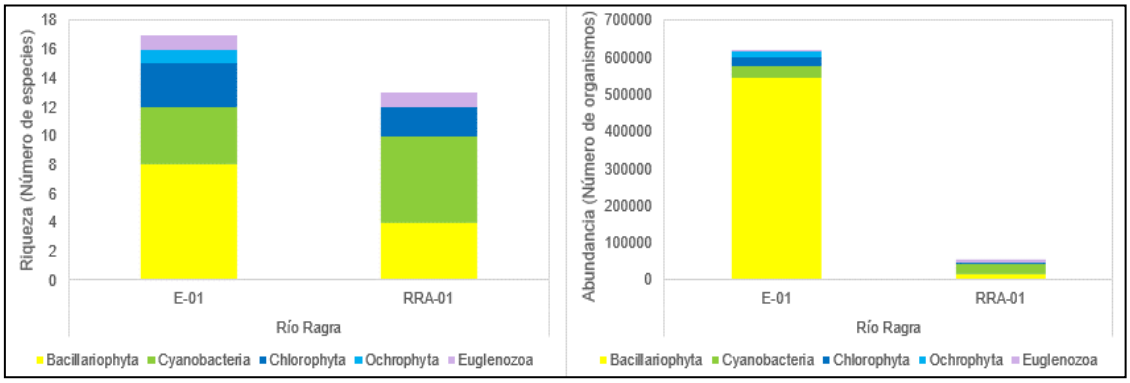


Figura 7.49. **a)** Composición y riqueza de perifiton (microalgas) y **b)** Abundancia de perifiton (microalgas) – agosto 2020

La influencia del efluente minero (EO-01) al río Ragra (PC-01 y PC-02) con respecto a la comunidad de perifiton (microalgas) se explicó en mayor detalle en el informe «Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del depósito de desmonte Hanancocha, los *stock piles* y depósito de relaves Ocroyoc de la unidad fiscalizable Planta de Óxidos, en el 2020».

Respecto a los puntos evaluados en el río San Juan (E-213 y E-214), el punto E-213 (aguas arriba, antes de la confluencia con el río Ragra) presentó el mayor valor de riqueza (40 especies) y abundancia, además de presentar al phyla Charophyta considerado como un buen indicador de la calidad del agua debido a que son muy sensibles a la contaminación (Van Dijk & Van Vierssen, 1991; Coops, 2002; Cirujano, Murillo, Meco, & Fernández, 2007; Schneider, 2007); sin embargo, después de recibir el aporte de las aguas del río Ragra, se estaría produciendo cambios desfavorables al ambiente acuático, observados en el punto E-214 (aguas abajo, después de la confluencia con el río Ragra), como la disminución de la riqueza (21 especies) y abundancia, ausencia del phylum Charophyta y presencia de Euglonozoa, los cuales son característicos de ambientes acuáticos con materia orgánica en descomposición y ríos contaminados con metales pesados (Giordi, 2013), como el río Ragra y el punto (E-214) ubicado en el río San Juan (Figuras 7.50).

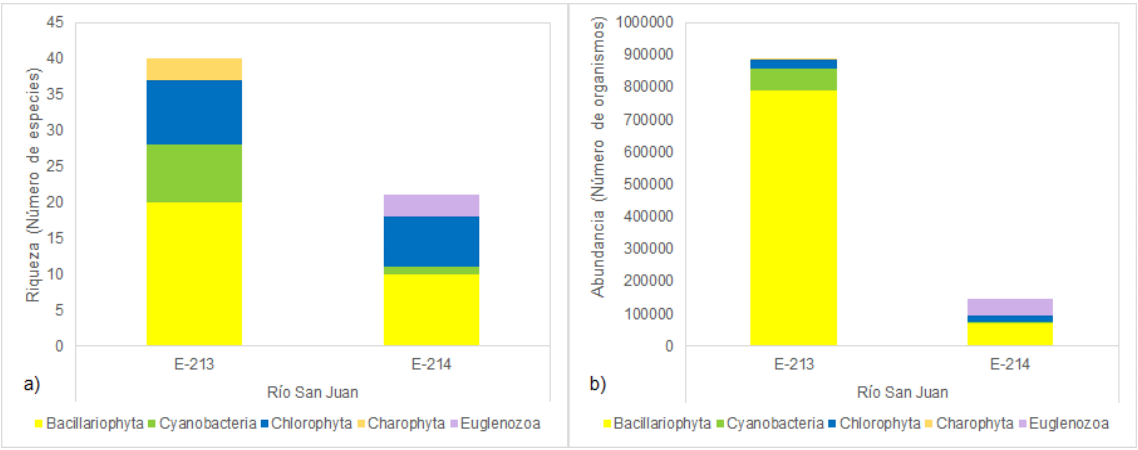


Figura 7.50. Composición de las microalgas en a) riqueza y b) abundancia

En relación a los macroinvertebrados bentónicos, se caracterizan por ser utilizados como indicadores de las condiciones ambientales; ya que su presencia refleja las condiciones que prevalecen en el ambiente donde viven (Roldán, 1999), como las condiciones físicas,

químicas y bióticas, además de las diferentes presiones sobre los ecosistemas naturales (Barbour *et al*., 1999).

En los puntos evaluados en el río Ragra (E-01, RRA-01, PC-01, PC-02 y E-215), la clase dominante fue Insecta, destacándose el orden Díptera (familias Chironomidae y Psychodidae), por presentar los mayores valores de riqueza y abundancia, excepto en los puntos PC-02 donde la riqueza fue similar al de los órdenes Haplotaxida y Coleoptera, y E-215 donde también fue similar a Haplotaxida. Asimismo, hubo ausencia de los organismos pertenecientes al grupo EPT[48] en el río Ragra, los cuales son muy frecuentes en aguas corrientes, limpias y bien oxigenadas y son considerados indicadores de buena calidad de agua (Roldán, 1992).

La riqueza de los puntos evaluados en el río Ragra, presentaron valores entre 2 y 5 especies, que se relacionaron con una calidad ecológica de mala y pésima según el Índice Biótico Andino (ABI), por el predominio de especies consideradas tolerantes a los cambios medioambientales como Díptera (Chironomidae) y Haplotaxida (oligoquetos) (Figura 7.51).

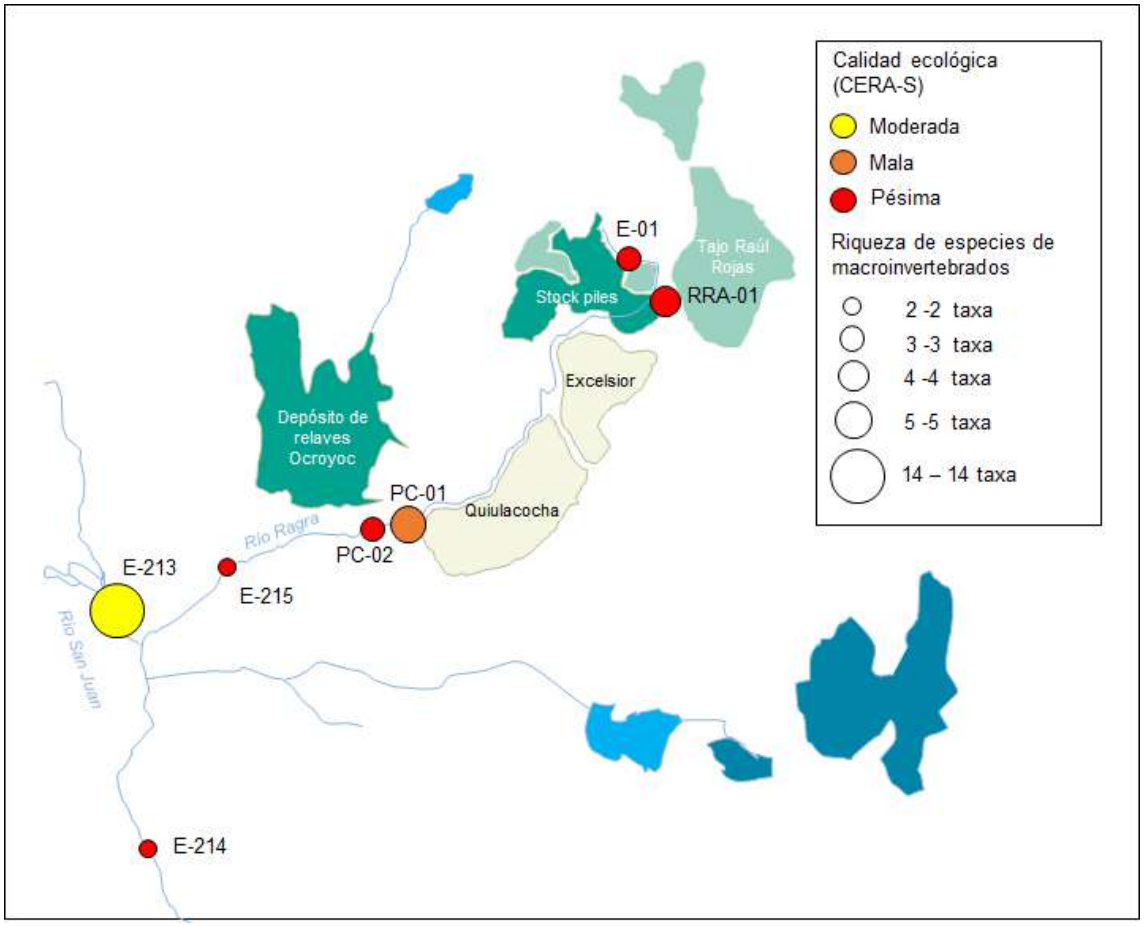


Figura 7.51. Calidad ecológica en los ríos Ragra y San Juan por punto de muestreo – agosto 2020

Respecto a la influencia del efluente minero (E-5) al río Ragra (E-01 y RRA-01) y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos evaluados, se registraron los órdenes Díptera y Haplotaxida. En relación a la riqueza, Díptera presentó los mayores valores en el punto RRA-01, mientras que el orden Haplotaxida presentó valores similares de riqueza en ambos

[48] EPT: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera.

puntos, sin embargo se observó un cambio en la composición de especies registrándose en RRA-01 la familia Muscidae perteneciente al orden Díptera. En relación a la abundancia, se observó una disminución en el punto RRA-01 del orden Díptera principalmente y un aumento del orden Haplotaxida (Figura 7.52).

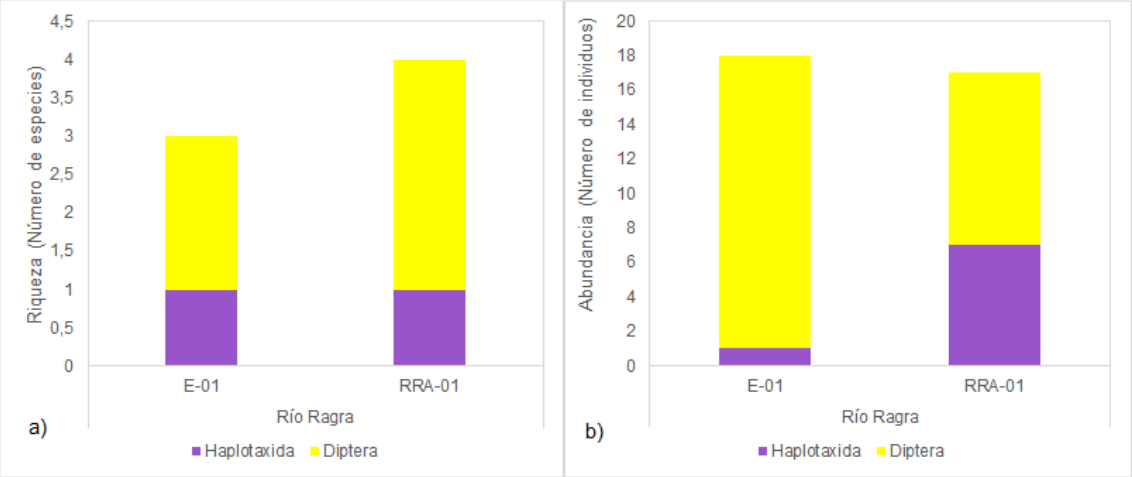


Figura 7.52. a) Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos, y **b)** Abundancia de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020

Las familias de Díptera presentes en E-01 fueron Chironomidae y Psychodidae, mientras que, en RRA-01 se registraron Chironomidae, Psychodidae y Muscidae. El orden Díptera se caracteriza por ser colonizadores oportunistas (Armitage y Blackburn, 1990; Munn y Brusven, 1991; Torralva et al., 1996), siendo la familia Chironomidae utilizada como indicadora de varios niveles tróficos de contaminación acuática (Wolff 2006), y la familia Muscidae se caracteriza por tener un rol importante en los ecosistemas debido a su hábito coprófago, polinizador y hematófago, siendo algunas de sus especies consideradas como controladores poblacionales de otros insectos y descomponedores de materia orgánica ya sea animal o vegetal (Carvalho et al. 2005). Respecto al orden Haplotaxida, se registraron en ambos puntos de muestreo; sin embargo, se incrementó la abundancia en RRA-01, estos organismos se encuentran en una gran variedad de hábitats desde aguas corrientes a estancadas, y algunos grupos son abundantes en zonas con altos niveles de polución orgánica (Encalada *et al*., 2011).

Asimismo, la influencia del efluente minero (EO-01) al río Ragra (PC-01 y PC-02) a la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos, se explicó en mayor detalle en el informe «Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del depósito de desmonte Hanancocha, los *stock piles* y depósito de relaves Ocroyoc de la unidad fiscalizable Planta de Óxidos, en el 2020»

Respecto a los puntos evaluados en el río San Juan (E-213 y E-214) y la comunidad de macroinvertebrados bentónicos evaluados, el punto E-213 (aguas arriba, antes de la confluencia con el río Ragra) presentó el mayor valor de riqueza (14 especies) y abundancia (642 individuos), donde se registraron especies de los órdenes Ephemeroptera y Trichoptera, los cuales son considerados como buenos indicadores de calidad de agua (Roldán, 1992), lo cual se reflejó en una buena calidad biológica y moderada calidad ecológica según el Índice Biótico Andino (ABI). Después de recibir el aporte de las aguas del río Ragra, se estaría produciendo cambios desfavorables al ambiente acuático, lo cual fue observado en el punto E-214 (aguas abajo) como la disminución de la riqueza (2

especies) y abundancia (32 individuos), ausencia de grupos indicadores de buena calidad de agua, predominio de grupos de especies tolerantes (familias Haplotaxidae y Chironomidade), lo cual se vio reflejado en una calidad biológica y ecológica pésima según el ABI (Figuras 7.53 y 7.51).

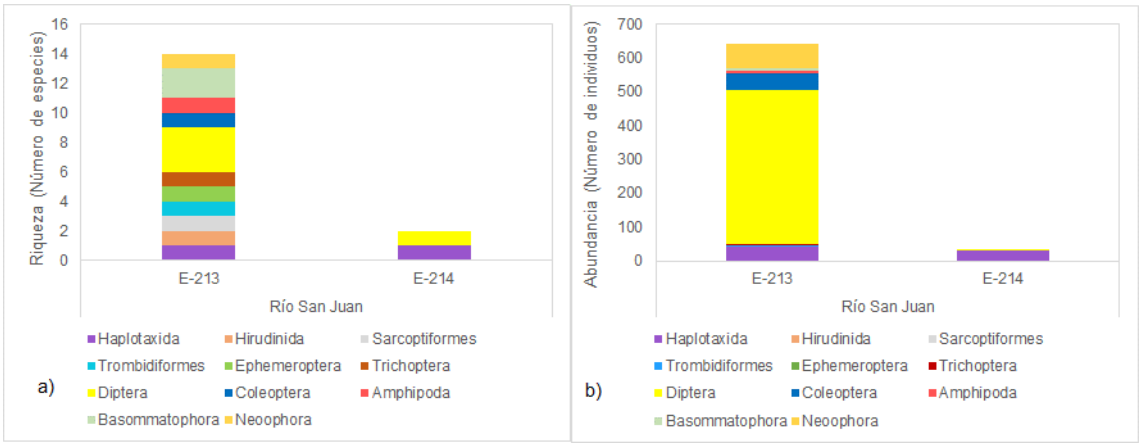


Figura 7.53. a) Composición y riqueza de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020, y **b)** Abundancia de macroinvertebrados bentónicos – agosto 2020

Las aguas del rio Ragra al ser influenciadas por las actividades mineras (Empresa Administradora Cerro SAC, Óxidos de Pasco SAC), PAM depósito de relave Quiulacocha, sedimentos fluvio aluvial mezclado con residuos mineros dispuestos en ambas márgenes del río Ragra y compañía minera Aurex, estarían afectando la calidad del agua por el incremento en las concentraciones de sulfatos y metales; además de los aportes de contaminantes orgánicos de los centros poblados ubicados en la provincia de Cerro de Pasco. Y este rio al ser tributario al rio San Juan estarían ocasionando cambios desfavorables que se evidenciaron en el análisis de los resultados de calidad de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el punto E-214 (aguas abajo) con respecto a E-213 (aguas arriba).

8. CONCLUSIONES

8.1. Influencia del Polvorín

El vertimiento no autorizado ESP-POL, proveniente de la infraestructura del polvorín, presenta pH ácido de 3,03 (agosto 2020) y 2,87 (setiembre 2020), con concentraciones de arsénico total, cobre total, plomo total, zinc total y hierro disuelto que superaron los LMP para efluentes minero-metalúrgicos (2010). Dicho flujo entra en contacto con el material de relleno sobre el que está edificado el cerco perimetrico del polvorín, el cual tiene altas concentraciones de arsénico, plomo, cadmio y cobre. Tanto el vertimiento ESP-POL como el material de relleno en la cimentación del polvorín alteran la quebrada s/n, la laguna Quilcamachay (agua, sedimento) y suelos aledaños.

8.2. Influencia de stock pile Aeropuerto y Pampa Seca

Del estudio de tomografía de resistividad eléctrica se infirió la existencia de humedad y lixiviados del stock pile Aeropuerto, los cuales profundizan y se desvían atravesándolo por debajo del lecho del canal del río Ragra. Según el administrado, estos lixiviados (agua de contacto) se originan del riego y la precipitación pluvial sobre los *stock pile*. Dicha

información es consistente con los resultados del piezómetro denominado PZ-1, ubicado al pie del talud del stock pile Aeropuerto, el cual presentó agua ácida, facie sulfatada magnésica y alta concentración de metales como arsénico total (11,174 mg/L), cadmio total (4,4179 mg/L), calcio total (352 mg/L), cobalto total (0,32130 mg/L), cobre total (78,57 mg/L), entre otros; dichas características fisicoquímicas fueron similares al agua de contacto muestreada en el canal de aguas ácidas (ESP-3).

De igual forma, en el sector Pampa Seca, el EIA (2008) menciona que el agua subterránea en el pozo PM06-7 y en el piezómetro Pampa Seca (410) indican altos niveles de contaminación del agua subterránea debido a lixiviados de los *stock piles*. Estos lixiviados afloran al pie de la vía de acceso principal del PAM depósito de desmonte Excelsior, según lo detallado en el Informe N° 00244-2020-OEFA/DEAM-STEC. Se precisa que estas aguas de contacto que afloran a la altura del PAM Excelsior, no cuentan con una adecuada infraestructura para su colección y conducción.

8.3. Influencia de los depósitos de desmonte al aire y material de polvo sedimentado (MPS)

La concentración de material particulado con diámetro menor a 10 micras PM_{10} en la estación CA-SB-01, presentó concentraciones entre 11,5 a 65,4 µg/m3, las cuales no superaron el valor establecido en los ECA para aire 2001 de PM_{10} (150 µg/m^3), para un periodo de 24 horas.

El 85% de los receptores de material particulado sedimentable sobrepasaron el nivel referencial establecido por la New South Wales de la EPA Australia, siendo el valor más alto registrado frente a la planta Paragsha (20,60 g/m2.mes). Del mismo modo, las mayores concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc y mercurio, en material particulado sedimentable se presentaron frente a la planta Paragsha; además, en el parque infantil y estadio del centro poblado de Paragsha. Dichos metales provienen desde los componentes planta Paragsha, botadero Miraflores y stock Piles, favorecidos por la acción del viento predominante en dirección norte-noreste (NNE) y noreste (NE).

8.4. Influencia de los depósitos de desmonte al suelo

Los suelos ubicados en el Estadio del C.P. Paragsha, Colegio San Andrés del C.P. Paragsha, zona aledaña al Centro de Salud Paragsha (frente a la planta concentradora), zona aledaña a la Municipalidad de Paragsha y en el Sector 2 del AA. HH. José Carlos Mariátegui y los suelos aledaños al polvorín, sufrieron una fuerte degradación debido a que sobre ellos se depositó material mineral ajeno al suelo natural de la zona y que se asemeja geoquímicamente al material de los componentes mineros (botadero Hanancocha, *stock piles*, botadero Miraflores, Tajo Raúl Rojas y botadero Rumiallana) que rodean al API-CS-CP, formando suelos jóvenes conocidos como suelos degradados, mineros o antrópicos que tienen propiedades que difieren drásticamente de los suelos naturales desarrollados en el lugar (ANF-CS-CP). Actualmente dicho transporte es facilitado por los vientos predominantes de dirección norte-noreste (NNE) y noreste (NE), que producen erosión eólica de los componentes y transportan material hacia los suelos. Se resalta que las mayores concentraciones de metales en componente minero se registraron en el material dispuesto en la planta concentradora Paragsha, el cual cuenta con un cerco perimétrico tipo malla, que no evita ni minimiza la dispersión del material particulado desde este componte.

Estos suelos degradados presentan altas concentraciones de arsénico, plomo, bario, cadmio, mercurio, cobre, plata, talio, zinc y manganeso, que, en algunos casos se encuentran en su forma disponible y son superiores a los niveles de fondo, a los niveles de referencia y a los estándares de calidad ambiental nacional o internacional, presentando índices que refieren contaminación y enriquecimiento.

8.5. Influencia de canal de conducción de relave

Se observó que el canal de contención de la línea de conducción de relaves se encontraba colmatado, producto de ello, parte de este material de relave fue identificado sobre el suelo aledaño, impactando un área aproximada de 6m^2, incumpliendo lo señalado en su plan de manejo ambiental respecto a las inspecciones y limpieza de canales de contención. Los resultados en el suelo afectado reflejaron concentraciones de plomo, cadmio y arsénico superiores al ECA para suelo de uso industrial 2013, metales en concentraciones similares a los registrados en el material de relave. Además, en época de lluvias se pueden generar arrastres de este material hacia el canal del río Ragra, ubicado a pocos metros.

8.6. Depósito de aguas ácidas Yanamate

El depósito de aguas ácidas Yanamate genera aportes al agua subterránea señaladas en los instrumentos del administrado (EIA 2008). Sin embargo, estos flujos no se dirigen hacia la laguna Cuchis, la cual presentó características hidroquímicas y fisicoquímicas diferentes al depósito de aguas ácidas Yanamate. Sin embargo, las concentraciones de metales en el sedimento de Yanamate son un aportante continuo de metales al agua subterránea.

8.7. Influencia de río Ragra al río San Juan

Las aguas del rio Ragra al ser influenciadas por las actividades mineras (Empresa Administradora Cerro SAC y Óxidos de Pasco SAC), PAM depósito de relave Quiulacocha, sedimentos fluvio aluvial mezclado con residuos mineros dispuestos en ambas márgenes del río Ragra y compañía minera Aurex, afectan la calidad del agua por el incremento en las concentraciones de sulfatos y metales; además de los aportes de contaminantes orgánicos de los centros poblados ubicados en la provincia de Cerro de Pasco. Y este rio al ser tributario al rio San Juan, estarían ocasionando cambios desfavorables que se evidenciaron en el análisis de los resultados de calidad de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el punto E-214 (aguas abajo) con respecto a E-213 (aguas arriba).

9. ANEXOS

Anexo 1: Mapas de muestreo
Anexo 2: Reporte de campo N.° RC-031-2020-STEC
Anexo 3: Reporte de campo N.° RC-046-2020-STEC
Anexo 4: Reportes de campo de tomografía eléctrica N.° RC-050-2020-STEC
Anexo 5: Reporte de resultados N.° RRE-029-2020-STEC (1era salida)
Anexo 6: Reporte de resultados N.° RRE-032-2020-STEC (2da salida)
Anexo 7: Resultados de caracterización de parámetros edáficos en suelos
Anexo 8: Reporte Estadístico de metales en suelos del área de nivel de fondo ANF-CS-CP para la determinación de niveles de fondo y referencia
Anexo 9: Reporte Estadístico de metales en suelos del área de potencial interés API-CS-CP
Anexo 10: Vídeos de evidencia

Anexo 11: Resultados de metales totales en muestras de identificación comparados con los niveles de fondo y niveles de referencia
Anexo 12: Mapas de distribución de metales en suelos del área de nivel de fondo ANF-CS-CP, área de potencial interés API-CS-CP y componentes mineros
Anexo 13: Análisis del índice NDWI en la laguna Quilcamachay
Anexo 14: Cálculo del índices de geoacumulación y factor de enriquecimiento
Anexo 15: Controles de calidad de filtros y frascos

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armitage, P. D. & Blackburn J. H. (1990). Environmental stability and communities of Chironomidae (Diptera) in a regulate driver. Regulated Rivers: Research & Management, 5: 319-328.
- Barbour, M.T., Gerritsen, J., Snyde R, B.D y Stribling J.B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in streams and wadeable rivers: periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Second Edition.EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Washington.
- Blinn D.W. & Bailey P.C.E. 2001. Land-use influence on stream water quality and diatom communities in Victoria, Australia: a response to secondary salinization. Hydrobiologia 466: 231-244.
- Carvalho C, Pont A & Couri M. 2005. A Catalogue of the Muscidae (Diptera) of the Neotropical Region. ZOOtaxa 860: 1-282.
- Cirujano, S., Murillo, P., Meco, A., & Fernández, R. (2007). Los Carófitos Ibéricos. Anales del Jardín Botánico de Madrid, 64(1), 87-102.
- Coops, H. (2002). Ecology of charophytes: an introduction. Aquatic Botany, 72, 205-208.
- Council of the European Communities. (1991). Directive 1991/91/271/EEC of the European parliament and of the council of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment. Official Journal of the European Communities, L135, 40–52.
- Crisci, J. V. & López, M. F. (1983). *Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica*. Washington, DC: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, OEA, Serie de Biología.
- Dentith M. y Mudge S. T. (2014), Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York.
- Encalada, A. C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N. y Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluaciones de la calidad de ríos andinos (CERA-S)*. Quito: USFQ, UB, AECIO, FONAG.
- Fetter, C. W. (2001). Applied hydrogeology. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall. 4th Edition, 75 – 89.
- Giorgi A. 2013. Historias de protistas. Dunken. Argentina. 25-37pp.
- Gómez N. Use of epipelic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza-Riachuelo (Argentina), a pampean plain river. Water research. 1998;32(7):2029-34.
- Hammer, O., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics Software (Version 3.15) [Software]. Disponible desde:http://folk.uio.no/ohammer/past/
- Hounslow AW (1995) Water quality data—analysis and interpretation. Lewis Publishers, Boca Raton
- Jenner, G.A., (1996), Trace element geochemistry of igneous rocks: Geochemical nomenclature and analytical geochemistry, in Wyman, D.A., ed., Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulfide Exploration, 12, Geological Association of Canada, Short Course Notes, p. 51–77.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos, 113*(2), 363-375.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot. (1986-1991). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae. 2/1: Naviculaceae; 2/2: Bacillariaceae, Epithmiaceae, Surirellaceae; 2/3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae; 2/4: Achnanthaceae. Gustav Fischer, Stuttgart, Alemania.

- Legendre, P. y Legendre, L. (2012). Numerical Ecology. 3ra ed. Elsevier. Gran Bretaña. pp. 492-512.
- Loke, M. H. & Barker, R. D. (1996). Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosections by a Quasi-Newton Method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
- Magurran A. 1988. Ecological diversity and its measurement, 179 pp. Princeton University Press, New Jersey.
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad. M y T - Manuales y Tesis SEA, vol 1*, Zaragoza (pp. 84).
- Munn, M. D. & Brusven M. A. (1991). Benthic macroinvertebrate communities in non regulated and regulated waters of the Clearwater river, Idaho, U.S.A. Regulated Rivers: Research & Management, 6: 1-11.
- Nunn, A. (1999). Charakterisierung zweier tropischer Fließgewässer Costa Ricas anhand der Diatomeen- und der Makroinvertebratengesellschaften sowie ausgewählter Umweltparameter. Tesis Diploma, Estación Limnologica TU-München, Iffeldorf, Alemania.
- Peet, R. K. (1974). The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst., 5*, 285-307.
- Pielou, E. C. (1975). *Ecological diversity*. New York: John Wiley y Sons.
- Rand, G.M., Hoang, T.C. and Brausch, J.M., (2010). Effects of Zn on Freshwater Microcosms, Ecotoxilogy & Risk Assessment Southeast Enviromental Research Center. Florida International University.
- Ravelo, D. (2007). Inversión e interpretación de datos de resistividad aparente en 2D, adquiridos en relieves topográficos. Sartenejas, Venezuela
- Reynolds C.S. (1984). The Ecology of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press.
- Ríos-Touma, B., Acosta, R. & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de biología tropical, 62,* 249-273.
- Rivera, M. (2001). Introducción a la geoquímica general y aplicada. Primera edición, 279pp.
- Rodríguez, R., Cueva, E. & Carlotto, V. (2011). cuadrángulos de Cerro de Pasco 22k. Lima, Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Roldán, G. (1992). Fundamentos de Limnología Neotroropical. Edit. Universidad de Antioquia, Medellín. 529 p.
- Roldán, G., (1999). Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias exactas, físicas, y naturales, 23(88): 375-387.
- Schneider, S. (2007). Macrophyte trophic indicator values from a European perspective. Limnologica, 37, 281-289.
- Silva-Benavides, M. (1996). The epilithic diatom flora of a pristine and a polluted river in Costa Rica, Central America. Diatom. Res. 11: 105-142.
- Sokal, R.R. & Michener, C. D. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *U. Kansas Sci. Bull., 38*, 1409-1438.
- Sondergaard M. & Moss B. (1998). Impact of submerged macrophytes on phytoplankton in shallow freshwater lakes. Ecological Studies, 131, 115-132.
- Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (1999). The diatoms: Applications for the environmental and earth sciences. Cambridge: Cambridge University Press.
- Torralva, M. M., Oliva, F. J., Uberopascual, N. A., Malo, J. & Puig, M.A. (1996). Efectos de la regulación sobre los macroinvertebrados en el río Segura (SE España). Limnetica, 11(2):4956.

- Van Dijk, G. M., & Van Vierssen, W. (1991). Survival of Potamogeton pectinatus population under various light conditions in a shallow eutrophic lake (Lake Veluwe) in The Netherlands. Aquatic Botany, 39, 121-130.
- Wedepohl, K.H. (1984). The composition of the continental crust (abstract). Mineral. Mag. 58, suppl. 959-960.
- Wolff, E. M. 2006. Insectos de Colombia. Guía básica de familias. Laboratorio de colecciones entomológicas – GIEM. Universidad de Antioquia.