2020-I01-016348

INFORME N° 00257-2020-OEFA/DEAM-STEC

A	:	**FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN** Director de Evaluación Ambiental
DE	:	**LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS** Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica **LLOJAN CHUQUISENGO PICÓN** Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Energía **JORGE KELVIN ÁLVAREZ TEJADA** Especialista de Evaluaciones Ambientales **JUAN WALKER RUIZ CÁCERES** Especialista de Evaluaciones Ambientales en Energía
ASUNTO	:	Evaluación ambiental de causalidad en la unidad fiscalizable Florencia-Tucari de Aruntani S.A.C. y en la unidad hidrográfica Coralaque, distritos Carumas, San Cristóbal y Chojata, provincias Mariscal Nieto y general Sánchez Cerro, departamento de Moquegua, en el 2020
CUE	:	2020-01-0052
REFERENCIA	:	Planefa y POI 2020 Memorando N.° 0934-2020-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 la unidad fiscalizable Florencia-Tucari de Aruntani S.A.C. y en la unidad hidrográfica Coralaque, distritos Carumas, San Cristóbal y Chojata, provincias Mariscal Nieto y general Sánchez Cerro, departamento de Moquegua, 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	Unidad hidrográfica Coralaque, distritos Carumas, San Cristóbal y Chojata, provincias Mariscal Nieto y General Sánchez Cerro, departamento Moquegua
c.	Unidades fiscalizables o actividades económicas en la zona	Unidad Fiscalizable Florencia-Tucari de Aruntani S.A.C.
d.	Problemática identificada	Presunta afectación ambiental por actividades de la unidad fiscalizable Florencia-Tucari en la unidad hidrográfica Coralaque
e.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa y POI 2020
f.	Periodo de ejecución	Del 12 de agosto al 18 de setiembre de 2020 y; Del 5 de setiembre al 17 de octubre 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	Llojan Chuquisengo Picón	Licenciado Químico	Gabinete
3	Jorge Kelvin Álvarez Tejada	Biólogo	Campo y gabinete
4	Diego Nieto Palacios	Biólogo	Campo y gabinete
5	Heber Ocas Rumay	Ingeniero Ambiental	Campo y gabinete
6	Carlos Fidencio Llanos Vásquez	Biólogo	Campo y gabinete
7	Roy Jak Arone Padilla	Geólogo	Gabinete
8	Karem Orosco Chambi	Bachiller en Ingeniería Geológica	Campo y gabinete
9	Janet Quincho Olazabal	Ingeniera Agrícola	Campo y gabinete
10	Juan Walker Ruíz Cáceres	Ingeniero Químico	Campo y gabinete
11	Santos Demetrio Ramos Canales	Ingeniero Ambiental	Campo y gabinete
12	Lourdes Liseth Espinoza Quiroz	Ingeniera Geógrafa	Campo y gabinete
13	Víctor Chama Moscoso	Biólogo	Campo y gabinete
14	Dany Ernesto Chunga Benavides	Biólogo	Campo y gabinete
15	Alfredo Leonardo Guzmán Caldas	Biólogo	Campo y gabinete
16	Jhony Ángel Ríos García	Biólogo	Campo y gabinete

2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros y matrices evaluadas en la evaluación ambiental de causalidad se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Parámetros y matrices evaluadas

Matriz evaluada	Mes/Año	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos evaluados
Agua superficial	Agosto y setiembre/2020	pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, turbidez, cloruros, fluoruros, sulfatos, sólidos suspendidos totales, sólidos totales disueltos, acidez, metales disueltos, metales totales, bicarbonatos, carbonatos, cianuro libre, total y wad	93
Agua subterránea	Setiembre 2020	pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, turbidez, cloruros, fluoruros, sulfatos, sólidos suspendidos totales, sólidos totales disueltos, acidez, metales disueltos, metales totales, bicarbonatos, carbonatos	22
Agua residual industrial	Agosto y setiembre/2020	pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, turbidez, cloruros, fluoruros, sulfatos, sólidos suspendidos totales, sólidos totales disueltos, acidez, metales disueltos, metales totales bicarbonatos y carbonatos	14
Efluentes mineros	Agosto 2020	pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, potencial de óxido reducción, turbidez, cloruros, fluoruros, sulfatos, sólidos suspendidos totales,	2

Matriz evaluada		Mes/Año	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos evaluados
			sólidos totales disueltos, acidez, metales disueltos, metales totales bicarbonatos y carbonatos, cianuro libre, total y wad	
Sedimentos		Agosto y setiembre/2020	pH, sulfatos, materia orgánica, metales totales, análisis granulométrico, análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X, extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier	45
Comunidades hidrobiológicas		Agosto y setiembre/2020	Perifiton	49
			Macroinvertebrados bentónicos	90
Roca y sedimento fluvial		Agosto y setiembre/2020	Metales totales, ABA (prueba de balance ácido – base, shake flask aniones, shake flask metales, análisis granulométrico, análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido, difracción de rayos X y microscopía óptica, extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	48
Componentes mineros		Setiembre 2020	Metales totales, ABA (prueba de balance ácido - base), shake flask aniones, shake flask metales, análisis granulométrico, análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido (MEB), difracción de rayos X (DRX), y microscopia óptica, extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	24
Suelo		Octubre 2020	Metales totales, cianuro libre, caracterización de suelo, análisis granulométrico, extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier	57
Fauna	Anfibios y reptiles	Setiembre y octubre/2020	Transectos en hábitats acuáticos	38
			Búsquedas por encuentros visuales (VES)	28
			Registros oportunos	2
			Metales totales	37
			Cianuro total	37
	Ornitología	Setiembre y octubre/2020	Búsquedas intensivas	20
			Conteos totales	2
			Redes niebla	69
			Metales totales	34
			Cianuro total	34
	Mamíferos	Setiembre 20	Metales totales (tejido de roedores)	20
			Cianuro total	20
			Metales totales (sangre de mamíferos domésticos)	10

Matriz evaluada	Mes/Año	Parámetros evaluados	Cantidad de puntos evaluados
Flora	Setiembre y octubre/2020	Parcelas (flora silvestre)	106
		Cultivos (metales totales)	9
		Flora silvestre (metales totales)	62
Relieve superficial	Octubre 2020	Vuelos fotogramétricos con RPAS de grilla simple (2D)	30

Los parámetros que excedieron la normativa en evaluación ambiental de causalidad en la unidad fiscalizable Florencia-Tucari de Aruntani S.A.C. y en la unidad hidrográfica Coralaque, se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Parámetros que exceden normativa ambiental

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
Agua superficial[1]	Naciente río Queullirijahuiri	TU-16	-	pH, cloruros, B y Mn	pH y Mn	-
	Manantial	MT-33	-	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, Al, Co, Mn y Ni	-
	Manantial	MT-34	-	pH, cloruros, sulfatos, Al, Co, Fe y Mn	pH, Al, Co, Fe y Mn	-
	Manantial	MT-31	-	pH, O.D., cloruros sulfatos, Al, As, B, Co, Fe y Mn	pH, O.D., sulfatos, Al, Co, Fe y Mn	-
	Río Queullirijahuiri	AG-13	-	pH, C.E., cloruros, fluoruros, sulfatos, Al, B, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, fluoruros, sulfatos, Al, Co, Fe, Mn y Ni	-
	Manantial	MT-32	-	pH, O.D., cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, O.D., Al, Co, Fe y Mn	-
	Manantial	MT-35	-	pH, O.D., cloruros, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Fe, Mn y Pb	pH, O.D., Al, As, Co, Fe, Mn y Pb	-
	Río Queullirijahuiri	AG-14	-	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, Al, Co, Fe y Mn	-
	Río Queullirijahuiri	MA-15	MA-15	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, Al, Co, Fe y Mn	-

[1] Los resultados de agua superficial fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales) aprobados mediante Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM de acuerdo al IGA del administrado «Modificación del estudio de impacto ampliación de operaciones por ampliación de Pad 3 y botadero de desmonte del proyecto Tucari» con Resolución Directoral N°501-2014-MEM-DGAAM, del 02 de octubre de 2014.

Asimismo, fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales) vigente aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM.

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
	Río Queullirijahuiri	AG-17	-	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, Al, Co, Fe y Mn	-
	Manantial	MT-42	-	pH, CE, O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	-
	Manantial	MT-43A	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Ca, Co, Fe, Mn, Ni, Se y Zn,	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Se y Zn,	-
	Quebrada Margaritani	TU-20	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	-
	Manantial	MT-47	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Ca, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Fe, Mn, Se, Ni y Zn	-
	Agua de deshielo	TU-02	-	pH, Cloruros Al, B y Mn	pH, Al y Mn	-
	Manantial	MT-44	-	pH, C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Co, Fe, Mn y Zn	pH, O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Co, Fe, Mn y Zn	-
	Quebrada Margaritani	M-2	M-2	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	-
	Quebrada sin nombre 1	TU -21	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	-
	Manantial	FTuca4	-	pH, C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Quebrada Margaritani	AG-21	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
	Manantial	MT-01	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Q. Margaritani	E-7	E-7	pH, C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Manantial	MT-50	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Manantial	MT-51	-	pH, O.D., Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	-
	Quebrada Margaritani	TU-25	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Manantial	FBO-1	-	-	-	pH, sólidos totales suspendidos, Cd, Cu, Zn y Fe disuelto
	Quebrada sin nombre 2	TU-24	-	pH, C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Manantial	MT-BO4	-	O.D., Cloruros, Sulfatos, As, B, Ca, Fe, Mn	O.D., Fluoruros, Sulfatos y Mn	-
	Quebrada Margaritani	TU-26	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	-
	Manantial	FTU	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Co, Fe, Mn y Zn	pH, fluoruros, Sulfatos, Al, Co, Fe, Mn y Zn	-
	Quebrada Margaritani	E-3	E-3	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
	Manantial	MT-36	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	-
	Manantial	MT-25	-	pH, Cloruros y B	pH	-
	Manantial	MT-26	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Fe y Mn	pH, Al, Fe y Mn	-
	Manantial	MT-27	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Fe y Mn	pH, Al y Mn	-
	Quebrada Apostoloni Sur	AG-26	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-
	Quebrada Apostoloni Sur	AG-27	-	pH, O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-
	Quebrada Apostoloni Sur	P-5	P-5	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-
	Quebrada Apostoloni Sur	P-6	P-6	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-
	Quebrada Apostoloni Sur	TU-05	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	-
	Quebrada Apostoloni Norte	E-2	E-2	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Quebrada Apostoloni Norte	AG-30	-	pH, C.E., Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	-
	Quebrada Apostoloni Norte	TU-04	-	pH, C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, C.E., O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	-

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
	Quebrada Apostoloni Norte	AG-25	-	pH, C.E., Cloruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	-
	Manantial	MT-37	-	pH, C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	-
	Manantial	MT-38	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se y Zn	-
	Manantial	TU-12	-	pH, C.E., Cloruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Sulfatos, Al, Cd, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Río Margaritani	E-10	E-10	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Quebrada Margaritani	P-8	P-8	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Quebrada Planta	TU-14	-	Cloruros, B y Mn	Mn	-
	Quebrada Planta	TU-38	-	pH, Cloruros, Sulfatos, B, Mn y Zn	pH, Mn y Zn	-
	Quebrada Margaritani	P-9	P-9	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Flujo de agua (quebrada Planta)	FTuca7	-	pH, Cloruros, B, Fe y Mn	pH y Mn	-
	Río Margaritani	AG-18	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Manantial	FTuca1	-	pH, O.D., Cloruros y B	pH y O.D.	-
	Manantial	FTuca2	-	pH, Cloruros, B y Mn	pH y Mn	-
	Manantial	FTuca3	-	pH, O.D., Cloruros, Al, B y Fe	pH, O.D. y Al	-
	Río Aruntaya	RArun1	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, Al, Co y Mn	-
	Río Aruntaya	M-4	-	pH, Cloruros, Al, B y Mn	pH, Al y Mn	-

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
	Río Queullirijahuiri	AG-19	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, C.E., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Río Javira	RJavi	-	Cloruros y B	-	-
	Quebrada Soropatilla	QSoro	-	Cloruros y B	-	-
	Río Queullirijahuiri	M-3	-	pH, C.E., Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, C.E., Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	-
	Río Aruntaya	AG-08	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Río Aruntaya	RArun2	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	-
	Manantial	FTuca5	-	Cloruros y B	-	-
	Manantial	FTuca6	-	Cloruros y B	-	-
	Río Aruntaya	RArun3	-	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	-
	Río Aruntaya	RArun4	-	pH, C.E., Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	pH, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	-
	Quebrada sin nombre 3	QSnom3	-	C.E., Cloruros, Sulfatos, As, B, Li, Mn y Na	C.E., Cloruros, As, B, Li y Mn	-
	Río Aruntaya	AG-10	-	pH, C.E., Sulfatos, cloruros, fluoruros, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Na y Zn	pH, C.E., cloruros, fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	-
	Río Titire	AG-09	-	Cloruros, B	-	-
	Fuente termal	FTiti1	-	C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, As, B, Ca, Fe, Li, Mn y Na	C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, As, B, Li y Mn	-
	Río Titire	AG-11	-	pH, C.E., Cloruros, fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Na y Mn	pH, C.E., Cloruros, fluoruros, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe y Mn	-
	Río Titire	RTiti1	-	pH, C.E., Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Na y Mn	pH, C.E., Cloruros, fluoruros, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe y Mn	-

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
	Fuente termal	FQuell	-	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonato, As, B, Ca, Fe, Li, Mn y Na	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Bicarbonato, As, B, Ca, Fe, Li y Mn	-
	Río Titire	RTiti2	-	pH, C.E., Cloruros, fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Na y Mn	pH, C.E., Cloruros, fluoruros, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe y Mn	-
	Fuente termal	FPBello	-	C.E., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, As, B, Ca, Li, Mn y Na	C.E., Cloruros, Fluoruros, Bicarbonatos, As, B, Li y Mn	-
	Río Titire	TIT-1	-	pH, CE, Cloruros, fluoruros Sulfatos, As, B, Cd, Co, Fe, Li, Na y Mn	pH, C.E., Cloruros, fluoruros, Sulfatos, As, B, Cd, Co, Fe, Li y Mn	-
	Fuente termal	FTiti3	-	C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, As, Ca, Li, Mn y Na	C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Bicarbonatos, As, B Li y Mn	-
	Río Titire	TIT-2	-	pH, C.E., Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Na y Mn	pH, C.E., Cloruros, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li y Mn	-
	Q. Chilota	QChil-1	-	Cloruros, Carbonatos y B	-	-
	Río Titire	TIT-3	-	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Na y Mn	pH, C.E., Cloruros, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li y Mn	-
	Río Chiquirani	RChiq	-	Cloruros y B	-	-
	R. Titire	TIT-4	-	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Na y Mn	pH, C.E., Cloruros, Fluoruros, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li y Mn	-
	Río Vizcachas	VIZ-4	-	Cloruros, As y B	-	-
	Río Coralaque	CORA-1	-	C.E., Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Cloruros, Al, As, B, Cu, Fe y Mn	-
	Río Coralaque	RCora1	-	CE, Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, B, Cu y Mn	-
	Quebrada Totorani	QToto	-	Cloruros y B	-	-
	Río Coralaque	RCora2	-	Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, B, Cu y Mn	-
	Río Coralaque	RCora3	-	Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, B, Cu y Mn	-

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
	Río Coralaque	RCora4	-	CE, Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, B, Cu y Mn	-
	Río Coralaque	QE-36	-	Al, As, Fe, Na y Mn	Al, As, B y Mn	-
Agua subterránea [2]	Piezómetros	P-15	-	O.D., cloruros, Sulfatos, As, B, Fe y Mn	O.D., As, Fe y Mn	-
		PZ-N1	-	O.D., cloruros, sulfatos, As, B, Ca, Fe, Mn y Pb	O.D., As, Mn y Pb	-
		PZ-S1	-	pH, C.E., cloruros, fluoruros, sulfatos, Al, Be, B, Ca, Fe y Mn	pH, C.E., fluoruros, sulfatos, Al, Be, Fe y Mn	-
		P-10	-	C.E., cloruros, fluoruros, sulfatos, B, Ca, Fe, Mn y Na	C.E., fluoruros, sulfatos y manganeso,	-
		P-13	-	C.E., cloruros, fluoruros, sulfatos, bicarbonatos, As, Mn, Pb y Na	C.E., cloruros, fluoruros, sulfatos, bicarbonatos, As, B, Mn y Pb	-
		P-3	-	pH, cloruros, B, Cu, Fe, Mn, Hg y Pb	pH, Cu, Fe, Mn, Hg y Pb	-
		P-1	-	Cloruros, B, Fe, Mn,	Mn	-
		P-17	-	O.D., cloruros, bicarbonatos, As y Mn	O.D., As, B y Mn	-
Agua Residual Industrial [3]	Afloramientos	MT-BO5	-	pH, C.E., O.D., Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, C.E., O.D., Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	-
		MT-46	-	-	-	pH, Cd, Cu, Zn y Fe disuelto
		MT-BO6	-	-	-	pH, Cd, Cu, Pb, Zn y Fe disuelto
		MT-55	-	-	-	pH, Cd, Cu, Zn y Fe disuelto
	Pozas de soluciones (PAD 3)	ARI-13	-	-	-	pH, cianuro total, Cu, Hg

[2] Los resultados de agua subterránea fueron comparados referencialmente con la normativa vigente de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, y con la normativa del instrumento de gestión ambiental del administrado (Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM).

[3] Los resultados del agua residual industrial se compararon referencialmente con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas aprobado mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM.

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
		ARI-14	-	-	-	Cianuro total, Cu, Hg,
		ARI-07	-	-	-	Cu, Hg y Zn
		ARI-08	-	-	-	Cu
		PSS-01A	-	-	-	Hg
	Pozas de colección de aguas ácidas	ARI-05	-	-	-	pH, Cd, Cu, Zn y Fe disuelto
		ARI-04	-	-	-	pH, Cd, Cu, Zn y Fe disuelto
	Pozas de soluciones (PAD 1, PAD 2 y PAD especial)	ARI-10	-	-	-	Cianuro total, Cu, Hg y Zn
		ARI-11	-	-	-	Cianuro total, Cu, Hg y Zn
		ARI-09	-	-	-	pH, Cu y Hg
Sedimento[4]	Río Queullirijahuiri	AG-14	-	-	-	As Pb
		MA-15	MA-15	-	-	As y Pb
		AG-17	-	-	-	As
	Quebrada Margaritani	M-2	M-2			As
		TU-21	-	-	-	As, Cu y Pb
		AG-21	-	-	-	As y Pb
		E-7	E-7	-	-	As, Hg y Pb
		TU-25	-	-	-	As, Cu y Pb
		TU-26	-	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		E-3	E-3	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Pb
	Quebrada Apostoloni	P-5	P-5	-	-	As, Hg y Pb
		P-6	P-6	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		TU-05	-	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		AG-30	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn
		E-2	E-2	-	-	As, Cu, Hg y Pb
	Río Margaritani	E-10	E-10	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		P-8	P-8	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		P-9	P-9	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		AG-18	-	-	-	As, Cu, Hg y Pb
	Río Aruntaya	RArun1	-	-	-	As
		M-4	-	-	-	As
	Río Queullirijahuiri	AG-19	-	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		M-3	-	-	-	As, Cu, Hg y Pb
	Río Aruntaya	AG-08	-	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		RArun2	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Pb

[4] Los resultados de sedimentos fueron comparados referencialmente con los valores de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG (*Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*).

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
		RArun3	-	-	-	As, Cu, Hg y Pb
		RArun4	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Pb
	Quebrada sin nombre 3	QSnom3	-	-	-	As
	Río Aruntaya	AG-10	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Pb
	Río Titire	AG-09	-	-	-	As
		AG-11	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Pb
		RTiti1	-	-	-	As, Cu y Hg
		RTiti2	-	-	-	As, Cu y Hg
		TIT-1	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Zn
		TIT-2	-	-	-	As, Cu y Hg
	Q. Chilota	QChil1	-	-	-	As
	Río Titire	TIT-3	-	-	-	As, Cu, Hg y Zn
		TIT-4	-	-	-	As, Cu y Hg
	Río Vizcachas	VIZ-4	-	-	-	As
	Río Coralaque	CORA1	-	-	-	As, Cu y Hg
		RCora1	-	-	-	As, Cu y Hg
		RCora2	-	-	-	As, Cu y Hg
		RCora3	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Zn
		RCora4	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Zn
		QE-36	-	-	-	As, Cd, Cu, Hg y Zn
Suelo[5]	API-I	SU-1	-	-	-	As
		SU-2	-	-	-	As
		SU-3	-	-	-	As, Cu y Se
		SU-4	-	-	-	As y Cu
		SU-5	-	-	-	As
		SU-6	-	-	-	As
		SU-7	-	-	-	As
		SU-8	-	-	-	As y Cu
		SU-9	-	-	-	As y Cu
		SU-10	-	-	-	As
		SU-11	-	-	-	As y Cu
		SU-12	-	-	-	As y Cu
		SU-13	-	-	-	As y Cu
		SU-14	-	-	-	As y Cu
		SU-15	-	-	-	As y Cu
	API-II	ESP-1	-	-	-	As
		ESP-2	-	-	-	As y Cu
		ESP-3	-	-	-	As y Cu
	API-III	ESP-6	-	-	-	As
		ESP-7	-	-	-	As, Cu y Zn
		ESP-8	-	-	-	As y Cu
		ESP-23	-	-	-	As y Cu
	API-IV	ESP-9	-	-	-	As

[5] Los resultados de suelo fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelos de uso industrial, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
		ESP-10	-	-	-	As, Cu y Zn
		ESP-11	-	-	-	As, Cu y Zn
		ESP-12	-	-	-	As, Cu y Zn
		ESP-13	-	-	-	As, Cu, Ni y Zn
	API-V	ESP-14	-	-	-	As, Cu y Zn
		ESP-15	-	-	-	As, Cu y Zn
		ESP-16	-	-	-	As, Cu, Ni y Zn
		ESP-17	-	-	-	As, Cu y Zn
		ESP-18	-	-	-	As y Cu
		ESP-19	-	-	-	As y Cu
		ESP-20	-	-	-	As y Cu
	API-VI	ESP-21	-	-	-	As
	Puntos blanco	ESP-BK-1	-	-	-	As
		ESP-BK-2	-	-	-	As
		ESP-BK-3	-	-	-	As
		ESP-BK-4	-	-	-	As
		ESP-BK-5	-	-	-	As
Flora[6]	Tejido vegetal y cu	TU-TV-CR3-H	-	-	-	As
		TU-TV-CR3-R	-	-	-	As y Pb
		TU-TV-IN5-H	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-IN1-H	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-IN7-H	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-IN7-R	-	-	-	As, Cd y Pb
		TU-TV-IN4-R	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-IN8-R	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-IN2-H	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-IN3-R	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-IN6-H	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-IN6-R	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-IN10-H	-	-	-	Cd
		TU-TV-CV1-Hb	-	-	-	As
		TU-TV-CV2-H	-	-	-	As y Cd
		TU-TV-CV3-H	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-CV1-Rb	-	-	-	As, Cd y Pb
		TU-TV-CV2-R	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-CV3-R	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-DM1-H	-	-	-	As y Pb
		TU-TV-DM3-H	-	-	-	As y Pb
		TU-TV-DM1-R	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-DM3-R	-	-	-	As, Cd y Pb
		TU-TV-OA1-H	-	-	-	As
		TU-TV-OA2-H	-	-	-	As, Cd y Hg

[6] Los resultados de tejido vegetal fueron comparados referencialmente con «Normativa del gobierno español aprobada con Real Decreto 465/2003, de 25 de abril de 2003, sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal, publicado en el Boletín Oficial del Estado N.° 102 del Ministerio de la Presidencia de España, el 29 de abril de 2003, referencia: BOE-A-2003-8717, última modificación: 5 de marzo de 2011».

Matriz	Cuerpo de agua/componente evaluado	Código OEFA	Código IGA	Norma ambiental		
				IGA	Vigente	
				Agosto y Setiembre	Agosto y Setiembre	Setiembre y Octubre
		TU-TV-OA3-H	-	-	-	As y Cd
		TU-TV-OA1-R	-	-	-	As
		TU-TV-OA2-R	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-AC1-H	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-AC2-H	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-AC3-H	-	-	-	As, Hg y Pb
		TU-TV-AC1-R	-	-	-	As y Hg
		TU-TV-AC2-R	-	-	-	As y Cd
		TU-TV-AC3-R	-	-	-	As, Cd y Pb
		TU-TV-LM1	-	-	-	As
		TU-TV-SPP1-H	-	-	-	As, Cd, Hg y Pb
		TU-TV-SPP1-R	-	-	-	As, Hg y Pb

3. CONCLUSIONES

De la evaluación ambiental de causalidad se determinó que el depósito de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero), tajo Tucari, material de relleno del tajo; así como, el lodo de las pozas de sedimentación (N.º 1 y 5000) del sistema de tratamiento de aguas ácidas – wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia Tucari influyen en la calidad de suelo, agua y sedimento de las quebradas Margaritani y Apostoloni, y los ríos Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque, y tienen un impacto negativo sobre las comunidades hidrobiológicas, flora y fauna silvestre, de acuerdo al siguiente detalle:

Los depósitos de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero), tajo Tucari y material de relleno del tajo son fuentes de drenaje ácido de mina (DAM) en el sector Margaritani y Apostoloni, de acuerdo a los bajos pH en pasta, presencia de sulfuros, contenido elevado de sulfatos y elevada carga metálica que se lixivian a partir de estos materiales. El tajo Tucari y la ampliación del depósito de desmonte zona 10 y Hechadero no presentan cobertura y al estar en contacto directo y constante con aguas de precipitación y derretimiento de nieve estacionaria, reaccionan con los sulfuros presentes en los mismos y generan drenaje ácido de mina (DAM).

El drenaje acido de mina (DAM) es almacenado en pozas (pozas de colección, poza auxiliar intermedia y pozas de homogenización) del sistema de tratamiento de aguas ácidas del wetland sur, y su principal característica son los valores bajos de pH, elevada carga de metales y sulfatos, así como una coloración rojiza, asociado a las acumulaciones encontradas en el interior del tajo y en la ampliación del depósito de desmonte (zona 10); además, producto de su tratamiento se generan precipitados de óxidos de hierro que tienen una coloración anaranjado-rojizo, almacenados en las pozas de sedimentación N.º 1, 2, 3, 4 y 5 o 5000. Asimismo, el tajo carece de sistemas de subdrenaje y en el depósito de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero) estos son ineficientes, manifestación de ello son los afloramientos con pH ácidos y elevada carga metálica, identificados a partir del 2017 a la actualidad, tanto en los sectores de la quebrada Margaritani y Apostoloni, así como los incrementos progresivos de las concentraciones de metales a partir del 2012 en la quebrada Margaritani y del 2015 en la quebrada Apostoloni.

Se determinó que las nacientes de las quebradas Apostoloni, Paccha Aruntaya y río Queullirijahuiri y las zonas cartografiadas con presencia de alteración en la quebrada Margaritani presentaron características de generación de drenaje ácido de roca (DAR) por ser afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios que por procesos de meteorización y

oxidación espontánea generan drenajes ácidos con bajas concentraciones de elementos como sulfatos, arsénico, cobre, cadmio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc, en comparación con el drenaje ácido de mina (DAM), que presenta elevadas concentraciones de los citados elementos, generados a partir del proceso antrópico de explotación en la UF Florencia Tucari.

La calidad del suelo en las áreas de potencial interés API-II, III, IV, V y VI, ubicados en la parte baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur, presentaron concentraciones de arsénico que incumpleron el ECA para suelo de uso industrial (D.S. 011-2017-MINAM), siendo las API IV y V donde se registraron las mayores concentraciones de este elemento. Asimismo, las concentraciones de calcio, cadmio, cobre, hierro, níquel y zinc, excedieron considerablemente los niveles de fondo y niveles de referencia. El exceso de estos elementos, principalmente del calcio, se debe al derrame de lodos producto de la instalacion de una línea de conducción, mediante el uso de mangas y mangueras provenientes de la poza de sedimentación N.º 5 o 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur que finalizaban en la margen derecha de la quebrada Apostoloni.

De acuerdo a los principales resultados obtenidos en la naciente de la unidad hidrográfica Coralaque, conformada por las quebradas Queullirijahuiri, Apostoloni, Margaritani y Pacha - Aruntaya que presentan aguas ácidas y elementos que excedieron los ECA para agua categoría 3, 2008 ó 2017 en los parámetros de cadmio, cobalto, cobre, arsénico, manganeso, níquel, hierro, aluminio y zinc, así como arsénico, cobre, cadmio, plomo, mercurio y zinc para sedimento que excedieron la normativa ISQG y PEL. Evidenciándose que el principal aporte de concentraciones de dichos elementos está asociado a drenaje ácido de mina (DAM) y provienen de la UF Florencia-Tucari (zona Margaritani). Asimismo, los resultados encontrados guardan relación con la data histórica en la UH Coralaque, notándose incrementos en las concentraciones de elementos desde el 2012 en agua y 2014 en sedimento, hasta la actualidad. Estos aportes de DAM vienen alterando en la calidad del agua, sedimento a lo largo del cuerpo principal de los ríos Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque.

Se identificaron dos mecanismos de transporte relacionados a los cambios de coloración en el sedimento y agua superficial en principales cuerpos de agua de la UH Coralaque, que a su vez están asociados a dos coloraciones: i) marrón – rojiza en el sedimento que tiene similitud con los lodos de las pozas de sedimentación del sistema de tratamiento wetland sur y, ii) rojiza en el agua superficial que guarda relación al drenaje ácido de mina almacenado en las pozas de colección de aguas ácidas. En el primer caso, esta coloración se da por las descargas de lodo realizadas sistemáticamente entre el punto AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni evidenciado por la presencia de yeso en dicho tramo, mineral formado a partir del tratamiento de las aguas acidas wetland sur y almacenado como lodos en las pozas de sedimentación; asimismo, se ha evidenciado el incremento de las concentraciones de calcio, cadmio, cobre y zinc en la quebrada Apostoloni desde el 2016 al 2020 en el punto AG-30, siendo el mecanismo de transporte la instalación de mangueras tipo HDPE, mangas, y una bomba de succión implementada por el administrado, como se constató en la supervisión de octubre de 2020. En el segundo caso, el drenaje ácido de mina cambia la coloración del agua superficial por el aporte de flujos subterráneos con lixiviados provenientes del tajo y el depósito de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero) por no contar con sistemas de subdrenajes o presentar deficiencias en los mismos, respectivamente. Finalmente, no se descarta que, bajo el mecanismo de descargas no autorizadas el drenaje ácido de mina con coloración rojiza, fuera vertido a la mencionada quebrada, y que haya producido cambios recurrentes en la coloración del agua superficial.

De acuerdo al balance de masas durante la evaluación, se determinó que el mayor aporte de carga contaminante proviene de las quebradas Margaritani y Apostoloni, influenciadas

por el DAM de las actividades de la UF Florencia Tucari, con un mayor aporte en los elementos arsénico, cadmio y zinc de la quebrada Margaritani, y aluminio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel en quebrada Apostoloni. Posterior a la confluencia de dichas quebradas, la carga de los elementos citados no presenta variaciones significativas, manteniéndose respecto a la carga inicial entre el 85 y 90 % en el curso principal de los ríos Margaritani, Queullirijahuiri y Aruntaya, y luego del aporte del río Titire, la quebrada sin nombre 3 y fuentes termales la carga de los elementos asociados al DAM disminuye ligeramente; sin embargo, se incrementan las cargas de arsénico, boro, sodio, manganeso y cloruros hasta el río Coralaque, elementos asociados a las fuentes termales. Cabe precisar que, el aporte los ríos y quebradas que confluyen al cuerpo principal desde el río Margaritani hasta el río Coralaque representa menos del 5% de carga de los elementos asociados al DAM.

Estas alteraciones en la calidad de agua y sedimento provenientes de la UF Florencia Tucari han tenido un impacto negativo en las comunidades hidrobiológicas. En el perifiton se presentaron asociaciones de especies microalgas acidófilas indicadoras de drenaje ácido de mina (DAM) desde las quebradas Margaritani y Apostoloni, el río Margaritani hasta el río Queullirijahuiri antes de su confluencia con el río Aruntaya. Las concentraciones de metales del DAM se van depositando en el sedimento con el cambio del pH aguas abajo; estas condiciones permiten el desarrollo de especies de microalgas tolerantes a metales en el tramo de los ríos Titire y Coralaque. Del mismo modo, el transporte de elementos a lo largo del cauce principal desde las quebradas Apostoloni y Margaritani (con influencia de la actividad minera) hasta el río Titire (antes de su confluencia con el río Vizcachas), asociados a la presencia de altas concentraciones de metales totales y sulfatos con precipitados de óxidos e hidróxidos en el lecho del cauce principal, delimitarían una estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos con una alta predominancia de especies tolerantes a las condiciones indicadas.

Se determinó afectación a la flora y fauna terrestre como receptores finales, generadas por las elevadas concentraciones de metales en agua y sedimento provenientes de la UF Florencia Tucari, generando gradualmente la perdida de cobertura vegetal, degradación de los ecosistemas frágiles (bofedales), vegetación de ribera y césped de puna, y muerte de especies de flora (por alta concentración de metales) ubicados en el entorno a los componentes mineros de la UF Florencia – Tucari y en los márgenes de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya. Asimismo, se evidenció una acumulación en elevadas concentraciones de metales asociados a DAM en tejidos de anfibios, reptiles y aves en fauna silvestre, además de un cambio en la coloración de la lana en alpacas.

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

4. RECOMENDACIONES

- Aprobar el informe de la evaluación ambiental de causalidad en la unidad fiscalizable Florencia-Tucari de Aruntani S.A.C. y en la unidad hidrográfica Coralaque, distritos Carumas, San Cristóbal y Chojata, provincias Mariscal Nieto y general Sánchez Cerro, departamento de Moquegua, 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:

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

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

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

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: ALVAREZ TEJADA Jorge Kelvin FIR 46172046 hard
Cargo: Especialista de Evaluaciones Ambientales - Especialista II
Lugar: Sede Central - Lima\Lima\Jesus Maria
Motivo: Soy el autor del documento

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

Firmado digitalmente por: RUIZ CACERES Juan Walker FIR 44478289 hard
Cargo: Especialista de Evaluaciones Ambientales en Energía - 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: 01269279"

01269279

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE CAUSALIDAD EN LA UNIDAD FISCALIZABLE FLORENCIA-TUCARI DE ARUNTANI S.A.C. Y EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA COLARAQUE, EN EL 2020

SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA

DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

2020

Profesionales que aportaron a este documento:

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: CHUQUISENGO PICON Llojan FAU 20521286769 hard
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 31/12/2020 10:35:56-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: ALVAREZ TEJADA Jorge Kelvin FIR 46172046 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 10:26:47-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: NIETO PALACIOS Diego FIR 46812341 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 13:16:57-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: RIMARACHIN CHING Vania FIR 40455022 hard
Motivo: Soy la autora del documento
Fecha: 31/12/2020 11:04:06-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: OROSCO CHAMBI Karem Lisseth FIR 47092487 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 10:40:17-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: QUINCHO OLAZABAL Janet Brigida FIR 44201268 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 10:33:41-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: CHAMA MOSCOSO Victor FIR 42129257 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 10:48:34-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: GUZMAN CALDAS Alfredo Leonardo FIR 44826285 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 10:55:14-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: CHUNGA BENAVIDES Dany Ernesto FIR 44171532 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 11:22:07-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: ESPINOZA QUIROZ Lourdes Liseth FIR 46028958 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 12:00:55-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: ARONE PADILLA Roy Jak FIR 46362897 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 12:08:42-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: LLANOS VASQUEZ Carlos Fidencio FIR 44661306 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 12:16:51-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: RAMOS CANALES Santos Demetrio FIR 41243577 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 12:24:27-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: OCAS RUMAY Heber FIR 43322805 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 12:36:53-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: RIOS GARCIA Jhony Angel FIR 05343747 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 13:03:50-0500

FIRMA DIGITAL

Firmado digitalmente por: RUIZ CACERES Juan Walker FIR 44478289 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/12/2020 13:08:58-0500

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 1
3. OBJETIVOS 9
4. ÁREA DE ESTUDIO 9
5. METODOLOGÍA 12
6. RESULTADOS 137
7. DISCUSIONES 615
8. CONCLUSIONES 837
9. BIbLIOGRAFÍA 847
10. ANEXOS 869

Tablas

Tabla 2.1. Cronograma del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Florencia-Tucari.2
Tabla 2.2. Declaratoria de estado de emergencia por contaminación hídrica en la unidad hidrográfica Coralaque y sus prórrogas. 2
Tabla 2.3. Estudios del INGEMMET que involucran componentes ambientales en la unidad hidrográfica Coralaque 6
Tabla 5.1. Referencias de muestreo de componentes mineros 12
Tabla 5.2. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros 13
Tabla 5.3. Parámetros evaluados y métodos de análisis en muestras de componentes mineros 15
Tabla 5.4. Ubicación del punto de muestreo de efluentes mineros 18
Tabla 5.5. Ubicación del punto de muestreo de agua residual industrial 18
Tabla 5.6. Parámetros evaluados y métodos de análisis para la caracterización de efluentes y agua residual industrial 21
Tabla 5.7. Referencias para la caracterización geológica y geomorfológica 23
Tabla 5.8. Ubicación de los puntos de observación geológica 24
Tabla 5.9. Ubicación de los puntos de despegue del RPAS 27
Tabla 5.10. Ubicación de levantamiento fotogramétrico con RPAS 27
Tabla 5.11. Ubicación de levantamiento de punto base y control fotogramétrico 27
Tabla 5.12. Referencias para el muestreo de roca 30
Tabla 5.13. Ubicación de los puntos de muestreo de roca 30
Tabla 5.14. Ubicación de los puntos de muestreo sedimento de quebrada – depósitos cuaternarios fluviales 35
Tabla 5.15. Parámetros evaluados y métodos de análisis en muestras de roca y sedimento de quebrada 38
Tabla 5.16. Distribución del área de estudio por zonas y sectores de evaluación 39
Tabla 5.17. Componentes evaluados por zona y sector 41
Tabla 5.18. Referencias para el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas 41
Tabla 5.19. Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas 43

Tabla 5.20. Ubicación de los puntos de muestreo de agua subterránea 55
Tabla 5.21. Parámetros y métodos de análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas 57
Tabla 5.22. Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica 61
Tabla 5.23. Relaciones entre los valores del índice de geoacumulación (I_{geo}) y los niveles de contaminación 66
Tabla 5.24. Valoración de la calidad hidromorfológica del río 69
Tabla 5.25. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI 69
Tabla 5.26. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI 70
Tabla 5.27. Escala de calidad ecológica de un río 70
Tabla 5.28. Referencias para el muestreo de suelo 73
Tabla 5.29. Áreas aproximadas donde se observó lodos 74
Tabla 5.30. Áreas aproximadas donde se observó escorrentía de aguas ácidas 75
Tabla 5.31. Ubicación de los puntos de muestreo de los API 75
Tabla 5.32. Ubicación de los puntos de muestreo para blancos de control 77
Tabla 5.33. Ubicación de los puntos de muestreo para la determinación de niveles de fondo y referencia 77
Tabla 5.34. Ubicación de los puntos de lodo 78
Tabla 5.35. Ubicación de los puntos de muestreo en bofedal 79
Tabla 5.36. Parámetros evaluados 79
Tabla 5.37. Valores de nivel de fondo y de referencia 80
Tabla 5.38. Protocolos de muestreo para la evaluación de flora 81
Tabla 5.39. Protocolos de muestreo para la clasificación de coberturas 82
Tabla 5.40. Zonas para evaluación de flora silvestre y principales cultivos en la UH Coralaque 82
Tabla 5.41. Zonas de levantamiento fotogramétrico con RPAS 83
Tabla 5.42. Ubicación de parcelas evaluadas en la UM Florencia – Tucari 85
Tabla 5.43. Ubicación de zonas de cultivo donde se colectaron muestras de tejido vegetal en la UM Florencia – Tucari – CP Pachas 88
Tabla 5.44. Ubicación de los levantamientos fotogramétrico con RPAS 90
Tabla 5.45. Parámetros para evaluación de flora silvestre en la UF Florencia-Tucari 93
Tabla 5.46. Parámetros para evaluar tejido vegetal de cultivos de la UH Coralaque 93
Tabla 5.47. Categorías de conservación Nacional e internacional para fauna 94
Tabla 5.48. Protocolos de muestreo para la evaluación de anfibios y reptiles 96
Tabla 5.49. Protocolos de muestreo para la evaluación de aves 96
Tabla 5.50. Protocolos de muestreo para la evaluación de mamíferos 96
Tabla 5.51. Ubicación de los transectos en hábitats acuáticos y registros oportunos realizados en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 98
Tabla 5.52. Ubicación de las búsquedas por encuentros visuales realizadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 104
Tabla 5.53. Muestras de tejido de anfibios y reptiles tomadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 108
Tabla 5.54. Ubicación de las búsquedas intensivas y conteos totales realizados por zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 111
Tabla 5.55. Ubicación de las redes niebla instaladas por zonas valuadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 116

Tabla 5.56. Muestras de plumas de aves tomadas para el análisis de metales totales y cianuro en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 122
Tabla 5.57. Ubicación de las líneas de captura para roedores por zonas de evaluación en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 123
Tabla 5.58. Ubicación de las cámaras trampa para mamíferos mayores silvestres y domésticos por zona en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 127
Tabla 5.59. Ubicación de los lugares de muestreo de sangre en alpacas (*Vicugna pacos*) por zona en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 128
Tabla 5.60. Parámetros analizados en la evaluación de la fauna silvestre y doméstica en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 131
Tabla 5.61. Categorías de conservación Nacional e internacional para fauna.....135
Tabla 6.1. Concentraciones de metales obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de canteras y material removido 140
Tabla 6.2. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de canteras y material removido.....147
Tabla 6.3. Concentraciones de metales obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de desmonte.....151
Tabla 6.4. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de depósito de desmonte 157
Tabla 6.5. Concentraciones de metales obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de tajo Tucari y material de relleno del tajo 160
Tabla 6.6. Distribución de minerales primarios y minerales secundarios de muestras de roca del tajo. 166
Tabla 6.7. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de depósito de desmonte 167
Tabla 6.8. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los lodos de las pozas de sedimentación de los sistemas wetland norte y sur.....167
Tabla 6.9. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las pozas de sedimentación de los sistemas wetland norte y sur (LODO-01 y POZA-01) 170
Tabla 6.10. Resultados de campo y laboratorio de efluentes líquidos 173
Tabla 6.11. Caracterización hidrogeológica de las formaciones de la UH Coralaque 187
Tabla 6.12. Distribución de minerales primarios, minerales que conforman la matriz de la roca y minerales secundarios de muestras de andesitas porfiríticas.....218
Tabla 6.13. Distribución de minerales primarios, matriz, fragmentos de roca y minerales secundarios de muestras de tobas.....220
Tabla 6.14. Distribución de minerales primarios, matriz, fragmentos de roca y minerales secundarios de muestras de rocas con presencia de alteración 223
Tabla 6.15. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de depósitos cuaternarios 224
Tabla 6.16. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 en la zona Queullirijahuiri 230
Tabla 6.17. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3. 231
Tabla 6.18. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri 236

Tabla 6.19. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG.....238
Tabla 6.20. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Queullirijahuiri 240
Tabla 6.21. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri.....245
Tabla 6.22. Calidad ecológica obtenida para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).....251
Tabla 6.23. Análisis de componentes principales para las variables no biológicas correspondientes en la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).....251
Tabla 6.24. Resumen de análisis de variables extraídas de especies de macroinvertebrados bentónicos y variables ambientales no biológicas por el ACC para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).....252
Tabla 6.25. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector Quebrada Margaritani 255
Tabla 6.26. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector Quebrada Margaritani 257
Tabla 6.27. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani) 269
Tabla 6.28. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Margaritani) comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG 272
Tabla 6.29. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani) 274
Tabla 6.30. Valor de fondo geoquímico en los sedimentos evaluados para el área de estudio 278
Tabla 6.31. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani) 283
Tabla 6.32. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani).....278
Tabla 6.33. Calidad ecológica obtenida para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.....287
Tabla 6.34. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector Quebrada Apostoloni 288
Tabla 6.35. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3, en el sector Quebrada Apostoloni.....290
Tabla 6.36. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni.....295
Tabla 6.37. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG 301
Tabla 6.38. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 303
Tabla 6.39. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 312
Tabla 6.40. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni).....314

Tabla 6.41. Calidad ecológica obtenida para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. 322
Tabla 6.42. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector río Margaritani 323
Tabla 6.43. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3, en el sector río Margaritani 324
Tabla 6.44. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Margaritani - sector río Margaritani 330
Tabla 6.45. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG 336
Tabla 6.46. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) 338
Tabla 6.47. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Margaritani - sector río Margaritani 347
Tabla 6.48. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) 349
Tabla 6.49. Calidad ecológica obtenida para la zona Margaritani - sector río Margaritani. 358
Tabla 6.50. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3 en agua subterránea de la zona Margaritani 358
Tabla 6.51. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3 en agua subterránea de la zona Margaritani 360
Tabla 6.52. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 en la zona Paccha - Aruntaya 365
Tabla 6.53. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3, en la zona Pacha - Aruntaya 365
Tabla 6.54. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya 367
Tabla 6.55. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Paccha – Aruntaya comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG 370
Tabla 6.56. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya 371
Tabla 6.57. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya 372
Tabla 6.58. Calidad ecológica obtenida para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri). 376
Tabla 6.59. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Aruntaya 377
Tabla 6.60. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron los ECA para Agua 2008 categoría 3, en la zona Aruntaya 1
Tabla 6.61. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Aruntaya 384
Tabla 6.62. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Aruntaya comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG 390

Tabla 6.63. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Aruntaya 391
Tabla 6.64. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Aruntaya.....400
Tabla 6.65. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Aruntaya 403
Tabla 6.66. Calidad ecológica obtenida para la zona Aruntaya. 414
Tabla 6.67. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Titire - Coralaque 415
Tabla 6.68. Valores y concentraciones de parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Titire - Coralaque...416
Tabla 6.69. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 426
Tabla 6.70. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Titire –Coralaque comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG 432
Tabla 6.71. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 434
Tabla 6.72. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 435
Tabla 6.73. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque.....447
Tabla 6.74. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 450
Tabla 6.75. Calidad ecológica obtenida para la zona Titire-Coralaque. 460
Tabla 6.76. Agrupamientos definidos, apoyados en los resultados de similitud (diversidad beta). 461
Tabla 6.77. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zonas) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) test pareado 461
Tabla 6.78. Parámetros edáficos obtenidos en el API I 464
Tabla 6.79. Metales totales en el API I comparados con el ECA para suelo de uso industrial 2017 y la guía canadiense CSQG 466
Tabla 6.80. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I 468
Tabla 6.81. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I 468
Tabla 6.82. Parámetros edáficos obtenidos en el API II, API III, API IV, API V y API VI ..470
Tabla 6.83. Metales totales de las API, comparados con el ECA para suelo de uso industrial 2017 y la guía canadiense CSQG 472
Tabla 6.84. Resultados metales totales de las API comparados con los valores de nivel de fondo y nivel de referencia 475
Tabla 6.85. Parámetros edáficos obtenidos en los puntos blancos 477
Tabla 6.86. Concentraciones de metales totales en puntos blanco comparados con los ECA para suelo de uso industrial (2017) y la guía canadiense CSQG 478
Tabla 6.87. Concentraciones de metales totales en muestras de lodo 479
Tabla 6.88. Distribución del área de estudio por zonas y sectores de evaluación 481
Tabla 6.89. Clasificación de la vegetación en la zona Queullirijahuiri 482
Tabla 6.90. Clasificación de las coberturas en parcelas de la zona Queullirijahuiri 483

Tabla 6.91. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Bo. Blanco 1 y en el Bo. Blanco 2 486
Tabla 6.92. Analisis de tejido vegetal de muestras en la zona Queullirijahuiri 487
Tabla 6.93. Clasificación de la vegetación en la zona Margaritani 491
Tabla 6.94. Clasificación de las coberturas en parcelas de la zona Margaritani 493
Tabla 6.95. Índices de vegetación GLI de las parcelas muestreadas en el Bo. Wetland Norte 498
Tabla 6.96. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Bo. Botadero Norte 498
Tabla 6.97. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Sec. Wetland Sur 499
Tabla 6.98. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Sec. Qda. Apostoloni 500
Tabla 6.99. Analisis de tejido vegetal de muestras en la zona Margaritani – Sector Bo. Wetland Norte 502
Tabla 6.100. Analisis de tejido vegetal en la zona Margaritani – Sector Bo. Botadero Norte 511
Tabla 6.101. Analisis de tejido vegetal en la zona Margaritani – Sector Wetland Sur 514
Tabla 6.102. Analisis de tejido vegetal en la zona Margaritani – Sector Wetland Sur 517
Tabla 6.103. Clasificación de la vegetación en la zona Aruntaya 519
Tabla 6.104. Clasificación de las coberturas en parcelas de la zona Aruntaya 519
Tabla 6.105. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en parte baja de Aruntaya 522
Tabla 6.106. Análisis de tejido vegetal en la zona Aruntaya – Sector Parte alta de Aruntaya 523
Tabla 6.107. Análisis de tejido vegetal en la zona Aruntaya – Sector Parte baja de Aruntaya 529
Tabla 6.108. Especies amenzadas en el área de estudio. 533
Tabla 6.109. Real Decreto 465/2003 en zona Titire Coralaque – SectoSe vuelve a repetirr CP Pachas 534
Tabla 6.110. Codex Stan 193-2019 - Zona Titire Coralaque – Sector CP Pachas 537
Tabla 6.111. Riqueza de anfibios y reptiles registrados durante las evaluaciones realizadas en la UF-Florencia Tucari y UH Coralaque 543
Tabla 6.112. Valores de diversidad de las anfibios y reptiles por zona evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 548
Tabla 6.113. Lista de especies de anfibios y reptiles incluidos en categorías de conservación o endémicos registradas en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque 549
Tabla 6.114. Orden, familia y número de especies de aves registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 558
Tabla 6.115. Familias y números de especies registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 559
Tabla 6.116. Composición de especies de aves registradas según los métodos de evaluación empleados en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 560
Tabla 6.117. Abundancia total y relativa de las aves registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 561
Tabla 6.118. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Queullirijahuiri 565
Tabla 6.119. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Margaritani 567
Tabla 6.120. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Aruntaya 569

Tabla 6.121. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Titire – Coralaque 570
Tabla 6.122. Valores de diversidad de las aves por zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 572
Tabla 6.123. Valores del índice de similaridad de Morisita entre las zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 573
Tabla 6.124. Lista de especies de aves incluidas en categorías de conservación nacional e internacional y endemismo, registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 576
Tabla 6.125. Lista de muestras de plumas por especie colectada por zonas ubicadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 577
Tabla 6.126. Datos de las muestras de plumas colectadas por especie en la zona Queullirijahuiri 578
Tabla 6.127. Datos de las muestras de plumas colectadas por especie en la zona Margaritani 579
Tabla 6.128. Datos de las muestras de plumas colectadas por especie en la zona Aruntaya 580
Tabla 6.129. Lista de muestras colectadas por especie en la zona Titire – Coralaque 582
Tabla 6.130. Registro de especies de roedores 592
Tabla 6.131. Esfuerzo de muestreo de captura de roedores 592
Tabla 6.132. Resultados de metales en tejido de roedores en la zona de Margaritani 598
Tabla 6.133. Resultados de metales en sangre de alpaca (*Vicugna pacos*).....608
Tabla 6.134. Registro ocasional de especies de mamíferos silvestres 613
Tabla 6.135. Registro ocasional de especies de mamíferos silvestres 614
Tabla 7.1. Porcentaje de coberturas en el río Queullirijahuiri entre bofedal Blanco 1 y bofedal Blanco 2 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.....620
Tabla 7.2. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor para las variables fisicoquímicas de los manantiales, afloramientos y agua residual industrial, basado en la similitud de distancia euclidiana (transformación log(x+1)), mostrando el (a) test principal y (b) un resumen del test pareado. 648
Tabla 7.3. Comparación entre agua subterránea de piezómetros, afloramientos y manantial con los ECA para agua 655
Tabla 7.4. Comparación entre los afloramientos identificados en el 2018 y 2020.....660
Tabla 7.5. Porcentaje de excedencia de los ECA para agua para los valores mínimos y máximos reportados en la quebrada Margaritani aguas abajo de los aportes de las quebradas sin nombre 1 y 2 entre el 2002 y 2020. 664
Tabla 7.6. Coordenadas de las áreas con presencia de lodo de color diferente al suelo natural 688
Tabla 7.7. Concentraciones de metales totales en la quebrada Apostoloni Norte (aguas de no contacto), aguas arriba y debajo de la ampliación del depósito de desmonte 702
Tabla 7.8. Porcentaje de excedencia de los ECA para agua para los valores mínimos y máximos reportados en las quebradas Apostoloni Norte, Apostoloni Sur y Apostoloni entre el 2002 al 2020. 714
Tabla 7.9. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zonas) para las variables fisicoquímicas de los sedimentos, basado en la similitud de distancia euclidiana (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) un resumen del test pareado 754

Tabla 7.10. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (Ubicación) para la composición de especies del perifiton, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el test principal 760
Tabla 7.11. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (Evaluaciones Zona Margaritani) para el ensamble de macroinvertebrados bentónicos, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) test pareado 766
Tabla 7.12.. Porcentaje de coberturas entre Bo. Wetland Norte y Bo. Blanco 1 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema. 767
Tabla 7.13. Porcentaje de coberturas entre Bo. Wetland Norte y Bo. Blanco 2 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema. 767
Tabla 7.14. Porcentaje de coberturas entre Bo. Botadero Norte y Bo. Blanco 1 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema. 767
Tabla 7.15. Porcentaje de coberturas entre Bo. Qda. Margaritani y Bo. Blanco 2 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.....768
Tabla 7.16. Porcentaje de coberturas en la parte baja de Aruntaya - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema. 786
Tabla 7.17. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zonas) para las variables fisicoquímicas de los sedimentos, basado en la similitud de distancia euclidiana (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) un resumen del test pareado 802
Tabla 7.18. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zona) para la composición de especies del perifiton, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el test principal 819
Tabla 7.18. Resumen del test pareado realizado por el análisis PERMANOVA. 828

Figuras

Figura 2.1. Diagrama hidrográfico de cuerpos de agua y puntos de monitoreo de la ANA en la unidad hidrográfica Coralaque.....6
Figura 4.1. Ubicación del área de estudio y subdivisión en zonas 10
Figura 5.1. Ubicación de puntos de muestreo de componente minero 14
Figura 5.2. A) Primer criterio utilizando el potencial neto de neutralización (PNN) **B)** Segundo criterio utilizando la relación entre el PN/PA. 16
Figura 5.3. Esquema de la ubicación de puntos de muestreo de agua residual industrial y efluentes 20
Figura 5.4. Orto-imágenes multiespectrales 22
Figura 5.5. Modelos digitales del terreno (MDT) 23
Figura 5.6. Ubicación de puntos de observación geológica 26
Figura 5.7. Ubicación de área de levantamiento fotogramétrico.....29
Figura 5.8. Ubicación de puntos de muestreo de roca.....34
Figura 5.9. Ubicación de puntos de muestreo de sedimento de quebrada – depósitos cuaternarios fluviales 37
Figura 5.10. División del área de estudio por zonas y sectores.....40
Figura 5.11. Esquema de ubicación de puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas 49
Figura 5.12. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Queullirijahuiri.....50

Figura 5.13. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Margaritani y sus sectores 51
Figura 5.14. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Paccha – Aruntaya 52
Figura 5.15. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Aruntaya.....53
Figura 5.16. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Titire - Coralaque.....54
Figura 5.17. Esquema de ubicación de puntos de muestreo y medición de nivel de agua subterránea.....56
Figura 5.18. Relación de los sólidos totales disueltos (STD) con los valores de *K* para diferentes tipos de agua.....60
Figura 5.19. Diagrama de Stiff.....62
Figura 5.20. Diagrama de Piper.....63
Figura 5.21. Diagrama de Mifflin.....64
Figura 5.22. Esquema de las zonas de evaluación de flora silvestre 84
Figura 6.1. Concentraciones de metales totales en muestras de las canteras (Angelina, Agregados y Edita) y material removido (1 y 2), en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014) 137
Figura 6.2. Granulometría en muestras de las canteras de material de préstamo Edita, Angelina y material removido (1 y 2). 138
Figura 6.3. Prueba ABA de muestras de las canteras Edita, Cleo, Angelina y Paco Paco analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b). 139
Figura 6.4. Concentraciones de metales obtenidas mediante *Shake flask extraction* en las canteras Angelina, Paco Paco, Cleo y Edita comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (LMP): a) arsénico, b) cobre y c) plomo 141
Figura 6.5. Concentraciones de aniones obtenidos mediante *shake flask extraction* en muestras de las canteras (Angelina y Edita) y material removido (1 y 2). 142
Figura 6.6. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra del material removido 2.....143
Figura 6.7. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra de cantera Angelina.....144
Figura 6.8. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra de material removido 1.....145
Figura 6.9. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra de cantera Edita. 146
Figura 6.10. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras de canteras Angelina (CA-AN-2), Edita (CA-ED-1) y material removido 1 y 2 (CA-CL-1 y CA-AG-2).....147
Figura 6.11. Concentraciones de metales en muestras del material de depósitos de desmonte zona Norte, zona 10 y zona Hechadero en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014) 148
Figura 6.12. Granulometría en muestras de material de los depósitos de desmonte 149
Figura 6.13. Prueba ABA de muestras de material de desmonte (Norte, zona 10 y zona Hechadero) analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b). 150
Figura 6.14. Concentraciones de metales obtenidas mediante *Shake flask extraction* de los depósitos de desmonte zona Norte, 10 y Hechadero, comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010): a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) plomo y e) zinc 152

Figura 6.15. Concentraciones de aniones obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de depósito de desmonte zona Norte, 10 y Hechadero.....153
Figura 6.16. Distribución de elementos en las fracciones solubles de las muestras de los depósitos de desmonte zona 10.....154
Figura 6.17. Distribución de elementos en las fracciones solubles de las muestras de los depósitos de desmonte zona Hechadero 155
Figura 6.18. Distribución de elementos en las fracciones solubles de las muestras de los depósitos de desmonte zona Norte.....156
Figura 6.19. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras de los depósitos de desmonte zona 10, zona Hechadero y zona Norte. 157
Figura 6.20. Concentraciones de metales en muestras del material de tajo y material de relleno de tajo en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014) 158
Figura 6.21. Granulometría en muestras de material de relleno de tajo y material erosionado 158
Figura 6.22. Prueba ABA en muestras de material del tajo analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b).....159
Figura 6.23. Concentraciones de metales obtenidas mediante *Shake flask extraction* en muestras del tajo comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (LMP): a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) plomo y e) zinc. 161
Figura 6.24. Concentraciones de aniones obtenidos mediante *shake flask extraction* de las muestras del tajo.....162
Figura 6.25. Proporción de fracciones solubles de las muestras de roca del tajo.....163
Figura 6.26. Proporción de fracciones solubles de las muestras de material de relleno del tajo.....164
Figura 6.27. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca obtenidas del macizo rocoso del tajo **a)** y **b)** Roca silicificada**.** 165
Figura 6.28. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras de material granular (TJ-1) y material de relleno del tajo (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3). 166
Figura 6.29. Concentraciones de a) sulfatos, b) hierro, c) cobre, d) zinc, e) cadmio y f) calcio en las pozas de sedimentación de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas wetland norte y sur.....169
Figura 6.30. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los lodos de las pozas de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas wetland norte y sur 171
Figura 6.31. Minerales en los lodos de las pozas de sedimentación de los sistemas wetland norte y sur; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo LODO-01 (a y b) y POZA-01 (c y d). Granos libres de mrutilo (rt), pirita (py), goethita (goe), esfalerita (ef), calcopirita (cp) y magnetita 172
Figura 6.32. Valores y concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) potencial de hidrogeno, b) sólidos totales suspendidos y c) arsénico total.....176
Figura 6.33. Concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) cadmio total, b) cobre total y c) mercurio total 177
Figura 6.34. Concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) plomo total, b) zinc total y c) hierro disuelto.....178

Figura 6.35. Concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) cianuro total, b) cianuro libre y c) cianuro total 179
Figura 6.36. Valores y concentraciones reportadas en agua residual industrial de afloramientos subterráneos comparados referencialmente con LMP (2010): a) potencial de hidrógeno, b) sólidos totales suspendidos, c) arsénico total, d) cadmio total, e) cobre total, f) mercurio total, g) plomo total, h) zinc total y j) hierro disuelto 180
Figura 6.37. Columna estratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coralaque 181
Figura 6.38. Mapa geológico regional de la Unidad Hidrográfica Coralaque 185
Figura 6.39. Mapa geomorfológico regional de la Unidad Hidrográfica Coralaque 186
Figura 6.40. Mapa metalogenético de la Unidad Hidrográfica Coralaque 189
Figura 6.41. Columna estratigráfica local para las zonas Queullirijahuiri y Margaritani....190
Figura 6.42. Afloramiento de areniscas y conglomerados intercalados con delgados estratos de lutitas de la secuencia sedimentaria del Grupo Maure 191
Figura 6.43. Afloramiento de tobas con presencia de fragmentos líticos y cristales de la secuencia piroclástica del Grupo Maure 192
Figura 6.44. Tobas con presencia de fragmentos líticos, vidrio volcánico y óxidos de hierro de la Formación Sencca 193
Figura 6.45. Afloramiento de secuencias volcanosedimentarias del Grupo Maure, secuencias piroclásticas de la Formación Sencca y afloramiento de rocas volcánicas del Grupo Barroso 193
Figura 6.46. Mapa geológico local para las zonas Queullirijahuiri y Margaritani. 196
Figura 6.47. Esquema de formación de un yacimiento epitermal de alta y baja sulfuración (Camprubí *et al.*, 2003). 197
Figura 6.48. Mapa geomorfológico local 199
Figura 6.49. Concentraciones de metales totales en muestras del material cuaternario (depósitos eluviales, coluviales y fluvioaluviales) en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014) 200
Figura 6.50. Concentraciones de metales totales de las 3 secuencias de andesitas del Grupo Barroso: a) Andesitas porfiríticas (secuencia 1), b) Andesitas porfiríticas (secuencia 2) y c) Andesitas porfiríticas (secuencia 3) en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014) 201
Figura 6.51. Concentraciones de metales totales en muestras de tobas del Grupo Barroso en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014) 202
Figura 6.52. Concentraciones de metales totales en muestras de rocas con presencia de alteración en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014) 202
Figura 6.53. Concentraciones de metales totales en muestras de tobas de la Formación Sencca en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014) 203
Figura 6.54. Concentraciones de metales totales en muestras del Grupo Maure en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014) 203
Figura 6.55. Granulometría en muestras del material de depósitos cuaternarios (eluviales, coluviales y fluvioaluviales). 204
Figura 6.56. Prueba ABA de muestras de material cuaternario (depósitos eluviales, coluviales y fluvioaluviales analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b). 205
Figura 6.57. Prueba ABA de muestras de roca analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b). 206
Figura 6.58. Concentraciones de metales obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de material de depósitos cuaternarios y roca comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010): a) arsénico y b) cadmio.....208

Figura 6.59. Concentraciones de metales obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de material de depósitos cuaternarios y roca comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010): a) cobre y b) plomo.....209
Figura 6.60. Concentraciones de zinc obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de material de depósitos cuaternarios y roca comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010).....210
Figura 6.61. Concentraciones de aniones obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de a) material de depósitos cuaternarios y b) roca.....212
Figura 6.62. Distribución de elementos en las fracciones de extracción secuencial Dold en muestras de material de depósitos cuaternarios a) depósito fluvioaluvial y b) depósito eluvial. 213
Figura 6.63. Distribución de elementos en las fracciones de extracción secuencial Dold en porfirítica intensamente alterada. 214
Figura 6.64. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca **a)** - **e)** Andesitas porfiríticas y **f)** Lava andesítica porfirítica.....216
Figura 6.65. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca **a), b)** Toba cristalolítica y **c)** Posible toba con alteración argílica avanzada.....219
Figura 6.66. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca **a), b), c), d), e)** Andesitas porfiríticas y **f)** Lava andesítica porfirítica.....221
Figura 6.67. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras depósitos cuaternarios.....224
Figura 6.68. Distribución de elementos de acuerdo con la ocurrencia de minerales de las dos muestras de depósitos cuaternarios (GR-FT-40 y GR-FT-42), mediante el análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido. 225
Figura 6.69. Concentraciones de metales de 31 muestras de sedimento de quebrada en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014).....225
Figura 6.70. Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos de quebrada – Depósitos cuaternarios fluviales 227
Figura 6.71. Concentraciones de metales en muestras de **a)** sedimento de quebrada del río principal y **b)** sedimentos de quebradas o ríos tributarios en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014) 228
Figura 6.72. Muestra de sedimento GSED-5A de coloración anaranjado amarillento junto a las muestras GSED-5B y GSED-5C ubicadas en la llanura de inundación del río Coralaque. 228
Figura 6.73. Valores y concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Queullirijahuiri comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrógeno, b) fluoruros, c) sulfatos y d) aluminio 233
Figura 6.74. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Queullirijahuiri comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) arsénico, b) cobalto, c) hierro y d) manganeso. 234
Figura 6.75. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Queullirijahuiri comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Níquel y b) Plomo.....235
Figura 6.76. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico, **c)** sulfatos y **d)** concentraciones de metales y otros elementos en la zona Queullirijahuiri 237
Figura 6.77. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri 241

Figura 6.78. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri 242
Figura 6.79. Composición mineralógica (%) obtenida en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri 244
Figura 6.80. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).....246
Figura 6.81. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani). 247
Figura 6.82. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani). 248
Figura 6.83. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani). 248
Figura 6.84. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani). 249
Figura 6.85. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).....250
Figura 6.86. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani). 250
Figura 6.87. ACC de las especies de macroinvertebrados bentónicos con las variables no biológicas de agua superficial y sedimentos seleccionadas del ACP para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani). 254
Figura 6.88. Valores reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrógeno y b) Conductividad eléctrica 261
Figura 6.89. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Fluoruros y b) Sulfatos 262
Figura 6.90. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) aluminio y b) arsénico 263
Figura 6.91. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cadmio y b) cobalto 264
Figura 6.92. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobre y b) cromo 265
Figura 6.93. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) hierro y b) manganeso 266
Figura 6.94. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) níquel y b) plomo 267
Figura 6.94. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Selenio y b) Zinc 268
Figura 6.96. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Margaritani (sector Margaritani) 270

Figura 6.97. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** antimonio en la zona Margaritani (sector Margaritani) 271
Figura 6.98. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Margaritani) 275
Figura 6.99. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Margaritani) 276
Figura 6.100. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb, Zn, Cd y Co en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani) 279
Figura 6.101. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cr, Ni, Hg, As, Sb y Al en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani) 280
Figura 6.102. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani).....282
Figura 6.103. Minerales en los sedimentos de la quebrada Margaritani; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-21 (a y b), TU-26 (c y d) y E-3 (e y f). Partícula libre hematita con titanio (hm (Ti)); partícula mixta de goethita con titanio (goe (Ti)) y hematita con titanio (hm (Ti)), goethita (goe), pirita (py), zircón (zir) y goethita con azufre (goe (S)), rutilo (rt), enargita (en), magnetita con titanio (mt (Ti)). 284
Figura 6.104. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Margaritani (sector Margaritani) 280
Figura 6.105. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Margaritani; y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana).....281
Figura 6.106. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani 283
Figura 6.107. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani. 284
Figura 6.108. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani. 285
Figura 6.109. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.....286
Figura 6.110. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.....286
Figura 6.111. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.....287
Figura 6.112. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrógeno, b) conductividad eléctrica, c) fluoruros y d) sulfatos 294
Figura 6.113. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Aluminio, b) arsénico, c) cadmio y d) cobalto. 294
Figura 6.114. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobre, b) Hierro, c) Manganeso y d) Mercurio 294
Figura 6.115. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) níquel, b) selenio y c) zinc.....294
Figura 6.116. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni).....297

Figura 6.117. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** zinc en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 298
Figura 6.118. Concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobalto, **c)** cromo y **d)** níquel en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 299
Figura 6.119. Concentraciones de **a)** mercurio, **b)** aluminio, **c)** arsénico y **d)** calcio en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 300
Figura 6.120. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 304
Figura 6.121. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 305
Figura 6.122. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 307
Figura 6.123. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 308
Figura 6.124. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, Al, Ca y As en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 309
Figura 6.125. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 311
Figura 6.126. Minerales en los sedimentos de la quebrada Apostoloni; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-30 (a y b) y E-2 (c y d). Partículas libres de pirita (py), rutilo (rt), goethita con azufre (goe (S)) y goethita con arsénico y azufre (goe (As-S)); hematita con titanio y magnesio (hm (Ti-Mg); goethita con titanio (goe (Ti)); magnetita (mt). 313
Figura 6.127. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) 316
Figura 6.128. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni); y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana) 317
Figura 6.129. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. Vertimiento 319
Figura 6.130. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. . Vertimiento 319
Figura 6.131. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. 320
Figura 6.132. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. 321
Figura 6.133. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. 321
Figura 6.134. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. 322
Figura 6.135. Valores y concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrogeno, b) conductividad eléctrica, d) fluoruros y d) sulfatos.....326
F**igura 6.136.** Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) aluminio, b) arsénico, c) cadmio y d) cobre 327

Figura 6.137. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobalto, b) hierro, c) níquel y d) zinc.....328
Figura 6.138. Concentraciones de manganeso reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2.....329
Figura 6.139. Valores de a) pH, b) análisis granulométrico y c) sulfatos en la zona Margaritani - sector río Margaritani.....332
Figura 6.140. Concentraciones de a) hierro, b) cobre, c) plomo y d) zinc en la zona Margaritani - sector río Margaritani.....333
Figura 6.141. Concentraciones de a) cadmio, b) cobalto, c) cromo y d) níquel en la zona Margaritani - sector río Margaritani.....334
Figura 6.142. Concentraciones de a) mercurio, b) aluminio, c) arsénico y d) calcio en la zona Margaritani - sector río Margaritani.....335
Figura 6.143. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) 339
Figura 6.144. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margarita (sector río Margaritani) ...340
Figura 6.145. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) 342
Figura 6.146. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) 343
Figura 6.147. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, Al, Ca y As en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) 344
Figura 6.148. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) 346
Figura 6.149. Minerales en los sedimentos del río Margaritani; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo E-10 (a y b) y P-8 (c y d). Partículas libres de goethita con azufre (goe (S)), pirita (py), magnetita con titanio (mt (Ti)), magnetita con titanio y magnesio (mt (Ti-Mg)), hematita con titanio (hm (Ti)), goethita con azufre (S), y hematita con azufre (hm (S)).....348
Figura 6.150. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Margaritani (sector río Margaritani) 350
Figura 6.151. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Margaritani - sector río Margaritani; y b) ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana) 351
Figura 6.152. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector río Margaritani. Vertimiento. 353
Figura 6.153. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector río Margaritani. Vertimiento 354
Figura 6.154. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector río Margaritani. 355
Figura 6.155. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector río Margaritani. 355
Figura 6.156. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector río Margaritani. 356
Figura 6.157. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector río Margaritani. 357

Figura 6.158. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector río Margaritani. 357
Figura 6.159. Valores y concentraciones reportadas en el agua subterránea (piezómetros) de la zona Margaritani comparados referencialmente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (2017) D1 y D2: a) potencial de hidrogeno b) conductividad eléctrica, c) cloruros d) fluoruros e) sulfatos y f) bicarbonatados 360
Figura 6.160. Concentraciones reportadas en el agua subterránea (piezómetros) de la zona Margaritani comparados referencialmente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (2017) D1 y D2: a) aluminio b) arsénico c) bario d) berilio e) cobre y f) cromo 362
Figura 6.161. Concentraciones reportadas en el agua subterránea (piezómetros) de la zona Margaritani comparados referencialmente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (2017) D1 y D2: a) hierro b) manganeso c) mercurio d) plomo e) selenio f) zinc.....363
Figura 6.162. Valores de potencial de hidrógeno de los cuerpos de agua de la zona Paccha Aruntaya comparados con los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2. 366
Figura 6.163. Concentraciones de aluminio de los cuerpos de agua de la zona Paccha Aruntaya comparados con los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2. 367
Figura 6.164. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico, y **c)** sulfatos en la zona Paccha - Aruntaya 369
Figura 6.165. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Paccha – Aruntaya.....372
Figura 6.166. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya 373
Figura 6.167. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya 371
Figura 6.168. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri). 373
Figura 6.169. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri). 374
Figura 6.170. (a) Riqueza y (b) densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri). 375
Figura 6.171. (a) Análisis de diversidad alfa e (b) Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri). 376
Figura 6.172. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Aruntaya comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrogeno y b) conductividad eléctrica 382
Figura 6.173. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Aruntaya comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cloruros y b) fluoruros..382
Figura 6.174. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) sulfatos y b) aluminio 382
Figura 6.175. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) arsénico y b) Boro.....382

Figura 6.176. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cadmio y b) cobalto 382
Figura 6.177. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Cobre y b) Hierro 382
Figura 6.178. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) litio y b) Manganeso 382
Figura 6.179. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) mercurio y d) níquel 382
Figura 6.180. Concentraciones de Zinc comparadas con los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2.....382
Figura 6.181. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Aruntaya 385
Figura 6.182. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** zinc en la zona Aruntaya 386
Figura 6.183. Concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobalto, **c)** cromo y **d)** Ni en la zona Aruntaya 387
Figura 6.184. Concentraciones de **a)** mercurio, **b)** aluminio, **c)** arsénico y **d)** calcio en la zonaAruntaya.....388
Figura 6.185. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Aruntaya 392
Figura 6.186. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Aruntaya 393
Figura 6.187. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Aruntaya 395
Figura 6.188. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Aruntaya 396
Figura 6.189. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, Al, As y Ca en los sedimentos de la zona Aruntaya 397
Figura 6.190. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Aruntaya 399
Figura 6.191. Minerales en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-19 (a y b) y M-3 (c y d). Partículas libres de pirita (py), partícula mixta de rutilo (rt) y hematita con titanio (hm (Ti)), pirita (py), goethita con azufre (goe (S)), goethita con titanio y azufre (goe (Ti-S)), goethita con titanio y magnesio (goe (Ti-Mg)), baritina (bar), hematita (hm) y hematita con manganeso y titanio (hm_Mg-Ti). 401
Figura 6.192. Minerales en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-08 (a y b) y AG-10 (c y d). Grano libre de pirita (py), hematita (hm) y magnetita (mt). 402
Figura 6.193. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Aruntaya 404
Figura 6.194. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Aruntaya; y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana) 406

Figura 6.195. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Aruntaya. 408
Figura 6.196. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Aruntaya. 410
Figura 6.197. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Aruntaya. 411
Figura 6.198. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Aruntaya. 412
Figura 6.199. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Aruntaya. 412
Figura 6.200. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Aruntaya. 413
Figura 6.201. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Aruntaya. 413
Figura 6.202. Valores y concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Titire-Coralaque comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrogeno, b) conductividad eléctrica, c) cloruros, d) fluoruros y e) sulfatos.....422
Figura 6.203. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Titire-Coralaque comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) bicarbonatos, b) aluminio, c) arsénico, d) boro y e) cadmio 423
Figura 6.204. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Titire-Coralaque comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobre b) hierro c) litio y d) manganeso 424
Figura 6.205. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Titire - Coralaque 427
Figura 6.206. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** zinc en la zona Titire - Coralaque 428
Figura 6.207. Concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobalto, **c)** cromo y **d)** níquel en la zona Titire - Coralaque 429
Figura 6.208. Concentraciones de **a)** mercurio, **b)** arsénico y **c)** antimonio en la zona Titire – Coralaque 430
Figura 6.209. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (río Titire). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos del punto AG-09. 436
Figura 6.210. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (río Titire). 437
Figura 6.211. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (ríos Titire, Vizcachas y Coralaque). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos del punto CORA1. 438
Figura 6.212. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (ríos Titire, Vizcachas y Coralaque). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos del punto CORA1. 439
Figura 6.213. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 441
Figura 6.214. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 442

Figura 6.215. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, As y Sb en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 443
Figura 6.216. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 445
Figura 6.217. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque 446
Figura 6.218. Minerales en los sedimentos del río Titire; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-11 (a y b), TIT-1 (c y d) y TIT-4 (e y f). Partícula libre de pirita (py), hematita con magnesio y titanio (hm_Mg-Ti), magnetita (mt), molibdenita (mb), goethita (goe), rutilo (rt), hematita con titanio (hm_Ti). 448
Figura 6.219. Minerales en los sedimentos del río Coralaque; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo CORA1 (a y b), RCora1 (c y d). Partícula libre de esfalerita (ef), pirita (py), ilmenita con magnesio (il_Mg), magnetita con magnesio y titanio (mt_Mg-Ti), hematita con magnesio y titanio (hm_Mg-Ti).....449
Figura 6.220. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Aruntaya 451
Figura 6.221. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque; y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana) 453
Figura 6.222. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Titire-Coralaque. 455
Figura 6.223. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Titire-Coralaque 456
Figura 6.224. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Titire-Coralaque.....457
Figura 6.225. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Titire-Coralaque. 458
Figura 6.226. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Titire-Coralaque. 458
Figura 6.227. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Titire-Coralaque. 459
Figura 6.228. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Titire-Coralaque. 459
Figura 6.229. Concentraciones de arsénico obtenidas en el API I comparadas con el ECA suelo (2017) y los valores CSQG de la guía canadiense 467
Figura 6.230. Concentraciones de cobre obtenidas en el API I comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense.....467
Figura 6.231. Concentraciones de selenio comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense 467
Figura 6.232. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I 469
Figura 6.233. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I 469
Figura 6.234. Porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidas en las API de la zona baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur 471
Figura 6.235. Concentraciones de arsénico comparadas con los ECA para suelo de suso industrial (2017) y los valores CSQG de la guía canadiense 473
Figura 6.236. Concentraciones de cobre comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense 473

Figura 6.237. Concentraciones de níquel comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense 474
Figura 6.238. Concentraciones de zinc comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense 474
Figura 6.239. Porcentajes de arcilla, limo y arena en puntos blanco 477
Figura 6.240. Concentraciones de arsénico en puntos blanco comparadas con los ECA para suelo industrial (2017) y los valores de la CSQG para suelo industrial 479
Figura 6.241. Composición vegetal en la zona Queullirijahuiri 482
Figura 6.242. Bofedales de la zona Queullirijahuiri – y sectores. a) Bo. Blanco 1 y b) Bo. Blanco 2.....484
Figura 6.243. Coberturas de las parcelas en el sector Bo Blanco 1 484
Figura 6.244. Coberturas de las parcelas en el sector Bo Blanco 1 484
Figura 6.245. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Blanco 1, b) Índices de vegetación en el Bo. Blanco 1, c) Ortomosaico del Bo. Blanco 1, d) Clasificación de coberturas en el Bo. Blanco 2, e) Índices de vegetación en el Bo. Blanco 2 y f) Ortomosaico del Bo. Blanco 2. 486
Figura 6.246. Muestra de la especie *Oxychle andina* presentes en el Bofedal Blanco 1 – parcela TU-FL-81, y código de tejido vegetal TU-TV-OA4. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas). 487
Figura 6.247. Muestra de la especie *Calamagrostis* sp. presentes en el Bofedal Blanco 1 – parcela TU-FL-81, y código de tejido vegetal TU-TV-CR3. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas). 488
Figura 6.248. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Queullirijahuiri. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 488
Figura 6.249. Otros metales en las muestras de *Oxychloe andina* y *Calamagrostis* sp. a) Cobre; b) Niquel; c) Zinc y d) Plata.....489
Figura 6.250. Composición vegetal en la zona Margaritani.....490
Figura 6.251. Coberturas de las parcelas en la zona Margaritani a) Bo. Wetland Norte; c) Bo Botadero Norte b) Sec. Wetland Sur y Qda. Apostoloni; d) Bo Qda. Maragritani 495
Figura 6.252. Coberturas de las parcelas en la zona Margaritani a) Bo. Wetland Norte; c) Bo Botadero Norte b) Sec. Wetland Sur y Qda. Apostoloni; d) Bo Qda. Maragritani 496
Figura 6.253. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Wetland Norte, b) índices de vegetación en el Bo. Wetland Norte y c) Ortomosaico del Bo. Wetland Norte.....497
Figura 6.254. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Bofedal Norte, b) Índices de vegetación en el Bo. Botadero Norte y c) Ortomosaico del Bo. Bofedal Norte 498
Figura 6.255. a) Clasificación de coberturas en el Sec. Wetland Sur, b) Índices de vegetación en el Sec. Wetland Sur y c) Ortomosaico del Sec. Wetland Sur. 499
Figura 6.256. a) Clasificación de coberturas en el Sec. Qda. Apostoloni, b) Índices de vegetación en el Sec. Qda. Apostoloni y c) Ortomosaico del Sec. Qda. Apostoloni 500
Figura 6.257. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Qda. Margaritani, b) Índices de vegetación en el Bo. Qda. Margaritani y c) Ortomosaico del Bo. Qda. Margaritani 501
Figura 6.258. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Qda. Apostoloni, b) Índices de vegetación en el Bo. Qda. Apostoloni y c) Ortomosaico del Bo. Qda. Apostoloni 502
Figura 6.259. *Calamagrostis* sp. – parcela TU-FL1, y código de tejido vegetal TU-TV-IN1. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas). 503
Figura 6.260. Niveles máximos según el RD 465/2003 de *Calamagrostis* sp en Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 504

Figura 6.261. *Distichia muscoides* – parcela TU-FL6, y código de tejido vegetal TU-TV-IN6. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas).....505
Figura 6.262. *Distichia muscoides*. Niveles máximos según el RD 465/2003 Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 506
Figura 6.263. Concentracion de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) a) y b) *Calamagrostis* sp. y c) y d) *Distichia muscoides* 507
Figura 6.264. *Oxychloe andina* – parcela TU-FL2, y código de tejido vegetal TU-TV-IN2. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas). 508
Figura 6.265. *Oxychloe andina*. Niveles máximos según el RD 465/2003 Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo. 508
Figura 6.266. Concentracion de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) a) y b) *Calamagrostis* sp. y c) y d) *Distichia muscoides* 510
Figura 6.267. Niveles máximos según el RD 465/2003 de *Oxychloe andina* en Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 512
Figura 6.268. Otros metales en Sector Bo. Botadero Norte. a) Cobre; b) Niquel; c) Zinc y d) Plata 513
Figura 6.269. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Calamagrostis* sp. en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Margaritani, Sector Wetland Sur. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 514
Figura 6.270. Niveles máximos según el RD 465/2003 de *Oxychloe andina* en Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 516
Figura 6.271. Concentracion de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) en *Calamagrostis* sp. y *Oxychloe andina* 516
Figura 6.272. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Festuca* sp. sustancias indeseables para alimento animal en la zona Margaritani, Sector Qda Apostoloni. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 517
Figura 6.273. Composición vegetal en la zona Aruntaya 518
Figura 6.274. Coberturas de las parcelas en el sector Parte alta de Aruntaya 520
Figura 6.275. Coberturas de las parcelas en el sector, parte baja de Aruntaya.....521
Figura 6.276. Vegetación de ribera alterado por concentraciones de metales en sector, parte baja de Aruntaya.....521
Figura 6.277. a) Clasificación de coberturas en parte baja de Aruntaya, b) Índices de vegetación en parte baja de Aruntaya y c) Ortomosaico de la parte baja de Aruntaya.....522
Figura 6.278. *Oxychloe andina*. Niveles máximos según el RD 465/2003 Parte alta de Aruntaya. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo. 524
Figura 6.279. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Calamagrostis* sp. en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte alta de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 525
Figura 6.280. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Distichia muscoides* en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte alta de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 526
Figura 6.281. *Pycnophyllum* aff. *filiforme* – parcela TU-FL7 y TU-FL59, y código de tejido vegetal TU-TV-AC1 y TU-TV-CV3. a) ecosistema impactado y b) sitio blanco (raíz y hojas). 527
Figura 6.282. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Pycnophyllum* aff. *filiforme* en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte alta de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 528

Figura 6.283. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Calamagrostis* sp. en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte baja de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 530
Figura 6.283. *Festuca orthophylla* – parcela TU-FL9, y TU-FL80 código de tejido vegetal TU-TV-FO1 y TU-TV-FO2. a) en sitio blanco y b) borde de quebrada Margaritani (raíz y hojas).....531
Figura 6.285. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2g003 de *Festuca orthophylla* en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte baja de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 532
Figura 6.286. Niveles máximos s según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en hortalizas. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo.....535
Figura 6.287. Niveles máximos s según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en cultivos de Alfalfa a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 536
Figura 6.288. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en cultivos de Maíz. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo 537
Figura 6.289. Niveles máximos del Codex Stan 193-2019 en Maíz (*Zea mayz*) sustancias indeseables para alimento en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas a) Arsenico (As). 539
Figura 6.290. Niveles máximos del Codex Stan 193-2019 en Alfalfa y sustancias indeseables para alimento en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en Cadmio (Cd). 540
Figura 6.291. Niveles máximos del Codex Stan 193-2019 sustancias indeseables para alimento en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en el metal Plomo (Pb) 541
Figura 6.292. Abundancia relativa de las especies de anfibios y reptiles registrados en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque 544
Figura 6.293. Curva de acumulación de especies de anfibios y reptiles en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque.....545
Figura 6.294. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Queullirijahuiri....546
Figura 6.295. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Margaritani 547
Figura 6.296. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Aruntaya.....547
Figura 6.297. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Titire-Coralaque.548
Figura 6.298. Diversidad de especies de anfibios y reptiles en las zonas evaluadas 549
Figura 6.299. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de anfibios las zonas aledañas a la UF Florencia-Tucari: a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) plomo, e) Zinc y f) cianuro. 551
Figura 6.300. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de anfibios la zona Titire - Coralaque: a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) cobalto, e) plomo y f) zinc. 552
Figura 6.301. Concentraciones de cianuro en las muestras de tejido de anfibios presentes en la zona Titire – Coralaque 553
Figura 6.302. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de reptiles en las zonas aledañas a la UF Florencia -Tucari: a) arsénico, b) cadmio y c) cobalto 554
Figura 6.303. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de reptiles en las zonas aledañas a la UF Florencia-Tucari Tucari: a) cobre, b) plomo y c) zinc. 555
Figura 6.304. Concentraciones de metales y cianuro reportadas en las muestras de tejido del reptil *Liolaemus* cf. *signifer* (TU-HE-V12).....556

Figura 6.305. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de reptiles la zona Titire - Coralaque: a) arsénico, b) cadmio, c) cobalto, d) cobre, e) plomo y e) zinc 557
Figura 6.306. Concentraciones de cianuro en las muestras de tejido de reptiles presentes en las zonas evaluadas en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque 558
Figura 6.307. Familias con mayor riqueza de especies registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 560
Figura 6.308. Especies con mayor abundancia registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 563
Figura 6.309. Curva de acumulación de especies generada de la evaluación de aves en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 564
Figura 6.310. Comparación de la riqueza y abundancia de especies registradas por zonas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 565
Figura 6.311. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Queullirijahuiri 567
Figura 6.312. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Margaritani 568
Figura 6.313. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Aruntaya.....570
Figura 6.314. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Titire - Coralaque.....572
Figura 6.315. Diversidad de las aves registradas en las zonas de evaluación en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 573
Figura 6.316. Dendrograma de similitud de Morisita entre las zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 574
Figura 6.317. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la zona Queullirijahuiri 578
Figura 6.318. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la zona Margaritani.....580
Figura 6.319. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la Zona Aruntaya 581
Figura 6.320. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la Titire -Coralaque.....583
Figura 6.321. Análisis de componentes principales de los valores de concentración de metales totales en muestras de plumas de aves obtenidas en las zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque 584
Figura 6.322. Comparación de la acumulación de metales en muestras de plumas de aves por grupo formado en el PCA de la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque.....585
Figura 6.323. PCA de la concentración de metales en muestras de plumas de aves de *Geospizopsis plebejus* capturadas en las zonas Margaritani, Titire – Coralaque y Queullirijahuiri 586
Figura 6.324. Comparación de la concentración de metales totales en muestras de plumas de *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo» en las zonas Margaritani, Titire – Coralaque y Queullirijahuiri 587
Figura 6.325. PCA de la concentración de metales en muestras de plumas de aves acuáticas capturadas en las zonas Queullirijahuiri y Titire – Coralaque.....589
Figura 6.326. Comparación de la concentración de metales totales en muestras de plumas de aves acuáticas capturadas en las zonas Queullirijahuiri y Titire – Coralaque.....590

Figura 6.327. Acumulación de metales en muestras de tejido de aves obtenidas en la zona Titire -Coralaque 591
Figura 6.328. Registro de especies de roedores en las diferentes zonas.....593
Figura 6.329. Similitud de Morisita de especies de roedores según zona de muestreo...593
Figura 6.330. Registro de especies de roedores por zona y línea de muestreo 594
Figura 6.331. Esquema de la distribución de puntos de muestreo para tejido de roedores 595
Figura 6.332. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Aluminio y b) Arsénico 599
Figura 6.333. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Bario y b) Boro.....600
Figura 6.334. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Cadmio y b) Cobalto 601
Figura 6.335. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Cobre y b) Cromo 602
Figura 6.336. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Hierro y b) Manganeso.....603
Figura 6.337. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Molibdeno y b) Plomo 604
Figura 6.338. Valores reportados de la concentración de zinc en tejido de roedores por zona de muestreo.....605
Figura 6.339. Ubicación de los puntos de muestreo para la extracción de sangre de alpacas 606
Figura 6.340. Valores reportados de la concentración de metales en sangre de alpacas por zona de muestreo: a) Aluminio y b) Arsénico 609
Figura 6.341. Valores reportados de la concentración de metales en sangre de alpacas por zona de muestreo: a) Bario y b) Boro.....610
Figura 6.342. Valores reportados de la concentración de metales en sangre de alpacas por zona de muestreo: a) Cobre y b) Hierro 611
Figura 6.343. Valores reportados de la concentración de zinc en sangre de alpacas por zona de muestreo.....612
Figura 6.344. Individuos de alpaca afectadas por las aguas de color rojiza del río Queullirijahuiri 613
Figura 7.1. Esquema de ubicación de la distribución de a) zonas de evaluación y b) sectores de la zona Margaritani.....615
Figura 7.2. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para roca, agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas. 616
Figura 7.3. Vista del manantial con presencia de drenaje acido de roca a) MT-35, b) sedimento del río Queullirijahuiri (AG-14), y c) y d) vistas del agua y sedimento del río Queullirijahuiri (AG-17).....618
Figura 7.4. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) de las microalgas del perifiton en la zona Queullirijahuiri.....619
Figura 7.5. Registro del anfibio *Telmatobius marmoratus* (BL-HE-T1) en la zona Queullirijahuiri 621
Figura 7.6. Concentraciones de metales en las muestras de tejido del anfibio *Telmatobius marmoratus* (BL-HE-T1) en la zona Queullirijahuiri. 622
Figura 7.7. Concentración de cobre y níquel en muestras de aves de la zona Queullirijahuiri y Aruntaya 623

Figura 7.8. Límite máximo y valores de concentración de arsénico y plomo en muestras de aves de la Zona Queullirijahuiri y Aruntaya 624
Figura 7.9. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para roca, agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas. 625
Figura 7.10. Vista de manantial a) y b) FTuca3 que aflora en ferricretas (óxidos de hierro), c) y d) sedimento del río Aruntaya (M-4), antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri 627
Figura 7.11. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) de las microalgas del perifiton en la Zona Paccha Aruntaya con las variables de interés de agua superficial. ...628
Figura 7.12. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas, roca y componentes mineros en el sector quebrada Margaritani. 630
Figura 7.13. Distribución de concentraciones de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (As, Zn, Cu y Pb). 632
Figura 7.14. Distribución de concentraciones de elementos traza (Cd, Ni y Co) de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios)**.** 633
Figura 7.15. Distribución de elementos de interés de acuerdo a la presencia de minerales en traza reportados en el análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido en muestras de componentes mineros. 635
Figura 7.16. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) 636
Figura 7.17. Distribución de pH en pasta (prueba ABA) de los componentes mineros y geología local. 638
Figura 7.18. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (Pb, Zn, As y Cu). 639
Figura 7.19. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos traza (Cd, Co y Ni) y **b)** Sulfatos. 640
Figura 7.20. Vista de los afloramientos identificados: a) y b) MT-46; c) y d) MT-55; e) y f) MT-BO5 y 643
Figura 7.21. Ubicación afloramientos respecto a los perfiles de prospección geofísica en: a) Quebrada sin nombre 1 y zonas aledañas, b) Quebrada sin nombre 2 y zonas aledañas y c) Ampliación del depósito de desmonte y el sistema de tratamiento de aguas acidas – wetland Sur. 644
Figura 7.22. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los manantiales (MN) de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani (sector quebrada Margaritani), afloramientos (AFL) de la zona Margaritani, y agua residual industrial (ARI) del tajo y depósito de desmonte Norte. 645

Figura 7.23. Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los manantiales y afloramientos de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani (sector quebrada Margaritani), así como el agua residual industrial del tajo y depósito de desmonte Norte. La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los manantiales, afloramientos y agua residual industrial y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/L) de **a)** sulfatos, **b)** acidez, **c)** cobre, **d)** cadmio, **e)** plomo**, f)** arsénico**, g)** hierro **y h)** zinc en los manantiales, afloramiento y agua residual industrial evaluados. 646
Figura 7.24. Ubicación de la formación de aguas ácidas en el depósito de desmonte zona Norte, afloramientos y quebrada sin nombre 1 649
Figura 7.25. Concentraciones de metales en aguas ácidas (lixiviados) del depósito de desmonte zona Norte, afloramientos y en la quebrada sin nombre 1: a) aluminio, b) hierro, c) arsénico, d) cadmio, e) cobalto, f) cobre, g) níquel y h) zinc 650
Figura 7.26. Concentraciones de a) sulfatos y metales en la quebrada Margaritani y tributarios (quebrada sin nombre 1 y 2), y flujo de agua MT-BO5: b) aluminio, c) hierro, d) arsénico, e) cadmio, f) cobalto, g) cobre y h) níquel 651
Figura 7.27. Concentraciones de metales en la quebrada Margaritani y tributarios (quebrada sin nombre 1 y 2) y flujo de agua MT-BO5: a) plomo y b) zinc.....652
Figura 7.28. Clasificación geoquímica (Diagrama de Ficklin) para el drenaje ácido de mina del depósito de desmonte y tajo, el manantial MT-BO4 y el flujo de agua MT-BO5. 652
Figura 7.29. Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial, agua subterránea (piezómetros) y afloramientos en áreas aledañas a las quebradas Margaritani y sin nombre 2 653
Figura 7.30. Clasificación geoquímica (Diagrama de Ficklin) para el drenaje ácido de mina (DAM) del depósito de desmonte y tajo (ARI-04), manantial MT-BO4 y el flujo de agua MT-BO5, comparados con los afloramientos de agua (2017) y agua subterránea – piezómetros (2007) en el entorno de la quebrada sin nombre 2. 654
Figura 7.31. Concentraciones de sulfatos y metales en la quebrada Margaritani, aguas arriba y abajo del aporte de la quebrada sin nombre 2 , entre el 2017 y 2020 657
Figura 7.32. Modelo conceptual de la quebrada sin nombre 2.....658
Figura 7.33. Ubicación de afloramientos y manantial identificados en la parte baja de la ampliación del depósito de desmonte en el 2017, 2018 y 2020.....659
Figura 7.34. Clasificación geoquímica (Diagrama de Ficklin) para el drenaje ácido de mina (DAM) del depósito de desmonte y tajo (ARI-04), manantial FTU y los afloramientos de agua del 2017 (MT-55 y MT-57) y 2020 (MT-55).....660
Figura 7.35. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-7 y M-1) y el OEFA (AG-21, TU-22 y E-7) aguas abajo de la quebrada sin nombre 1: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) aluminio y h) hierro. 662
Figura 7.36. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (M-4, E-3 y MA-8) y el OEFA (TU-27 y E-3) aguas abajo de la quebrada sin nombre 2: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro. 663
Figura 7.37. Concentraciones de plomo y sulfatos en la quebrada Margaritani y principales tributarios.....666

Figura 7.38. Concentraciones de cobre y sulfatos en la quebrada Margaritani y principales tributarios 667
Figura 7.39. Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X, en el sedimento de los ríos Queullirijahuiri (puntos AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4) y la quebrada Margaritani (AG-21, TU-26 y E-3) 669
Figura 7.40. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la quebrada Margaritani (M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) y la quebrada sin nombre 1 (TU-21). 670
Figura 7.41. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a pH < 4,5 (n = 3, puntos AG-21, TU-26 y E-3) en los sedimentos de la quebrada Margaritani. 671
Figura 7.42. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) con especies de correlación 40 % de las microalgas del perifiton en la zona Quebrada Margaritani. 673
Figura 7.43. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) de las microalgas del perifiton con las variables de interés de agua superficial en el sector Quebrada Margaritani. 674
Figura 7.44. Concentraciones de metales en las muestras de tejido de los anfibios *Pleurodema marmoratum* registrados en las zonas Margaritani (TU-HE-T5) y Aruntaya (AR-HE-RO2) respectivamente. 675
Figura 7.45. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua, suelo, sedimentos, comunidades hidrobiológicas, roca y componentes mineros en el sector quebrada Apostoloni 677
Figura 7.46. Distribución de concentraciones de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (As, Zn, Cu y Pb). 679
Figura 7.47. Distribución de concentraciones de elementos traza (Cd, Ni y Co) de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios)**.** 680
Figura 7.48. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (Pb, Zn, As y Cu). 682
Figura 7.49. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos traza (Cd, Co y Ni) y **b)** Sulfatos 683
Figura 7.50. Fotografías de suelos en la zona Margaritani, sector quebrada Apostoloni .685
Figura 7.51. Estructuras identificadas en la quebrada Apostoloni, a), c) y d) fotografías del 4 de octubre y b) fotografía del 5 de octubre, nótese la profundidad del cuerpo de agua**.** 686
Figura 7.52. Vistas panorámicas de las áreas con presencia de lodo de color diferente al suelo natural 687
Figura 7.53. Vista panorámica de la ubicación de las tuberías y mangueras (mangas) y lodo de color diferente al suelo natural identificadas en la parte baja del wetland sur 691
Figura 7.54. Áreas de potencial interés con presencia de lodos de una coloración distinta al suelo natural, identificadas durante presente evaluación (polígonos amarillos), ubicación de

puntos de muestreo de lodos (rojo), niveles de fondo y referencia (verde) y blancos (celeste). 692
Figura 7.55. Valores de pH en áreas de potencial interés con presencia de lodos de una coloración distinta al suelo natural, identificadas durante presente evaluación. 693
Figura 7.56. Comparación de pH de los puntos de muestreo de suelo de las API, lodos de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos. 693
Figura 7.57. Concentraciones de arsénico determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos. 694
Figura 7.58. Concentraciones de arsénico determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos. 694
Figura 7.59. Concentraciones de calcio determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos. 695
Figura 7.60. Concentraciones de cobre determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos. 695
Figura 7.61. Concentraciones de cobalto determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos. 695
Figura 7.62. Concentraciones de níquel determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos. 696
Figura 7.63. Distribución de concentraciones de a) cadmio, b) calcio, c) cobalto y d) cobre en las API evaluadas en las zonas baja del wetland sur 698
Figura 7.64. Concentraciones de calcio en las API, niveles de fondo y niveles de referencia, puntos blanco, geología local y corteza superior 700
Figura 7.65. Análisis comparativo con imágenes satelitales de la presencia de una mancha de color marrón-rojizo, sobre la superficie del suelo aledaño a las API ubicados en la zona baja del wetland sur en los meses de a) abril, b) mayo, c) junio y d) diciembre de 2020. .701
Figura 7.66. Plano de ubicación de componentes de la unidad Florencia-Tucari 702
Figura 7.67. Vistas de las muestras colectadas en la quebrada Apostoloni Norte: a) y b) aguas arriba y c) y d) aguas abajo de la ampliación del depósito de desmonte, nótese el cambio en la coloración del agua 703
Figura 7.68. Mapa geomorfológico (superior) y de ubicación (inferior) donde se presentan flujos superficiales que llegan al canal de la quebrada Apostoloni Norte en el tramo desde el punto AG-25 hasta el Punto TU-04. 704
Figura 7.69. Vistas de ortomosaico con la delimitación de los componentes sin cobertura y presencia de acumulaciones de agua de coloración rojiza. 705
Figura 7.70. Flujos superficiales provenientes del depósito de desmonte zona Hechadero que llegan a la quebrada Apostoloni Norte 706
Figura 7.71. Depósito de desmonte zona Disal sin cobertura y sin presencia del canal de aguas de no contacto, los flujos superficiales llegan a la quebrada Apostoloni Norte 707
Figura 7.72. Incremento en las concentraciones de sulfatos y metales en la quebrada Apostoloni luego del aporte de la quebrada canalizada Apostoloni Norte 708
Figura 7.73. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-12 y M-2), ANA (1318QApos1) y el OEFA (TU-12 y AG-25) en la naciente de la quebrada Apostoloni Norte: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro. 710
Figura 7.74. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-13 y MA-4) y el OEFA (AG-26) en la naciente de la quebrada Apostoloni Sur: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro. 711

Figura 7.75. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-2, MA-5 y P-7) y el OEFA (TU-11 y E-2) en la quebrada Apostoloni: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro. 712
Figura 7.76. Modelo conceptual de la descarga de los flujos de aguas subterráneas influenciadas por los lixiviados generados en los componentes mineros (depósito de desmonte zona 10 y tajo).....717
Figura 7.77. Mapa de ubicación de los componentes mineros y delimitación aproximada de componentes sin cobertura.....718
Figura 7.78. Registro fotográfico de aguas de color rojiza en el interior del tajo evidenciado durante la supervisión de 2018. 719
Figura 7.79. Mapa de ubicación de muestreo de material de relleno del tajo y acumulación de aguas de color rojiza. 719
Figura 7.80. Descripciones de los cuerpos de agua de las zonas Margaritani, Queullirijahuiri y Aruntaya previo al desarrollo del proyecto Tucari 720
Figura 7.81. Hidrograma de precipitaciones diarias en la estación meteorológica Tucari 721
Figura 7.82. Línea de tiempo de ocurrencias de deficiencias en el sistema de tratamiento de la UF Tucari. 722
Figura 7.83. Concentraciones de **a)** sulfatos, **b)** cadmio, **c)** cobre, **d)** zinc, **e)** hierro y **f)** calcio, en la quebrada Margaritani (P-5, P-6, TU-05, AG-30 y E-2) y la poza de sedimentación (POZA-01) del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur. (*): El efluente minero PS-02 descarga a la quebrada Apostoloni entre los puntos TU-05 y AG-30. 723
Figura 7.84. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (P-6, P-5, TU-05, AG-30 y E-2). La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los sedimentos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/kg PS) de **b)** sulfatos, **c)** cadmio, **d)** cobre, **e)** zinc y **f)** calcio en los sedimentos de la quebrada Apostoloni. 724
Figura 7.85. a) Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X, y **b)** pH en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (puntos AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4) y la quebrada Apostoloni (AG-21, TU-26 y E-3).....726
Figura 7.86. Vistas de los sedimentos de la quebrada Apostoloni: **a)** y **b)** Fotografías de los sedimentos del punto E-2 de la quebrada Apostoloni; **c)**, **d)** y **e)** fotografías de los sedimentos del punto AG-30 de la quebrada Apostoloni. Se evidencia recubrimientos de óxidos e hidróxidos de hierro (color anaranjado - rojizo) en el lecho de la quebrada Apostoloni 728
Figura 7.87. Comparación de las concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobre, **c)** zinc y **d)** calcio en los sedimentos del punto AG-30 de la quebrada Apostoloni, obtenidos por OEFA los años 2016 (SD-30), 2017 (SD-AG-30) y 2020 (AG-30) 729
Figura 7.88. Comparación de las concentraciones de calcio obtenidas en los sedimentos del punto E-2 de la quebrada Apostoloni, obtenido por el administrado en los años 2014 (P-7) y 2015 (P-7), y por OEFA en 2017 (SD-TU-11), 2019 (SED-TU-11) y 2020 (E-2).....730
Figura 7.89. Concentración de calcio en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada 731
Figura 7.90. Concentración de cobre en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada.....732
Figura 7.91. Concentración de hierro en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada 733

Figura 7.92. Valores de pH en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada Apostoloni.....734
Figura 7.93. Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2, SED), suelo de las áreas de potencial interés (API), suelo sin influencia de componentes mineros (ESP-BK-1 al ESP-BK-5, BN) y los lodos de sedimentación de las pozas N.º 1 y 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur (POZA-01, ESP-5 y ESP-22, LOD). La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1).....735
Figura 7.94. Comparación de las concentraciones de calcio total en los depósitos cuaternarios (geología local) del emplazamiento de la quebrada Apostoloni, ampliación del depósito de desmonte (zonas 10 y Hechadero) y tajo, pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, y sedimentos de los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni.....737
Figura 7.95. Comparación de las concentraciones de calcio lixiviado (*shake flask*) en los depósitos cuaternarios (geología local) del emplazamiento de la quebrada Apostoloni, ampliación del depósito de desmonte (zonas 10 y Hechadero) y tajo; y contenido de calcio total en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, y sedimentos de los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni.....738
Figura 7.96. Comparación entre las concentraciones de calcio en suelo adyacente (ESP-BK-5) a la quebrada Apostoloni y el contenido en los sedimentos de los puntos AG-30 y E-2 739
Figura 7.97. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a **a)** pH < 4,5 y **b)** 5,0 < pH < 5,5 en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2) 740
Figura 7.98. Análisis de Coordenadas Principales (COP) con los valores de agua superficial y la composición y abundancia de las microalgas del perifiton en el sector Apostoloni. A) Superposición de parámetros de agua superficial y B) Distribución de cinco especies de microalgas acidófilas y tolerantes a metales.....742
Figura 7.99. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua, sedimentos, comunidades hidrobiológicas y roca en el sector río Margaritani 744
Figura 7.100. Aporte de carga contaminante de las quebradas Margaritani y Apostoloni al río Margaritani.....745
Figura 7.101. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-10, MA-6 y MA-9) y el OEFA (TU-28 y E-10) en el río Margaritani: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro. 747
Figura 7.102. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-4 y MA-13) y el OEFA (AG-18) en el río Margaritani: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro. 748
Figura 7.103. Concentraciones de **a)** sulfatos, **b)** cadmio, **c)** cobre **d)** plomo, **e)** mercurio y **f)** arsénico, en las quebradas Margaritani (E-3), Apostoloni (E-2) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18) 750
Figura 7.104. Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (puntos AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4), las quebradas Margaritani (E-3), Apostoloni (E-2) y el río Margaritani (E-10, P-8 y AG-18).....751
Figura 7.105. Vistas de los sedimentos en el río Margaritani **a)**, **b)**, **c)**, **d)** y **e)** Fotografía de los sedimentos del punto E-10, P-8 y AG-18 del río Margaritani. Se evidencia recubrimientos de óxidos e hidróxidos de hierro (color marrón - rojizo) en el lecho del río Margaritani 753

Figura 7.106. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la zona Margaritani (río Margaritani y puntos E-2 y E-3 de las quebradas Apostoloni y Margaritani) y las zonas Queullirijahuiri y Paccha – Aruntaya. La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los sedimentos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/kg PS) de **b)** cadmio, **c)** cobre, **d)** plomo, **e)** mercurio y **f)** arsénico en los sedimentos de los cuerpos de agua de las zonas evaluadas 755
Figura 7.107. Comparación de las concentraciones de hierro en los sedimentos del punto E-10 del río Margaritani, obtenido por el administrado en los años 2014 (MA-9) y 2015 (MA-9), y por el OEFA en 2016 (SD-18), 2017 (SD-TU-28), 2019 (SED-TU-28) y 2020 (E-10) 757
Figura 7.108. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre y **b)** plomo en los sedimentos del punto AG-18 del río Margaritani, obtenido por el administrado en los años 2014 (MA-13) y 2015 (MA-13), y por el OEFA en 2017 (SD-AG-18), 2019 (SED-AG-18) y 2020 (AG-18) 758
Figura 7.109. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a pH < 4,5 (n = 3, puntos E-10, P-8 y AG-18) en los sedimentos del río Margaritani 759
Figura 7.110. Análisis Canónico de Coordenadas principales (CAP) con base en la ubicación de las microalgas del perifiton en el sector río Margaritani. 761
Figura 7.111. Modelo conceptual de la influencia del drenaje acido de mina en el río Margaritani 762
Figura 7.112. Análisis de especies bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos relacionados a condiciones ambientales encontradas en los puntos de muestreo de la zona Margaritani, en los tres sectores (quebrada Margaritani, quebrada Apostoloni y río Margaritani) 764
Figura 7.113. Análisis multivariados que explican dos agrupamientos establecidos por la prueba SIMPROF para las zonas Queullirijahuiri, Paccha-Aruntaya y Margaritani: (A) Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis), (B) Análisis multidimensional no métrico (nMDS) y (B) nMDS con las especies más abundantes (abundancia transformada a raíz cuadrada), presentando especies tolerantes (color rojo) y facultativas (color naranja) 765
Figura 7.114. Presencia de vegetación muerta en: a) bofedal Blanco 1 de la zona Queullirijahuiri y b) bofedal Botadero Norte de la zona Margaritani 768
Figura 7.115. Presencia de mayor cobertura de vegetación (tipo graminoide y cojín) bofedal Qda. Margaritani 769
Figura 7.116. Perdida de la cobertura vegetal entre la zona Margaritani, Queullirijahuiri y Aruntaya 770
Figura 7.117. *Calamagrostis* sp. – parcela TU-FL7, y código de tejido vegetal TU-TV-IN7 a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas). 771
Figura 7.118. Concentraciones de metales (Cd, Cu y Pb) en tejido vegetal entre la zona Margaritani y Queullirijahuiri, además de la parte baja de la zona Aruntaya en el río Queullirijahuiri 773
Figura 7.119. *Distichia muscoides* – parcela TU-FL6, y código de tejido vegetal TU-TV-IN6. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para análisis de tejido (raíz y hojas) 774
Figura 7.120. Perdida de cobertura vegetal (Bofedal) en la zona Margaritani (Bo. Wetland Norte) 775

Figura 7.121. Coberturas de vegetación muerta a) Sector Qda. Apostoloni y b) Sector Wetland Sur 776
Figura 7.122. Concentraciones de cobre y níquel en muestras de aves de la Zona Margaritani.....777
Figura 7.123. Límite máximo y valores de concentración de arsénico y plomo en muestras de aves de la Zona Margaritani 779
Figura 7.124. Concentraciones de cobre en muestras de tejido de roedores en las zonas Margaritani y Queullirijahuiri.....780
Figura 7.125. Aporte de carga contaminante de los ríos Margaritani y Queullirijahuiri al río Queullirijahuiri. 781
Figura 7.126. Datos históricos de las concentraciones de arsénico y cobre reportados por el administrado en el río Margaritani (E-4, MA-13), ANA (1318QMarg2) y el OEFA (AG-18), y el río Queullirijahuiri antes (administrado, MA-15, ANA 1318QQueu y OEFA AG-17) y después (administrado E-5 y MA-14; y OEFA, AG-19) de la confluencia con el río Margaritani 782
Figura 7.127. Perdida de cobertura vegetal en la parte alta de Aruntaya a y b) vegetación muerta. 783
Figura 7.128. Coberturas de las parcelas en el sector Parte alta de Aruntaya 784
Figura 7.129. Análisis de tejido vegetal en el sector Parte alta de Aruntaya 785
Figura 7.130. Perdida de cobertura vegetal en la parte baja de Aruntaya. 786
Figura 7.131. Perdida de cobertura vegetal en la parte baja de Aruntaya. a) vegetación muerta en islotes b) vegetación muerta a borde de quebrada 787
Figura 7.132. Vegetación en proceso de degradación, producto de contaminación por DAM. 787
Figura 7.133. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; así como en los principales tributarios.....790
Figura 7.134. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; así como en los principales tributarios y fuentes termales 791
Figura 7.135. Variación de carga ríos Aruntaya y Titire a) cadmio, b) cobalto, c) cobre, d) hierro, e) manganeso, f) níquel g) zinc, h) arsénico i) boro y j) sodio 792
Figura 7.136. Valores de **a)** pH, y concentraciones de **b)** sulfatos en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios.....795
Figura 7.137. Concentraciones de a) cadmio y b) cobre en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios.....796
Figura 7.138. Concentraciones de **a)** zinc y **b)** plomo en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios.....797
Figura 7.139. Concentraciones de **a)** mercurio y **b)** arsénico en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios.....798
Figura 7.140. Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya , Titire, Coralaque y principales tributarios.....800
Figura 7.141. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la zona Margaritani, Aruntaya, Titire – Coralaque, Queullirijahuiri, Paccha – Aruntaya y el grupo de tributarios (QSnom3, AG-09, QChil1 y VIZ-4). La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los sedimentos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de

burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/kg PS) de **b)** sulfatos, **c)** cadmio, **d)** cobre, **e)** zinc, **f)** plomo**, g)** mercurio **y h)** arsénico en los sedimentos de los cuerpos de agua de las zonas evaluadas.....803
Figura 7.142. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** plomo y **c)** hierro en los sedimentos del punto AG-19 del río Queullirijahuiri obtenidos por el OEFA los años 2016 (SD-19), 2017 (SD-AG-19), 2019 (SED-AG-19) y 2020 (AG-19) 804
Figura 7.143. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** plomo, **c)** mercurio, **d)** arsénico y **e)** hierro en los sedimentos del punto AG-08 del río Aruntaya obtenidos por OEFA en los años 2016 (SD-08), 2019 (SED-AG-08) y 2020 (AG-08).....805
Figura 7.144. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** plomo, **c)** mercurio, **d)** arsénico y **e)** hierro en los sedimentos del punto AG-10 del río Aruntaya obtenidos por el OEFA en los años 2015 (SED-1), 2016 (SD-10), 2019 (SED-AG-10) y 2020 (AG-10).....806
Figura 7.145. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** plomo, **d)** mercurio, **e)** arsénico y **f)** hierro en los sedimentos del punto AG-11 del río Titire obtenidos por el OEFA en los años 2015 (SED-2), 2016 (SD-11), 2019 (SED-AG-11) y 2020 (AG-11) 808
Figura 7.146. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** arsénico y **d)** hierro en los sedimentos del punto TIT-1 del río Titire obtenidos por Anglo American Quellaveco S.A. (proyecto Quellaveco) en el 2015 (TIT-1) y por el OEFA en 2019 (SED-RTiti-1) y 2020 (TIT-1).....809
Figura 7.147. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** arsénico y **d)** hierro en los sedimentos del punto RCora4 del río Aruntaya obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el 2015 (1318RCora) y por el OEFA en 2020 (RCora4).....810
Figura 7.148. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** arsénico y **d)** hierro en los sedimentos del punto RCora4 del río Aruntaya obtenidos por Anglo American Quellaveco S.A. (proyecto Quellaveco) en el 2015 (QE-36) y por el OEFA en 2020 (QE-36) 811
Figura 7.149. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a **a)** pH < 4,5 (n = 8, puntos AG-19, M-3, AG-08, AG-10, RTiti1, TIT-4, CORA1 y RCora1); **b)** 5,0 < pH < 5,5 (n = 2, puntos TIT-3 y RCora3); **c)** 5,5 < pH < 6,8 (n = 3, puntos AG-11, TIT-1 y QE-36); y **d)** 6,8 < pH < 7,3(n = 2, puntos AG-09 y VIZ-4) en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque y tributario (río Vizcachas). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 m 813
Figura 7.150. Comparación de concentraciones de arsénico, plomo, cobre y mercurio en los sedimentos del punto GSED-2 (muestreado por OEFA en 2020) y Punto HUA-00-341 (muestreado por INGEMMET en 2000) ubicados en el río Margaritani. 814
Figura 7.151. Concentraciones de **a)** arsénico y **b)** cobre en sedimentos a lo largo del río Queullirijahuiri, Aruntaya, Coralaque, y principales tributarios. 815
Figura 7.152. Concentraciones de **a)** plomo y **b)** cadmio en sedimentos a lo largo del río Queullirijahuiri, Aruntaya, Coralaque, y principales tributarios. 816
Figura 7.153. Muestra de sedimento GSED-5A de coloración anaranjado amarillento junto a las muestras GSED-5B y GSED-5C ubicadas en la llanura de inundación del río Coralaque. 817
Figura 7.154. Fotografías de sedimentos muestreados en el río principal y tributarios....818
Figura 7.155. Análisis Canónico de Coordenadas principales (CAP) con base en la ubicación de las microalgas del perifiton en las zonas Aruntaya y Titire-Coralaque.....820

Figura 7.156. Análisis de especies bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos relacionados a condiciones ambientales encontradas en los puntos de muestreo de la zona Aruntaya 822
Figura 7.157. Análisis multivariados que explican dos agrupamientos establecidos por la prueba SIMPROF para las zonas Aruntaya y Titire-Coralaque: (A y B) Análisis multidimensional no métrico (nMDS) y (C y D) nMDS con las especies más abundantes (abundancia transformada a raíz cuadrada), presentando especies tolerantes (color rojo) y facultativas (color naranja). 823
Figura 7.158. Análisis de especies bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos relacionados a condiciones ambientales encontradas en los puntos de muestreo de la zona Titire-Coralaque. 826
Figura 7.159. Fotografías de los distintos cuerpos de agua evaluados por agrupamiento conformado para el análisis PERMANOVA. 829
Figura 7.160. Diagrama de sombras representando la abundancia media (transformación raíz cuadrada) de las familias bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos por agrupamiento. 830
Figura 7.161. Concentraciones de metales en las muestras de *Rhinella spinulosa* registrados en la zona Titire-Coralaque. Renacuajos (Co-He-V1), juvenil (CO-HE-V6) y especimen muerto (CO-HE-V11) 831
Figura 7.162. Concentraciones de metales en las muestras de *Liolaemus* cf. *signifer* y *Liolaemus tacnae*, registrados en la zona Titire-Coralaque 832
Figura 7.163. Concentración de cobre y níquel en muestras de aves de la zona Titire – Coralaque 833
Figura 7.164. Esquema de uso de hábitat de las aves acuáticas en los cuerpos de agua Fuente: Hernandez, J. (2018). AVESTRAZOS. WILDLIFE ART. https://www.avestrazos.com/digital.html. 834
Figura 7.165. Toma de muestra de plumas de la especie *Anas flavirostris* «pato barcino» para posterior análisis de metales, muestra tomada en la zona Titire – Coralaque.....834
Figura 7.166. Límite máximo y concentraciones de arsénico y plomo en muestras de aves de la zona Titire- Coralaque. 835
Figura 7.167. Drenaje acido de mina con presencia de hidróxidos de hierro en el río Queullirijahuiri (a y b), y manchas oscuras semidefinidas producto de la impregnación del hidroxido de hierro en lana de alpacas de la zona Aruntaya. 836

1. INTRODUCCIÓN

La unidad fiscalizable Florencia Tucari (en adelante UF Florencia Tucari) se encuentra ubicada en el distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Hidrográficamente se encuentra emplazada en la microcuenca Margaritani, entre las quebradas Apostoloni y Margaritani, en la naciente de la Unidad Hidrográfica Coralaque (en adelante UH Coralaque). Explotó un yacimiento aurífero mediante una operación a tajo abierto que comprendió actividades de perforación, voladura, carguío, transporte y apilamiento del mineral extraído en el pad de lixiviación y disposición de mineral de baja ley en un depósito de desmonte y su ampliación. Actualmente esta unidad fiscalizable se encuentra en etapa de postcierre.

Las actividades mineras desarrolladas por la UF Florencia - Tucari son percibidas por la sociedad civil como la principal fuente de afectación de la calidad del agua, sedimento, recursos hidrobiológicos, flora y fauna silvestre, asociados al cambio en la coloración de agua (roja – amarillenta) que han sufrido los principales cuerpos de agua de la UH Coralaque.

En este contexto, la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (DSEM) del OEFA mediante memorando N.º 00934-2020-OEFA/DSEM, solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM), efectuar acciones para determinar la influencia de los componentes mineros de la unidad fiscalizable Florencia-Tucari sobre la calidad de suelo, agua y sedimento de las quebradas Margaritani, Apostoloni y ríos Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque, y su efecto sobre las comunidades biológicas.

Para la evaluación se realizaron dos acciones de muestreo; uno entre agosto y setiembre de 2020 que comprendió agua superficial, agua residual industrial, agua subterránea, sedimento, comunidades hidrobiológicas, componentes mineros, roca y cartografiado geológico, y el otro entre setiembre y octubre de 2020 que consideró suelo, levantamiento fotogramétrico con RPAS, y el muestreo de flora y fauna silvestre.

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 UF Florencia-Tucari realizó actividades de explotación de un yacimiento aurífero de tipo epitermal de alta sulfuración a tajo abierto, a partir del 4 de marzo de 2005[1], que consistió en la explotación y beneficio del mineral de oro, siendo el producto final barras metálicas tipo doré[2], que son una aleación de oro y plata; cuenta con 18 instrumentos de gestión ambiental aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (Anexo 4).

Esta unidad inicio actividades de cierre progresivo en el 2016 y actualmente se encuentra en etapa de post cierre (Tabla 2.1). Sin embargo, como consecuencia del incumplimiento de la ejecución del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Florencia-Tucari, en septiembre de 2019, la Dirección General de Minería (en adelante DGM) del Ministerio de Energía y Minas, dispuso la ejecución inmediata de las garantías vigentes otorgadas por Aruntani

[1] Resolución Directoral N° 067-2005-MEM/DGM del 4 de marzo de 2005, la DGM otorgó la concesión de beneficio Tucari de 250 ha de extensión, adicionalmente autorizó el funcionamiento de la Planta de Beneficio Tucari de una capacidad de 9000TM/día, así como instalaciones auxiliares, pozas PLS e ILS, pad y la construcción de obras civiles e implementación del pad 2.

[2] «Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Tucari», aprobado mediante Resolución Directoral Nº 171-2003-EM/DGAA, el 4 de abril de 2003.

S.A.C. monto que asciende a US$ 8'734,676.98. Por tanto, la DGM encargará a una empresa especializada la ejecución de obras del Plan de Cierre de Minas incumplido[3].

Tabla 2.1. Cronograma del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Florencia-Tucari

Etapa	Fechas
Cierre Progresivo	Enero 2016 a diciembre 2017
Cierre Final	Enero 2018 a diciembre 2019
Post Cierre	Enero 2020 a diciembre 2024

Fuente: Cuarta modificación del plan de cierre de minas de la UM «Florencia-Tucari», aprobada mediante Resolución Directoral N° 286-2016-MEM-DGAAM el 27 de setiembre de 2016.

Las actividades mineras desarrolladas por la UF Florencia-Tucari podrían estar afectando los ecosistemas de la unidad hidrográfica Coralaque, según denuncias ambientales (Anexo 5), relacionadas a la alteración de la calidad del agua y sedimento de las quebradas Margaritani, Apostoloni, y los ríos Margaritani, Coralaque y Tambo; así como un cambio en la coloración a rojo–amarillento de los referidos cuerpos de agua; además, estas denuncias mencionan la desaparición y muerte de peces y anfibios; daños a los cultivos y la afectación al ganado.

En ese sentido, el 6 de diciembre de 2019, se declaró el Estado de Emergencia por impacto de daños a consecuencia de contaminación hídrica en los distritos Chojata, Matalaque, Quinistaquillas, Coralaque y Omate de la provincia General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua, este estado de emergencia fue extendido en cuatro oportunidades (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Declaratoria de estado de emergencia por contaminación hídrica en la unidad hidrográfica Coralaque y sus prórrogas.

Decreto Supremo N.°	Fecha	Departamento/ Provincia/ Distritos	Periodo
188-2019-PCM	06/12/2019	Moquegua/General Sánchez Cerro/ Chojata, Matalaque, Quinistaquillas, Coralaque, y Omate	60 días (Del 6/12/2019 al 5/02/2020)
15-2020-PCM*	29/01/2020		60 días (Del 5/02/2020 al 4/04/2020)
56-2020-PCM*	01/04/2020		60 días (5/04/2020 al 4/06/2020)
98-2020-PCM*	27/05/2020		60 días (Del 4/06/2020 al 3/08/2020)
133-2020-PCM*	30/07/2020		60 días (Del 3/08/2020 al 2/10/2020)

(*) Prorroga de la declaratoria del Estado de Emergencia

2.1. Acciones realizadas por el OEFA

2.1.1. Dirección de Evaluación Ambiental

Informe N.° 174-2015-OEFA/DE-SDCA

La Dirección de Evaluación elaboró el Informe N° 174-2015-OEFA/DE-SDCA, «Informe de monitoreo de agua superficial y sedimentos realizado en el río Coralaque y sus afluentes, en los distritos de Chojata (provincia General Sánchez Cerro), San Cristóbal y Carumas (provincia Mariscal Nieto), departamento de Moquegua, durante el mes de abril del 2015», aprobado el 5 de noviembre de 2015. El monitoreo se realizó entre los días 27 de abril y 1

[3] Mediante la Resolución Directoral N° 166-2019-MINEM/DGM del 13 de setiembre de 2019, la Dirección General de Minería declaró el incumplimiento de la ejecución del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Florencia -Tucari, así como, dispuso la ejecución inmediata de las garantías vigentes otorgadas por Aruntani S.A.C. monto que asciende a US$ 8'734,676.98 (Ocho millones setecientos treinta y cuatro mil seiscientos setenta y seis con 98/100 Dólares Americanos). De acuerdo a lo regulado en el artículo 61° del Reglamento para el Cierre de Minas, aprobado mediante Decreto Supremo N° 033-2005-EM, hechas líquidas las garantías, la Dirección General de Minería encargará a una empresa especializada la ejecución de obras del Plan de Cierre de Minas incumplido.

de mayo de 2015, en la unidad hidrográfica Coralaque y sus afluentes, ríos: Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Chilota y Vizcachas.

El informe concluye que el agua superficial en el punto de monitoreo R-Mar-01[4], ubicado aguas arriba de las operaciones de la UM Tucari, presentó valores que superaron los estándares nacionales de calidad ambiental para agua[5] de la categoría 3[6], para las concentraciones de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, manganeso, níquel y zinc.

En relación con el punto RQue-01[7], ubicado en el río Queullirijahuiri, aguas abajo del área de influencia de las operaciones del proyecto minero Tucari, indica que se muestra un incremento de arsénico y hierro en el agua superficial, comportamiento que puede estar relacionado con los vertimientos de la Compañía Minera Aruntani S.A.C., además, en los sedimentos del punto RQue-01 se registraron las mayores concentraciones de mercurio y plomo.

Informe N.° 123-2016-OEFA/DE-SDCA

La Dirección de Evaluación elaboró el Informe N.° 123-2016-OEFA/DE-SDCA, «Informe de evaluación ambiental en la cuenca Tambo, durante el año 2016», aprobado el 29 de diciembre de 2016. El monitoreo se realizó entre los días 4 al 22 de mayo de 2016 en la cuenca Tambo.

El informe concluye que todos los puntos evaluados en el grupo 2 (ambientes directamente influenciados por actividades mineras), presentaron valores ácidos, a excepción del punto en el río Margaritani (AG-18) con pH de 12,99 posiblemente por la cal utilizada en la neutralización del agua, que en ambos casos incumplieron el ECA para agua categoría 3. Las quebradas Margaritani (AG-21 y AG-22) y Apostoloni (AG-25 y AG-29), así como posterior a la confluencia de ambas formando el río Margaritani (AG-24 y AG-18) presentaron valores de conductividad eléctrica que incumplieron estándar referido.

El cianuro wad solamente fue encontrado en el grupo 2, en los puntos AG-27 (0,013 mg/L), AG-28 (0,032 mg/L), AG-29 (0,009 mg/L), AG-30 (0,015 mg/L) y en el río Margaritani en el punto AG-18 (0,010 mg/L), en concentraciones que cumplieron con los ECA para agua, Cat3D1 y Cat3D2, cuya presencia pueda deberse a su uso en el pad de lixiviación N° 3 y las pozas de soluciones aguas arriba de dichos puntos de monitoreo donde se utiliza el cianuro para la lixiviación del oro. Es importante precisar que el punto AG-27 se ubica aguas arriba del punto de vertimiento (PM-02) y aguas abajo del PAD de lixiviación N° 3 y de las pozas de soluciones y de grandes eventos.

En el grupo 2, la mayoría de puntos excedieron los ECA para agua Cat3D1 y Cat3D2, para sulfatos, registrando concentraciones entre 1203,4 y 2412,7 mg/L, a excepción del punto AG-26 ubicado en la quebrada Apostoloni con 905,6 mg/L. Respecto a los metales: aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc, presentaron elevadas concentraciones que superaron los ECA para agua, Cat3D1 y Cat3D2, cuyas concentraciones podrían producirse debido a la naturaleza hidrogeológica y mineralizada como a las actividades de cierre minero que se desarrollan en la zona.

---

[4] Según informe, la descripción del punto RMar-01: río Margaritani, parte alta de la subcuenca, dentro del área de influencia del proyecto minero Tucari, a 180 m aguas arriba del punto de vertimiento PS-01. Coordenadas UTM (WGS 84), zona 19K, este 373 427 m, norte 8 168 456 m.

[5] Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua.

[6] Valor establecido en el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, categoría 3: aluminio, 5 mg/L; cadmio, 0,005 mg/L; cobalto, 0,05 mg/L; cobre, 0,2 mg/L; manganeso, 0,2 mg/L; níquel, 0,2 mg/L y zinc, 2 mg/L.

[7] Según informe, la descripción del punto RQue-01: río Queullirijahuiri, a 260 m aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya, aproximadamente a 10 m del cruce de una trocha carrozable. Coordenadas UTM (WGS 84), zona 19K, este 361 508 m, norte 8 164 872 m.

En el punto AG-19, donde se reúnen las aguas de los ríos Margaritani (AG-18) del grupo 2 (ambientes directamente influenciados por actividades mineras) y Queullirijahuiri (AG-17) del grupo 1 (ambientes no influenciados por actividades mineras), se presentaron concentraciones elevadas de arsénico, cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo y zinc, que incumplieron los ECA para agua; sin embargo, dichas concentraciones no superaron los ECA para agua en el punto AG-17. De acuerdo con lo señalado, el incremento de las concentraciones de los metales mencionados, se deben al aporte de las aguas del río Margaritani, ubicado aguas abajo de las actividades mineras.

Los valores ácidos de pH, la baja alcalinidad (bicarbonatos), las concentraciones elevadas de sulfatos y de metales (aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc) obtenidas en el grupo 2 en comparación con los puntos de referencia (grupo 1), además de la persistencia de estos parámetros en el grupo 3 (ambiente indirectamente influenciado por actividades mineras), sugieren que las actividades mineras posiblemente estarían generando un drenaje ácido.

Informe N.° 0095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME

La Dirección de Evaluación elaboró el Informe N.º 0095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME, «Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad minera Tucari, durante el año 2017». El muestreo fue realizado del 3 al 27 de julio de 2017 (mapeo geológico y prospección geofísica) y del 15 al 31 de agosto de 2017 (matrices ambientales).

Entre las principales conclusiones del informe se menciona que la calidad del agua de las quebradas Margaritani y Apostoloni es alterada por el aporte de 17 afloramientos de agua con presencia de lixiviados (con elevadas concentraciones de sulfatos, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc) y 2 efluentes (elevadas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, hierro disuelto y zinc) provenientes del depósito de desmonte Norte, así como el material de la ampliación del mencionado componente minero de la unidad minera Tucari.

Asimismo, se precisa que la calidad del agua del río Margaritani es alterada luego de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni, evidenciado con el incremento de la concentración de metales desde el año 2008 al 2017, reportados por el administrado y por el OEFA en el año 2017; además la calidad del agua del río Queullirijahuiri también se ve afectada luego de la confluencia con el río Margaritani. Cabe precisar, que los ríos Margaritani y Queullirijahuiri presentaron concentraciones de sulfatos, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc que incumplieron con los ECA para agua categoría 3 (Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM y Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM).

Informe N.° 335-2019-OEFA/DEAM-STEC

La Dirección de Evaluación Ambiental elaboró el Informe N.º 335-2019-OEFA/DEAM-STEC, «Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Tucari, de Aruntani S.A.C., ubicada en el departamento de Moquegua – 2019». El muestreo (agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas) fue realizado del 31 de marzo al 13 de abril; 4 al 14 de junio; y del 1 al 14 de octubre del 2019.

En el informe se concluye que los afloramientos provenientes del depósito de desmonte Norte presentaron aguas ácidas con elevada concentración de metales que afectaron la calidad de la quebrada Margaritani, en la cual se registró un pH ácido y elevadas concentraciones de arsénico, cobre y hierro (que excedieron los Estándares de Calidad Ambiental para agua 2008, categoría 3). Lo cual también se evidenció por la escasa riqueza y densidad de organismos de microalgas y macroinvertebrados bentónicos en los puntos

evaluados de la quebrada en mención, con presencia de especies tolerantes a metales y pH ácido como la microalga *Achnanthidium* sp., y los macroinvertebrados bentónicos *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp., presentando una calidad ecológica pésima en abril y octubre de 2019.

En cuanto a la quebrada Apostoloni Norte, se menciona que se registró incrementos en las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, níquel y zinc total en el punto TU-04 en comparación con el punto TU-34, debido al aporte de afloramientos provenientes de la parte baja del sistema de tratamiento de agua del Tajo Tucari (TU-PS02) que afectan la calidad de la misma. Asimismo, la quebrada Apostoloni Sur presentó elevada concentración de metales totales desde su naciente hasta antes de su confluencia con la quebrada Margaritani que afecta la calidad de sus aguas, ya que: 1) aguas abajo del PAD, de la quebrada Apostoloni Norte y del vertimiento PS-02 el pH de esta quebrada es más ácido y registra mayor concentración de arsénico, cobre y manganeso total que superaron los Estándares de Calidad Ambiental para agua 2008, categoría 3.

Por último, se concluye que el río Margaritani influye en la calidad del agua de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Vizcachas y Coralaque ya que: 1) se evidenció el incremento de aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, níquel, manganeso, plomo y zinc total en los ríos Queullirijahuiri (AG-19), Aruntaya (AG-08), Titire (AG-11) en comparación con sus puntos ubicados aguas arriba, luego del aporte de los ríos afectados; además, el río Titire incrementó los metales mencionados en el río Vizcachas al formar el río Coralaque. De los metales totales mencionados, el aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso (AG-19, AG-08 y AG-11), boro (AG-11), níquel y zinc (AG-19 y AG-08) superaron los Estándares de Calidad Ambiental agua 2008, categoría 3. Esta influencia también se corrobora al comparar con la data histórica de abril y junio 2019; y 2) en el sedimento, el incremento de arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio y plomo, a excepción del cromo en los ríos Queullirijahuiri (SED-AG-19), Aruntaya (SED-AG-08), Titire (SED-AG-11) en comparación con sus puntos ubicados aguas arriba, luego del aporte de los ríos afectados.

2.1.2. Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas

La Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (en adelante DSEM), desde el 2010 a la fecha ha realizado 40 acciones de supervisión, y ha identificado una serie de incumplimientos de Aruntani S.A.C. en la UF Florencia – Tucari, lo que ha originado que se dicten veintitrés (23) medidas administrativas, mediante 6 resoluciones directorales y un acta de supervisión[8], en las cuales se dispone la captación y tratamiento de los afloramientos identificados en zonas colindantes al depósito de desmonte y su ampliación, así como, la remediación del lecho de quebradas y ríos, y el suelo donde ha discurrido aguas ácidas; además, de la Implementación de medidas de mantenimiento, control y optimización de los sistemas de tratamiento de aguas del depósito de desmonte y del tajo, entre otras medidas que eviten la afectación al ambiente (Anexo 6).

[8] Resolución Directoral N.º 054-2017- OEFA/DS notificada el 25 de setiembre del 2017.
Resolución Directoral N.º 026-2018- OEFA/DSEM, notificada el 27 de abril del 2018.
Resolución Directoral N.º 052-2018-OEFA/DSEM, notificada el 11 de setiembre del 2018.
Resolución Directoral N.º 029-2019-OEFA/DSEM, notificada el 2 de mayo del 2019.
Medida impuesta por Acta de Supervisión, del 04 de mayo de 2019.
Resolución Directoral N.°042-2019-OEFA/DSEM, notificada el 6 de junio de 2019.
Resolución Directoral N.° 065-2019- OEFA-DSEM, notificada el 23 de agosto de 2019.

2.2. Acciones realizadas por otras instituciones en la unidad hidrográfica Coralaque del río Coralaque

2.2.1. Autoridad Nacional del Agua - ANA

La ANA del 2011 al 2019 realizó 18 intervenciones en la unidad hidrográfica Coralaque (Anexo 7), determinando de que hay una afectación a la calidad de agua de la quebrada Margaritani, la misma que repercute en los cuerpos de agua a los cuales tributa, ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque y Tambo, razón por la cual se tuvo color y presencia de sedimentos atípicos en estos cuerpos de agua. Sin embargo, no identificó y preciso la fuente contaminante, indicando que se debería a la naturaleza hidrogeológica y mineralizada de la naciente de esta unidad hidrográfica, posible afectación antropogénica y a la presencia de aguas termales (Figura 2.1).

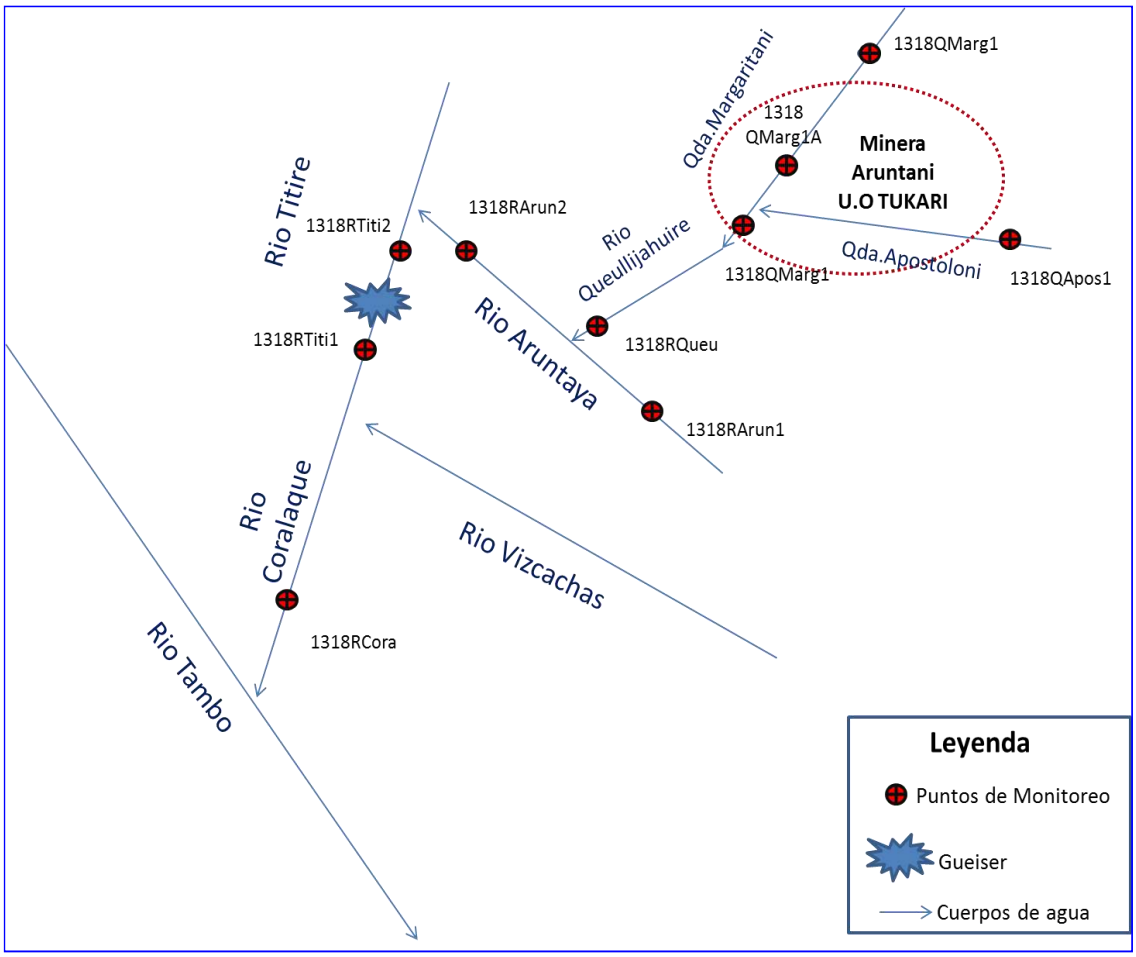


Figura 2.1. Diagrama hidrográfico de cuerpos de agua y puntos de monitoreo de la ANA en la unidad hidrográfica Coralaque
Fuente: Informe N.° 015-2018-ANA-AAA I C-O-ALA T.AT/BNV

2.2.2. Instituto Geológico Minero Metalúrgico - INGEMMET

El Ingemmet ha realizado estudios de caracterización geoquímica de sedimentos y estudios hidrogeológicos en la cuenca Tambo, que incluyen la unidad hidrográfica Coralaque, los principales hallazgos son resumidos en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Estudios del INGEMMET que involucran componentes ambientales en la unidad hidrográfica Coralaque

Institución / Autor	Nombre	Fecha	Principales hallazgos
Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2000) - INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 8, 196 p.	Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja N.°. 1.	2000	En el estudio geoquímico regional de sedimentos de quebrada se recolectaron un total de 1073 muestras las cuales fueron analizadas por 31 elementos por el método ICP en laboratorio privado (SGS) y dos elementos Au y Hg por el método AAS en el INGEMMET. El criterio para la obtención y procesamiento estadístico de estas muestras estuvo basado en los aspectos geológicos, litológicos y estructurales de la región, lo que permitió definir un total de 67 áreas, geoquímicamente anómalas, clasificadas según su contraste como fuertes, moderadas y débiles.
Vargas, L., Pérez, V., Castañeda, D., Tacuche, E., Pajares, C., Aguilar, P., De la Cruz, C., Pascual, O. & Vargas, J. (2017) - INGEMMET, Boletín, Serie B: Geología Económica, 43, 182 p., 10 mapas.	Prospección geoquímica de segunda fase en la cuenca Tambo: subcuencas medio Tambo, Coralaque, medio Alto Tambo, Ichuña y Alto Tambo.	abril y octubre de 2013	Se han recolectado un total de 265 muestras de sedimento fluvial en las subcuencas Medio Tambo, Coralaque, Medio Alto Tambo, Ichuña y Alto Tambo, las cuales han sido tamizadas con la malla N.º 200 y analizadas por ICP-MS y ensayo al fuego + absorción atómica (Laboratorio SGS); es así como se cuenta con resultados de 53 elementos (incluyendo el oro). Las anomalías geoquímicas determinadas en esta área de interés denotan una filiación geoquímica de Cu-Zn-Co-As. En el área de interés Coralaque se han identificado 15 anomalías, las cuales definen una asociación de zinc y cobre con intensidades entre una y dos veces el *threshold* regional. Dichas anomalías se localizan en las quebradas Totorani, Chapi, Chamata y Hachacirca. En el área de interés Coralaque solo se define una anomalía de plomo, cuya intensidad no supera el doble del *threshold* regional. Dicha anomalía se sitúa en la quebrada Vilcahuarmi, la cual es de primer orden. En el río Aruntaya, a 190 m antes de la confluencia con la quebrada Umaljaso se tiene un pH de 3.45, dicha estación de muestreo se ubica aguas abajo del yacimiento de Tucari (epitermal de Ag-Au de alta sulfuración). El agua de los ríos y quebradas en la mayoría de las estaciones de muestreo presenta una conductividad eléctrica menor a 500 µS/cm. Existen algunos lugares con conductividades eléctricas superiores a 1500 µS/cm. Este es el caso del río Titire que, al recibir las aguas de las quebradas Umaljaso y Parqueanaje, eleva su conductividad notablemente; en dichas quebradas se reconocieron sales (sulfatos) a lo largo de sus riberas.

Institución / Autor	Nombre	Fecha	Principales hallazgos
Carpio, J. & Peña, F. (2020) - INGEMMET, Boletín, Serie H: Hidrogeología,7, 288 p., 2 mapas.	Hidrogeología de la cuenca del río Tambo (1318) regiones Arequipa, Moquegua y Puno.	Del 15 de julio del 2011 al 7 de julio de 2013	La cuenca del río Tambo presenta un régimen de precipitación irregular. El período de mayor precipitación se inicia en el mes de octubre y se prolonga hasta el mes de abril con un 94% de la precipitación total. En el período de mayo a setiembre se registra el 5 % de la precipitación anual, y en el mes de julio (el más seco) se registra el 0.4 % de la precipitación. La precipitación media anual es de 331,37 mm, con una temperatura máxima de 24.0 ºC en el mes de marzo y otra mínima de -12.0 ºC en el mes de agosto. Se realizó el inventario de las fuentes de aguas subterráneas de descarga natural. Se registraron en total 690 fuentes, entre ellas tenemos 543 manantiales de aguas frías, 13 manantiales captados, 51 fuentes termales, 3 galerías filtrantes, 9 pozos y por último 71 puntos de control. Se hizo el levantamiento de información in situ, de las coordenadas (UTM WGS 84, Zona 19 Sur), Total de Sólidos Disueltos, Conductividad Eléctrica, Temperatura, Caudal, pH, y el muestreo de 176 fuentes de mayor importancia para el respectivo análisis químico. Los acuíferos en rocas volcánico-sedimentarias se rigen por una intercalación de rocas sedimentarias y volcánicas, en algunos casos retrabajados, heterogéneos. Están representados por el Acuífero Volcánico Sedimentario Barroso y el Acuífero Volcánico Sedimentario Maure, uno de los de mayor extensión, pues abarca gran parte de la zona alta y media de la cuenca, entre las subcuencas Paltiture, Ichuña, Yarihualla, Ubinas y Coralaque. Su importancia radica en la presencia de 122 manantiales que alcanzan caudales máximos de hasta 120 L/s. Las fuentes termales presentan un flujo de recorrido regional e intermedio, a diferencia de las que se encuentran en el rango de recorrido local. Se presume que el elevado grado de temperatura es adquirido porque tiene un recorrido cercano a una fuente de calor. Estas no adquirieron la suficiente mineralización porque su recorrido es menor. Se han identificado 10 posibles zonas de potencial geotérmico, destacando los lugares con mayor número de afloramientos termales, como en la subcuenca Coralaque, al este y norte del embalse Pasto Grande y en la subcuenca Carumas en el Sector de San Cristóbal de Calacoa. Las fuentes termales en la cuenca estarían relacionadas con niveles de calor que emergen producto de una zona de buena permeabilidad, así tienen dos fuentes principales, la primera por la presencia de alineamientos de un sistema de fallas de dirección noroeste-sureste, por donde el calor emergería del interior (Gradiente Geotérmico). La segunda sería por el aporte de una fuente o punto de calor, en este caso, el volcán Ticsani. Es probable que este sea el origen principal de calor para estas fuentes termales, las mismas que se encuentran distribuidas en los alrededores.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de los componentes mineros de la unidad fiscalizable Florencia-Tucari sobre la calidad de suelo, agua y sedimento de las quebradas Margaritani, Apostoloni y ríos Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque, y su efecto sobre las comunidades biológicas.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar la generación de drenaje de ácido de mina en el tajo, depósitos de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero) y el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia - Tucari; así como sus mecanismos de transporte hacia los cuerpos de agua de la unidad hidrográfica Coralaque.
- Identificar las zonas de generación de drenaje ácido de roca mediante el cartografiado geológico, geomorfológico y la caracterización geoquímica y mineralógica de roca a escala local en las zonas Margaritani y Queullirijahuiri y a escala regional la caracterización geoquímica de sedimentos de quebrada en las zonas Aruntaya, Titire y Coralaque.
- Establecer la influencia del drenaje ácido (roca o mina), y el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia – Tucari sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas de la unidad hidrográfica Coralaque.
- Determinar la influencia del drenaje de ácido de mina o el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia – Tucari sobre el suelo, flora y fauna de la zona Margaritani, y los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La UF Florencia - Tucari se ubica en el distrito Carumas, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Hidrográficamente, se ubica en la parte alta de la cuenca del río Tambo, naciente de la unidad hidrográfica Coralaque, específicamente emplazada en la microcuenca Margaritani, entre las quebradas Apostoloni y Margaritani[9], que aguas abajo forman el río Margaritani.

El área de estudio tambien comprende los principales ríos de la unidad hidrográfica Coralaque. El río Coralaque que se forma por la confluencia de los ríos Vizcachas y Titire, este último tiene como principal tributario al río Aruntaya, que a su vez recibe el aporte de los ríos Queullirijahuiri y Margaritani. Políticamente, la unidad hidrográfica Coralaque abarca los distritos de Carumas, San Cristóbal y Chojata, provincias de Mariscal Nieto y General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua.

Esta área de estudio fue dividida en 5 zonas: (1) Queullirijahuiri; (2) Margaritani, microcuenca del río Margaritani; área de influencia de la UF Florencia-Tucari, (3) Paccha - Aruntaya, naciente del río Aruntaya; (4) Aruntaya, aguas abajo de la UF Florencia-Tucari; y (5) Titire - Coralaque, buffer de 200 m a ambas márgenes de estos ríos, ubicados aguas abajo de la UF Florencia-Tucari (Figura 4.1).

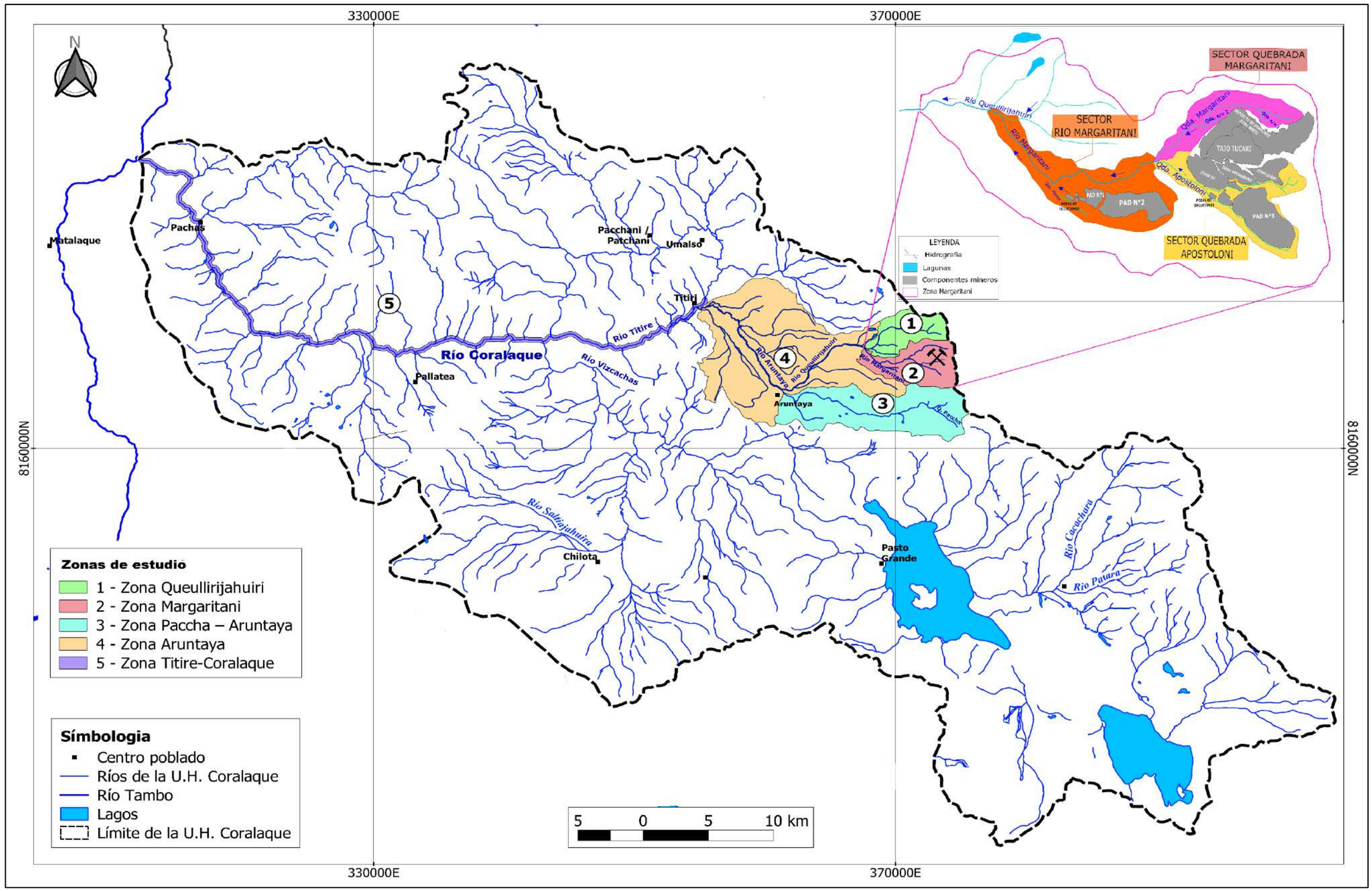


Figura 4.1. Ubicación del área de estudio y subdivisión en zonas

4.1. Climatología

El clima del área donde se ubica la unidad fiscalizable Florencia-Tucari es frío en la mayor parte del año con temperaturas que oscilan entre 10°C en el día y -10°C en las noches, con precipitaciones que varían entre 100 a 800 mm anuales[10]. Asimismo, el régimen pluviométrico se distribuye en tres épocas: lluvias (entre diciembre y marzo); estiaje (entre mayo y octubre); y transición (noviembre y abril)[11].

4.2. Geología regional

El área de influencia de la UF Florencia-Tucari y la región Moquegua se encuentra en un ambiente típicamente vulcanológico, cuya conformación data del Terciario, caracterizado por varias etapas de efusión (básicas y ácidas), siendo la última la efusión lávica del Barroso.

La microcuenca Margaritani, el medio físico está conformado mayormente por formaciones volcánicas y sedimentarias continentales cenozoicas, comprendidas por periodos Terciarios y Cuaternarios, que han sufrido diferente grado de disturbamiento y alteración[12].

4.3. Contexto social

El área de influencia social directa de la UF Florencia-Tucari, está comprendida por las comunidades de Titire y Aruntaya. La comunidad de Titire posee 531 pobladores y 120 viviendas, mientras que, la comunidad de Aruntaya posee 421 pobladores y 80 viviendas. Las viviendas cuentan con agua y electricidad. El agua extraída de un manantial, reunida en un reservorio donde es tratada por los pobladores y luego llevada a los hogares mediante tuberías.

Las poblaciones de estas comunidades se dedican principalmente a la ganadería (alpacas, llamas y ovinos), que se desarrolla en los terrenos de los comuneros, alimentados con pastos naturales. Los productos derivados de la actividad pecuaria son carne y lana, utilizados por los comuneros para su autoconsumo y venta[13].

En la margen derecha del río Coralaque, se ubica el centro poblado de Santiago de Pachas, que cuenta con 138 pobladores, distribuidos en 68 familias. Las cuales utilizan el agua de este rio para la actividad agrícola (cultivos de alfalfa, papa, maíz, habas, hortalizas, entre otros) y pecuaria. El agua de consumo humano de la que se abastece el centro poblado, proviene de un manantial, ubicado en la parte alta del centro poblado, al cual se le aplica un agente desinfectante, para luego ser consumida por la población[14].

[10] Modificación del estudio de impacto ampliación de operaciones por ampliación de Pad 3 y botadero de desmonte del proyecto Tucari. Resolución Directoral N°501-2014-MEM-DGAAM. Capítulo III. Pág. III-57.
[11] «Estudio de Hidrogeología de la unidad minera Tucari», 2014.Bradley-MDH. 001.0513.07-EG. Pág. 27.
[12] Cuarta modificación del plan de cierre de minas de la unidad minera «Florencia-Tucari». Resolución Directoral N° 286-2016-MEM-DGAAM. Capítulo III. Sección 3.1.3. Geología general. Pág. III-7.
[13] Modificación del estudio de impacto ampliación de operaciones por ampliación de Pad 3 y botadero de desmonte del proyecto Tucari. Resolución Directoral N°501-2014-MEM-DGAAM. Capítulo III. Sección 3.7.5 Caracterización del área de influencia social directa.
[14] Informe Técnico N.º 00172-2019-INDECI/11.0. Informe que sustenta la necesidad de Declarar en Estado de Emergencia por impacto de daños, ante contaminación hídrica de los distritos de Chojata, Matalaque, Quinistaquillas, Coalaque y Omate de la provincia de General Sánchez Cerro, departamento de Moquegua.

5. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología por objetivo empleada en la evaluación ambiental de causalidad para evaluar la influencia de los componentes mineros de la unidad fiscalizable Florencia-Tucari y el contexto geológico sobre la ocurrencia del drenaje ácido de mina y roca, respectivamente, así como, el aporte de elementos de interés de estas fuentes y de aguas termales en la unidad hidrográfica Coralaque.

5.1. Objetivo específico 1: Identificar la generación de drenaje de ácido de mina en el tajo, depósitos de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero) y el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia - Tucari; así como sus mecanismos de transporte hacia los cuerpos de agua de la unidad hidrográfica Coralaque.

Este objetivo incluye dos actividades, la primera consistió en la caracterización geoquímica y mineralógica del tajo Tucari, depósitos de desmonte (zona Norte) y su ampliación (zona 10 y Hechadero), canteras de agregados y morrenas (Angelina y Edita); se precisa que se denominarán componentes mineros al grupo de estructuras mencionadas anteriormente. La segunda actividad incluyó la caracterización fisicoquímica de agua residual industrial de las pozas de soluciones y mayores eventos N.° 1 y 2 y sus subdrenajes; además, de los efluentes mineros de la UF Florencia-Tucari.

5.1.1. Caracterización geoquímica y mineralógica de componentes mineros

a) Referencias utilizadas para la evaluación

Se realizó la caracterización de componentes mineros tomando en consideración las referencias de muestreo establecidas por el servicio geológico del Perú y Chile; además, se tomó en consideración las recomendaciones establecidas en referencias internacionales de Canadá y Chile, indicados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Referencias de muestreo de componentes mineros

Documento	Sección	País	Institución/autor	Año
Guía ambiental para manejo de drenaje ácido de mina.	Todo el documento	Perú	Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros	2009
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

Ingemmet: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

b) Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de componente minero se resumen en la Tabla 5.2. y su ubicación se muestra en la Figura 5.1. Cabe precisar que se encuentran ubicados en la zona Margaritani.

Tabla 5.2. Distribución de puntos de muestreo de componentes mineros

N.°	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción	Componente
		Este (m)	Norte (m)			
1	CA-AG-1	371205	8167637	4805	Punto de muestreo de material de la Cantera Agregados.	Cantera de Agregados
2	CA-AG-2	371191	8167838	4810	Punto de muestreo de material de la Cantera Agregados(1).	-
3	CA-AN-1	372877	8168885	4969	Punto de muestreo de material de la Cantera Angelina.	Cantera Angelina
4	CA-AN-2	373296	8168836	5002	Punto de muestreo de material de la Cantera Angelina.	
5	CA-ED-1	374113	8168541	5098	Punto de muestreo de material de la Cantera Edita.	Cantera Edita
6	CA-ED-2	373944	8168678	5093	Punto de muestreo de material de la Cantera Edita.	
7	CA-CL-1	373718	8168770	5076	Punto de muestreo de material de la Cantera Cleo(2).	-
8	DD-10-1	372273	8167383	4908	Punto de muestreo de material del depósito de desmonte 10(3).	Depósito de desmonte zona 10
9	DD-HE-1	372493	8167304	4913	Punto de muestreo de material del depósito de desmonte Zona Hechadera(4).	Depósito de desmonte zona Hechadero
10	DD-HE-2	372774	8167260	4925	Punto de muestreo de material del depósito de desmonte Zona Hechadera(4).	
11	DD-NR-1	374162	8168201	5134	Punto de muestreo de material del depósito de desmonte Zona Norte.	Depósito de desmonte zona Norte
12	DD-NR-2	373463	8168006	5084	Punto de muestreo de material del depósito de desmonte Zona Norte.	
13	DD-NR-3	372927	8168395	4995	Punto de muestreo de material del depósito de desmonte Zona Norte.	
14	TJ-1	372817	8167673	4930	Punto de muestreo en el Tajo Tucari.	Tajo Tucari
15	TJ-2	372866	8167793	4920	Punto de muestreo en el Tajo Tucari.	
16	TJ-3	372681	8167811	4920	Punto de muestreo en el Tajo Tucari.	
17	MRTJ-1	372636	8167777	4926	Punto de muestreo en el Tajo Tucari, muestra de material de relleno del tajo.	Material de relleno de tajo
18	MRTJ-2	372708	8167786	4917	Punto de muestreo en el Tajo Tucari, muestra de material de relleno del tajo.	
19	MRTJ-3	372819	8167771	4921	Punto de muestreo en el Tajo Tucari, muestra de material de relleno del tajo.	
20	DD-DI-1(4)	373405	8167026	4963	Identificación del depósito de desmonte Disal.	Depósito de desmonte zona Disal
21	POZA-01	371706	8167452	4847	Lodo proveniente de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur.	Wetland Sur
22	LODO-01	373265	8168300	4971	Lodo proveniente de la poza de captación de agua de contacto del sistema de tratamiento wetland norte.	Wetland Norte

(1) Por error material en el Acta de supervisión se consignó con el nombre de cantera Agregados, siendo la descripción correcta, material removido 2 adyacente a la cantera de agregados.
(2) Por error material en el Acta de supervisión se consignó con el nombre de cantera Cleo, siendo la descripción correcta, material removido 1 adyacente a la cantera Edita.
(3) Por error material en el Acta de supervisión se consignó el nombre de depósito de desmonte 10, siendo correcto el nombre indicado ampliación del depósito de desmonte (zona 10).
(4) Por error material en el Acta de supervisión se consignó el nombre de depósito de desmonte Hechadera, siendo correcto el nombre indicado ampliación del depósito de desmonte (zona Hechadero).
(5) En este punto no se pudo colectar muestra, debido a que la profundidad de la cobertura (material morrénico) de aproximadamente 50 cm.

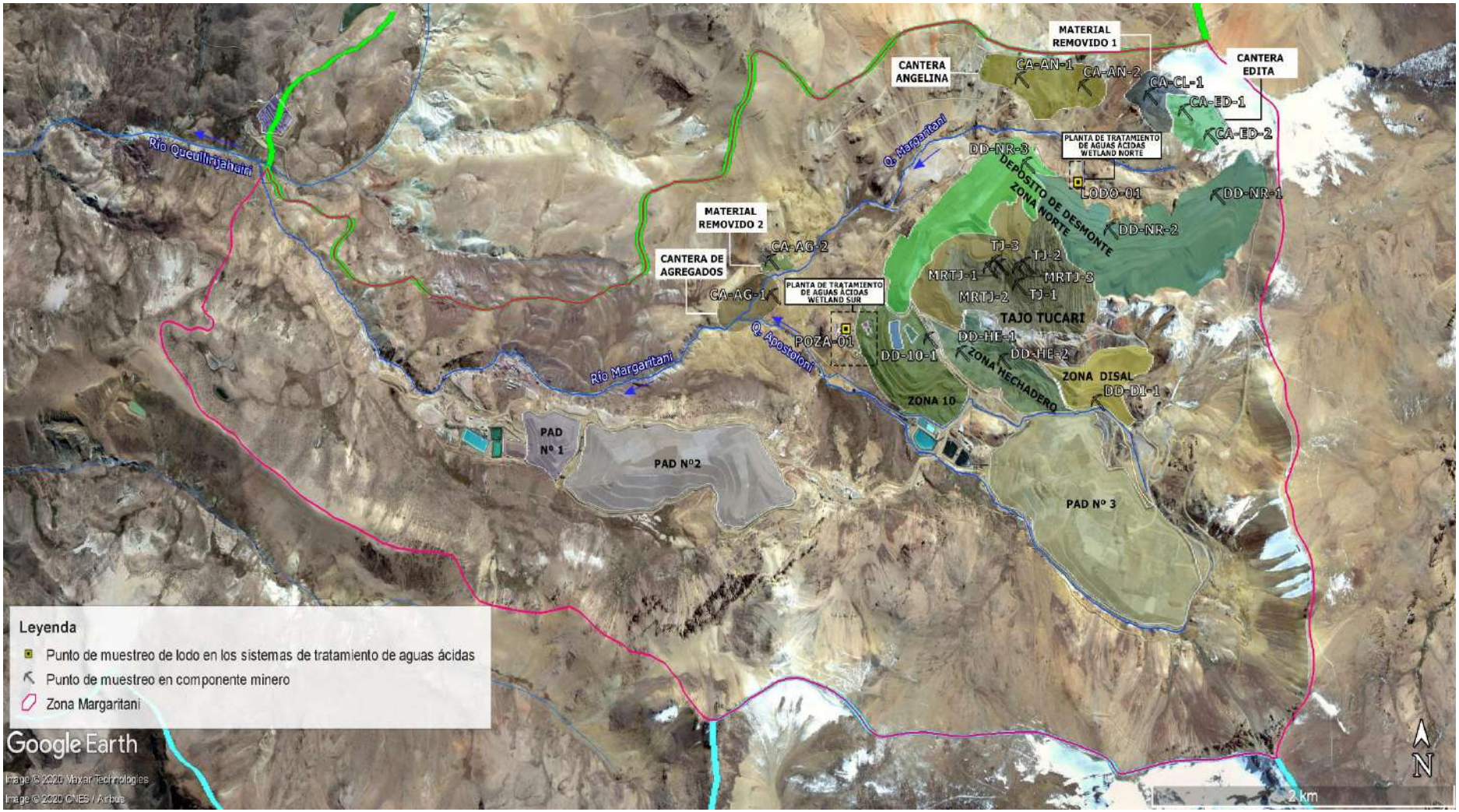


Figura 5.1. Ubicación de puntos de muestreo de componente minero

c) Parámetros y métodos de análisis

En consideración con el objetivo planteado se realizó el análisis de componentes mineros, los parámetros evaluados en estos se detallan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Parámetros evaluados y métodos de análisis en muestras de componentes mineros

Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
Metales totales	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev. 2 (2014) VAL	Metales por ICP-MS
ABA (prueba de balance ácido - base)	Azufre Total por Combustión mediante horno Leco y espectroscopia infrarroja	Basado en ASTM E1915-97
	Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials - MEND Report 1.20.1, Chapter 13, Item 13.3.3, December 2009 (Grado de Efervescencia, pH en Pasta, Potencial de Acidez Máximo, Potencial de Neutralización Neto, Potencial de Neutralización, Relación (NP-MPA))	Sobek Modificado
Shake flask aniones	SMEWW 4500-Cl-B. 23rd Ed. 2017	Volumetría (cloruros)
	SMEWW 4500-F-B, C. 23rd Ed. 2017	Electrometría (fluoruros)
	SMEWW 4500-P E. 23rd Ed. 2017	Éspect UV-VIS (fosfatos)
	SMEWW 4500-NO3 D. 23rd Ed. 2017	Electrometría (nitratos)
	SMEWW 4500-NO2 B. 23rd Ed. 2017	Éspect UV-VIS (nitritos)
	SMEWW 4500-S04 2- E. 23rd Ed. 2017	Éspect UV-VIS (sulfatos)
Shake flask metales	Extracto SFE Leaching & drainage (1997) /EPA METHOD 6020 B Rev02, 2014	Guidelines and recommended Method for the prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia/Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Guidelines and recommended Method for the prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia/Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Metales por ICP-MS en extracto SFE
Análisis granulométrico	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	Particle - Size Analysis of Soils
Análisis mineralógico por MEB	Microscopía electrónica de barrido	Microscopia electrónica de barrido, complementado con imágenes de microscopio óptico de luz reflejada
Análisis mineralógico por DRX	Difracción de rayos X	Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD) Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).
Análisis mineralógico por Microscopia óptica	Petromineragrafía	Microscopía óptica de luz polarizada (transmitida y reflejada)
Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	PNTE-LE-96. Rev.00 Análisis de metales solubles por extracción de 7 etapas continuas	Metales por ICP-MS

Fuente: Reporte de resultados N.° RRE-046-2020-STEC (Anexo 3) y reporte de campo N.° RC-044-2020-STEC (Anexo 2)

d) Materiales utilizados

Los materiales utilizados para la caracterización de componentes mineros se detallan en el reporte de campo N.° RC-044-2020-STEC (Anexo 2).

e) Aseguramiento de la calidad

El control que se lleva a cabo para asegurar la calidad de los resultados obtenidos, fueron muestras duplicadas, tomando como criterio de aceptación una diferencia relativa porcentual (DRP) ≤ 30% entre una muestra original con su duplicado, el parámetro utilizado para dicho control fue metales totales (RR 046-2020-STEC, Anexo 3).

f) Procesamiento de datos

Para la caracterización del depósito de desmonte (zona Norte) y su ampliación (depósitos de desmonte zona 10 y Hechadero) se realizó una descripción de cada uno, en base al contenido de metales totales de las muestras. También se empleó la prueba estática de balance ácido-base (ABA), para determinar si las muestras son potenciales generadores de acidez (Figura 5.2). Para ello se realizó el balance entre el potencial de acidez (PA) y el potencial de neutralización (PN), dichos términos se refieren a la producción y consumo de ácido por parte del material. El criterio de evaluación para esta determinación será el potencial neto de neutralización (PNN), el cual se define como la diferencia entre el PN y el PA[15].

Además del potencial neto de neutralización, se utilizó un segundo criterio como la relación entre el PN/PA, donde el potencial de neutralización (PN) debe exceder al potencial de acidez (PA) por lo menos en 3 a 1, para asegurar que la muestra sea clasificada como no generadora de ácido. Los 2 criterios proveen una buena indicación de la generación de drenaje ácido y fueron empleados en el análisis de datos.

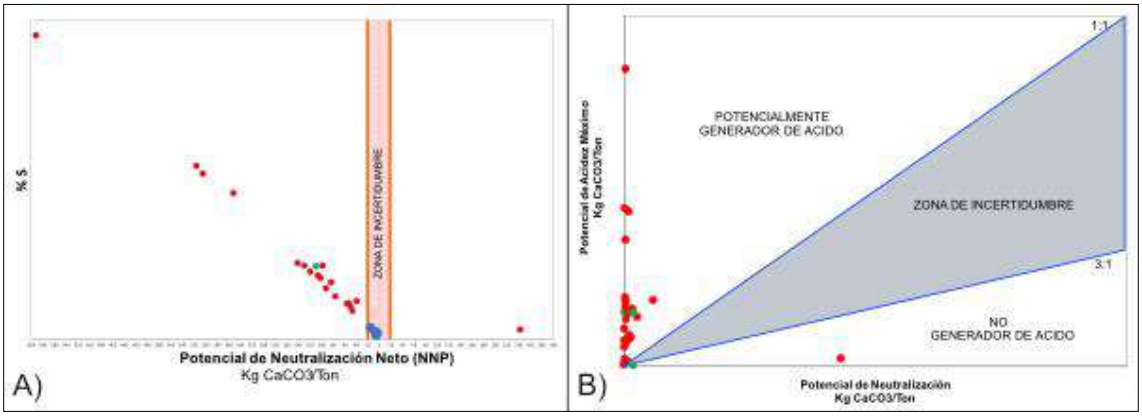


Figura 5.2. A) Primer criterio utilizando el potencial neto de neutralización (PNN) **B)** Segundo criterio utilizando la relación entre el PN/PA.

La evaluación de metales solubles se realizó según la metodología de especiación de las fases más solubles en un procedimiento de extracción secuencial adaptado para estudios geoquímicos de residuos de minas de sulfuros de cobre[16]. Este análisis permitió caracterizar la potencial movilidad y biodisponibilidad de ciertos elementos presentes en el material del depósito de desmonte (zona Norte) y su ampliación (depósitos de desmonte zona 10 y Hechadero), además de aportar información sobre los procesos que han actuado para la liberación de dichos elementos al ambiente.

[15] Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de mina. (1997). Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Asuntos Ambientales.

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

Asimismo, se empleó la prueba *shake flask extraction* para medir la interacción del material del depósito de desmonte (zona Norte) y su ampliación (depósitos de desmonte zona 10 y Hechadero) con agua proveniente de fenómenos meteorológicos (agua meteórica). En este sentido, en la prueba se usa agua destilada, la cual se combina con el material a estudiar en la relación de 3:1 para luego proceder a agitar durante un período de 24 horas. Posteriormente se colecta el lixiviado y se filtra con una membrana de acetato de celulosa de 0,45 micras. Cabe mencionar, que la proporción de mezcla 2:1 y 3:1 (líquido/sólido) se considera más representativa de situaciones reales en el ambiente en las que el agua de precipitación se filtra a través de una pila de residuos de mineral.

El lixiviado filtrado generado se analizó para determinar los siguientes parámetros: aniones (sulfatos, cloruros, nitratos, nitritos, nitratos y fluoruros), y para la determinación de las concentraciones de elementos como arsénico, antimonio, bario, berilio, bismuto, boro, cadmio, calcio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, litio, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, potasio, plata, sodio, estroncio, estaño, uranio, vanadio y zinc por el método ICP-OES.

El análisis mineralógico por las metodologías de difracción de rayos X y por microscopía electrónica de barrido permitieron cuantificar e identificar la presencia de las especies minerales metálicas y no metálicas que se encuentran en los materiales del depósito de desmonte (zona Norte) y su ampliación (zona 10 y Hechadero); y asociarlos a los elementos de interés. Por otra parte, el análisis granulométrico permitió cuantificar la fracción de material fino (arcillas) que compone los diferentes materiales de los depósitos de desmonte. Este material fino es susceptible a la erosión por escorrentía superficial y eólica.

g) Criterios de evaluación

Los resultados de las pruebas de lixiviación *shake flask extraction* para metales, fueron comparados referencialmente con los límites máximos permisibles para actividades minero-metalúrgicas (Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM), esto con la finalidad de conocer si los componentes mineros evaluados pueden liberar elementos potencialmente tóxicos al ambiente.

5.1.2. Caracterización fisicoquímica de agua residual industrial y efluentes mineros

a) Referencias utilizadas para la evaluación

Los efluentes minero-metalúrgicos de la UF Florencia Tucari, fueron colectados siguiendo el Protocolo de monitoreo de calidad de agua del Ministerio de Energía y Minas (Capítulos 2.0 y 4.0) aprobado, en 1994, mediante Resolución Directoral N. º 004-94-EM/DGAA. El agua residual industrial, entendidas como aquellas «originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo»[17], fueron colectadas utilizando tambien el mencionado protocolo de manera referencial.

[17] Glosario de términos del «Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales» (ANA, 2016, p. 50).

b) Ubicación de puntos de muestreo

Se establecieron 4 puntos de efluentes minero-metalúrgicos y 15 puntos de agua residual industrial (4 afloramientos subterráneos, 9 aguas de pozas de soluciones y 2 aguas de subdrenaje). La ubicación y descripciones de los puntos de muestreo de efluentes mineros y agua residual industrial se detalla en las Tablas 5.4 y 5.5 y Figura 5.3.

Tabla 5.4. Ubicación del punto de muestreo de efluentes mineros

N.°	Zona	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Margaritani	PS-01	373259	8168503	4960	Efluente del sistema de tratamiento wetland norte, con descarga a la quebrada Margaritani (1). Efluente tratado procedente del botadero Norte(2).
2		PS-02	371538	8167187	4808	Efluente del sistema de tratamiento wetland sur (1). Efluente tratado procedente del tajo de la Unidad Minera Tucari(2).
3		PM-01*	368752	8167061	4715	Efluente tratado procedente de la planta de Merrill Crowe 1(2).
4		PM-02*	371997	8166978	4836	Efluente tratado procedente de la planta de Merrill Crowe 2(2).

(1) Descripción obtenida durante la presente Evaluación Ambiental de Causalidad (EAC).
(2) Descripción de acuerdo con la «Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de ampliación de operaciones – proyecto Tucari (ampliación del Pad III y botadero de desmonte) de Aruntani S.A.C.», aprobado mediante Resolución Directoral N.º 501-2014-MEM-DGAAM
(*) Puntos de efluente minero - metalúrgico sin vertimiento.

Tabla 5.5. Ubicación del punto de muestreo de agua residual industrial

N.°	Zona	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Margaritani	MT-46	373427	8168279	4971	Afloramiento subterráneo ácido de coloración rojiza que da origen a la quebrada sin nombre 1, aproximadamente a 50 m del canal de coronación norte del depósito de desmonte.
2		MT-55	373105	8168573	4821	Afloramiento subterráneo en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 100 m del canal de coronación norte del depósito de desmonte.
3		FBO-1	374100	8168391	5080	Afloramiento subterráneo, ubicado a 80 m del canal de coronación norte del depósito de desmonte, y aproximadamente a 3 m aguas arriba del punto ESP-3E.
4		MT-BO6	371791	8167375	4840	Afloramiento subterráneo, ubicado aproximadamente a 80 m del depósito de desmonte Zona 10.
5		ARI-04	371822	8167482	4860	Agua de la poza de captación de aguas ácidas de los depósitos de desmonte y tajo de la unidad minera Tucari, que forma parte del sistema de tratamiento de aguas ácidas del punto de control PS-02.
6		ARI-05	371792	8167297	4836	Agua de la poza auxiliar intermedia de captación de aguas ácidas de los depósitos de desmonte 10, Hechadera y Disal.

N.°	Zona	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
7		ARI-07	372274	8166856	4863	Agua de la poza de sedimentación ubicada al norte de la poza de mayores eventos N.º 2.
8		ARI-08	372235	8166862	4854	Agua de la poza de mayores eventos N.º 2.
9		ARI-09	369228	8166757	4741	Agua de la poza de mayores eventos N.º 1.
10		ARI-10	369244	8166809	4744	Agua de la poza ILS de la planta Merrill Crowe N. º 1.
11		ARI-11	369257	8166748	4744	Agua de la poza PLS de planta Merrill Crowe N. º 1.
12		ARI-13	372515	8166759	4873	Agua de la poza PLS de planta Merrill Crowe N. º 2.
13		ARI-14	372399	8166804	4862	Agua de la poza ILS de la planta Merrill Crowe . º 2.
14		TU-06	368936	8166850	4 732	Agua de subdrenaje de la poza de mayores eventos N.° 1.
15		PSS-01A	372153	8166886	4 849	Agua de subdrenaje de la poza de mayores eventos N.° 2.



Figura 5.3. Esquema de la ubicación de puntos de muestreo de agua residual industrial y efluentes

c) Parámetros y métodos de análisis

Se consideraron los parámetros incluidos en la Tabla 5.6, 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 analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial de óxido reducción (ORP) y turbidez (NTU).

Tabla 5.6. Parámetros evaluados y métodos de análisis para la caracterización de efluentes y agua residual industrial

Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
Cloruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía lónica
Fluoruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía lónica
Sulfatos	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía lónica
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
Sólidos Totales Disueltos	SMEWW 2540 C. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
Acidez	SMEWW 2310 B. 23rd Ed. 2017	Volumetría
Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)	Espect ICP-MS
Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed.2017	Alkalinity: Titration Method
Carbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed.2017	Alkalinity: Titration Method
Cianuro Libre (Skalar)	ISO 14403-2:2012.1 st.Ed.(Validado), 2014	Water quality - Determination of total cyanide and free cyanide using flow analysis (FIA and CFA)
Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-C,E. 22nd Ed. 2012	Cyanate: Colorimetric Method
Cianuro Wad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN^- I,E,23rd Ed.2017	Cyanide. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method

d) Equipos utilizados

Los equipos utilizados para la medición de parámetros *in situ*, los certificados de calibración, la medición de caudal y el posicionamiento de los puntos de muestreo, se detallan en el reporte de campo N.° RC-044-2020-STEC, Anexo 2.

e) Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en la etapa de campo incluyó la verificación y ajuste de los sensores de los equipos multiparámetro. Todos los resultados fueron registrados en los formatos correspondientes. Para garantizar la representatividad de los resultados, se realizó como control de calidad la toma de muestras duplicadas, blancos viajeros y blancos de campo (RC N.° 044-2020-STEC, Anexo 2).

f) Criterios de evaluación

Los resultados de los efluentes mineros se compararon con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (en adelante, LMP minero metalúrgico), aprobado mediante Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. Los puntos de agua residual industrial tambien se compararon, de manera referencial, con la mencionada norma.

5.2. Objetivo específico 2: Identificar las zonas de generación de drenaje ácido de roca mediante el cartografiado geológico, geomorfológico y la caracterización geoquímica y mineralógica de roca a escala local en las zonas Margaritani y Queullirijahuiri y a escala regional la caracterización geoquímica de sedimentos de quebrada en las zonas Aruntaya, Titire y Coralaque

5.2.1. Caracterización geológica y geomorfológica

La caracterización geológica consistió en la descripción de las unidades litológicas, alteraciones y aspectos estructurales a escala local en el ámbito de la microcuenca Margaritani, en cuanto a la caracterización geomorfológica consistió en la identificación de procesos locales de geodinámica externa para determinar zonas de erosión y sedimentación.

Para la caracterización geomorfológica, en primera instancia se realizó la búsqueda y procesamiento de imágenes satelitales Spot, y según su disponibilidad en el catálogo de CONIDA se han adquirido 2 pares estéreo de imágenes Spot (pancromáticas y multiespectrales), con las cuales se han construido 2 orto-imágenes multiespectrales y 2 modelos digitales del terreno (MDT) que se muestran en las Figuras 5.4 y 5.5. Ambos productos fueron utilizados como información base (previa a la etapa de campo) y para el análisis geomorfológico regional mediante el uso de índices geomorfológicos.

Asimismo, en los sectores de interés se realizó la captura de información mediante fotogrametría con RPAS *(Remotely Piloted Aircraft System*), considerando puntos de apoyo y control mediante el uso de GPS diferencial (GPSd), información con la que se construyó un MDT y un ortomosaico de alta resolución, utilizado para el cartografiado geomorfológico, mediante el uso de índices geomorfológicos.

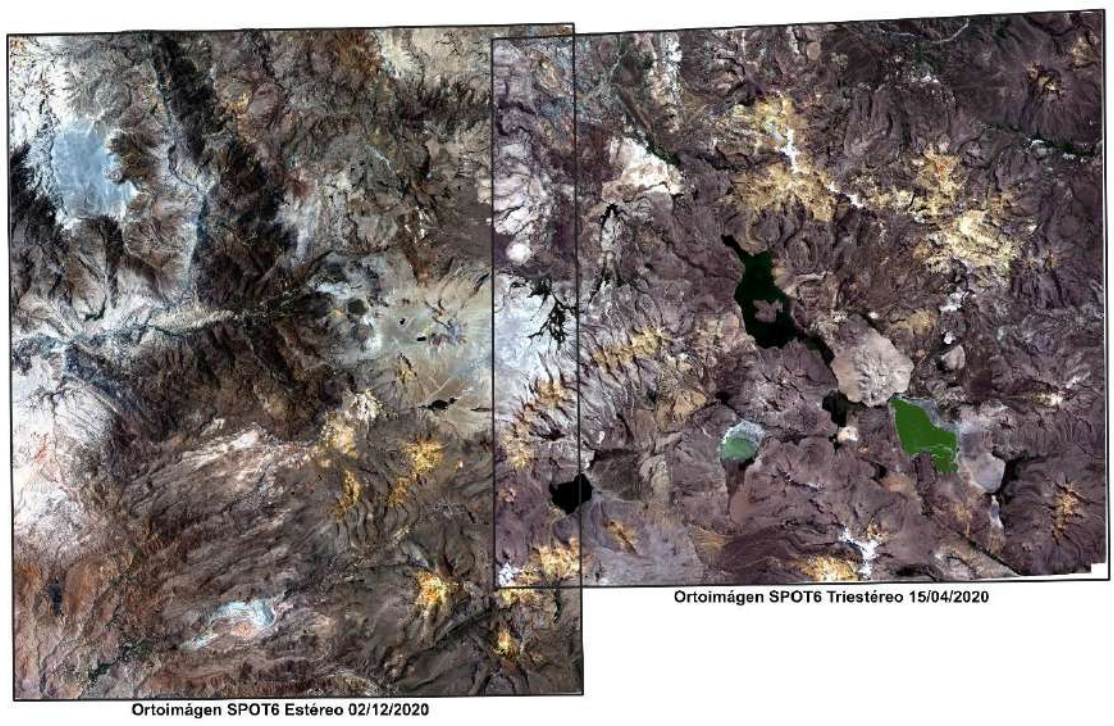


Figura 5.4. Orto-imágenes multiespectrales

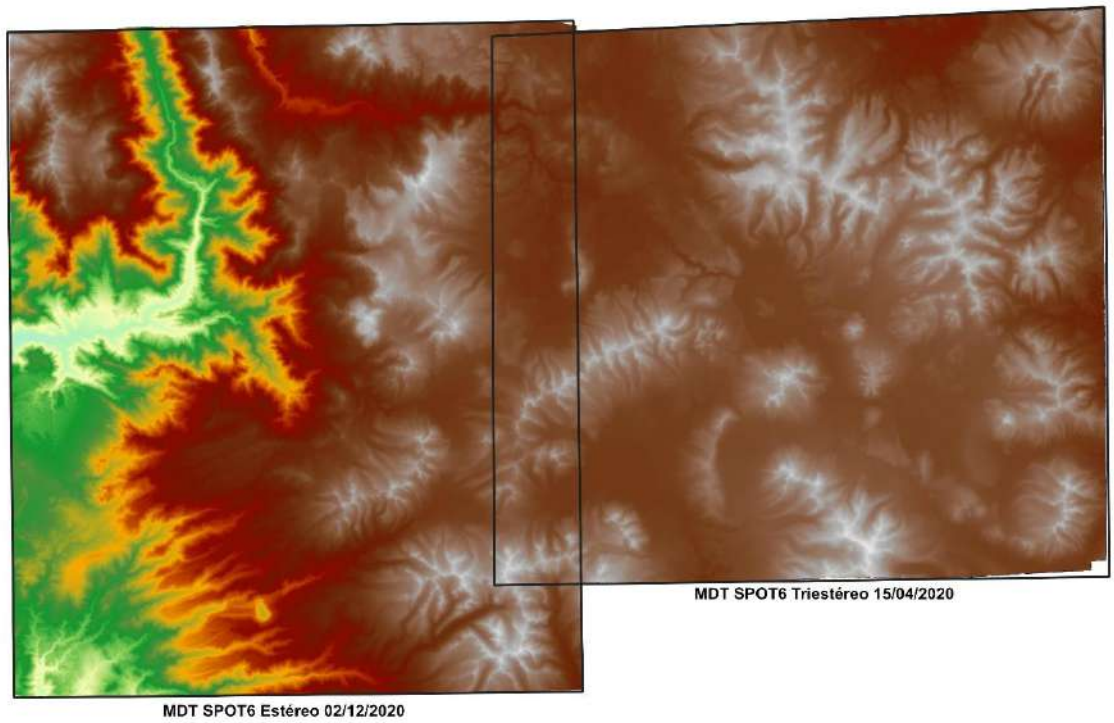


Figura 5.5. Modelos digitales del terreno (MDT)

5.1.2.1 Referencias utilizadas para la caracterización geológica y geomorfológica

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 5.7.

Tabla 5.7. Referencias para la caracterización geológica y geomorfológica

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
Caracterización geológica y geomorfológica				
Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100 000	Todo el Manual	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
Environmental geomorphology	Toda la guía	Noruega	Mario Panizza	1996
Procesamiento de imágenes satelitales y fotogrametría con RPAS				
Remote Sensing Geology	Toda la guía	India	Ravi P. Gupta	2018

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
Caracterización geológica y geomorfológica				
Detailed geological mapping in mountain areas using an unmanned aerial vehicle: application to the Rodoretto Valley, NW Italian Alps	Toda la guía	Italia	M. Piras, G. Taddia, M. G. Forno, M. Gattiglio, I. Aicardi, P. Dabove, S. Lo Russo & A. Lingua	2017

Las referencias de la geología regional corresponden a los cuadrángulos de 34-v, 34-u, 33-v y 33-u, los cuales forman parte de la carta geológica nacional a escala 1:100 000 del INGEMMET. La referencia local corresponde a los instrumentos de gestión ambiental del administrado y a la evaluación ambiental realizada el 2017[18].

5.1.2.2 Ubicación de puntos de muestreo

Teniendo en cuenta que el área de estudio corresponde a la unidad hidrográfica Coralaque, se ha realizado la división de dicha unidad en zonas, con el objetivo de delimitar la zona Margaritani como área de interés para realizar la caracterización geológica y geomorfológica a detalle, en cuanto a las zonas Queullirijahuiri, Paccha-Aruntaya, Aruntaya y Titire - Coralaque se realizará la caracterización geológica y geomorfológica a escala regional (Tabla 5.8 y Figura 5.6). En cuanto al levantamiento fotogramétrico con RPAS este fue realizado en la zona Margaritani, abarcando los principales componentes mineros de la UF Florencia-Tucari (Tablas 5.9 al 5.11 y Figuras 5.6 y 5.7)

Tabla 5.8. Ubicación de los puntos de observación geológica

N.°	Zona	Puntos de observación	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Margaritani	CG-FT-1	373769	8168935	5165	Punto de observación geológica ubicado en el flanco suroeste del nevado Quihuiri.
2		CG-FT-2	373714	8168916	5154	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 300 m al noroeste de la Cantera Edita.
3		CG-FT-3	373759	8168548	5119	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 260 m al suroeste de la Cantera Edita.
4		CG-FT-4	374114	8168447	5128	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 130 m al norte del depósito de desmonte Zona Norte.
5		CG-FT-5	374060	8168381	5108	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 100 m al norte del depósito de desmonte Zona Norte.
6		CG-FT-6	373540	8168362	4982	Punto de observación geológica ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 300 m al sureste del piezómetro PZ-N1.
7		CG-FT-7	373537	8168394	4980	Punto de observación geológica ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 320 m al sureste del piezómetro PZ-N1.
8		CG-FT-8	373532	8168508	4982	Punto de observación geológica ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 170 m al

[18] INF. N.° 0095-2017-OEFA-SDLB-CEAME

N.°	Zona	Puntos de observación	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
						sureste del piezómetro P-15.
9		CG-FT-9	373421	8168702	5023	Punto de observación geológica ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 110 m al noreste del piezómetro P-15.
10		CG-FT-10	372568	8169183	5070	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 400 m al noroeste de la Cantera Angelina.
11		CG-FT-11	371072	8168337	4941	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 700 m al norte de la Cantera Agregados.
12		CG-FT-12	373831	8167273	5087	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 100 m al este del depósito de desmonte Zona Disal.
13		CG-FT-13	373552	8167174	5012	Punto de observación geológica ubicado en el área del depósito de desmonte Zona Disal.
14		CG-FT-14	371074	8167002	4855	Punto de observación geológica ubicado aproximadamente a 130 m del PAD N.º 2.

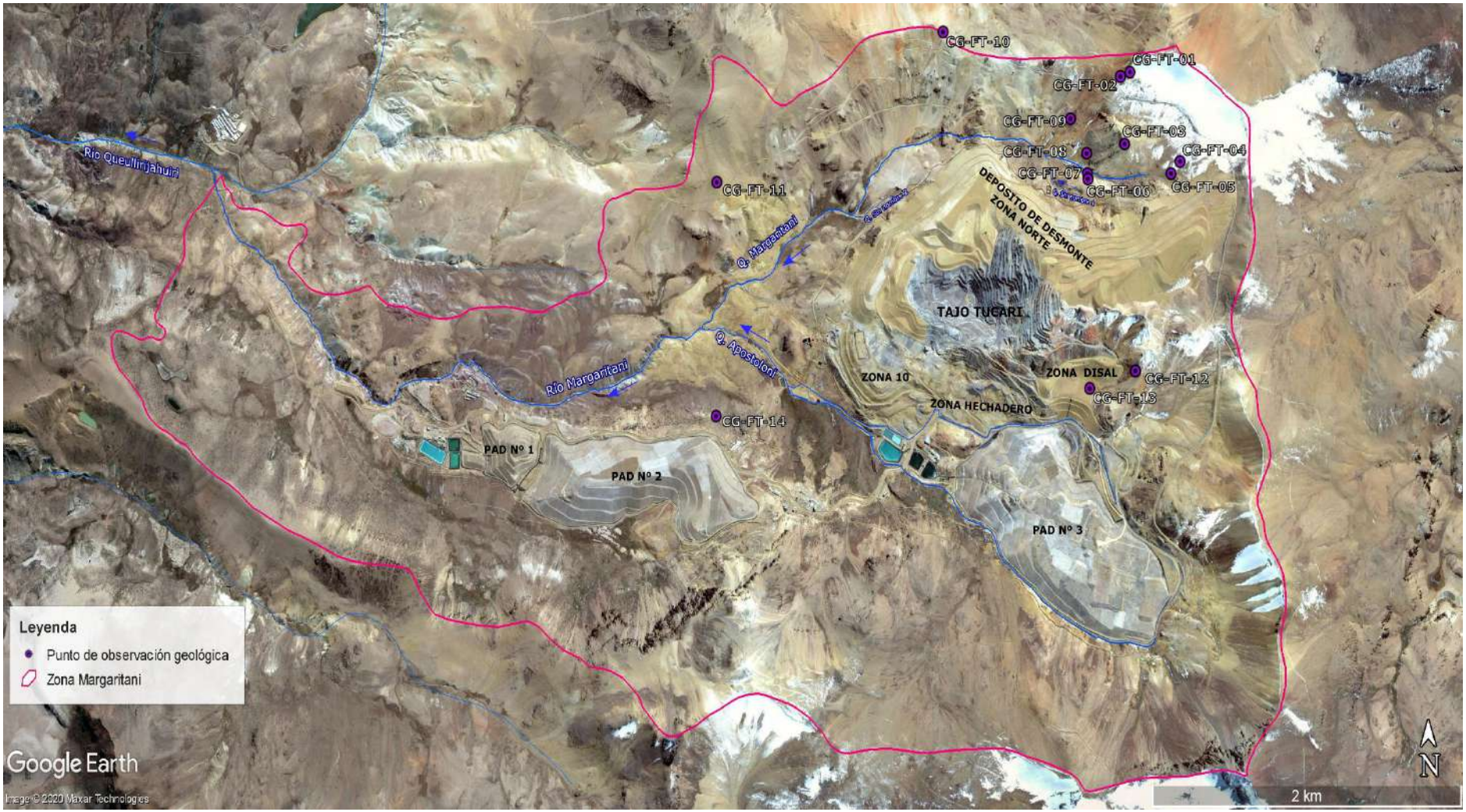


Figura 5.6. Ubicación de puntos de observación geológica

Tabla 5.9. Ubicación de los puntos de despegue del RPAS

N.°	Área	Punto de despegue	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud m.s.n.m.	Descripción
			Este	Norte		
1	Sur del Tajo	F-TU-ZONA-A	372952	8166945	4929	Evaluación fotogramétrica RGB de la zona sur del tajo de la UM Tucari
2	Norte del Tajo	F-TU-ZONA-B	373198	8168340	4970	Evaluación fotogramétrica RGB de la zona norte del tajo de la UM Tucari

Tabla 5.10. Ubicación de levantamiento fotogramétrico con RPAS

N.º	Zona	Código de vuelo	Tipo de vuelo	Coordenadas (*) UTM - WGS 84 Zona 19 K		Descripción
				Este	Norte	
1	Margaritani	TJ01	Grilla simple	372212	8166602	Zona sur del Tajo
2		TJ02		372259	8166734	
3		TJ03		372248	8166909	
4		TJ04		373363	8166838	
5		TJ05		372119	8167130	
6		TJ06		373459	8167004	
7		TJ07		372203	8167297	
8		TJ08		373492	8167166	
9		TJ09		372287	8167453	
10		TJ10		373429	8167343	
11		TJ11		372370	8167594	
12		TJ12		373451	8167489	
13		TJ13		372468	8167722	
14		TJ14	Grilla simple	373563	8167848	Zona Norte del Tajo
15		TJ15		372485	8168081	
16		TJ16		373636	8168000	
17		TJ17		372506	8168245	
18		TJ18		372592	8168414	
19		TJ19		373779	8168150	
20		TJ20		373768	8168354	
21		TJ21		372708	8168583	
22		TJ22		373311	8168537	

(*) Coordenadas de datos capturados con GPS diferencial en campo, sujetas a cambio postproceso.

Tabla 5.11. Ubicación de levantamiento de punto base y control fotogramétrico

N.°	Zona	Código de punto	Tipo	Coordenadas (*) UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud m.s.n.m.
				Este	Norte	
1	Margaritani	C-01	Base	371007	8166738	4952
2		F-TU-01	Control fotogramétrico	371338	8166705	4915
3		F-TU-02		371365	8167144	4834
4		F-TU-03		371514	8167140	4832
5		F-TU-04		371418	8167477	4829
6		F-TU-05		371338	8167631	4835
7		F-TU-06		371130	8167664	4823
8		F-TU-07		371008	8167604	4827
9		F-TU-08		371077	8167815	4843
10		F-TU-09		370858	8167882	4849
11		F-TU-10		372109	8166568	4918
12		F-TU-11		372394	8166672	4919
13		F-TU-12		372878	8166926	4877
14		F-TU-13		372275	8167276	4875
15		F-TU-14		371687	8167559	4804
16		F-TU-15	Control fotogramétrico	371457	8167796	4784
17		F-TU-16		372038	8168132	4813
18		F-TU-17		371675	8168000	4802
19		F-TU-18		371786	8168305	4812

N.°	Zona	Código de punto	Tipo	Coordenadas (*) UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud m.s.n.m.
				Este	Norte	
20		F-TU-19		371947	8167247	4844
21		F-TU-20		372145	8167773	4916
22		F-TU-21		372496	8167759	4919
23		F-TU-22		372915	8167860	4970
24		F-TU-23		372824	8168292	4975
25		F-TU-24		372791	8167759	4919
26		F-TU-25		373523	8166849	4967
27		F-TU-26		373764	8166630	5029
28		F-TU-27		374317	8166962	5120
29		F-TU-28		374343	8167402	5158
30		F-TU-29		372532	8166459	4949
31		F-TU-30		373468	8167703	5164
32		F-TU-31		374147	8167908	5172
33		F-TU-32		374452	8168217	5155
34		F-TU-33		374175	8168457	5109
35		F-TU-34		373572	8168234	4981
36		F-TU-35		373131	8168335	4955
37		F-TU-36		372338	8168500	4863
38		F-TU-37		372652	8168747	4936
39		F-TU-38		373473	8168569	4949
40		F-TU-39		373932	8168610	5095
41		F-TU-40		373737	8168716	5079
42		F-TU-41		373291	8168374	4934
43		F-TU-42		373032	8168608	4915
44		F-TU-43		373206	8168544	4922
45		F-TU-44		372367	8169849	4841
46		F-TU-45		372197	8169970	4833
47		F-TU-46		372077	8169898	4764
48		F-TU-47		370986	8169870	4764



Figura 5.7. Ubicación de área de levantamiento fotogramétrico

5.1.2.3 Equipos y materiales utilizados

Los materiales utilizados para la caracterización geológica y geomorfológica se detallan en los reportes de campo N.° RC-044-2020-STEC y RC-058-2020-STEC (Anexo 2).

5.1.2.4 Procesamiento de datos

La caracterización geología comprendió mediciones y descripciones macroscópicas *in situ* de afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios, donde se tomaron datos de rumbo y buzamiento de estratos, fallas geológicas, diaclasas, fracturas y estructuras mineralizadas; además, se identificarán procesos geomorfológicos locales (erosión y sedimentación), los datos recopilados en campo se detallan los reportes de campo N.° RC-044-2020-STEC y RC-058-2020-STEC (Anexo 2).

En complemento a los datos de campo, se construyó el mapa geológico y geomorfológico regional a partir del DTM y la orto-imagen, a partir del procesamiento de imágenes satelitales, obtenidas del CONIDA. Asimismo, se construyó un DTM y un ortomosaico de alta resolución como base para el cartografiado geomorfológico a escala local de la zona Margaritani abarcando los principales componentes mineros de la UF Florencia-Tucari.

Finalmente, se elaboró un mapa geológico a escala local de la zona Margaritani, y otro mapa geológico a escala regional de las zonas Queullirijahuiri, Paccha-Aruntaya, Aruntaya y Titire-Coralaque. Los mapas fueron elaborados en el software libre QGIS 3.10. Además, se realizaron secciones geológicas a escala local, con la finalidad de entender el contexto geológico y geomorfológico del subsuelo en zonas aledañas a los componentes mineros y componentes ambientales presentes en el área de estudio.

5.2.2. Caracterización geoquímica y mineralógica de roca

La caracterización geoquímica y mineralógica de roca consistió en la toma de muestras de roca y sedimento de quebrada (material de depósito cuaternario fluvial) en el área de estudio, el cual complementó al cartografiado geológico local y regional. Las Figuras 5.8 y 5.9 presentan la ubicación de puntos de muestreo.

5.2.2.1. Referencias utilizadas para la evaluación

Las referencias para el muestreo de rocas fueron tomadas del servicio geológico del Perú y Chile (Tabla 5.12).

Tabla 5.12. Referencias para el muestreo de roca

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
Guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras	Toda la guía	Chile	Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)	2015
Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja N.° 1, Boletín, Serie B: Geología Económica, 8, 196 p	Sección 4.2. Prospección geoquímica	Perú	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)	2000

5.2.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

Tabla 5.13. Ubicación de los puntos de muestreo de roca

N.°	Zona	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Margaritani	GR-FT-1	373769	8168935	5165	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado en el flanco suroeste del nevado Quihuiri.

N.°	Zona	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
2		GR-FT-2	373985	8168264	5116	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 10 m del Norte del depósito de desmonte Zona Norte.
3		GR-FT-3	373955	8168607	5107	Punto de muestreo de roca ubicado al sur de la Cantera Edita.
4		GR-FT-4	373896	8168172	5122	Punto de muestreo de roca ubicado en el afloramiento donde se emplaza el depósito de desmonte Zona Norte.
5		GR-FT-5	373537	8168394	4980	Punto de muestreo de roca ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 320 m al sureste del piezómetro PZ-N1.
6		GR-FT-6	373450	8168591	4984	Punto de muestreo de roca ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 60 m al este del piezómetro P-15.
7		GR-FT-7	373400	8168350	5031	Punto de muestreo de roca ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 210 m al sureste del piezómetro PZ-N1.
8		GR-FT-8	373494	8168812	5064	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 250 m al noreste del piezómetro P-15.
9		GR-FT-9	372668	8169127	5058	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 250 m al noroeste de la Cantera Angelina.
10		GR-FT-10	372494	8168942	5025	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 340 m al oeste de la Cantera Angelina.
11		GR-FT-11	372523	8168872	4967	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 30 m al suroeste de la Cantera Angelina.
12		GR-FT-12	372638	8168630	4937	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 330 m al suroeste de la Cantera Angelina.
13		GR-FT-13	372286	8168677	4910	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 400 m al noreste del piezómetro P-16.
14		GR-FT-14	372242	8169166	5075	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 740 m al noroeste de la Cantera Angelina.
15		GR-FT-15	372267	8169108	5031	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 500 m al norte del punto MT-51.
16		GR-FT-16	372035	8168853	4984	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 410 m al noroeste del piezómetro P-16.
17		GR-FT-17	372100	8168254	4860	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 100 m al noroeste del piezómetro P-16.
18		GR-FT-18	372216	8168274	4864	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 230 m al noroeste del piezómetro P-16.
19		GR-FT-19	370895	8168392	4966	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 800 m al norte del piezómetro P-14.
20		GR-FT-20	370934	8168625	4950	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 1000 m al noreste del piezómetro P-14.
21		GR-FT-21	371098	8168017	4868	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 470 m al noreste del piezómetro P-14.
22		GR-FT-22	371176	8167912	4854	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 430 m al noreste del piezómetro P-14.

N.°	Zona	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
23		GR-FT-23	371731	8167827	4844	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 500 m al suroeste del piezómetro P-16A.
24		GR-FT-24	371621	8167459	4842	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 100 m al oeste de la planta de tratamiento de aguas ácidas del tajo.
25		GR-FT-25	374501	8168212	5172	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 480 m al sureste de la Cantera Edita.
26		GR-FT-26	374431	8167624	5206	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 600 m al noreste del piezómetro PZ-S1.
27		GR-FT-27	374041	8167447	5147	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 200 m al noreste del piezómetro PZ-S1.
28		GR-FT-28	373965	8167463	5145	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 200 m al norte del piezómetro PZ-S1.
29		GR-FT-29	374383	8166923	5155	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 500 m al sureste del piezómetro PZ-S1.
30		GR-FT-30	373842	8167095	5054	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 600 m al noreste del piezómetro PZ-S1.
31		GR-FT-31	373814	8167188	5063	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 140 m al suroeste del piezómetro PZ-S1.
32		GR-FT-32	374432	8165666	5145	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 600 m al sureste del PAD N.º 3.
33		GR-FT-33	374269	8165491	5147	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 620 m al sureste del PAD N.º 3.
34		GR-FT-34	372656	8166041	5045	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 600 m al sureste del piezómetro P-10.
35		GR-FT-35	373529	8165156	5271	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado aproximadamente a 800 m al sur del PAD N.º 3.
36		GR-FT-36	372806	8166868	4912	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 180 m al suroeste del piezómetro P-10.
37	Margaritani	GR-FT-44	371283	8166346	4980	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 150 m al noreste del PAD N.º 2.
38		GR-FT-45	371311	8166763	4904	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 80 m al sureste del PAD N.º 2.
39		GR-FT-46	371404	8166999	4839	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 480 m al suroeste del piezómetro P-13.
40		GR-FT-47	371058	8167023	4839	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 800 m al oeste del piezómetro P-13.
41	Paccha - Aruntaya	GR-FT-37	374077	8161770	5088	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado en la margen izquierda de la naciente de la quebrada Paccha.
42		GR-FT-38	374036	8162688	5029	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado en la margen derecha de la naciente de la quebrada Paccha.
43		GR-FT-39	374104	8162717	5044	Punto de muestreo de roca ubicado en la margen derecha de la naciente de la quebrada Paccha.
44	Queullirijahuiri	GR-FT-40	373453	8169454	5029	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado en la zona alta del río

N.°	Zona	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
						Queullirijahuiri, aproximadamente a 130 m al sureste del manantial de código MT-31.
45		GR-FT-41	373394	8170350	5043	Punto de muestreo de roca ubicado en la zona alta del río Queullirijahuiri, aproximadamente a 200 m al sureste del manantial de código TU-16.
46		GR-FT-42	372513	8169488	4915	Punto de muestreo de material cuaternario ubicado en la zona alta del río Queullirijahuiri, aproximadamente a 35 m al este del manantial de código MT-32.
47		GR-FT-43	372461	8169518	4893	Punto de muestreo de roca ubicado en la zona alta del río Queullirijahuiri, aproximadamente a 40 m al noroeste del manantial de código MT-32.
48		GR-FT-48	370214	8168306	4876	Punto de muestreo de roca ubicado aproximadamente a 1 km al noroeste del piezómetro P-14.

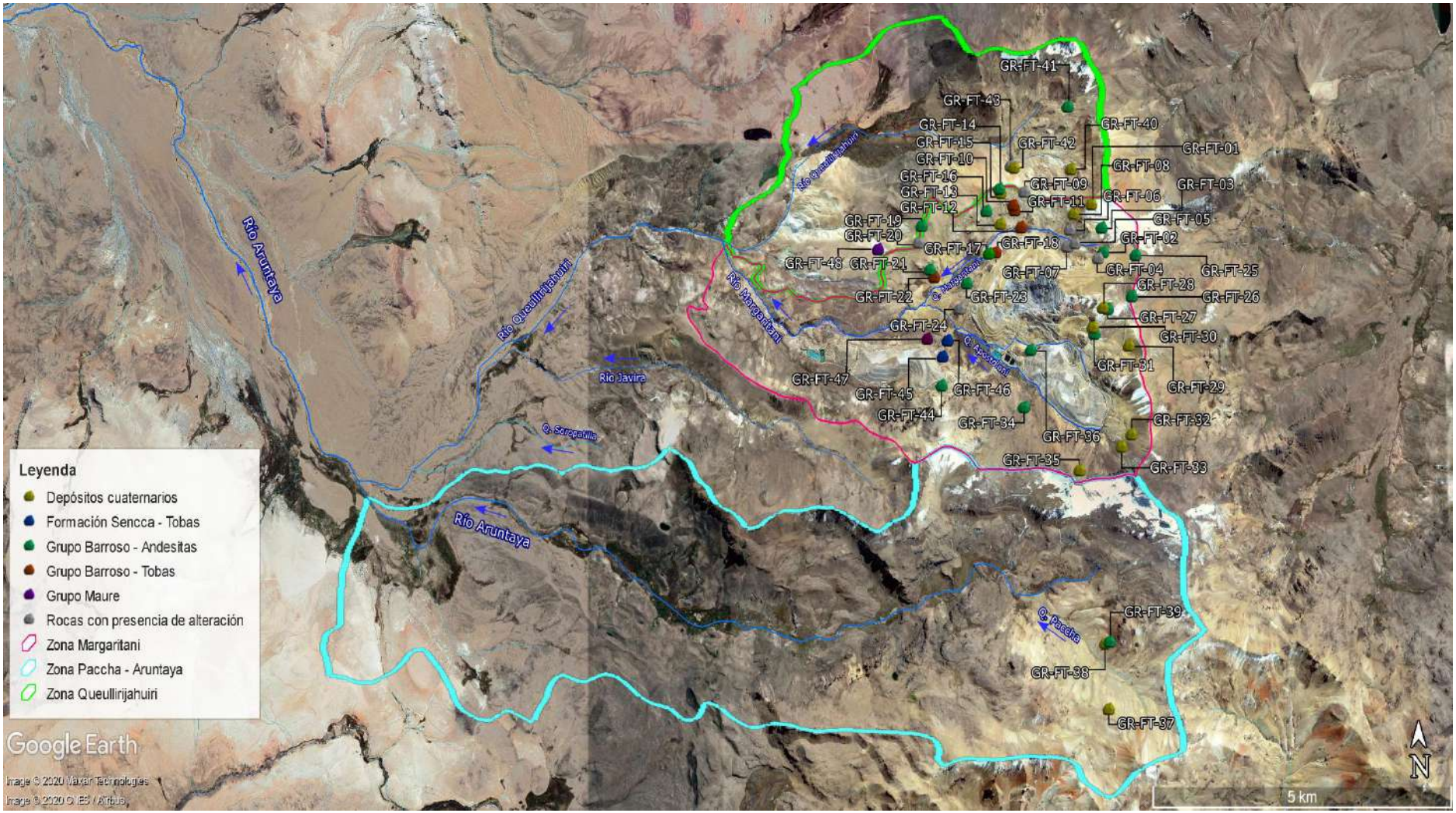


Figura 5.8. Ubicación de puntos de muestreo de roca

Tabla 5.14. Ubicación de los puntos de muestreo sedimento de quebrada – depósitos cuaternarios fluviales

N.°	Zona	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Margaritani	GSED-1	367897	8168306	4653	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en río Queullirijahuiri antes de la confluencia con el río Margaritani.
2		GSED-2	367768	8168031	4643	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en río Margaritani antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri.
3	Titire - Coralaque	GSED-3	319692	8172409	3601	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Huiscanupata antes de su confluencia con el río Coralaque.
4		GSED-4	320335	8171174	3575	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Juchuyhuasi antes de su confluencia con el río Coralaque.
5		GSED-5A	320455	8170288	3565	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en el río Coralaque en la margen izquierda.
6		GSED-5B	320455	8170288	3565	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en el río Coralaque en la margen izquierda.
7		GSED-5C	320455	8170288	3565	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en el río Coralaque en la margen izquierda.
8		GSED-6	320551	8169799	3582	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Opani antes de su confluencia con el río Coralaque.
9		GSED-7	321288	8169516	3595	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Quento antes de su confluencia con el río Coralaque
10		GSED-8	323970	8169761	3643	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Puncuhuayco antes de su confluencia con el río Coralaque.
11		GSED-9	324859	8168830	3648	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Poclloco antes de su confluencia con el río Coralaque.
12		GSED-10	325592	8169258	3680	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Huayco antes de su confluencia con el río Coralaque.
13		GSED-11	331624	8167615	3805	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Tolaueco antes de su confluencia con el río Coralaque.
14		GSED-12	332354	8168217	3795	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Punsuncho antes de su confluencia con el río Coralaque.
15		GSED-13	329546	8169599	3724	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Cuaypalca antes de su confluencia con el río Coralaque.
16		GSED-14	329073	8169695	3687	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en el río Coralaque, aproximadamente a 0,6 km antes de la confluencia con la quebrada Totorani.
17		GSED-15	327801	8169636	3689	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Linsune antes de la confluencia con el río Coralaque
18	Aruntaya	GSED-16	363911	8164540	4470	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en río Aruntaya, aproximadamente a 1,8 km antes de la confluencia con la quebrada Azufrine.
19		GSED-17	364182	8166747	4488	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en el río Javira antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri.

N.°	Zona	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
20		GSED-18	364177	8167148	4483	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 1,1 km antes de la confluencia con el río Javira.
21		GSED-19	361731	8164808	4415	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en río Queullirijahuiri, aproximadamente a 490 m antes de su confluencia con el río Aruntaya.
22		GSED-20	361129	8165040	4414	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en río Aruntaya, aproximadamente a 130 m aguas abajo de su confluencia con el río Queullirijahuiri.
23		GSED-21	361615	8164423	4415	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en río Aruntaya, aproximadamente a 600 m antes de su confluencia con el río Queullirijahuiri.
24		GSED-22	359817	8168380	4377	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Chapilaya antes de su confluencia con el río Aruntaya.
25		GSED-23	359208	8169721	4374	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Huaranco antes de su confluencia con el río Aruntaya.
26		GSED-24	355198	8171526	4348	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada sin nombre 3, aproximadamente a 50 metros antes de su confluencia con el río Aruntaya.
27		GSED-25	352773	8170569	4349	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Huarayanigrande, aproximadamente a 290 metros antes de su confluencia con el río Titire.
28		GSED-26	351865	8170281	4368	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada sin nombre 4, aproximadamente a 270 metros antes de su confluencia con el río Titire.
29		GSED-27	352566	8169672	4348	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada sin nombre 5, aproximadamente a 80 metros antes de su confluencia con el río Titire.
30		GSED-28	354546	8170070	4349	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en la quebrada Parqueanaje, aproximadamente a 1 km antes de su confluencia con el río Titire.
31		GSED-29	355140	8171742	4350	Punto de muestreo de sedimento fluvial ubicado en el río Aruntaya, aproximadamente a 120 metros antes de su confluencia con la quebrada sin nombre 3.

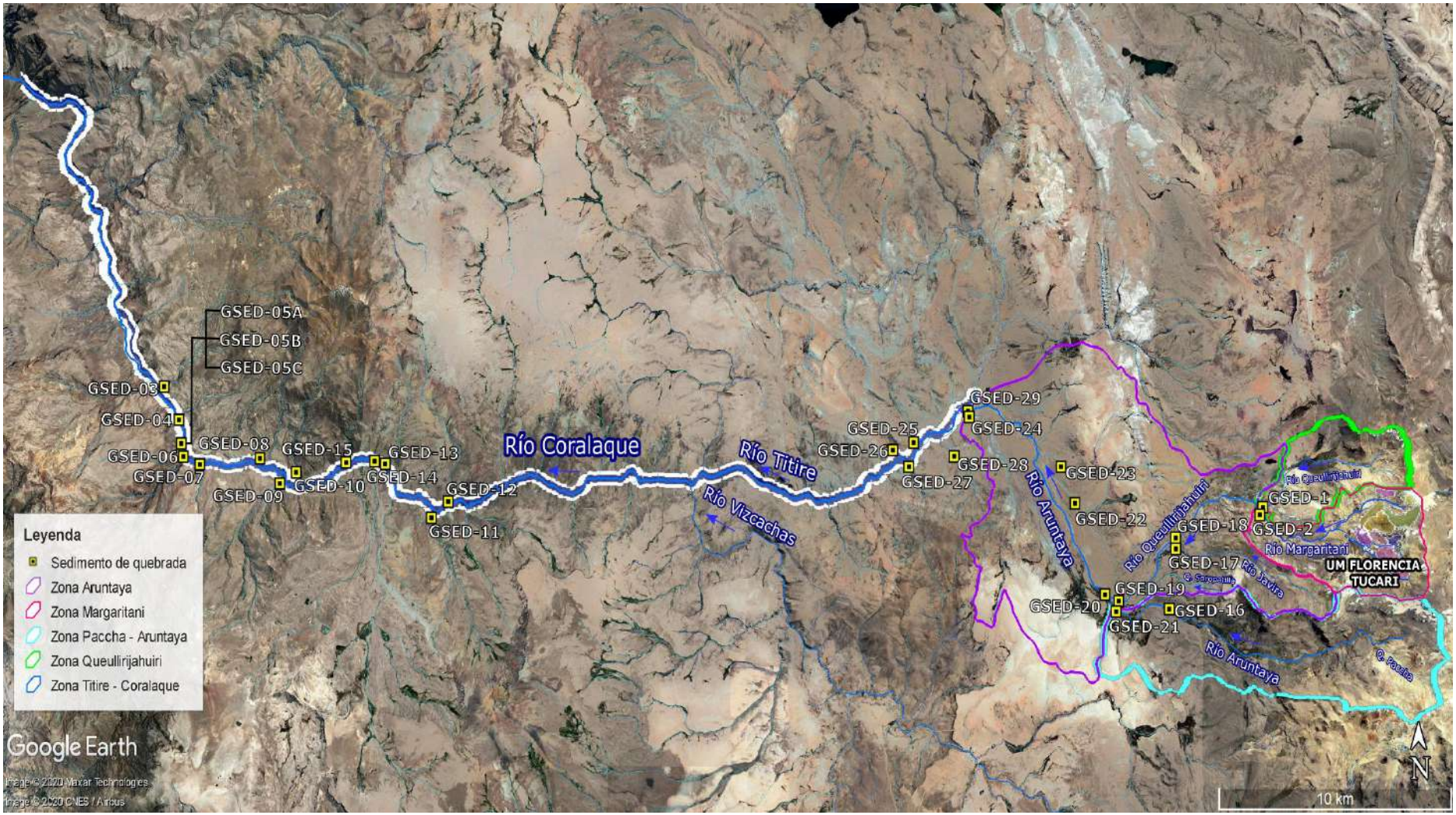


Figura 5.9. Ubicación de puntos de muestreo de sedimento de quebrada – depósitos cuaternarios fluviales

5.2.2.3. Parámetros y métodos de análisis

En consideración con el objetivo planteado se realizó el análisis en muestras de roca y sedimento de quebrada (depósitos cuaternarios fluviales), los parámetros evaluados en estos se detallan en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Parámetros evaluados y métodos de análisis en muestras de roca y sedimento de quebrada

Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
Roca		
Metales totales	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev. 2 (2014) VAL	Metales por ICP-MS
ABA (prueba de balance ácido - base)	Azufre Total por Combustión mediante horno Leco y espectroscopia infrarroja	Basado en ASTM E1915-97
	Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials - MEND Report 1.20.1, Chapter 13, Item 13.3.3, December 2009 (Grado de Efervescencia, pH en Pasta, Potencial de Acidez Máximo, Potencial de Neutralización Neto, Potencial de Neutralización, Relación (NP-MPA))	Sobek Modificado
Shake flask aniones	SMEWW 4500-Cl-B. 23rd Ed. 2017	Volumetría (cloruros)
	SMEWW 4500-F-B, C. 23rd Ed. 2017	Electrometría (fluoruros)
	SMEWW 4500-P E. 23rd Ed. 2017	Éspect UV-VIS (fosfatos)
	SMEWW 4500-NO3 D. 23rd Ed. 2017	Electrometría (nitratos)
	SMEWW 4500-NO2 B. 23rd Ed. 2017	Éspect UV-VIS (nitritos)
	SMEWW 4500-S04 2- E. 23rd Ed. 2017	Éspect UV-VIS (sulfatos)
Shake flask metales	Extracto SFE Leaching & drainage (1997) /EPA METHOD 6020 B Rev02, 2014	Guidelines and recommended Method for the prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia/Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Guidelines and recommended Method for the prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia/Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry Metales por ICP-MS en extracto SFE
Análisis granulométrico	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	Particle - Size Analysis of Soils
Análisis mineralógico por MEB	Microscopía electrónica de barrido	Microscopia electrónica de barrido, complementado con imágenes de microscopio óptico de luz reflejada
Análisis mineralógico por DRX	Difracción de rayos X	Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD) Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).
Análisis mineralógico por Microscopia óptica	Petromineragrafía	Microscopía óptica de luz polarizada (transmitida y reflejada)
Extracción secuencial de metales por la metodología de Dold	PNTE-LE-96. Rev.00 Análisis de metales solubles por extracción de 7 etapas continuas	Metales por ICP-MS
Depósitos cuaternarios - Sedimento de quebrada		
Metales totales	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev. 2 (2014) VAL	Metales por ICP-MS

Fuente: Reporte de resultados N.° RRE-046-2020-STEC (Anexo 3) y reporte de campo N.° RC-044-2020-STEC (Anexo 2).

5.2.2.4. Equipos utilizados/Herramientas utilizadas

Los materiales utilizados para la caracterización geoquímica de roca se detallan en el reporte de campo N.° RC-044-2020-STEC (Anexo 2).

5.2.2.5. Aseguramiento de la calidad

El control que se lleva a cabo para asegurar la calidad de los resultados obtenidos, fueron muestras duplicadas, tomando como criterio de aceptación una diferencia relativa porcentual (DRP) ≤ 30% entre una muestra original con su duplicado, el parámetro utilizado para dicho control fue metales totales (RR 046-2020-STEC, Anexo 3).

5.2.2.6. Procesamiento de datos

Los elementos mayores y menores fueron analizados mediante diagramas de concentración y dispersión de metales; asimismo, fueron comparados referencialmente con los valores de la corteza superior e inferior propuestos por Rudnick, 2014.

5.3. Objetivo específico 3: Establecer la influencia del drenaje ácido (roca o mina), y el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia – Tucari sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas de la unidad hidrográfica Coralaque.

Para una mejor interpretación y análisis de las matrices de agua superficial, agua subterránea, sedimento y comunidades hidrobiológicas, el área de estudio fue dividida en zonas, asimismo teniendo en consideración la cantidad de puntos evaluados en la zona Margaritani, donde se encuentra la UF Florencia-Tucari, fue subdividida en sectores, tal como detalla en la Tabla 5.16 y Figura 5.10.

Tabla 5.16. Distribución del área de estudio por zonas y sectores de evaluación

Área	Zona	Sector	Cuerpos de agua asociados
Unidad Fiscalizable Florencia Tucari y Unidad Hidrográfica Coralaque	Queullirijahuiri	-	Río Queullirijahuiri (naciente)
	Margaritani	Quebrada Margaritani	Q. Margaritani Q. sin nombre 1 y Q. sin nombre 2
		Quebrada Apostoloni	Quebrada Apostoloni: derecha e izquierda
		Rio Margaritani	Rio Margaritani, Q. Planta
	Pacha - Aruntaya	-	Río Aruntaya (naciente) y Q. Paccha
	Aruntaya	-	Ríos Queullirijahuiri, Javira y Aruntaya, Q. Soropatilla y Q. sin nombre 3.
	Titire - Coralaque	-	Ríos Titire, Chiquirani, Vizcachas y Coralaque y Q. Chilota.

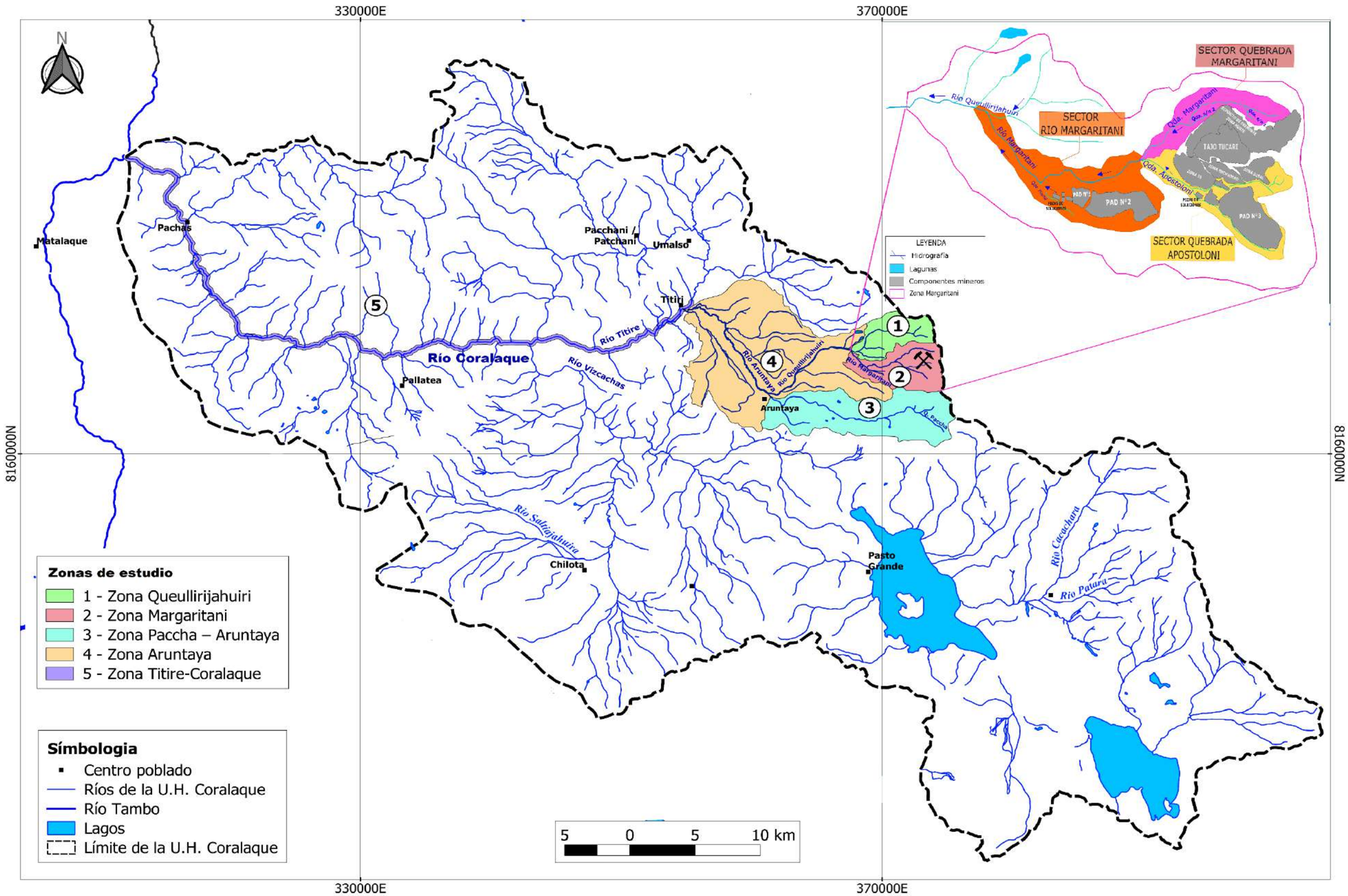


Figura 5.10. División del área de estudio por zonas y sectores

Los componentes ambientales fueron evaluados durante la temporada de estiaje (agosto) en cada una de las zonas y sectores, y son detallados a continuación en la Tabla 5.17. Se precisa que la evaluación del agua subterránea a través de piezómetros solo fue realizada en la zona Margaritani.

Tabla 5.17. Componentes evaluados por zona y sector

Zona	Sector	Componentes ambientales					
		Agua superficial			Agua subterránea	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas
		Ríos y quebradas	Manantiales	Fuentes termales	Piezómetros		
Queullirijahuiri	-	x	x	-	-	x	x
Margaritani	Quebrada Margaritani	x	x	-	x	x	x
	Quebrada Apostoloni	x	x			x	x
	Rio Margaritani	x	x			-	x
Pacha - Aruntaya	-	x	x	-	-	x	x
Aruntaya	-	x	x	-	-	x	x
Titire - Coralaque	-	x	x	x	-	-	x

Agua superficial: Ríos, quebradas Sedimento: Ríos y quebradas -: No aplica
Comunidades hidrobiológicas: Ríos, quebradas, manantiales, afloramientos subterráneos

Las zonas Queullirijahuiri y Paccha-Aruntaya, son consideradas como sitios de referencia, al poseer características similares a la zona de interés (zona Margaritani).

5.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las referencias para el muestreo de agua superficial (incluye manantiales y fuentes termales[19]), agua subterránea, sedimentos y comunidades hidrobiológicas se detallan en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18. Referencias para el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

Referencia	Sección / Capítulo	País	Institución/autor	Año
Agua superficial				
Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA)	Capítulo 6	Perú	Autoridad Nacional del Agua - ANA	2016
Manual de Hidrometría	Todo el Manual	Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)	2018
Guía de prácticas Hidrológicas	Capítulo 10	Países que integran la Organización Meteorológica Mundial (OMM)	Organización Meteorológica Mundial (OMM)	2011

[19] Para efectos de la evaluación, los manantiales y fuentes termales son considerados como aguas superficiales, según el Art. 226° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338, que indica:

> Artículo 226°.- De los manantiales.
> Los manantiales como puntos o áreas aflorantes de las aguas subterráneas serán considerados como aguas superficiales para los efectos de evaluación y otorgamientos de derechos de uso de agua, toda vez que para su utilización no se requiere la realización de mecanismo ni obras específicas de extracción.

Referencia	Sección / Capítulo	País	Institución/autor	Año
Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua (Resolución Jefatural N.° 108-2017-ANA)	Toda la Guía	Perú	Autoridad Nacional del Agua - ANA	2017
Agua subterránea				
Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados-muestreo de aguas subterráneas	Parte 2	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	2016
National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (NFM). Book 9	Capítulos del A1 al A6	Estados Unidos	U.S. Geological Survey	2015
Sedimento				
Guidelines for collecting and processing samples of stream bed sediment for analysis of trace elements and organic contaminants for the National Water-Quality Assessment Program	Toda la Guía	Estados Unidos	U.S. Geological Survey	1994
Comunidades hidrobiológicas				
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú	4.1.2 Técnicas de colecta – perifiton 5.1.2 Técnicas de colecta – bentos (macroinvertebrados)	Perú	Ministerio del Ambiente y el Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos	2014
Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)	Toda la Guía	Ecuador	Encalada A.C., Rieadevall M., Rios-Touma B., García, N. y N. Prat.	2011

5.3.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo se estableció previamente en gabinete tomando como referencia los puntos declarados en los IGA previos presentados por Aruntani S.A.C. Adicionalmente, se consideró los siguientes aspectos:

- Ubicación de cuerpos de agua como posibles receptores en el área de estudio
- Cercanía a posibles fuentes de contaminación (componentes mineros)
- Informe de evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad minera Tucari. Informe N.° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME
- Informe de evaluación ambiental en la cuenca Tambo, 2016. Informe N.° 123-2016-OEFA/DE-SDCA
- Informe de vigilancia ambiental área de influencia de la unidad minera Tucari. Informe N.° 335-2019-OEFA/DEAM-STEC
- Redes de monitoreo ambiental contemplados en los instrumentos de gestión ambiental previos en el área de estudio (Anglo American Quellaveco S.A.).
- Información ambiental generada en la unidad hidrográfica Coralaque por otras instituciones públicas como la ANA y el INGEMMET.
- Cercanía a centros poblados o comunidades que pudieran verse afectados por las actividades mineras.

- Posible gradiente de contaminación desde la parte alta de la microcuenca Margaritani hasta el tramo final del río Coralaque.

Se han contemplado puntos de agua superficial, manantiales, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en sitios no contaminados (puntos de control o referencia) que tengan características fisicoquímicas comparables.

Se evaluaron 93 puntos de muestreo de agua superficial, que incluyeron ríos, quebradas, manantiales y agua de deshielo de glaciares; 45 puntos en sedimento; 83 puntos en comunidades hidrobiológicas; y 22 puntos en agua subterránea (piezómetros). En las Tablas 5.19 y 5.20, se detalla la cantidad de puntos de muestreo por matriz. Asimismo, en las Figuras 5.11 al 5.17 se presentan esquemas con su ubicación.

Tabla 5.19. Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Matriz			Descripción
		Este	Norte		Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	
Zona 1: Queullirijahuiri								
1	TU-16	373087	8170609	4976	X	-	X	Agua proveniente del deshielo del nevado Quihuiri, naciente del río Queullirijahuiri.
2	AG-13	373035	8169682	4905	X	-	X	Naciente del río Queullirijahuiri, ramal izquierdo, aproximadamente a 350 m aguas abajo del manantial Quihuiri.
3	AG-14	370979	8170120	4747	X	X	X	Ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km aguas arriba del punto
4	MA-15	368933	8169645	4716	X	X	X	Ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani y a 20 m aguas abajo de un bofedal sin nombre.
5	AG-17	367820	8168287	4641	X	X	X	Ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 200 m antes de la confluencia con el río Margaritani
6	MT-31	373366	8169514	5005	X	-	X	Manantial Quihuiri, ubicado en la naciente del río Queullirijahuiri.
7	MT-32	372480	8169488	4892	X	-	X	Manantial ubicado en la parte alta del río Queullirijahuiri, tributario de la margen izquierda de dicho río.
8	MT-33	373189	8170457	4966	X	-	X	Manantial tributario del río Queullirijahuiri (naciente).
9	MT-34	373299	8169882	4988	X	-	X	Manantial tributario del río Queullirijahuiri (naciente).
10	MT-35	372494	8169966	4838	X	-	X	Manantial que aflora en una roca fracturada, ubicado aproximadamente a 50 m de la zona de recarga de un bofedal en la naciente del río Queullirijahuiri.
Zona 2: Margaritani / Sector 1: Quebrada Margaritani								
1	TU-02	373768	8168798	5092	X	-	-	Agua de deshielo del nevado Quihuiri, aproximadamente a 500 m al norte del depósito de desmonte Norte.
2	TU-20	373533	8168401	4966	X	-	X	Ubicado en la parte alta de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 300 m al noreste de la planta de tratamiento de aguas ácidas del punto de control PS-01.
3	M-2	373374	8168480	4963	X	X	X	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 100 m aguas arriba del punto de vertimiento PS-01(1).

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Matriz			Descripción
		Este	Norte		Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	
								Quebrada Margaritani, aguas arriba del punto de vertimiento PS-01(2).
4	TU -21	373312	8168412	4954	X	X	X	Ubicado en la quebrada sin nombre 1 aproximadamente a 40 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani.
5	AG-21	373140	8168576	4933	X	X	X	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 100 m aguas abajo del punto de vertimiento PS-01.
6	MT-01	373105	8168573	4942	X	-	X	Afloramiento subterráneo en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 100 m al noroeste del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland del punto de control PS-01.
7	E-7	372752	8168599	4917	X	X	X	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 500 m aguas abajo del punto de vertimiento PS-01.
8	TU-24	372015	8168156	4839	X	-	X	Ubicado en la quebrada sin nombre 2 tributario a la quebrada Margaritani, aproximadamente a 100 m de la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte.
9	TU-25	372039	8168216	4833	X	X	X	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente 50 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada sin nombre 2.
10	TU-26	371937	8168169	4830	X	X	X	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 60 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada sin nombre 2.
11	E-3	371047	8167604	4791	X	X	X	Ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 130 m de la confluencia con la quebrada Apostoloni.
12	MT-42	374054	8168402	5071	X	-	X	Manantial ubicado en la naciente de la quebrada Margaritani.
13	MT-43A	373807	8168391	5032	X	-	X	Manantial polisurgente ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, cerca de la naciente.
14	MT-44	373495	8168553	4979	X	-	X	Manantial ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, frente al sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland norte.
15	MT-47	373520	8168433	4968	X	-	X	Manantial ubicado aproximadamente a 15 m de la quebrada Margaritani (margen derecha), frente al depósito de desmonte Zona Norte.
16	FTuca4	373304	8168608	4956	X	-	X	Manantial ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 200 m del punto MT-44.
17	MT-50	372505	8168593	4873	X	-	X	Manantial ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani (parte media).
18	MT-51	372400	8168588	4869	X	-	X	Manantial ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani (parte media), aproximadamente a 100 m del punto MT-50.
19	MT-BO4	372009	8168091	4840	X	-	X	Manantial ubicado a la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 50 m a la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte Norte.
20	MT-BO5	372026	8168145	4841	X	-	X	Flujo de agua ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani,

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Matriz			Descripción
		Este	Norte		Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	
								aproximadamente a 80 m del canal de coronación del depósito de desmonte.
21	FTU	371487	8167678	4820	X	-	X	Flujo de agua superficial aproximadamente a 500 m al oeste del depósito de desmonte (canal lado norte).
Zona 2: Margaritani / Sector 2: Quebrada Apostoloni								
1	TU-12	373829	8167001	5022	X	-	X	Naciente de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 200 m al este del depósito de desmonte Zona Disal.
2	MT-37	374214	8166132	5083	X	-	X	Manantial ubicado en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni sur.
3	MT-38	374213	8166141	5081	X	-	X	Manantial ubicado aproximadamente a 100 m en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni sur.
4	AG-25	373519	8166933	4979	X	-	-	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 20 m al sur del depósito de desmonte Zona Disal (quebrada canalizada).
5	TU-04	371609	8167174	4813	X	-	-	Agua de no contacto del canal de derivación norte del Pad de lixiviación N.º 3, aproximadamente a 250 m del sistema de tratamiento de aguas wetland sur.
6	MT-25	373864	8165414	5119	X	-	X	Manantial polisurgente ubicado aproximadamente a 90 m en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni sur, frente al Pad de lixiviación N.°3.
7	MT-26	374153	8165572	5114	X	-	X	Manantial polisurgente ubicado aproximadamente a 150 m en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni sur, frente al Pad de lixiviación N.°3.
8	MT-27	374070	8165706	5075	X	-	X	Manantial polisurgente ubicado aproximadamente a 6 m en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni sur, frente al Pad de lixiviación N.°3.
9	MT-36	374098	8165982	5060	X	-	X	Manantial polisurgente ubicado aproximadamente a 80 m en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni sur.
10	AG-26	373878	8165736	5039	X	-	-	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 20 m al sur del Pad de lixiviación N° 3 (quebrada canalizada).
11	AG-27	372123	8166882	4841	X	-	X	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 160 m aguas arriba del punto de vertimiento PM-02 y aproximadamente a 10 m de la poza de sedimentación (PSS-01A).
12	P-5	372091	8166917	4832	X	X	X	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 100 m aguas arriba del punto de vertimiento PM-02(1). Quebrada Apostoloni, aguas arriba del punto de vertimiento PM-02(2).
13	P-6	371931	8167025	4821	X	X	X	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 85 m aguas abajo del punto de vertimiento PM-02 y aguas arriba del punto de vertimiento PS-02(1). Quebrada Apostoloni, aguas abajo del punto de vertimiento PM-02 y arriba del punto de vertimiento PS-02(2).

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Matriz			Descripción
		Este	Norte		Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	
14	TU-05	371588	8167129	4818	X	X	X	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 70 m aguas arriba del punto de vertimiento PS-02.
15	AG-30	371486	8167273	4815	X	X	X	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 100 m aguas abajo del punto de vertimiento PS-02.
16	E-2	371168	8167487	4802	X	X	X	Ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 200 m de la confluencia con la quebrada Margaritani.
Zona 2: Margaritani / Sector 3: Río Margaritani								
1	E-10	370918	8167481	4796	X	X	X	Ubicado en el río Margaritani, aproximadamente a 50 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni.
2	FTuca7	369258	8166427	4801	X	-	X	Flujo de agua superficial ubicado en la margen izquierda de la quebrada Planta, aproximadamente a 300 m al sur de la poza de mayores eventos N.º 1.
3	TU-14	368937	8166826	4733	X	-	X	Quebrada Planta en la descarga de un bofedal, aproximadamente a 15 m frente a la poza de sedimentación.
4	P-8	368824	8167063	4699	X	X	X	Ubicado en el río Margaritani, aproximadamente a 100 m aguas arriba de la confluencia con la quebrada Planta(1). Aguas arriba del punto de vertimiento PM-01 en el río Margaritani(2).
5	TU-38	368746	8167058	4701	X	-	X	Ubicado en la quebrada Planta, aproximadamente a 5 m de la confluencia con el río Margaritani.
6	P-9	368687	8167152	4685	X	X	X	Ubicado en el río Margaritani, aproximadamente a 200 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada Planta(1). Aguas abajo del punto de vertimiento PM-01 en el río Margaritani(2).
7	AG-18	367656	8168237	4636	X	X	X	Ubicado en el río Margaritani, aproximadamente a 150 m antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri.
Zona 3: Paccha - Aruntaya								
1	FTuca1	374254	8163290	5011	X	-	X	Manantial ubicado en la naciente del río Aruntaya, aproximadamente a 1,8 km aguas arriba del punto RArun1.
2	FTuca2	372651	8163089	4893	X	-	X	Manantial ubicado en la parte alta (margen izquierdo) del río Aruntaya, aproximadamente a 380 m al sur-este del punto RArun1.
3	FTuca3	373141	8163263	4899	X	-	X	Manantial ubicado en la parte alta del río Aruntaya, aproximadamente a 500 m del punto FTuca2.
4	RArun1	372450	8163429	4872	X	X	X	Naciente del río Aruntaya aproximadamente a 400 m aguas abajo de los manantiales FTuca1, FTuca2 y FTuca3.
5	M-4	361600	8164443	4425	X	X	X	Río de Aruntaya antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri(2). Río Aruntaya, aproximadamente a 600 m de su confluencia con el río Queullirijahuiri(1).
Zona 4: Aruntaya								

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Matriz			Descripción
		Este	Norte		Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	
1	AG-19	367527	8168444	4629	X	X	X	Ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 200 m aguas abajo de la confluencia entre el río Margaritani y Queullirijahuiri.
2	RJavi	364175	8166754	4481	X	-	X	Río Javira, aproximadamente a 300 m de su confluencia con el río Queullirijahuiri.
3	QSoro	362604	8165127	4451	X	-	-	Quebrada Soropatilla, aproximadamente a 400 m de su confluencia con el río Queullirijahuiri.
4	M-3	361716	8164806	4423	X	X	X	Aguas abajo de las operaciones Río Queullirijahuiri(2). Río Queullirijahuiri, aproximadamente a 490 m antes de su confluencia con el río Aruntaya(1).
5	AG-08	361140	8165037	4414	X	X	X	Río Aruntaya, aproximadamente a 130 m aguas abajo de su confluencia con el río Queullirijahuiri.
6	RArun2	358704	8168543	4366	X	X	X	Río Aruntaya, aproximadamente a 4 km aguas abajo de la confluencia con el río Queullirijahuiri.
7	FTuca5	362270	8168730	4453	X	-	-	Manantial sin nombre ubicado aproximadamente a 200 m al norte de la margen derecha de la quebrada Achaslaya.
8	FTuca6	361487	8169894	4451	X	-	X	Manantial sin nombre ubicado aproximadamente a 80 m al norte de la margen derecha de la quebrada Huaranco.
9	RArun3	356941	8171318	4362	X	X	X	Río Aruntaya, aproximadamente a 7 km aguas abajo de la confluencia con el río Queullirijahuiri.
10	RArun4	355129	8171729	4349	X	X	X	Río Aruntaya, aproximadamente a 120 m antes de su confluencia con la quebrada sin nombre 3.
11	QSnom3	355093	8171593	4361	X	X	X	Quebrada sin nombre 3, aproximadamente a 50 metros antes de su confluencia con el río Aruntaya.
12	AG-10	354927	8171654	4359	X	X	X	Río Aruntaya antes de su confluencia con el río Titire(2), código del administrado M-5. Río Aruntaya, aproximadamente a 250 m antes de su confluencia con el río Titire(1).
Zona 5: Titire - Coralaque								
1	AG-09	355122	8171944	4371	X	X	X	Río Titire, aproximadamente a 400 m antes de su confluencia con el río Aruntaya.
2	AG-11	354562	8171708	4357	X	X	X	Río Titire(2), código del administrado M-6. Río Titire, aproximadamente a 200 m aguas abajo de su confluencia con el río Aruntaya(1).
3	RTiti1	354000	8170893	4355	X	X	X	Río Titire, aproximadamente a 1 km aguas abajo de la confluencia con el río Aruntaya, y a 500 m aguas arriba de la fuente termal Quello.
4	RTiti2	353071	8170579	4347	X	X	X	Río Titire, aproximadamente a 2 km aguas abajo de su confluencia con el río Aruntaya, y a 600 m aguas arriba de la fuente termal Puente Bello.
5	TIT-1	352239	8169941	4362	X	X	X	Río Titire, aproximadamente a 600 m aguas abajo de la fuente termal Puente Bello (FPBello).

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Matriz			Descripción
		Este	Norte		Agua superficial	Sedimento	Comunidades hidrobiológicas	
6	FTiti1(3)	354814	8171635	4360	X	-	X	Manantial termal Titire 1, ubicado aproximadamente a 100 m de la margen izquierda del río Aruntaya.
7	FQuell(3)	353472	8170990	4345	X	-	X	Manantial termal Quello, ubicado aproximadamente a 70 m de la margen derecha del río Titire.
8	FPBello(3)	352656	8169986	4351	X	-	X	Fuente termal Puente Bello, ubicado aproximadamente a 30 m del Puente Bello, carretera Interoceánica Sur.
9	FTiti3(3)	352205	8169987	4344	X	-	X	Manantial termal Titire 3, ubicado aproximadamente a 10 m de la margen derecha del río Titire.
10	TIT-2	349322	8168449	4368	X	X	X	Río Titire, aproximadamente a 300 m antes de su confluencia con la quebrada Chilota.
11	QChil-1	349046	8168285	4351	X	X	X	Quebrada Chilota, aproximadamente a 100 m antes de su confluencia con el río Titire.
12	TIT-3	348752	8168407	4356	X	X	X	Río Titire, aproximadamente a 300 m aguas abajo de su confluencia con la quebrada Chilota.
13	RChiq	343538	8169484	4102	X	-	-	Río Chiquirani, aproximadamente a 100 m antes de su confluencia con el río Titire.
14	TIT-4	342959	8169011	4078	X	X	X	Río Titire, aproximadamente a 60 m antes de su confluencia con el río Vizcachas.
15	VIZ-4	342904	8168986	4078	X	X	X	Río Vizcachas, aproximadamente a 50 m antes de su confluencia con el río Titire.
16	CORA-1	342817	8169065	4078	X	X	X	Río Coralaque, aproximadamente a 100 m aguas abajo de la confluencia de los ríos Titire y Vizcachas.
17	RCora1	329669	8169332	3724	X	X	X	Río Coralaque, aproximadamente a 1,2 km antes de la confluencia con la quebrada Totorani.
18	QToto	329121	8167680	3913	X	-	X	Quebrada Totorani, aproximadamente a 2 km de su confluencia con el río Coralaque.
19	RCora2	323422	8169644	3582	X	X	X	Río Coralaque, aproximadamente a 3,5 km aguas arriba del puente Coralaque.
20	RCora3	320478	8170841	3585	X	X	X	Río Coralaque, aproximadamente a 100 m aguas arriba del puente Coralaque.
21	RCora4	317917	8174167	3499	X	X	X	Río Coralaque, aproximadamente a 4 km aguas abajo del puente Coralaque.
22	QE-36	316467	8178407	3256	X	X	X	Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.

Nota:
La precisión de la medición de las coordenadas fue de ± 3 m.
Para el caso de las muestras de comunidades hidrobiológicas, se puso el prefijo HB a los puntos de muestreo.
Descripción obtenida durante la presente Evaluación Ambiental de Causalidad (EAC).
(1) Descripción de acuerdo a la «Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de ampliación de operaciones – proyecto Tucari (ampliación del Pad III y botadero de desmonte) de Aruntani S.A.C.», aprobado mediante Resolución Directoral N.º 501-2014-MEM-DGAAM.
(2) Descripción de acuerdo al Estudio de impacto ambiental (EIA) del proyecto «Ampliación de Operaciones Proyecto Tucari», aprobado mediante Resolución Directoral N.º 391-2010-MEM-AAM.
(3) Fuente termal.

En el caso de las comunidades hidrobiológicas, adicionalmente a los puntos detallados en la Tabla 5.19 se han considerado 4 puntos de muestreo de perifiton (FBO-1, MT-46, MT-55 y MT-BO6), con muestras únicas, correspondientes a afloramientos subterráneos de la matriz agua residual industrial, detallados en la Tabla 5.5.

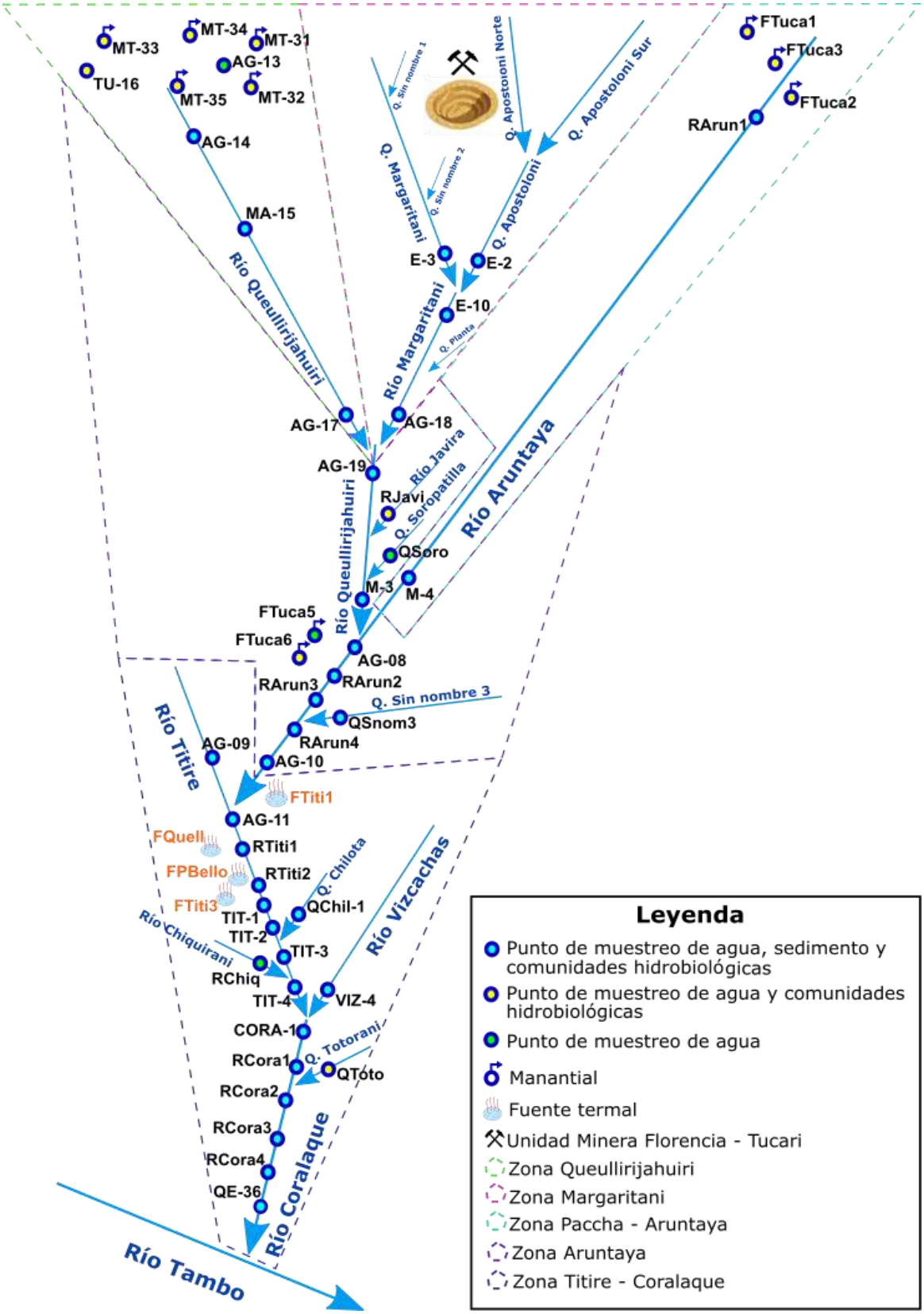


Figura 5.11. Esquema de ubicación de puntos de muestreo de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas

Nota: Solo se representan los principales puntos de la zona Margaritani.

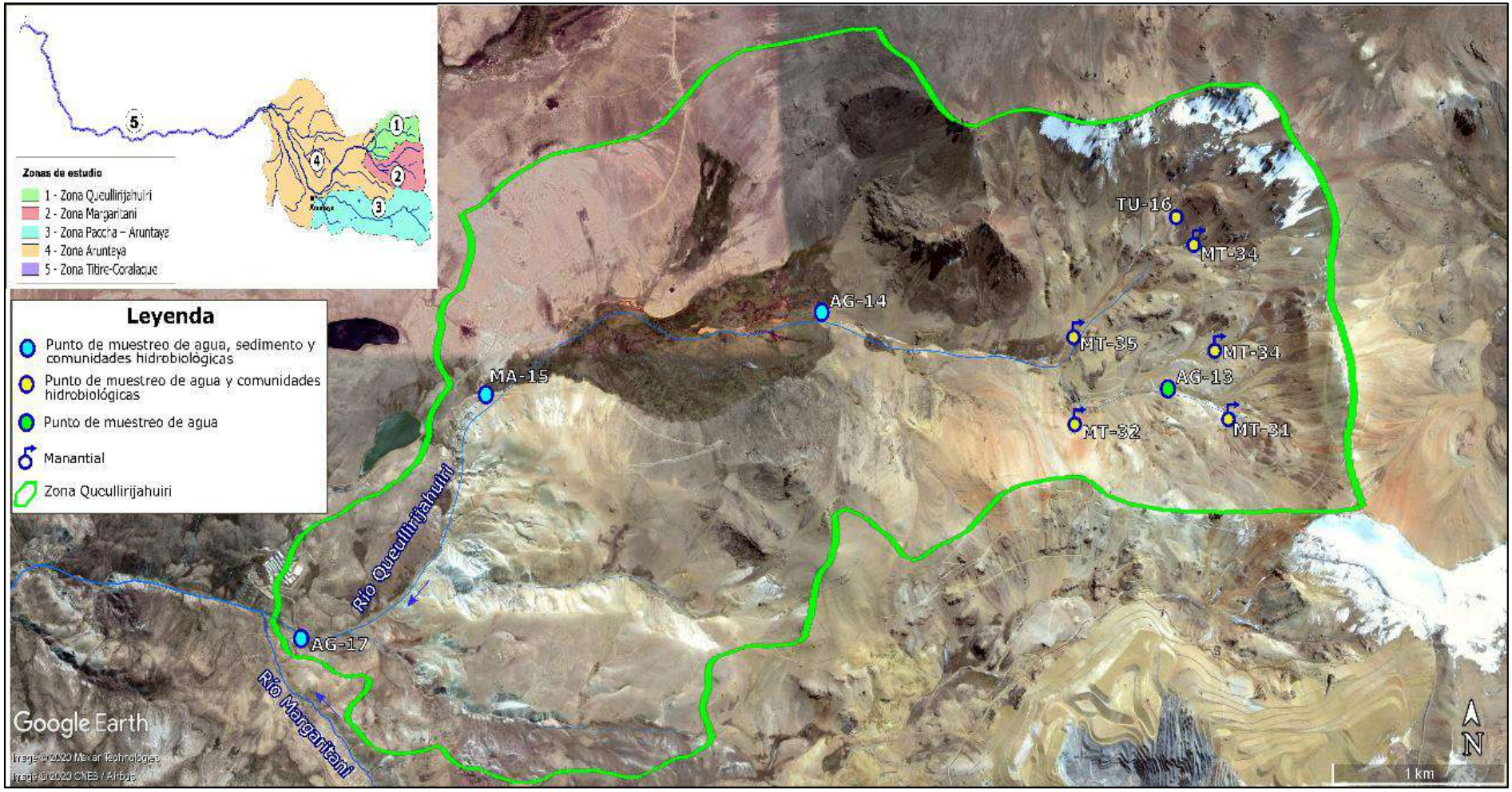


Figura 5.12. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Queullirijahuiri

Nota: En manantiales solo se colectó la comunidad hidrobiológica de perifiton.

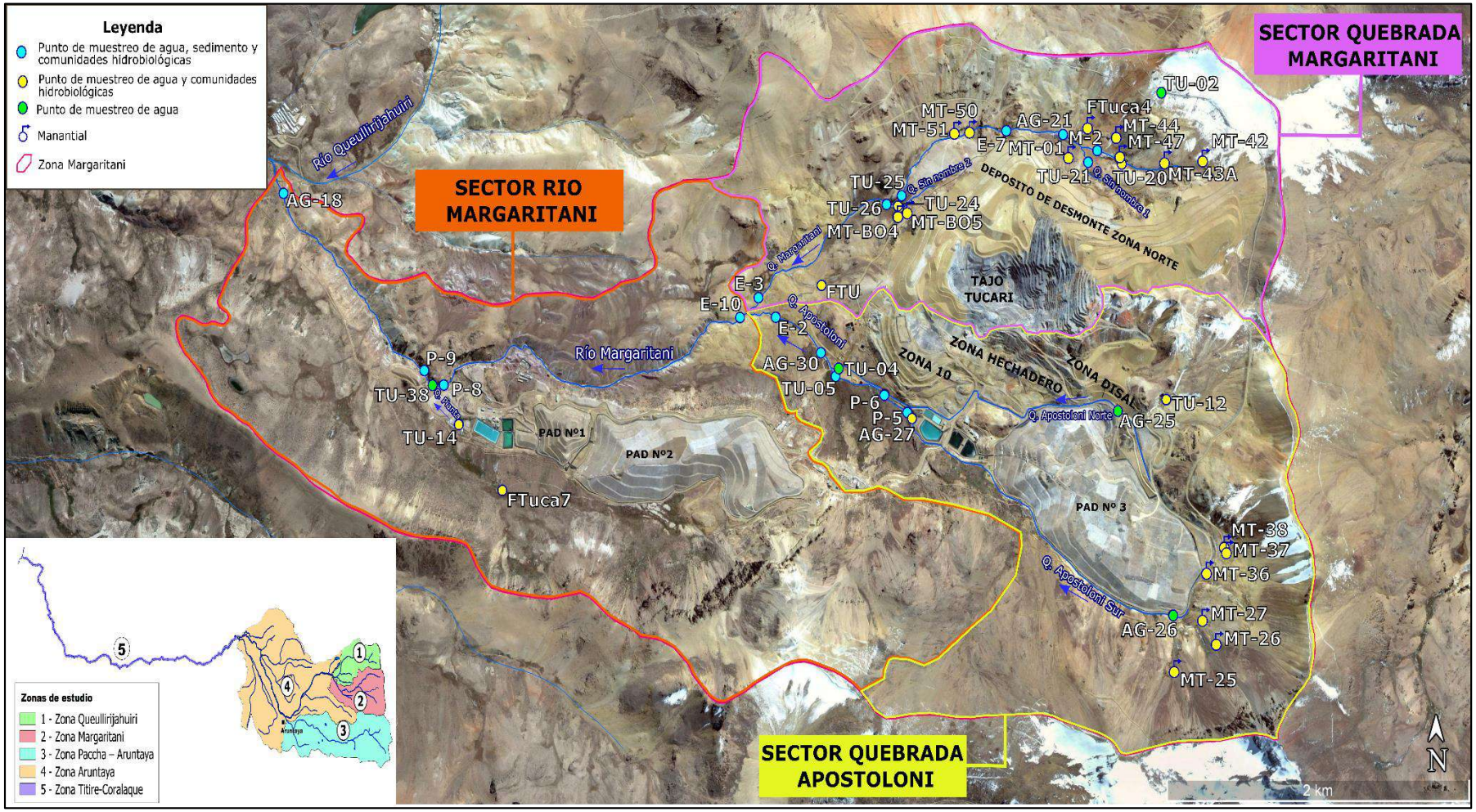


Figura 5.13. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Margaritani y sus sectores

Nota: En manantiales solo se colectó la comunidad hidrobiológica de perifiton.

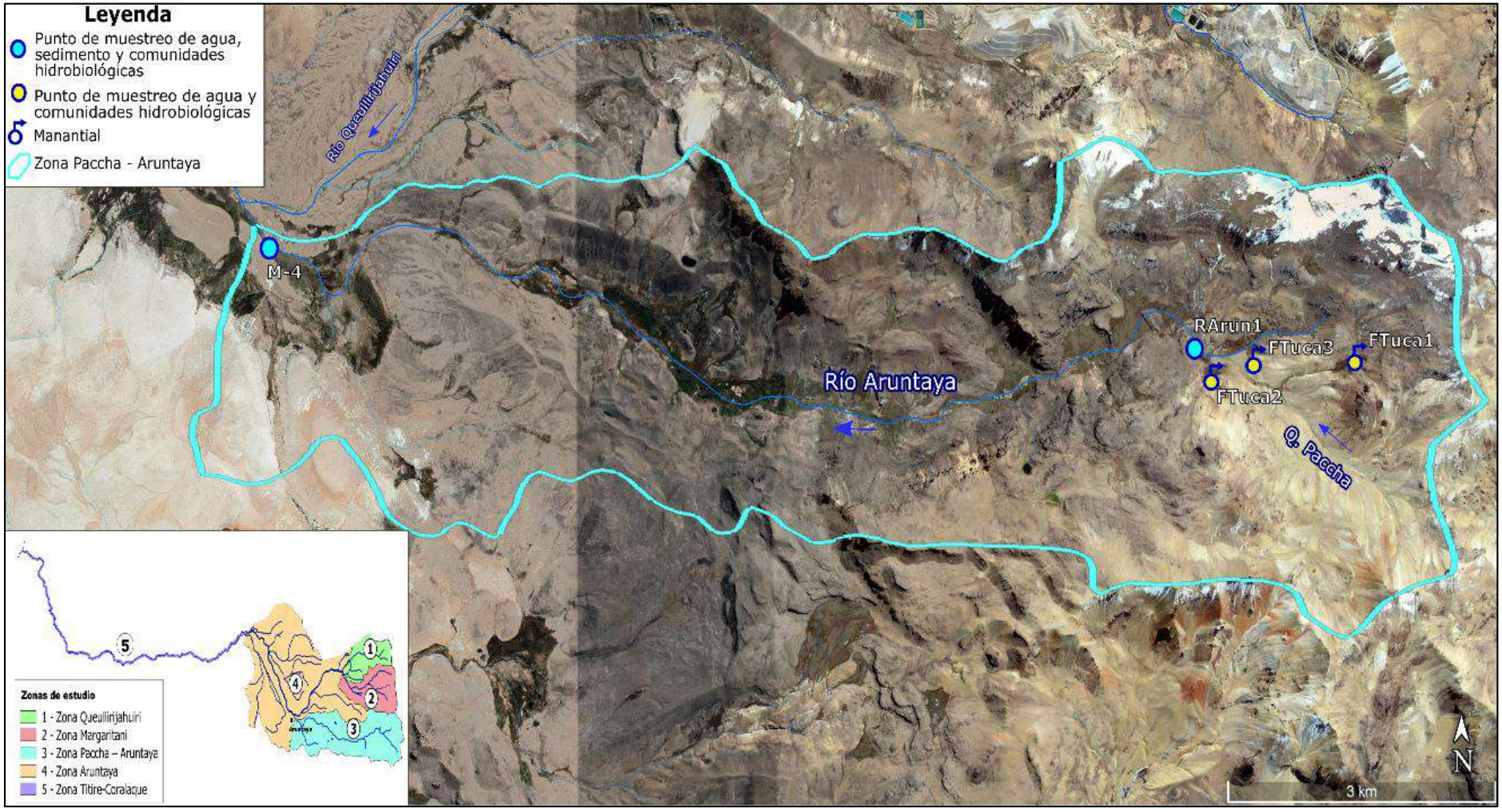


Figura 5.14. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Paccha – Aruntaya

Nota: En manantiales solo se colectó la comunidad hidrobiológica de perifiton.

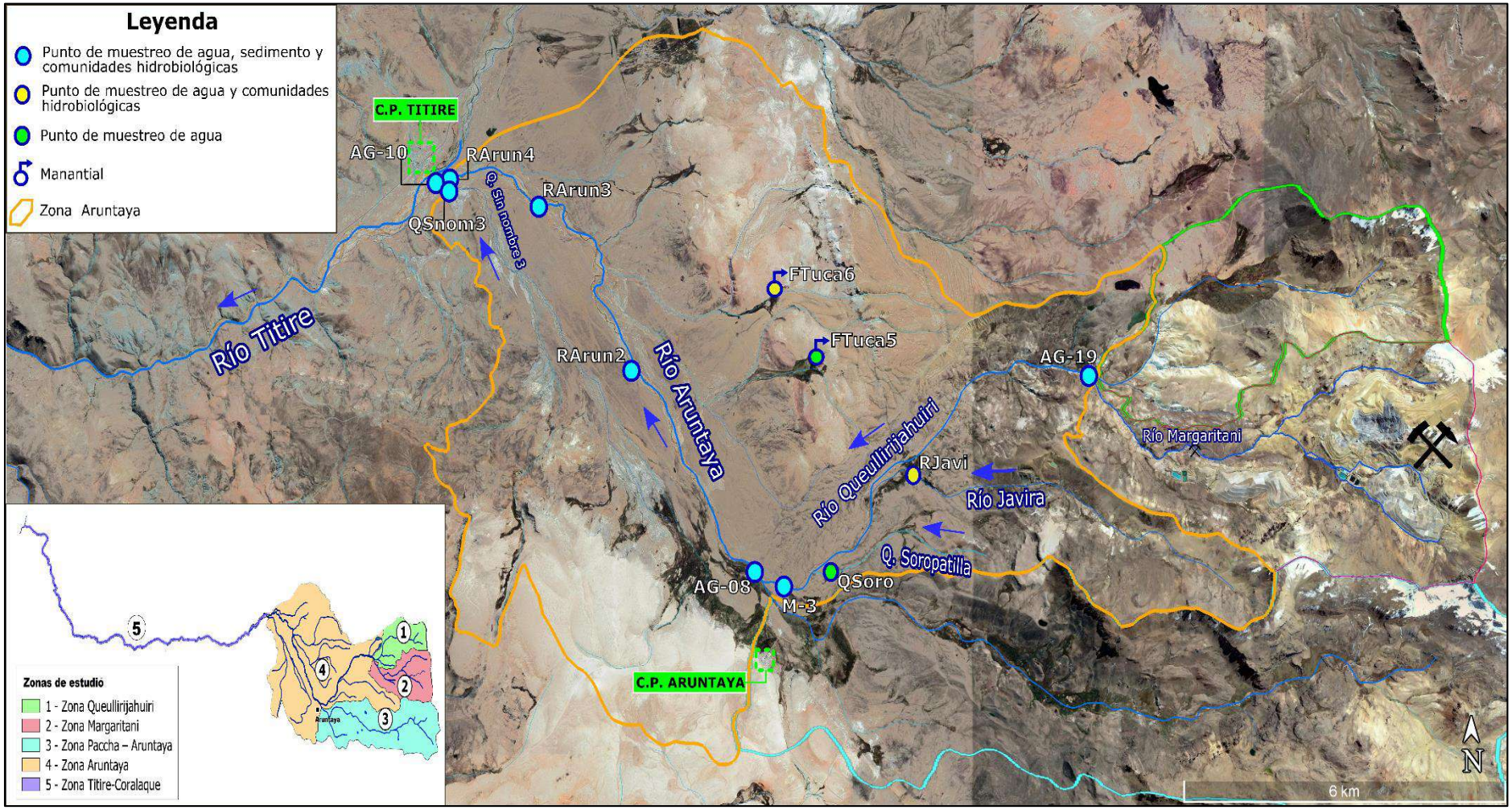


Figura 5.15. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Aruntaya

Nota: En manantiales solo se colectó la comunidad hidrobiológica de perifiton.

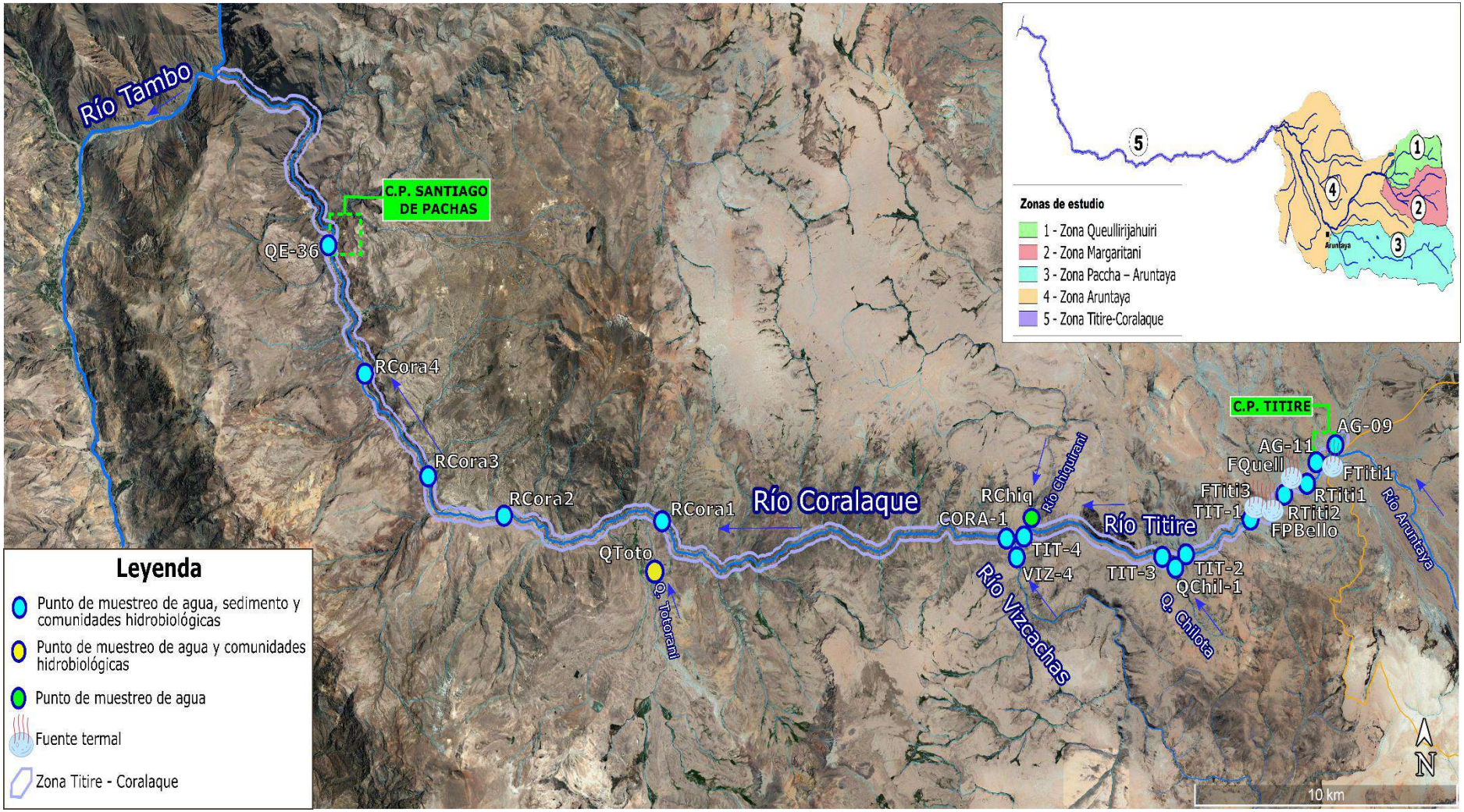


Figura 5.16. Ubicación de puntos de muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas en la zona Titire - Coralaque

Tabla 5.20. Ubicación de los puntos de muestreo de agua subterránea

N.º	Zona	Código del punto de muestreo	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este	Norte		
1	Margaritani	P-1	369324	8166814	4733	Piezómetro ubicado en la parte oeste del Pad I(1).
2		P-3	368904	8166876	4729	Piezómetro ubicado aguas abajo del Pad I(1).
3		INC-01*	372682	8166645	4895	Piezómetro ubicado aguas abajo del Pad III(1).
4		P-13**	372081	8167424	4814	Piezómetro ubicado aguas abajo del Pad III(1).
5		P-15	373385	8168594	4954	Piezómetro ubicado en la parte alta de la quebrada Margaritani (1).
6		P-17	369503	8167194	4744	Piezómetro ubicado al norte del Pad I(1).
7		PZ-01*	372649	8166672	4888	Piezómetro ubicado al norte del Pad III(1).
8		PZ-N1	373233	8168468	4939	Piezómetro ubicado en la parte alta del río Margaritani (1).
9		PZ-S1	373794	8167105	5046	Piezómetro ubicado en la parte baja del nevado Apostoloni (1).
10		P-Com*	370971	8167485	4794	Piezómetro ubicado aproximadamente a 30 m al sur de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni (1),
11		P-2*	369308	8166706	4732	Piezómetro ubicado en la parte oeste del Pad I(1).
12		P-4*	367596	8168288	4630	Piezómetro ubicado en la parte baja del río Margaritani (1).
13		P-5*	369456	8166678	4738	Piezómetro ubicado en la parte oeste del Pad I(1).
14		P-6*	369466	8166801	4739	Piezómetro ubicado en la parte oeste del Pad I(1).
15		P-7*	369811	8166715	4776	Piezómetro ubicado en la parte oeste del Pad II(1).
16		P-8*	369869	8166743	4785	Piezómetro ubicado en la parte oeste del Pad II(1).
17		P-9*	369245	8166566	4785	Piezómetro ubicado en la parte oeste del Pad II(1).
18		P-10	372644	8166646	4881	Piezómetro ubicado aguas abajo del Pad III(1).
19		P-10A*	372119	8166882	4842	Piezómetro ubicado aguas abajo del Pad III(1).
20		P-14*	372119	8166882	4797	Piezómetro ubicado cerca de la confluencia entre el río Margaritani y la quebrada Apostoloni(1),
21		P-16*	371979	8168438	4843	Piezómetro ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani(1).
22		P-16A*	372005	8168242	4839	Piezómetro ubicado en la margen derecha del río Margaritani(1).

(1) Descripción de acuerdo al «Estudio de Hidrogeología de la unidad minera Tucari», 2014. 001.0513.07-EG.
(*): Piezómetros considerados sólo para la medición de nivel piezométrico y nivel freático.
(**): Las coordenadas de este punto de muestreo se encuentran en el sistema PSAD-56 y transformadas al sistema WGS-84 corresponden a: E: 371877 y N: 8167060.

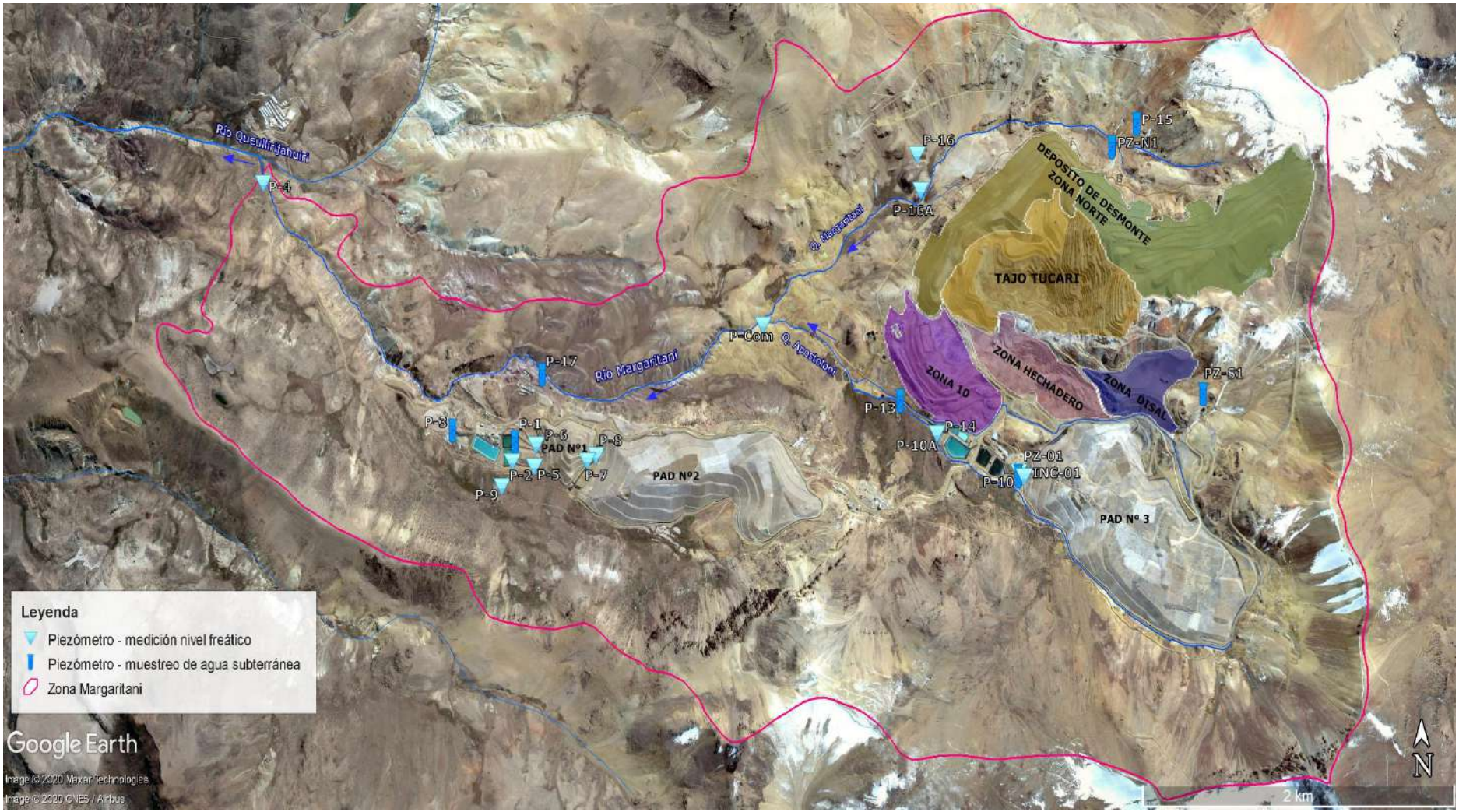


Figura 5.17. Esquema de ubicación de puntos de muestreo y medición de nivel de agua subterránea

5.3.3. Parámetros y métodos de análisis

Se consideraron los parámetros incluidos en la Tabla 5.21, 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 de agua, se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD), potencial de óxido reducción (ORP) y turbidez (NTU). Adicionalmente, se colectaron datos para el cálculo de caudal en los puntos de muestreo de agua superficial.

Tabla 5.21. Parámetros y métodos de análisis de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
Agua superficial	Cloruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía lónica
	Fluoruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía lónica
	Sulfatos	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía lónica
	Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
	Sólidos Totales Disueltos	SMEWW 2540 C. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
	Acidez	SMEWW 2310 B. 23rd Ed. 2017	Volumetría
	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)*	Espect ICP-MS
	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)*	Espect ICP-MS
	Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed.2017	Alkalinity: Titration Method
	Carbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed.2017	Alkalinity: Titration Method
	Cianuro Libre (Skalar)	ISO 14403-2:2012.1 st.Ed.(Validado), 2014	Water quality - Determination of total cyanide and free cyanide using flow analysis (FIA and CFA)
	Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN- C,E. 22nd Ed. 2012	Cyanate: Colorimetric Method
	Cianuro Wad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN^- I,E,23rd Ed.2017	Cyanide. Weak Acid Dissociable Cyanide. Colorimetric Method
Sedimento	pH	PEC-001	Potenciometría pH
	Sulfatos	PE-4005	Anal. Elemental
	Materia orgánica	Norma Oficial Mexicana NOM-021-SERMANAT-2000; Item 7.1.7 AS-07. Determinación de Materia Orgánica (AS-07 Walkley y Black). (Validado) 2017.	ES_NOM21_AS07_MO_TOC
	Metales totales	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014)	Espect ICP-MS
	Análisis granulométrico	ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	Particle - Size Analysis of Soils
	Análisis mineralógico por MEB	Microscopía electrónica de barrido	Microscopia electrónica de barrido, complementado con imágenes de microscopio óptico de luz reflejada
	Análisis mineralógico por DRX	Difracción de rayos X	Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD)

Matriz	Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
			Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).
	Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier	EPA 6020 B Rev. 2. July 2014	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
Comunidades hidrobiológicas	Perifiton	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10300 C y 10900, 23rd Ed. 2017	Organismos/cm^2
	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, Part 10500 C, 23rd Ed. 2017	Individuos/0,09m^2
Agua subterránea	Cloruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía Iónica
	Fluoruros	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía Iónica
	Sulfatos	PE-2090 Rev.11 2019	Cromatografía Iónica
	Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW 2540 D. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
	Sólidos Totales Disueltos	SMEWW 2540 C. 23rd Ed. 2017	Gravimetría
	Acidez	SMEWW 2310 B. 23rd Ed. 2017	Volumetría
	Metales disueltos	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)*	Espect ICP-MS
	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4 (1994)*	Espect ICP-MS
	Bicarbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed.2017	Alkalinity: Titration Method
	Carbonatos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed.2017	Alkalinity: Titration Method

*Validado (VAL) para bismuto, boro, calcio, cerio, estaño, estroncio, fósforo, hierro, litio, magnesio, potasio, sodio, titanio y wolframio.
Fuente: Informes de Ensayo de Laboratorio de AGQ Perú S.A.C, ALS LS Perú S.A.C. y SGS del Perú S.A.C. (Anexo 3)

5.3.4. Equipos y materiales utilizados

Los equipos y materiales utilizados para el muestreo de agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas, que comprende la medición de parámetros *in situ*, los certificados de calibración, la medición de caudal y el posicionamiento de los puntos de muestreo, se detallan en el reporte de campo N.° RC-044-2020-STEC, Anexo 2.

5.3.5. Aseguramiento de la calidad

Agua

Para garantizar la representatividad de los resultados, se realizó como control de calidad la toma de muestras duplicadas, blancos viajeros y blancos de campo, acorde a lo indicado en el protocolo citado en la Tabla 5.18.

Sedimento

Debido a que no se cuenta con un protocolo nacional para el monitoreo y evaluación de sedimentos de agua continental se tomó el mismo criterio de aseguramiento de calidad que para el de agua, realizándose duplicados al 10 % del total de muestras a ser analizadas, en este caso el parámetro fue metales totales; Además, de una adecuada limpieza de los materiales utilizados para la colección de muestra, tal como lo indica guía citada en Tabla 5.18.

Comunidades hidrobiológicas

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: perifiton, bentos y necton (peces) en aguas continentales del Perú». Lo relacionado al análisis de las muestras obedeció a los criterios de los especialistas taxónomos de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA.

5.3.6. Procesamiento de datos

Agua

Los resultados de agua fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (hojas de cálculo), para luego ser comparados mediante el uso de líneas en gráficos de barras con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Con los resultados se calculó la relación entre iones y sólidos disueltos con la conductividad, así como el balance iónico. Además, se elaboraron diagramas hidroquímicos (Stiff y Piper), y el diagrama de Mifflin que permite observar la evolución del agua subterránea, los cuales se describen a continuación:

- **Relación de los iones y sólidos disueltos con la conductividad**

La conductividad o conductividad eléctrica (CE) y los sólidos totales disueltos (STD) son parámetros de calidad de agua usados para describir la salinidad (Rusydi, 2018). Dichos parámetros están correlacionados y su relación esta expresada de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$STD\ (mg/L) = k * Conductividad\ \left(\mu\frac{S}{cm}\right) \qquad (Ecuación\ 1)$$

No obstante, hay diversos factores como el incremento y la composición de la concentración de los iones (diferente mezcla de sales disueltas) como el agua de mar, continental y destilada que involucran diferentes valores de *K* con rango de 0,6 – 0,75 para obtener una relación precisa entre los STD y la conductividad (Walton, 1989)[20].

Por tal motivo, no se justifica el uso de valor de *K* para todos los tipos de agua con valor estándar de 0,7 (promedio del rango de 0,5 a 0,9), número utilizado en muchos medidores comerciales de CE-STD ya que se puede alcanzar hasta el 25 % de error (Walton, 1989). Los valores de K se incrementan a medida que los iones son mayores; sin embargo, la relación entre la CE y STD no es directamente lineal, ya que depende de la actividad promedio de los iones disueltos específicos de todos los iones en el agua y su fuerza iónica (Hem, 1985 citado por Rusydi, 2018).

De esa manera, la Figura 5.18 muestra una vista general de los valores de *K* con el incremento de los STD en los distintos tipos de agua como: naturales (*fresh water*), destilada, permeada (*permeates*), salobres (*brackish water*), marina (*seawaters*) y salmueras (*brines*), los cuales pueden contener una variedad de sales disueltas, por lo que se puede obtener un rango de valores de *K* de 0,50 a 0,85 (Walton, 1989) y 0,54 a 0,75 (Hem, 1985).

[20] Otros 2 factores que involucran el cambio de los valores de *k* es la temperatura (que incrementa la movilidad de los iones a mayor temperatura, hay un incremento del 2 % de la conductividad por cada aumento de 1 °C el cual es corregido por los equipos multiparámetros) y los efectos del pH en rango alto (> 9) y bajo (< 5), el cual contribuye al valor de la conductividad que otros cationes y aniones en el agua.

La CE y los STD se utilizan con frecuencia como parámetros de calidad del agua, especialmente en la zona costera. Estos 2 parámetros son indicadores de la salinidad que los hace muy útiles para el estudio de la intrusión o influencia de agua de mar (Rusydi, 2018).

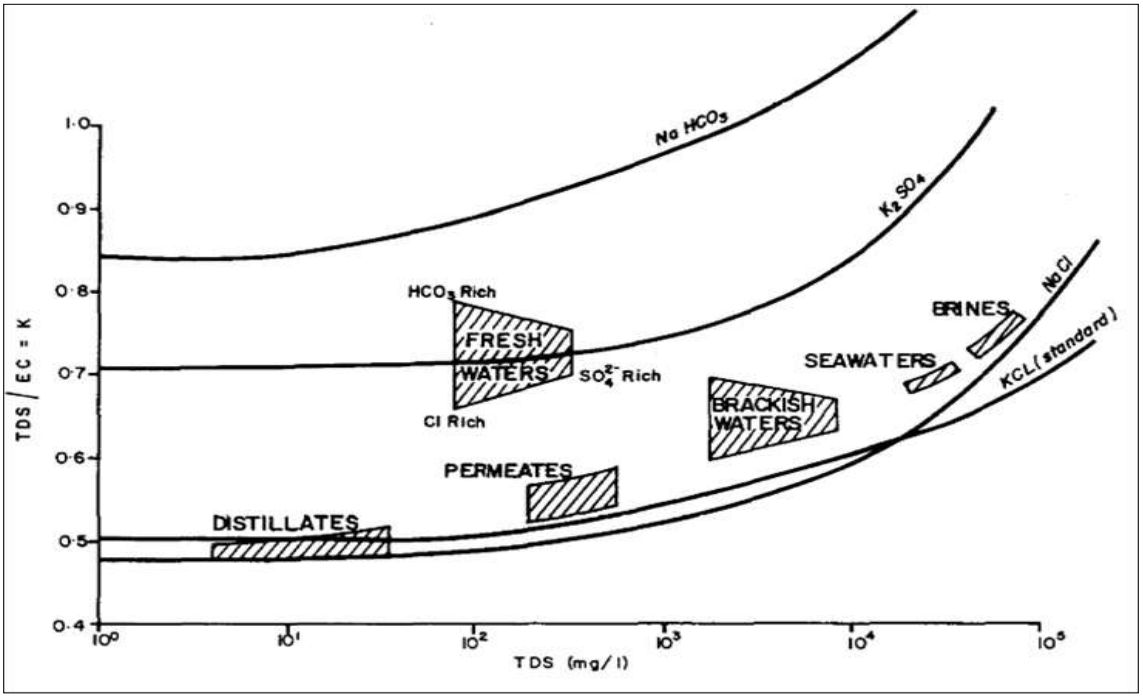


Figura 5.18. Relación de los sólidos totales disueltos (STD) con los valores de *K* para diferentes tipos de agua
Fuente: Walton (1989, p.290)

- **Balance iónico**

El objetivo del balance iónico es evaluar el equilibrio de los iones en el agua en base a la comparación de las concentraciones molares de la suma de aniones (Σan) y la suma de cationes (Σcat). Este calculó se realizó antes del análisis hidroquímica y se conoce como error balance iónico (en adelante, EBI). El EBI verifica la consistencia de los iones.

Los iones mayoritarios presentes en el agua fueron los cationes: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^{+}) y potasio (K^{+}) para el cálculo de la Σcat; y los aniones: bicarbonatos (HCO_3^{-}), fluoruros (F^{-}), sulfatos (SO_4^{2-}) y cloruros (Cl^{-}) para la Σan[21]. Ambas sumas de concentraciones se expresaron en miliequivalentes por litro (meq/L). De esa manera, se estableció el error de balance iónico de acuerdo con la siguiente ecuación (Appelo *et al.*, 2005):

$$Error\ de\ Balance\ Iónico\ (EBI) = 100\frac{\sum cat - \sum an}{\sum cat + \sum an}\% \qquad (Ecuación\ 2)$$

Aunque el EBI es un valor en porcentaje, la ecuación 6.4 incorpora un signo para mostrar la predominancia de cargas de cationes (signo positivo) o de aniones (signo negativo). En el presente estudio el EBI aceptado estuvo en el rango de -10 % a +10 %, el cual fue considerado por Dinka *et al*. (2015) y López (2018).

[21] Los otros iones tomados en cuenta fueron en cuenta los cationes: aluminio (Al^{3+}), hierro (Fe^{2+}), manganeso (Mn^{2+}), bario (Ba^{2+}), estroncio (Sr^{2+}), litio (Li^{+}), y los iones hidronio (H_3O^{+}) del pH.

De otro lado, algunas muestras presentan valores de EBI fuera del rango óptimo de ± 10 %, con valores demasiado negativos (<< - 10%). Esto se da en la mayoría de los casos en muestras ácidas con altas concentraciones de metales, resultando un EBI negativo si no se toma en cuenta sobre todos los iones hidronio (H_3O^+) del pH (de preferencia en base a su actividad y no concentración) y otras especies disueltas en mayor concentración como el aluminio (Al^{3+}) y hierro (Fe^{2+}).

El EBI mayor del 2 % es inevitable en casi todos los laboratorios, por lo que se debe aceptar un error mayor; no obstante, si el EBI es mayor a 5 %, deberán revisarse los procedimientos, análisis y el muestreo[22]. El EBI con valores positivos no es afectado por los metales en el balance iónico, siendo la subestimación de HCO_3^- una de las causas más frecuentes de un EBI muy positivo.

Al respecto, los rangos del EBI están relacionados con la conductividad del agua de acuerdo con lo planteado por Custodio y Llamas (1976) en la Tabla 5.22. La interpretación de los porcentajes de error (EBI) se basa en la idea que el análisis debería ser más preciso cuanto más concentrada es la muestra analizada (Mariño y García, 2018). Sin embargo, pueden presentarse variaciones en los balances iónicos producto de pH ácidos, temperatura, presencia de sedimentos o coloides (Wallick, 1977 y Schuller *et al*.,1981; Knights y Stenner, 1999; Nordstrom *et. al*., 2008).

Tabla 5.22. Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica

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

Fuente: Custodio y Llamas (1976)

- **Diagrama de Stiff**

El diagrama de Stiff es un método sofisticado para demostrar cambios verticales en la composición química del agua (Stiff, 1951). Esta gráfica está compuesta por 3 ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo el catión con anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. El Na^+ se relaciona con el Cl^-, el Ca^{2+} con el HCO_3^- y el Mg^{2+} con el SO_4^{2-}. Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L.

En este tipo de diagrama sobresalen 2 características, por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica).

Los diagramas de Stiff se pueden utilizar para visualizar aguas relacionadas iónicamente del cual se puede determinar la trayectoria del flujo. Si se conoce la trayectoria del flujo, es posible mostrar cómo la composición iónica de un cuerpo de agua cambia con el espacio y el tiempo (Rekha, 2013). En la Figura 5.19 se muestra un ejemplo del diagrama de stiff.

[22] El EBI de 5 % fue usado en estudios de aguas subterráneas por Singh *et al*., 2015 y Srinivasamoorthy *et al*., 2014, entre otros

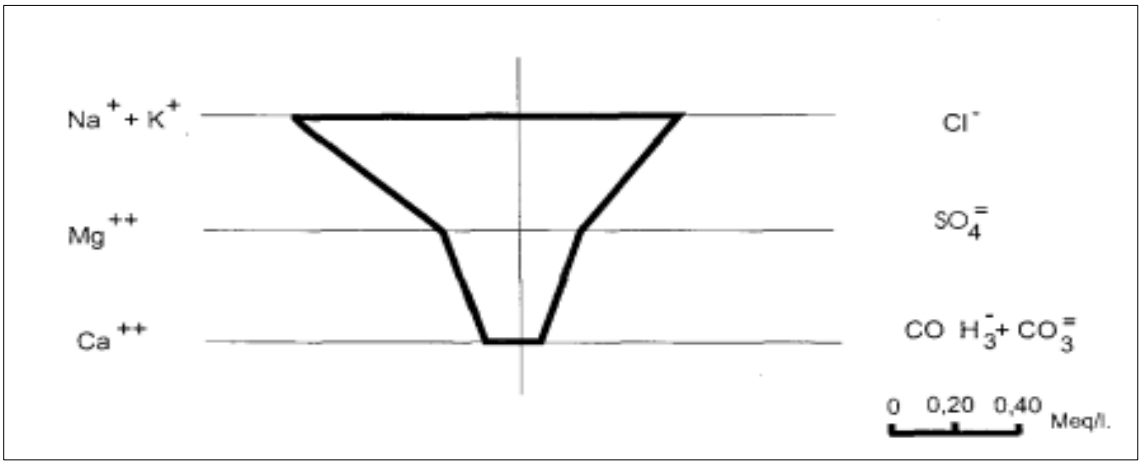


Figura 5.19. Diagrama de Stiff
Fuente: Martínez (1998, p.105)

- **Diagrama de Piper**

Es el tipo de gráfico más utilizado ya que incluye aniones y cationes en forma simultánea. Este gráfico permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio y Llamas, 1983).

Está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca^{+2}, Mg^{+2}, Na^{+} y K^{+}. Los vértices del triángulo de aniones son $SO4^{-2}$, Cl^{-} y HCO_3^{-}. Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones dadas en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes, respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo 3 aniones y 3 cationes. A cada vértice le corresponde el 100 % de un anión o catión (Figura 5.20).

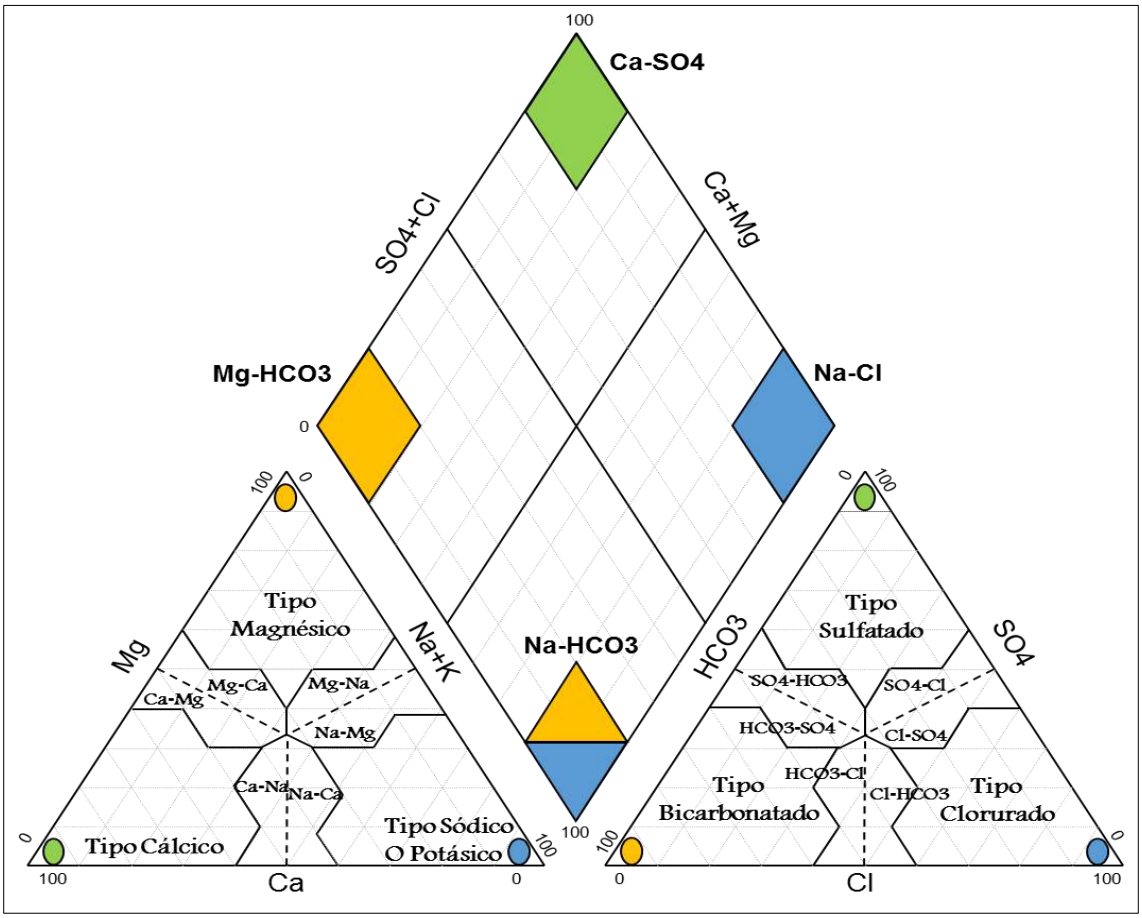


Figura 5.20. Diagrama de Piper
Fuente: Modificado de Davis y Wiests (1971, p.168)

- **Diagrama de Mifflin**

El incremento de los componentes químicos como los iones durante la evolución del agua subterránea puede ser observado en el diagrama de Mifflin (Mifflin, 1968, citado por Torres-Rivera, 2019). Este diagrama es una gráfica log-log de concentraciones de iones $Na^+ + K^+$ + vs. $Cl^- + SO_4^{2-}$, utilizada originalmente para grandes manantiales asociados con el terreno de rocas carbonatadas (Mifflin, 1968), para entender la evolución de agua subterránea y establecer diferentes tipos de flujos de agua (Torres-Rivera *et al.*, 2019), Figura 5.21.

El diagrama está dividido en 3 zonas, el área más cercana al origen se debe a la baja circulación y corto tiempo de residencia del agua. Las muestras en estas áreas están asociadas con las recargas (flujo local). En la siguiente zona, las concentraciones se incrementan y pueden estar asociadas con un mayor tiempo de residencia o de larga distancia (Flujo intermedio). Finalmente, la mayor concentración se asocia con una interacción agua-roca más significativa y una mayor evolución del agua subterránea (flujo regional).

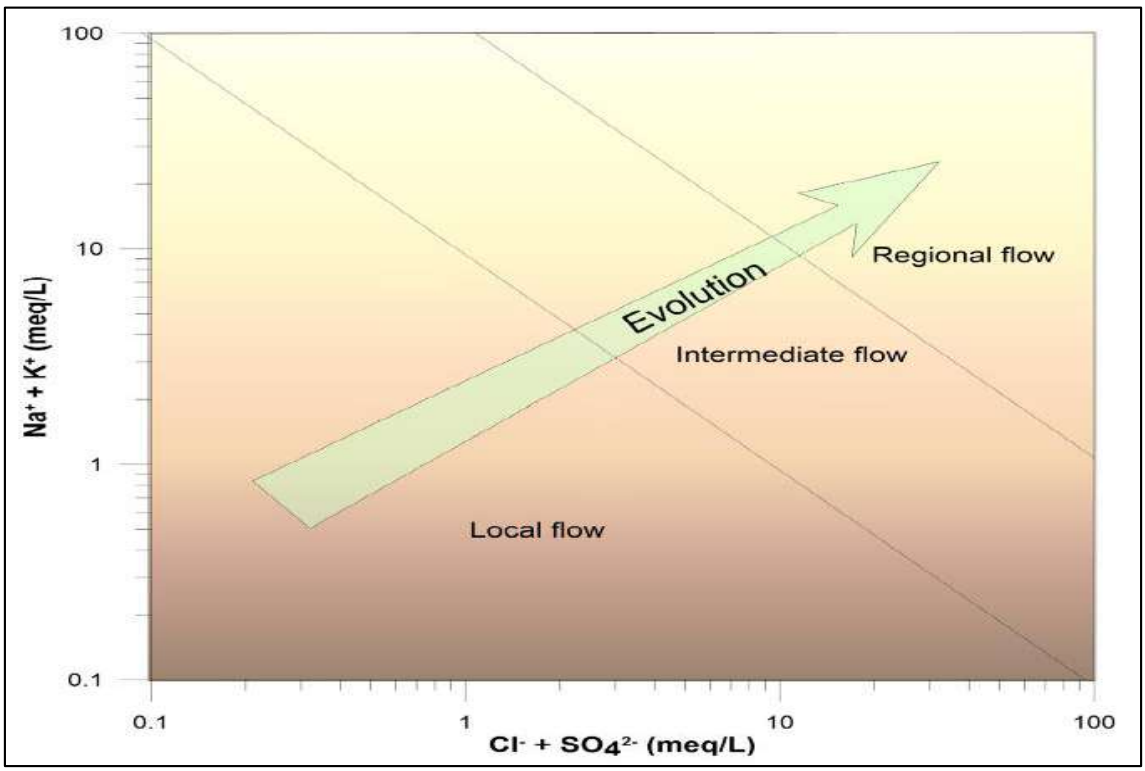


Figura 5.21. Diagrama de Mifflin
Fuente: Adaptado de Torres-Rivera *et al.* (2019)

- **Balance de masas**

Para el caso de puntos de control de agua superficial donde se registraron descarga de efluentes líquidos minero metalúrgicos (Tabla x.x) y de forma referencial en las confluencias de diferentes cuerpos de agua se calcularon las concentraciones de los parámetros en la zona de mezcla mediante la siguiente ecuación de balance de masa:

$$C_0 = \frac{[(C_{RH} * Q_{RH}) + (C_{Pur} * Q_{Pur})]}{(Q_{RH} + Q_{Pur})} \qquad (Ecuación\ 3)$$

El cumplimiento de los Estándares de Calidad de Agua (en adelante, ECA para Agua) se evalúo con:

$$C_0 \leq C_{ECA} \qquad (Ecuación\ 4)$$

Dónde:

C_0 : concentración calculada en la zona de mezcla aguas abajo de la purga

C_{ECA} : valor de ECA para Agua del parámetro en evaluación según la categoría que corresponda

C_{RH} : concentración en el cuerpo receptor

Q_{RH} : caudal crítico del cuerpo receptor sin la purga

C_{Pur} : concentración de descarga de la purga

Q_{Pur} : caudal de descarga de la purga

Se evaluaron los parámetros contenidos en la Tabla 5.21 metales totales, sólidos suspendidos totales y sulfatos; la concentración calculada por cada parámetro en el cuerpo receptor aguas abajo de la zona de mezcla (C_0) y los ECA para Agua correspondiente[23]. Si el balance de masas demuestra que la concentración calculada en el cuerpo receptor será mayor del ECA para Agua correspondiente, se determinará la carga contaminante admisible del vertimiento usando la Ecuación x.x que integra la condición para el cumplimiento de los ECA para Agua con el balance de masas.

$$(\mathbf{C_{Pur}} * \boldsymbol{Q_{Pur}}) \leq \boldsymbol{Q_{RH}} * (\mathbf{C_{ECA}} - \mathbf{C_{RH}}) + \boldsymbol{Q_{Pur}} * \mathbf{C_{ECA}} \qquad \textit{(Ecuación 4)}$$

Si la carga máxima en la descarga supera la carga admisible del cuerpo receptor se calculó un caudal que permita disminuir la carga admisible.

Para determinar el caudal máximo admisible sin cambiar las concentraciones se utilizó la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Q_{Pur}} \leq \frac{\boldsymbol{Q_{RH}} * (\mathbf{C_{ECA}} - \mathbf{C_{RH}})}{(\mathbf{C_{Pur}} - \mathbf{C_{ECA}})} \qquad \textit{(Ecuación 5)}$$

La Ecuación x.x, también, se aplicó para determinar la concentración máxima en el vertimiento (efluente) o confluencia de diferentes cuerpos de agua, que permita cumplir con los ECA para agua del principal cuerpo receptor.

Sedimento

- **Índice de geoacumulación (Igeo)**

Se emplearon los resultados del nivel de fondo geoquímico (obtenidos de los resultados de sedimentos de los cuerpos de agua superficial que no tienen influencia de la actividad minera) para hallar un índice de evaluación de contaminación: el índice de geoacumulación (Igeo). Originalmente usado para la evaluación de sedimentos; se ha aplicado también con éxito para la medición de la contaminación en suelos (Cabrera *et al*., 1999[24]; Grzebisz *et al*., 2002[25]; Yaqin *et al*., 2008[26]). Dicho índice se calcula utilizando la siguiente ecuación (Müller, 1969[27]):

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_n}{1{,}5B_n}\right) \qquad \textit{(Ecuación 6)}$$

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

---

23 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, y con la normativa del instrumento de gestión ambiental del administrado (Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM).

24 Cabrera, F., Clemente, L., Barrientos, D. E., Lopez, R., & Murillo, J. M. (1999). Heavy metal pollution of soils affected by Guandiamar toxic flood. The Science of the Total Environment, 242(12), 117-129.

25 Grzebisz, W., Cieoela, L., Komisarek, J., & Potarzycki, J. (2002). Geochemical assessment of heavy metals pollution of urban soils. Polish Journal of Environmental Studies, 11(5), 493-499.

26 Yaqin, J., Feng, Y., Jianhui, W., Tan, Z., Zhipeng, B., & Chiging, D. (2008). Using geoaccumulation index to study source profiles of soil dust in China. Journal of Environmental Sciences, 20(1), 571–578.

27 Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo-journal, 2(1), 108-118.

De acuerdo con Müller (1969), las relaciones correspondientes entre los valores del índice de geoacumulación (Igeo) y los niveles de contaminación son reportados en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23. Relaciones entre los valores del índice de geoacumulación (I_{geo}) y los niveles de contaminación

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

Fuente: Müller (1969).

Los niveles de fondo geoquímico fueron calculados mediante la media aritmética y/o ponderada de las concentraciones de hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, arsénico, antimonio, aluminio, manganeso y mercurio obtenidas en los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4), Vizcachas (VIZ-4) y Titire (AG-09), así como de las quebradas sin nombre 3 (QSnom3) y Chilota (QChil-1), en tramos de los mencionados cuerpos de agua sin influencia de actividades mineras.

Comunidades hidrobiológicas

En esta sección se describen los análisis realizados para las comunidades hidrobiológicas de composición, riqueza, abundancia e índices de diversidad (alfa y beta), en base a los reportes de identificación taxonómica. Asimismo, se describen los indicadores biológicos de referencia para la calidad ecológica, así como los análisis multivariados con la finalidad de determinar las asociaciones y/o cambios en la composición específica de los taxones de las comunidades hidrobiológicas objeto de estudio.

a) Composición, riqueza y abundancia

Para el análisis de composición, riqueza y abundancia, se realizó la sistematización de la clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia, género y especie) para cada una de las comunidades hidrobiológicas (perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces); asimismo, esta sistematización presentó las densidades de especies por puntos de muestreo, de acuerdo con el Anexo 3.

La evaluación de la riqueza y la abundancia del perifiton (microalgas y microorganismos) se desarrollaron en base a la categoría taxonómica «phylum»; asimismo, la evaluación de la riqueza y la abundancia de los macroinvertebrados bentónicos y peces se desarrolló en base a la categoría taxonómica «orden».

Cabe señalar que los resultados de abundancia (cuantitativos) se analizaron en base a la densidad de la muestra, representándose los resultados de perifiton (microalgas y microorganismos) en organismos/cm^2, macroinvertebrados bentónicos en organismos/0,09m^2 y peces en organismos/100m^2.

Para esto, se utilizó una base de datos en el cual se sistematizó los nombres y números de cada especie por cada punto de muestreo; posteriormente, se realizó las representaciones mediante gráficas acumuladas.

b) Diversidad alfa

Para el análisis de diversidad de especies (diversidad alfa) se utilizó el índice de diversidad verdadera (números de diversidad de Hill N1 y N2) y el índice de equidad de Pielou (J').

- **Diversidad verdadera (números de diversidad de Hill N1 y N2)**

Los índices de diversidad verdadera (números de diversidad de Hill N1 y N2) son modificaciones de los índices comunes de Shannon (H`) y Simpson (D) con la finalidad de ajustar la sensibilidad para determinar el comportamiento de la diversidad (Moreno *et al.*, 2011). Es en base a esta modificación que se empezó a hacer uso el término números efectivos de especies, que son las unidades de medición de la diversidad verdadera (Moreno *et al.*, 2011).

Para ello se usó la variable N1 (número de especies abundantes) como la modificación del índice Shannon (H') (Jost, 2006) que tiene como fórmula:

$$N1 = e^{H'} \qquad \textit{(Ecuación 7)}$$

Dónde,

H': Índice de diversidad de Shannon y Wiener

Por otro lado, se usó la variable N2 (número de especies muy abundantes) como la modificación del índice de Simpson (D) (Jost, 2006) que tiene como fórmula:

$$N2 = 1/D \qquad \textit{(Ecuación 8)}$$

Dónde,

D: Índice de Simpson

- **Índice de equidad de Pielou**

Mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Pielou, 1975; Magurran, 1988).

$$J = H' / H'\ max \qquad \textit{(Ecuación 8)}$$

Dónde,

J: índice de equidad de Pielou
H': Índice de diversidad de Shannon y Wiener

H' max: Ln (S)

c) Diversidad beta

Para la evaluación de diversidad beta se utilizó el coeficiente de similitud de Bray Curtis en base a la similitud de especies entre puntos de muestreo para los ensambles del perifiton y macorinvertebrados bentónicos, mediante la fórmula:

$$IBC=1 - ((\Sigma xi – yi)) / ((\Sigma xi + yi)) \quad \textit{(Ecuación 9)}$$

Donde,

IBC: es el índice de Bray Curtis
xi: es la abundancia o densidad de especies i en un conjunto 1
yi: es la abundancia de las especies en el otro.

Para facilitar el análisis de los valores de similitud de manera visual, se procedió a elaborar dendogramas mediante la unión de pares promedio (Sokal y Michener, 1958; Crisci y López, 1983), previa transformación con Log (x+1) (Clarke y Warwick, 2001), utilizando el programa estadístico PAST (Hammer *et al.*, 2001). Esta gráfica resume la similitud de las especies entre dos estaciones de monitoreo. Asimismo, se realizó un análisis no métrico de escala multidimensional (NMDS, por sus siglas en inglés) para observar la distribución espacial de los ensambles del perifiton y macorinvertebrados bentónicos en 2 dimensiones.

En todos los casos, para complementar los resultados del análisis de agrupamientos, éste se ejecutó juntamente con una prueba SIMPROF (perfil de similitudes), que evalúa la hipótesis nula de homogeneidad en la abundancia de taxones específicos entre los puntos de muestreo (Clarke y Gorley, 2006). El resultado de la prueba se visualiza en un dendrograma en el cual pueden distinguirse los grupos que son significativamente diferentes (nivel de significancia P=0,05).

d) 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 eligió en el sitio de muestreo un tramo que midió entre 50 m y 100 m de longitud, en el cual se observaron y valoraron 2 grupos de variables:

- Características hidromorfológicas: incluyó observaciones de vegetación de ribera, de paisaje próximo al río y de algunos elementos del canal del río como su forma y sustrato. Mediante estas observaciones se estimó la calidad hidromorfológica.

- Organismos que habitan el agua: macroinvertebrados bentónicos. Se estimó. la calidad biológica con información de la composición de especies por estación de muestreo y el respectivo valor de tolerancia de cada orden taxonómico.

La calidad hidromorfológica se estimó a partir de la observación de 8 características hidromorfológicas, 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 elección del puntaje para cada característica fue detallado en los datos de campo (Anexo 2: RC 044-2020-STEC). Una vez obtenidas las puntuaciones para cada característica hidromorfológica se obtuvo una sumatoria de todas ellas, con la finalidad de tener un solo valor por estación de muestreo. Finalmente, para obtener la calidad hidromorfológica, dicho valor fue comparado con la siguiente escala (Tabla 5.24).

Tabla 5.24. Valoración de la calidad hidromorfológica del río

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

Fuente: Encalada *et al.*, 2011

La calidad biológica de los hábitats acuáticos en el área de evaluación se estimó a través del ABI. Este índice desarrollado para ríos altoandinos (sobre los 2000 m s. n. m.) se obtiene sumando los valores de sensibilidad de cada familia de macroinvertebrados bentónicos (Tabla 5.25) presente en cada punto de muestreo. Cabe indicar que el índice ABI forma parte de un protocolo de evaluación de la «calidad ecológica de los ríos andinos-CERA» (Acosta *et al.*, 2009).

Tabla 5.25. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI

Orden/Clase	Familia	Puntaje	Orden/Clase	Familia	Puntaje
Turbellaria	*	5	Trichoptera	Polycentropodidae	8
Hirudinea	*	3		Xiphocentronidae	8
Oligochaeta	*	1		Glossosomatidae	7
Gasteropoda	Ancylidae	6		Limnephilidae	7
	Hydrobiidae	3		Hydroptilidae	6
	Limnaeidae	3		Hydropsychidae	5
	Physidae	3	Lepidoptera	Pyralidae	4
	Planorbidae	3	Coleoptera	Dryopidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Elmidae	5
Amphipoda	Hyalellidae	6		Hydraenidae	5
Hydracarina		4		Lampyridae	5
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	10		Psephenidae	5
	Oligoneuridae	10		Ptilodactylidae	5
	Leptohyphidae	7		Scirtidae (helodidae)	5

Orden/Clase	Familia	Puntaje	Orden/Clase	Familia	Puntaje
	Baetidae	4		Gyrinidae	3
Odonata	Polythoridae	10		Dytiscidae	3
	Calopterygidae	8		Hydrophilidae	3
	Gomphidae	8		Staphylinidae	3
	Aeshnidae	6	Diptera	Blepharoceridae	10
	Coenagrionidae	6		Athericidae	10
	Libellulidae	6		Simuliidae	5
Plecoptera	Perlidae	10		Tipulidae	5
	Gripopterygidae	10		Ceratopogonidae	4
Heteroptera	Corixidae	5		Dixidae	4
	Gerridae	5		Dolichopodidae	4
	Naucoridae	5		Empididae	4
	Notonectidae	5		Limoniidae	4
	Veliidae	5		Stratiomyidae	4
	Belostomatidae	4		Tabanidae	4
Trichoptera	Anomalopsychidae	10		Psychodidae	3
	Calamoceratidae	10		Chironomidae	2
	Helicopsychidae	10		Culicidae	2
	Odontoceridae	10		Ephydridae	2
	Hydrobiosidae	8		Muscidae	2
	Leptoceridae	8		Syrphidae	1
	Philopotamidae	8			

*: La categoría taxonómica familia no presenta puntuación, por ende, la categoría taxonómica superior (Orden/Clase) es la que otorga la puntuación.
Fuente: Acosta *et al.*, 2009

Para obtener el respectivo valor de calidad hidromorfológica, dichos valores fueron comparados con la siguiente escala (Tabla 5.26).

Tabla 5.26. 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: Acosta *et al.*, 2009

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 5.27).

Tabla 5.27. 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: Encalada *et al.*, 2011

Adicionalmente, para estimar el grado de perturbación del ensamble de macroinvertebrados bentónicos, se recategorizaron las especies registradas a grupos bioindicadores, definidos referencialmente a partir de la clasificación de familias del índice ABI (Acosta *et al.*, 2009), considerando 3 grupos: el primero correspondió a las especies que se agrupan dentro de familias sensibles, que presentan un alto nivel de sensibilidad según las categorías del ABI

(entre 8 y 10); el segundo grupo correspondió a las especies que se agrupan dentro de familias facultativas, que según las condiciones pueden tener un grado intermedio de sensibilidad/tolerancia (entre 4 y 7); finalmente, el tercer grupo comprendió a las especies que se agrupan dentro de familias tolerantes, que presentan un bajo nivel de sensibilidad (entre 1 y 3).

e) Análisis multivariados

- **Análisis multivariado por permutaciones (PERMANOVA)**

Con la finalidad de contrastar las asociaciones espaciales sobre la proximidad o distancia para los distintos grupos y/o puntos de muestreo, según el factor definido, se empleó el método de análisis multivariado por permutaciones PERMANOVA+® (Anderson *et al.*, 2008).

Se empleó el método de permutación no restringido de datos brutos (*unrestricted permutation of raw data*), considerando que los resultados podrían verse afectados y las estimaciones por permutación podrían no ser precisas ya que no todos los niveles por factores poseen un número alto de muestras. En los casos donde el número de permutaciones fue inferior a 100, se realizó el *test* de Monte Carlo, prefiriendo en estos casos su valor P (P-values) estadístico, por encima del valor P proveniente del análisis PERMANOVA (Anderson *et al.*, 2008), dado que un número bajo de muestras puede promover un número bajo de permutaciones para algunos niveles (factor cuerpo de agua).

El diseño estadístico correspondió al análisis entre los grupos previamente definidos en relación con los cuerpos de agua identificados en el área de estudio. El análisis de permanova se realizó empleando 999 permutaciones.

5.3.7. Criterios de evaluación

Agua

Los resultados de agua superficial fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua aprobados en los IGA[28] y vigente (Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM).

Según la Resolución Jefatural N.° 056-2018-ANA del 13 de febrero del 2018; el río Coralaque se clasifica como Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales; y de acuerdo a lo indicado en la Tercera Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, sobre la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados, los ríos que no se encuentran clasificados, asumirán transitoriamente la categoría del río principal al que tributan, por lo tanto los ríos: Queullirijahuiri, Aruntaya y Titire serán evaluados con la Categoría 3.

[28] Modificación del estudio de impacto ampliación de operaciones por ampliación de Pad 3 y botadero de desmonte del proyecto Tucari. Resolución Directoral N°501-2014-MEM-DGAAM, del 02 de octubre de 2014.
(…)
7.6. ***Programa de Monitoreo Ambiental***
(…)
7.6.2. Monitoreo de calidad de agua superficial. - Para el presente monitoreo se han considerado quince (15) estaciones de muestreo para determinar la calidad del agua superficial, determinando los parámetros establecidos en la ***Categoría 3: Riego de vegetales y Bebidas de Animales, del D.S. N°002-2008/MINAM****, Estándares de Calidad Ambiental para Agua.*
(…)

Los resultados de agua subterránea fueron comparados referencialmente con la normativa vigente de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM, y con la normativa del instrumento de gestión ambiental del administrado (Decreto Supremo N.° 002-2008-MINAM[29]).

Adicionalmente, los resultados de agua superficial y subterránea fueron comparados con los datos históricos de línea base e informes de monitoreo trimestrales presentados por el administrado, y estudios previos realizados por otras instituciones públicas (Ingemmet, ANA) y privada (Anglo American Quellaveco S.A.[30]) en aquellos puntos donde se contó con dicha información.

Para determinar la longitud de la zona de mezcla dentro del análisis de balance de masas (río o quebradas) se considerará lo indicado en el numeral 5.1 de la Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA «Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales», el cual debería ser 200 m y de acuerdo a lo establecido en la aprobación del vertimiento; sin embargo, en caso haya presencia de afloramientos y aportantes en ese tramo se considerará una distancia menor, para ello la zona de mezcla del cuerpo receptor quedará delimitada hasta antes de la confluencia con algún aportante de acuerdo a la «Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de agua residuales tratadas a un cuerpo natural de agua», aprobada mediante Resolución Jefatural N.° 108-2017-ANA.

Para el caso de balance de masas en ríos y quebradas sin aporte de efluentes y agua residual industrial tratada de manera referencial se considerará los 200 m de zona de mezcla.

Sedimento

Para el caso de los resultados de sedimentos, estos no cuentan con una normatividad nacional de comparación, por lo que se utilizará de manera referencial a los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG (*Canadian Environmental Quality Guidelines – Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Fresh water*) [31] considerados para sedimentos de agua dulce.

Adicionalmente, se realizó la comparación de resultados obtenidos en los principales ríos de la unidad hidrográfica Coralaque, con los resultados de estudios previos realizados por el Ingemmet, ANA, OEFA, Anglo American Quellaveco S.A[32].

Comunidades hidrobiológicas

Se realizó la comparación de resultados obtenidos en los principales ríos de la unidad hidrográfica Coralaque en esta evaluación, con los resultados de estudios previos realizados por el OEFA.

29 «Modificación del estudio de impacto ampliación de operaciones por ampliación de Pad 3 y botadero de desmonte del proyecto Tucari», aprobado mediante Resolución Directoral N.º 501-2014-MEM-DGAAM, el 2 de octubre de 2014.

30 Anglo American Quellaveco S.A, reporta puntos de monitoreo en los ríos Titire y Coralaque desde el 2010, los cuales serán utilizados para el análisis.

31 *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Fresh water* (Guía de calidad ambiental de Canadá para sedimentos en cuerpos de agua dulce). Disponible en: http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/.

32 Anglo American Quellaveco S.A, reporta puntos de monitoreo de sedimentos en los ríos Titire y Coralaque, desde el 2013.

5.4. Objetivo específico 4: Determinar la influencia del drenaje de ácido de mina o el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia – Tucari sobre el suelo, flora y fauna de la zona Margaritani, y los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque.

5.4.1. Suelo

La evaluación de calidad de suelo comprendió dentro del área de estudio, únicamente la zona Margaritani, donde se tomaron muestras en seis áreas de potencial interés (API), ubicadas en áreas aledañas al wetland norte (API I), y áreas aledañas a la zona baja del wetland sur (API II, III, IV, V y VI). También, se tomaron cinco muestras simples para puntos blancos y quince muestras compuestas para determinar valores de niveles de fondo y niveles de referencia de metales, las cuales estuvieron ubicadas en áreas aledañas al wetland sur. Adicionalmente, se tomaron dos muestras de suelo en un bofedal ubicado a la margen derecha de la quebrada Margaritani. Además, se tomaron dos muestras de lodos: una muestra la poza de sedimentación N.º 5000; y la otra a 3 m al norte de esta, con la finalidad de caracterizar las propiedades fisicoquímicas de estos lodos.

5.1.2.1 Guías utilizadas para la evaluación

La evaluación de la calidad ambiental de suelos se llevó a cabo tomando en cuenta los documentos listados en la Tabla 5.28. El muestreo se basó principalmente en los lineamientos establecidos en la «Guía para el muestreo de suelos» y «Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos», aprobadas mediante Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM; donde se indica que se debe de llevar a cabo la delimitación de áreas potencialmente afectadas, así como el levantamiento técnico del sitio, entre otras actividades, que sirvieron de sustento para la planificación y ejecución de los muestreos de suelos en las zonas de estudio.

Cabe resaltar que durante las acciones de evaluación se tomó muestras simples y se empleó el muestreo dirigido[33], aplicando la técnica de muestreo superficial[34] de acuerdo con los establecido en la «Guía para el muestreo de suelos» aprobadas mediante Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM.

Tabla 5.28. Referencias para el muestreo de suelo

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía para muestreo de suelos	Sección 1.3. Tipos de muestreo, sección 5. Determinación de puntos de muestreo y anexo N° 2 del documento	Perú	Ministerio del Ambiente	Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM	2014

[33] **Glosario de la Guía para el Muestreo de Suelos, aprobada por la Resolución Ministerial N" 085-2014-MINAM.**
"I. Glosario
(...)
Muestra simple: Las muestras colectadas en un tiempo y en un lugar particular son llamadas muestras imples. Este tipo de muestras representa las condiciones puntuales de una muestra de la población en el tiempo que fue colectado. (...)
Muestreo dirigido: Es la actividad por medio de la cual se toman muestras representativas sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y/o es evidente la extensión de la afectación.

[34] **Guía para el Muestreo de Suelos, aprobada por la Resolución Ministerial Nº 085-2014-MINAM.**
"2. Técnica de muestreo
(...)
2.1 Para muestras superficiales.
(...)

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos	Sección 1				
Manual de lineamientos y procedimientos para la elaboración y evaluación de «Informes de Identificación de Sitios Contaminados»	Parte A			No aplica	2015
Criterios para la gestión de sitios contaminados	Todo el documento			Decreto Supremo N.° 012-2017-MINAM	2017

5.1.2.2 Ubicación de los puntos de muestro

Para la ubicación de los puntos de muestreo se ha tenido en consideración 2 actividades principales: en primer lugar, se identificaron zonas que presentan fuentes de potencial contaminación (Depósitos de desmonte, plantas de tratamiento de aguas ácidas); en segundo lugar, zonas con indicios de derrames de lodos y drenajes ácidos.

a) Áreas de potencial interés

La determinación de las áreas de potencial interés, tuvo como factor principal la evidencia de huellas de derrames (por ejemplo, lodos con coloración distinta al suelo natural, así como escorrentías de agua ácida), que descargan sobre el suelo, asociados a los principales componentes mineros, depósito de desmonte y pozas de sedimentación que se identificaron durante la evaluación, teniendo en cuenta los mecanismos de transporte y exposición de contaminantes desde una fuente potencial, hasta los posibles receptores.

En ese sentido, se identificó cinco (5) áreas donde se observó lodos de una coloración distinta al suelo natural, conforme se presenta en las Tablas 5.29 y 5.30.

Tabla 5.29. Áreas aproximadas donde se observó lodos

Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19 K					API asociado
Área aproximada	Vértice	Este	Norte	Área (Ha)	
Área 1	V1	371099	8167503	0,04	API-II
	V2	371101	8167531		
	V3	371130	8167534		
	V4	371125	8167519		
Área 2	V1	371187	8167547	0,40	API-III
	V2	371209	8167600		
	V3	371138	8167603		
	V4	371109	8167553		
Área 3	V1	371284	8167562	0,45	API-IV
	V2	371295	8167634		
	V3	371229	8167619		
	V4	371204	8167563		
Área 4	V1	371396	8167567	0,44	API-V
	V2	371401	8167619		
	V3	371324	8167622		
	V4	371314	8167568		
Área 5	V1	371412	8167582	0.01	API-VI
	V2	371409	8167588		
	V3	371404	8167588		
	V4	371405	8167578		

Tabla 5.30. Áreas aproximadas donde se observó escorrentía de aguas ácidas

Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19 K					API asociado
Área aproximada	Vértice	Este	Norte	Área (Ha)	
Área 6	V1	373264	8168494	1,68	API-I
	V2	373260	8168450		
	V3	373216	8168418		
	V4	373175	8168422		
	V5	373011	8168565		
	V6	373064	8168588		
	V7	373152	8168554		

En cada una de las API se colectaron muestras de suelo según el detalle de la Tabla 5.31.

Tabla 5.31. Ubicación de los puntos de muestreo de los API

Área de potencial interés	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
API I	SU-1	373257	8168494	4948	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 95 m al noreste del wetland norte.
	SU-2	373240	8168449	4948	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 55 m al noreste del wetland norte.
	SU-3	373226	8168425	4952	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 45 m al noreste del wetland norte.
	SU-4	373178	8168429	4955	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 88 m al noreste del wetland norte.
	SU-5	373181	8168475	4940	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 115 m al noreste del wetland norte.
	SU-6	373188	8168525	4936	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 150 m al noreste del wetland norte.
	SU-7	373147	8168555	4940	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 195 m al noreste del wetland norte.
	SU-8	373143	8168526	4953	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 175 m al noreste del wetland norte.
	SU-9	373122	8168502	4952	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 170 m al noreste del wetland norte.
	SU-10	373109	8168495	4949	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 182 m al noreste del wetland norte.
	SU-11	373071	8168551	4945	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 245 m al noreste del wetland norte.
	SU-12	373106	8168559	4944	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 222 m al noreste del wetland norte.
	SU-13	373091	8168575	4941	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 250 m al noreste del wetland norte.
	SU-14	373060	8168585	4940	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 278 m al noreste del wetland norte.
	SU-15	373029	8168563	4933	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 285 m al noreste del wetland norte.
API-II	ESP-1	371125	8167525	4797	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 56 m aguas abajo del punto de muestreo agua superficial E-2.
	ESP-2	371112	8167528	4788	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a

Área de potencial interés	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
					68 m aguas abajo del punto de muestreo agua superficial E-2.
	ESP-3	371101	8167519	4792	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 74 m aguas abajo del punto de muestreo agua superficial E-2.
API-III	ESP-6	371123	8167561	4800	Punto de muestreo de suelo ubicado en parte baja del wetland sur, aproximadamente a 58 m al norte de la margen derecha de la quebrada Apostoloni
	ESP-7	371160	8167568	4803	Punto de muestreo de suelo ubicado en parte baja del wetland sur, aproximadamente a 85 m al norte de la margen derecha de la quebrada Apostoloni
	ESP-8	371190	8167568	4804	Punto de muestreo de suelo ubicado en parte baja del wetland sur, aproximadamente a 90 m al norte de la margen derecha de la quebrada Apostoloni.
	ESP-23	371148	8167576	4804	Punto de muestreo de suelo ubicado en parte baja del wetland sur, aproximadamente a 78 m al norte de la margen derecha de la quebrada Apostoloni.
API-IV	ESP-9	371220	8167588	4807	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 480 m al noroeste.
	ESP-10	371241	8167595	4810	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 470 m al noroeste.
	ESP-11	371255	8167605	4810	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 460 m al noroeste.
	ESP-12	371266	8167586	4809	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 440 m al noroeste.
	ESP-13	371282	8167581	4811	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 420 m al noroeste.
API-V	ESP-14	371331	8167584	4813	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 385 m al noroeste.
	ESP-15	371347	8167583	4810	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 365 m al noroeste.
	ESP-16	371360	8167596	4807	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 355 m al noroeste.
	ESP-17	371359	8167577	4807	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 350 m al noroeste.
	ESP-18	371381	8167581	4808	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 340 m al noroeste.
	ESP-19	371391	8167592	4815	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 330 m al noroeste.
	ESP-20	371396	8167581	4815	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 320 m al noroeste.
API-VI	ESP-21	371406	8167584	4815	Punto de muestreo de suelo ubicado en zona baja del wetland sur, aproximadamente a 320 m al noroeste.

b) Puntos blancos

La ubicación de los puntos blancos de muestreo se realizó en áreas aledañas a los API, con similares características morfológicas, geológicas, climáticas y vegetación, planteando un modelo sistemático o aleatorio estratificado.

Los 5 puntos de muestreo se realizaron a la misma profundidad determinadas para las API. El tipo de muestra de suelo fue simple; el detalle se encuentra en la Tabla 5.32.

Tabla 5.32. Ubicación de los puntos de muestreo para blancos de control

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			Ubicación
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
ESP-BK-1	371333	8167753	4814	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 30 m al sur.
ESP-BK-2	371018	8167740	4806	Punto de muestreo de suelo ubicado a la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 160 m al norte del punto de muestreo de agua superficial E-3.
ESP-BK-3	371003	8167590	4797	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 42 m al suroeste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
ESP-BK-4	371043	8167540	4792	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 150 m aguas abajo del punto de muestreo de agua superficial E-2.
ESP-BK-5	371254	8167496	4799	Punto de muestreo de suelo ubicado aproximadamente a 30 m norte de la margen derecha de la quebrada Apostoloni, y a 100 m al este del punto de muestreo de agua superficial E-2.

c) Niveles de fondo y niveles de referencia

Los 15 puntos de muestreo se realizaron a la misma profundidad determinadas para las API. El tipo de muestra de suelo fue compuesto; el detalle se encuentra en la Tabla 5.33.

Tabla 5.33. Ubicación de los puntos de muestreo para la determinación de niveles de fondo y referencia

Punto de muestreo	Muestra compuesta	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
NF1-1	NF1-1-1	371214	8167439	4813	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 60 m al sureste del punto de muestreo agua superficial E-2.
	NF1-1-2	371211	8167436	4813	
	NF1-1-3	371213	8167431	4812	
NF1-2	NF1-2-1	371165	8167449	4805	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 30 m al sur del punto de muestreo agua superficial E-2.
	NF1-2-2	371167	8167444	4804	
	NF1-2-3	371160	8167440	4806	
NF1-3	NF1-3-1	371112	8167458	4808	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 60 m al suroeste del punto de muestreo agua superficial E-2.
	NF1-3-2	371102	8167453	4808	
	NF1-3-3	371094	8167460	4806	
NF1-4	NF1-4-1	371055	8167456	4798	Punto de muestreo ubicado en margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 40 m al sur, y a 95 m al sureste de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni.
	NF1-4-2	371048	8167457	4804	
	NF1-4-3	371046	8167460	4802	
NF1-5*	NF1-5-1	371022	8167475	4802	Punto de muestreo ubicado en margen izquierda de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 30 m al sur, y a 56 m al sureste de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni.
	NF1-5-2	371015	8167478	4802	
	NF1-5-3	371023	8167482	4800	
NF1-6	NF1-6-1	370967	8167485	4788	Punto de muestreo ubicado aproximadamente a 20 m al sur de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni
	NF1-6-2	370972	8167488	4793	
	NF1-6-3	370972	8167480	4796	
NF1-7	NF1-7-1	371001	8167575	4795	Punto de muestreo ubicado en margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 30 m al norte, y a
	NF1-7-2	370990	8167575	4799	

Punto de muestreo	Muestra compuesta	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
	NF1-7-3	370997	8167569	4798	65 m al noreste de la confluencia entre las quebradas Margaritani y Apostoloni
NF1-8	NF1-8-1	370969	8167612	4796	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 75 m al oeste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-8-2	370980	8167616	4804	
	NF1-8-3	370986	8167606	4801	
NF1-9	NF1-9-1	370977	8167672	4801	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 90 m al noroeste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-9-2	370973	8167675	4806	
	NF1-9-3	370982	8167677	4805	
NF1-10	NF1-10-1	371012	8167718	4802	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 120 m al noroeste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-10-2	371005	8167721	4800	
	NF1-10-3	371016	8167724	4798	
NF1-11	NF1-11-1	371067	8167761	4804	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 160 m al norte del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-11-2	371074	8167769	4802	
	NF1-11-3	371081	8167767	4802	
NF1-12	NF1-12-1	371153	8167788	4808	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 200 m al noreste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-12-2	371157	8167782	4802	
	NF1-12-3	371163	8167789	4807	
NF1-13	NF1-13-1	371298	8167737	4809	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 280 m al noreste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-13-2	371301	8167726	4811	
	NF1-13-3	371287	8167728	4808	
NF1-14	NF1-14-1	371162	8167675	4805	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 130 m al noreste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-14-2	371159	8167665	4802	
	NF1-14-3	371154	8167675	4801	
NF1-15	NF1-15-1	371089	8167606	4797	Punto de muestreo de suelo ubicado en la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 35 m al sureste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	NF1-15-2	371095	8167597	4797	
	NF1-15-3	371086	8167597	4799	

d) Lodos

Asimismo, dos muestras de lodos provenientes del sistema de tratamiento de aguas ácidas, wetland Sur: una muestra de la poza de sedimentación N.° 5000 y la otra a 3 m al norte de esta, producto de un derrame. Estas muestras fueron colectadas con la finalidad de conocer las características fisicoquímicas de los lodos; y establecer alguna relación con los resultados obtenidos en las API, el detalle de su ubicación se encuentra en la Tabla 5.34.

Tabla 5.34. Ubicación de los puntos de lodo

Matriz	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			fecha	hora	Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)			
Lodo	ESP-5	371652	8167483	4844	5/10/2020	16:21	Lodo proveniente de la poza de sedimentación 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur.
	ESP-22	371618	8167489	4844	8/10/2020	09:30	Punto de muestreo de lodo ubicado a 3 m al norte de la poza de sedimentación

Matriz	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			fecha	hora	Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)			
							5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur.

e) Bofedal margen derecho de la quebrada Margaritani

Se colectaron dos muestras de suelo del bofedal ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, para conocer las características fisicoquímicas del suelo (Tabla 5.35).

Tabla 5.35. Ubicación de los puntos de muestreo en bofedal

Áreas de estudio	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K			fecha	hora	Ubicación
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)			
Flora (Bofedal)	SU-16	371034	8167672	4803	10/10/2020	15:47	Punto de muestreo de suelo ubicado en la zona de bofedal, aproximadamente a 60 m al noreste del punto de muestreo de agua superficial E-3.
	SU-17	371075	8167731	4804	10/10/2020	16:15	Punto de muestreo de suelo ubicado en la zona de bofedal, aproximadamente a 130 m al norte del punto de muestreo de agua superficial E-3.

5.1.2.3 Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros analizados, fueron determinados teniendo en cuenta el tipo de actividad de la zona (minería), y los contemplados en los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo de la normativa vigente (Tabla 5.36).

Tabla 5.36. Parámetros evaluados

Parámetros de laboratorio		Método de análisis	Descripción
Metales totales		EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev. 2 (2014) VAL	Metales por ICP-MS
Cianuro libre		EPA Method 9013A Rev. 2-2014/SMEWW 4500 CN F. 23rd Ed. 2017	Electrometría
Caracterización de suelo	Análisis mecánico – clase textural (arena, limo, arcilla)	Hidrómetro de Bouyoucos	-
	Cationes cambiables: Al^{+3}, Ca^{+2}, Capacidad de Intercambio Catiónico, K^{+}, Mg^{+2} y Na^{+}.	Método Yuan extracción con cloruro de potasio 1N. Determinaciones en el extracto de amonio, 1N Método del acetato de amonio 1N. pH 7	Volumetría ICP-MS
	Fisicoquímicos generales: Carbonato de calcio (CaCO3), conductividad (1:1) (V/V), Fosforo disponible, materia orgánica, pH (1:1) (V/V) y potasio disponible	Método Gaso-volumetrico en calcímetro Medida del extracto acuoso en la relación suelo-agua 1:1 Método Olsen modificado, extracción con NaHCO3 0,5 N Método de Walkey y Black Medida en el potenciómetro de la suspensión suelo-agua 1:1 Saturación con acetato de amonio 1N. pH 7	Lectura ICP-MS -
Análisis granulométrico		ASTM D422-63 (Reapproved 2007)	Particle - Size Analysis of Soils

Parámetros de laboratorio	Método de análisis	Descripción
Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier	EPA 6020 B Rev. 2. July 2014	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry

5.1.2.4 Equipos y materiales

Para la evaluación se utilizó equipos y materiales utilizados se detallan en el RC 058-2020-STEC (Anexo 3).

5.1.2.5 Procesamiento de datos

Todos los puntos evaluados en las áreas de potencial interés, puntos blancos y los adicionales del bofedal y los lodos fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (hojas de cálculo), para luego ser comparados referencialmente, mediante el uso de gráficos de líneas y/o barras, según corresponda. Los resultados análisis de extracción secuencial mediante la metodología de Tessier, son presentados en graficas porcentajes para poder observar la disponibilidad de metales en cada una de las fracciones.

5.1.2.6 Criterios de evaluación

Los resultados analíticos de los metales obtenidos de los muestreos de identificación y los puntos blancos fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelos de uso industrial, aprobados mediante Decreto Supremo N.° 011-2017-MINAM.

En el caso de los metales que pueden ser derivados de las actividades relacionadas con la actividad en estudio y no se encuentran reguladas en los ECA para suelo, la comparación se realizó de manera referencial con los valores para suelos de uso industrial establecidos en la guía canadiense *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health* de uso industrial (en adelante, CSQG para suelo industrial) de la *Canadian Council of Minister of the Environment* (CCME, 1991; 1996; 2001; 2006; 2009; 2015; 2018), conforme a lo dispuesto en la guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos, aprobada mediante Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM.

Los puntos de muestreo de las API ubicadas en la zona baja del wetland Sur adicionalmente fueron comparados de manera referencial con los valores de niveles de fondo y niveles de referencia (Tabla 5.37), detallados en el Anexo 10, Informe N° 251- 2020-STEC-DEAM, donde se menciona la metodología de análisis y cálculo de resultados.

Tabla 5.37. Valores de nivel de fondo y de referencia

N.º	Parámetro	Unidad	Valores de nivel de fondo	Valores de nivel de referencia
1	Aluminio	mg/kg PS	24892	38456
2	Antimonio	mg/kg PS	0,53	0,753
3	Arsénico	mg/kg PS	135,4	249,4
4	Bario	mg/kg PS	572	992,8
5	Berilio	mg/kg PS	0,237	0,349
6	Boro	mg/kg PS	11,87	15,8
7	Cadmio	mg/kg PS	0,0519	0,116
8	Calcio	mg/kg PS	1812	2984
9	Cobalto	mg/kg PS	4,989	10,69
10	Cobre	mg/kg PS	30,77	42,67
11	Cromo	mg/kg PS	11,44	18,42
12	Estaño	mg/kg PS	1,126	1,6
13	Estroncio	mg/kg PS	145,9	231,5

N.º	Parámetro	Unidad	Valores de nivel de fondo	Valores de nivel de referencia
14	Fósforo	mg/kg PS	0,998	1
15	Hierro	mg/kg PS	49561	54177
16	Litio	mg/kg PS	4,951	8,106
17	Magnesio	mg/kg PS	2318	3506
18	Manganeso	mg/kg PS	569	962
19	Mercurio	mg/kg PS	N.D.	N.D.
20	Molibdeno	mg/kg PS	1,599	2,253
21	Níquel	mg/kg PS	4,243	8,557
22	Plata	mg/kg PS	0,206	0,278
23	Plomo	mg/kg PS	84,2	167,8
24	Potasio	mg/kg PS	2863	3436
25	Selenio	mg/kg PS	1,542	1,762
26	Sodio	mg/kg PS	464,4	771,8
27	Talio	mg/kg PS	2,914	4,628
28	Titanio	mg/kg PS	393,3	863,8
29	Vanadio	mg/kg PS	83,54	106
30	Zinc	mg/kg PS	36,46	58,39

N.D.: No determinado

Respecto a los resultados de caracterización de suelo y análisis granulométrico, fueron analizados o clasificados según los criterios de clasificación para los parámetros edáficos corresponden al anexo N.º IV de la guía de clasificación de los parámetros edáficos correspondiente al reglamento de clasificación de tierras para su capacidad de uso mayor (Decreto supremo N.º 017-2009-AG). El detalle de los resultados se presenta en el Anexo 3, reporte de resultados N° RR-00X-2020-STEC.

5.4.2. Flora

5.4.2.1. Guías utilizadas para la evaluación de flora

Los documentos usados como guía y manual para la ejecución de la evaluación de flora en la UF Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque, se mencionan en la Tabla 5.38.

Tabla 5.38. Protocolos de muestreo para la evaluación de flora

Referencia	Sección/ Capítulo	País	Institución/autor	Año
Guía de inventario de la flora y vegetación del Ministerio del Ambiente (2015)	Todo	Perú	Ministerio del Ambiente - Minam	2015
Lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación terrestre (2018)	Todo	Perú	Ministerion de Agricultura y Riego	2018
Lineamientos para establecer hábitats críticos y sus medidas de conservación (2019)	Todo	Perú	Ministerion de Agricultura y Riego	2019
Manual de pastos y forrajes altoandinos (Florez, A., 2005)	Todo	Perú	Universidad Nacional La Molina	2005
Real Decreto del gobierno españos 465/2003 Relacionado a sustancias indeseables en alimento animal (BOE-A-2003-8717).	Todo	España	Comunidad Europea España	2003
Norma General para los Contaminantes y la Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos. Codex alimentarius (Codex Stan 193-195-2019)	Todo	ONU - FAO	Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	2019

5.4.2.2. Clasificación de coberturas e índices de vegetación

Las guías utilizadas para la clasificación de coberturas e índices de vegetación se detallan en la Tabla 5.39. La metodología aplicada para la clasificación de coberturas tiene como base la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a una escala 1:100000. Asimismo, se consideró parte de las especificaciones técnicas para la producción cartográfica a escala 1:1000, especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global y la guía para la elaboración de planes de vuelo con RPAS (Remotely Piloted Aircraft System; Sistema de aeronaves pilotadas a distancia), que en su conjunto establecen criterios técnicos para la adquisición de datos mediante técnicas de teledetección[35].

Tabla 5.39. Protocolos de muestreo para la clasificación de coberturas

Referencia	Sección / Capítulo	País	Institución/autor	Año
Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100000	Sección 3.2 Metodología	Colombia	Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM	2008
Especificaciones técnicas para la producción de cartografía básica escala 1:1000	Capitulo III: Especificaciones técnicas para Levantamiento Fotogramétrico	Perú	Instituto Geográfico Nacional - IGN	2011
Especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global	Capítulo III: Especificaciones técnicas para el Posicionamiento Geodésico Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global	Perú	Instituto Geográfico Nacional - IGN	2015
Guía para la elaboración de planes de vuelo con RPAS	Todo	Perú	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres - CENEPRED	2017

5.4.2.3. Ubicación de zonas y parcelas de evaluación

a) Zonas de evaluación

Las zonas seleccionadas para la evaluación de flora silvestre y principales cultivos se listan en la Tabla 5.40 asimismo, estas zonas fueron sectorizadas siguiendo la clasificación de zonas propuestas por los componentes suelos, agua y sedimentos, todas pertenecientes a la Unidad Hidrográfica Coralaque.

Para la clasificación de coberturas e índices de vegetación se realizaron levantamientos fotogramétricos con RPAS en 3 zonas (1. Qeullirijahuiri, 2. Margaritani y 3. Aruntaya), sobre las cuales, los datos obtenidos de los sobrevuelos se detallan en la Tabla 5.41.

En la Figura 5.22 se observan las zonas de evaluación de flora silvestre y zonas de sobrevuelos con RPAS, así como la ubiación de las parcelas evaluadas y los levantamientos fotogrametricos.

Tabla 5.40. Zonas para evaluación de flora silvestre y principales cultivos en la UH Coralaque

Área	Zona	Sector	Puntos de suelo y agua asociados
Unidad Fiscalizable Florencia Tucari y Unidad Hidrográfica Coralaque	Queullirijahuiri	- Bo. Blanco 1	Río Queullirijahuiri (naciente) Calidad del Agua superficial AG-14 y MA-15
		- Bo. Blanco 2	Río Queullirijahuiri (naciente) Calidad del Agua superficial MT-35 y MT-32
	Margaritani	- Bo. Wetland Norte	Calidad de Suelos (puntos TU-SU-45, TU-SU-48 y SU-04, SU-05, SU-07, SU-08, SU-09, SU-10, SU-11 Y SU-13)

[35] Técnica que nos permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. (Chuvieco, 2010)

Área	Zona	Sector	Puntos de suelo y agua asociados
		- Bo. Botadero Norte	Calidad de Suelos (NF2-1 y (NF2-8) y Agua Superficial (puntos TU-24, TU-25, TU-26, MT-BO4 y MT-BO5)
		- Sec. Wetland Sur	Calidad de Suelos (TU-SU-01 AL TU-SU-05 y TU-SU-12) Y Agua superficial (FTU)
		- Bo. Qda. Margaritani	Calidad de Suelos (NF1-12, NF1-11, SU-17 y SU-16), Agua superficial (E-3)
		- Sec. Qda. Apostoloni	Calidad de suelos (TU-SU-22 y TU-SU-23)
	Aruntaya	- Parte alta de Aruntaya	Río Margaritani Calidad de Agua superficial (AG-19 y RJavi)
		- Parte baja de Aruntaya	Río Margaritani Calidad de Agua (M-3), RArun4 y AG-09)
	Titire Coralaque (CP Pachas)	- Aguas de Coralaque	Calidad de agua superficial (RCora4)
		- Aguas Qda. Condorani	Río Qda. Condorani

Bo: Bofedal

Tabla 5.41. Zonas de levantamiento fotogramétrico con RPAS

Área	Zona	Sector	Tipo de información base
Unidad Fiscalizable Florencia Tucari y Unidad Hidrográfica Coralaque	Queullirijahuiri	- Bo. Blanco 1	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación
		- Bo. Blanco 2	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación
	Margaritani	- Bo. Wetland Norte	Ortomosaico RGB y modelo digital de elevación
		- Bo. Botadero Norte	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación
		- Sec. Wetland Sur	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación
		- Bo. Qda. Margaritani	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación
		- Sec. Qda. Apostoloni	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación
		- Bo. Qda. Apostoloni	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación
	Aruntaya	- Parte baja de Aruntaya	Ortomosaico multiespectral y modelo digital de elevación

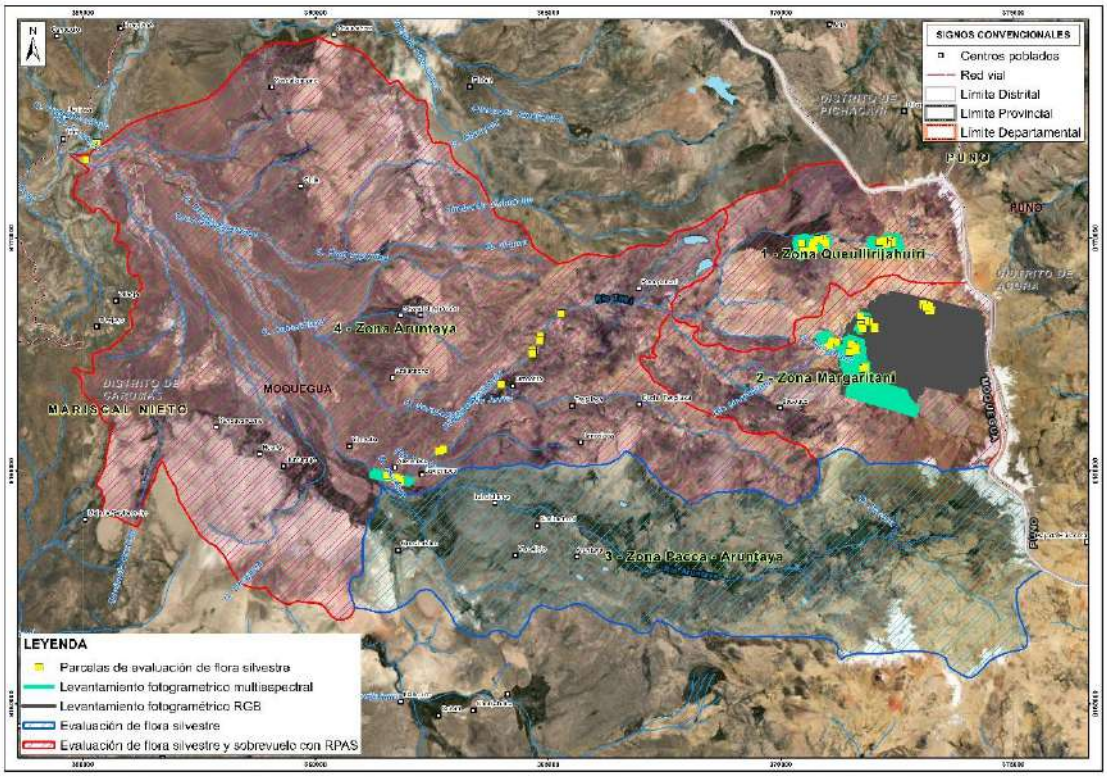


Figura 5.22. Esquema de las zonas de evaluación de flora silvestre

b) Ubicación de parcelas de evaluación

La evaluación de flora silvestre en el área de estudio, se baso en un total de 106 parcelas de 1 m^2, las cuales se distribuyeron en las 3 zonas determinadas para la evaluación: (1) Queullirijahuiri; (2) Margaritani, microcuenca del río Margaritani; área de influencia de la UM Florencia-Tucari, (3) Aruntaya aguas abajo de la UM Florencia-Tucari. Asimismo, la evaluación de los principales cultivos fue realizado en la zona (4) Titire – Coralaque en el centro poblado de Pachas. Las coordenadas de ubicación y descripción de las parcelas y sitios de cultivos se presentan en las Tablas 5.42 y 5.43; asimismo, en el reporte de campo N°. 058-OEFA-STEC-2020, Anexo 2.

c) Ubicación de los levantamientos fotogramétricos con RPAS.

En los levantamientos fotogramétricos con RPAS en el área de estudio, se realizaron un total de 36 sobrevuelos, las cuales se distribuyeron en las 3 zonas determinadas para la evaluación: (1) Queullirijahuiri; (2) Margaritani y (3) Aruntaya. Las coordenadas de ubicación y descripción de los vuelos fotogramétricos con RPAS se detallan en la Tabla 5.44.

Tabla 5.42. Ubicación de parcelas evaluadas en la UM Florencia – Tucari

N.º	Zona	Sector	Código de parcela	N.° de muestras de Tejido vegetal	Código: Parte de tejido vegetal		Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Formación Vegetal
					Raíz	Aérea	Norte (m)	Este (m)		
1	Margaritani	1. Bofedal Wetland Norte	TU-FL1	2	TU-TV-IN1-R	TU-TV-IN1-H	373228	8168428	4946	Bofedal
2			TU-FL2	2	TU-TV-IN2-R	TU-TV-IN2-H	373240	8168449	4948	Bofedal
3			TU-FL3	1	TU-TV-IN3-R	-	373208	8168440	4952	Bofedal
4			TU-FL4	2	TU-TV-IN4-R	TU-TV-IN4-H	373196	8168449	4953	Bofedal
5			TU-FL5	2	TU-TV-IN5-R	TU-TV-IN5-H	373178	8168429	4937	Bofedal
6			TU-FL6	2	TU-TV-IN6-R	TU-TV-IN6-H	373181	8168475	4940	Bofedal
7			TU-FL7	2	TU-TV-IN7-R	TU-TV-IN7-H	373182	8168526	4937	Bofedal
8			TU-FL8	1	TU-TV-IN8-R	-	373147	8168555	4959	Bofedal
9			TU-FL9	-	-	-	373143	8168526	4953	Bofedal
10			TU-FL10	1	TU-TV-IN10-H	-	373122	8168502	4952	Bofedal
11			TU-FL11	-	-	-	373109	8168495	4949	Bofedal
12			TU-FL12	-	-	-	373071	8168551	4944	Bofedal
13			TU-FL13	-	-	-	373091	8168575	4941	Bofedal
14			TU-FL14	-	-	-	373060	8168585	4940	Bofedal
15		2. Bofedal Botadero Norte	TU-FL15	-	-	-	372023	8168053	4860	Matorral
16			TU-FL16	-	-	-	372012	8168064	453	Matorral
17			TU-FL17	-	-	-	372028	8168090	4848	Bofedal
18			TU-FL25	-	-	-	371884	8168197	4841	Bofedal
19			TU-FL26	1	TU-TV-IN26-R	-	371901	8168198	4838	Bofedal
20			TU-FL27	2	TU-TV-IN27-R	TU-TV-IN27-H	371838	8168230	4837	Bofedal
21			TU-FL28	-	-	-	371697	8168313	4843	Bofedal
22			TU-FL29	-	-	-	371696	8168207	4833	Bofedal
23			TU-FL30	-	-	-	371728	8168158	4834	Bofedal
24			TU-FL31	-	-	-	371761	8168051	4832	Bofedal
25			TU-FL32	-	-	-	371739	8168080	4830	Bofedal
26		3. Bofedal Qda. Margaritani	TU-FL41	-	-	-	371126	8167784	4807	Césped de puna
27			TU-FL42	-	-	-	371199	8167765	4804	Césped de puna
28			TU-FL43	-	-	-	371085	8167749	4803	Césped de puna
29			TU-FL44	-	-	-	371082	8167737	4801	Césped de puna

N.º	Zona	Sector	Código de parcela	N.° de muestras de Tejido vegetal	Código: Parte de tejido vegetal		Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Formación Vegetal
					Raíz	Aérea	Norte (m)	Este (m)		
30			TU-FL45	-	-	-	371073	8167648	4792	Césped de puna
31			TU-FL46	-	-	-	371046	8167626	4798	Césped de puna
32			TU-FL47	-	-	-	371029	8167640	4801	Césped de puna
33			TU-FL48	-	-	-	370996	8167630	4805	Césped de puna
34			TU-FL49	-	-	-	370993	8167661	4806	Césped de puna
35			TU-FL105	-			371031	8167656	4804	Bofedal
36			TU-FL106	-			371049	8167681	4799	Césped de puna
37		4. Sec. Wetland Sur	TU-FL18	-	-	-	371614	8167599	4825	Bofedal
38			TU-FL19	-	-	-	371620	8167586	4827	Bofedal
39			TU-FL20	2	TU-TV-IN20-R	TU-TV-IN20-H	371613	8167647	4820	Matorral
40			TU-FL21	-	-	-	371622	8167655	4816	Matorral
41			TU-FL22	2	TU-TV-IN22-R	TU-TV-IN22-H	371597	8167677	4810	Bofedal
42			TU-FL23	1	TU-TV-IN23-R	-	371539	8167688	4810	Bofedal
43			TU-FL24	-	-	-	371516	8167716	4813	Bofedal
44			TU-FL33	-	-	-	371490	8167553	4813	Césped de puna
45			TU-FL34	-	-	-	371490	8167533	4817	Césped de puna
46			TU-FL35	-	-	-	371477	8167541	4813	Césped de puna
47		5. Sec. Qda. Apostoloni	TU-FL36	3	TU-TV-IN36-R	TU-TV-IN36-H1 TU-TV-IN36-H2	371814	8167243	4829	Matorral
48			TU-FL37	-	-	-	371813	8167220	4833	Matorral
49			TU-FL38	2	TU-TV-IN38-R	TU-TV-IN38-H	371793	8167213	4827	Bofedal
50			TU-FL39	-	-	-	371775	8167199	4824	Bofedal
51			TU-FL40	-	-	-	371764	8167185	4819	Bofedal
52	Queullirijahuiri	6. Bofedal Blanco 1	TU-FL81	2	TU-TV-OA4-R	TU-TV-OA4-H	370973	8169882	4752	Bofedal
53			TU-FL82	-	-	-	370951	8169938	4752	Bofedal
54			TU-FL83	-	-	-	370915	8169953	4752	Bofedal
55			TU-FL84	-	-	-	370904	8169997	4752	Bofedal
56			TU-FL85	-	-	-	370846	8169989	4752	Bofedal
57			TU-FL86	-	-	-	370783	8169979	4752	Bofedal
58			TU-FL87	-	-	-	370707	8169919	4752	Bofedal

N.º	Zona	Sector	Código de parcela	N.° de muestras de Tejido vegetal	Código: Parte de tejido vegetal		Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Formación Vegetal
					Raíz	Aérea	Norte (m)	Este (m)		
59			TU-FL88	-	-	-	370671	8169839	4752	Bofedal
60			TU-FL89	-	-	-	370709	8169746	4752	Bofedal
61			TU-FL90	-	-	-	370683	8169709	4752	Bofedal
62			TU-FL91	-	-	-	370610	8169710	4752	Bofedal
63			TU-FL92	-	-	-	370455	8169719	4752	Bofedal
64			TU-FL93	-	-	-	370455	8169801	4752	Bofedal
65			TU-FL94	-	-	-	370449	8169871	4752	Bofedal
66		7. Bofedal Blanco 2	TU-FL95	2	TU-TV-CR3-R	TU-TV-CR3-H	372354	8169975	4837	Bofedal
67			TU-FL96	-	-	-	372389	8169939	4835	Bofedal
68			TU-FL97	-	-	-	372388	8169888	4833	Bofedal
69			TU-FL98	-	-	-	372340	8169920	4838	Bofedal
70			TU-FL99	-	-	-	372303	8169955	4838	Bofedal
71			TU-FL100	-	-	-	372289	8169869	4831	Bofedal
72			TU-FL101	-	-	-	372228	8169884	4838	Bofedal
73			TU-FL102	-	-	-	372214	8169933	4835	Bofedal
74			TU-FL103	-	-	-	372166	8169944	4833	Bofedal
75			TU-FL104	-	-	-	372107	8169907	4831	Bofedal
76	Aruntaya	8. Parte alta Aruntaya	TU-FL50	1	TU-TV-LM1	-	365286	8168381	4527	Bofedal
77			TU-FL51	-	-	-	365280	8168378	4527	Bofedal
78			TU-FL52	-	-	-	364833	8167800	4508	Ribera/Césped de puna
79			TU-FL53	-	-	-	364838	8167840	4510	Ribera/Césped de puna
80			TU-FL54	2	TU-TV-OA2-R	TU-TV-OA2-H	364854	8167884	4510	Ribera/Césped de puna
81			TU-FL55	2	TU-TV-OA1-R	TU-TV-OA1-H	364838	8167889	4510	Ribera/Césped de puna
82			TU-FL56	-	-	-	364819	8167803	4507	Ribera/Césped de puna
83			TU-FL57	2	TU-TV-AC1-R	TU-TV-AC1-H	364695	8167581	4492	Ribera/Césped de puna
84			TU-FL58	2	TU-TV-AC2-R	TU-TV-AC2-H	364690	8167588	4497	Ribera/Césped de puna
85			TU-FL59	2	TU-TV-AC3-R	TU-TV-AC3-H	364667	8167596	4498	Ribera/Césped de puna
86			TU-FL60	-	-	-	364664	8167535	4492	Ribera/Césped de puna
87			TU-FL61	2	TU-TV-CV2-R	TU-TV-CV2-H	364658	8167509	4489	Ribera/Césped de puna
88			TU-CG-CV1	2	TU-TV-CV1-Rb	TU-TV-CV1-Hb	364658	8167509	4489	Ribera/Césped de puna

N.º	Zona	Sector	Código de parcela	N.° de muestras de Tejido vegetal	Código: Parte de tejido vegetal		Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Formación Vegetal
					Raíz	Aérea	Norte (m)	Este (m)		
89			TU-FL62	2	TU-TV-OA3-R	TU-TV-OA3-H	363994	8166858	4469	Rivera/Bofedal
90			TU-FL63	2	TU-TV-SPP1-R	TU-TV-SPP1-H	362651	8165420	4440	Ribera/Césped de puna
91			TU-FL64	2	TU-TV-DM1-R	TU-TV-DM1-H	362668	8165406	4445	Ribera/Césped de puna
92			TU-CG-DM3	2	TU-TV-DM3-R	TU-TV-DM3-H	362621	8165139	4452	Ribera/Césped de puna
93			TU-FL65	-	-	-	362694	8165422	4445	Ribera/Césped de puna
94			TU-FL66	2	TU-TV-AC3-R	TU-TV-AC3-H	362748	8165464	4446	Ribera/Césped de puna
95		9. Parte baja Aruntaya	TU-FL67	-	-	-	361817	8164816	4417	Ribera/Césped de puna
96			TU-FL68	-	-	-	361815	8164799	4422	Ribera/Césped de puna
97			TU-FL69	-	-	-	361828	8164768	4422	Ribera/Césped de puna
98			TU-FL70	-	-	-	361763	8164818	4417	Ribera/Césped de puna
99			TU-FL71	-	-	-	361720	8164822	4414	Ribera/Césped de puna
100			TU-FL72	-	-	-	361712	8164830	4418	Ribera/Césped de puna
101			TU-FL73	2	TU-TV-CV4-R	TU-TV-CV4-H	361730	8164836	4419	Ribera/Césped de puna
102			TU-FL74	-	-	-	361730	8164854	4419	Ribera/Césped de puna
103			TU-FL75	-	-	-	361688	8164842	4418	Ribera/Césped de puna
104			TU-FL76	-	-	-	361560	8164862	4418	Ribera/Césped de puna
105			TU-FL77	-	-	-	361531	8164893	4416	Ribera/Césped de puna
106			TU-FL78	2	TU-TV-FO1-R	TU-TV-FO1-H	355298	8172044	4359	Ribera/Pajonal
107			TU-FL79	-	-	-	355241	8171991	4356	Ribera/Pajonal
108			TU-FL80	2	TU-TV-FO2-R	TU-TV-FO2-H	355053	8171682	4351	Ribera/Pajonal

Tabla 5.43. Ubicación de zonas de cultivo donde se colectaron muestras de tejido vegetal en la UM Florencia – Tucari – CP Pachas

N.º	Zona	Sector	Código de parcela	N.° de muestras de Tejido vegetal	Código: Parte de tejido vegetal		Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Formación Vegetal
					Raíz	Aérea	Norte (m)	Este (m)		
1	Coralaque - Titire	10. Qda. Condorani	Cultivo 8	2	TU-CULT8-R	TU-CULT8-H	317273	8179908	3343	Cultivo
2			Cultivo 10	2	TU-CULT10-R	TU-CULT10-H	317487	8179841	3344	Cultivo
3		11. Qda. Coralaque	Cultivo 1	2	TU-CULT1-R	TU-CULT1-H	316776	8178511	3353	Cultivo

N.º	Zona	Sector	Código de parcela	N.° de muestras de Tejido vegetal	Código: Parte de tejido vegetal		Coordenadas UTM-WGS 84 Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Formación Vegetal
					Raíz	Aérea	Norte (m)	Este (m)		
4			Cultivo 2	2	TU-CULT2-R	TU-CULT2-H	316776	8178511	3353	Cultivo
5			Cultivo 3	2	TU-CULT3-R	TU-CULT3-H	316749	8178495	3355	Cultivo
6			Cultivo 4	2	TU-CULT4-R	TU-CULT4-H	316718	8178531	3348	Cultivo
7			Cultivo 5	2	TU-CULT5-R	TU-CULT5-H	316712	8178237	3371	Cultivo
8			Cultivo 6	2	TU-CULT6-R	TU-CULT6-H	316770	8178495	3364	Cultivo
9			Cultivo 7	2	TU-CULT7-R	TU-CULT7-H	316782	8178529	3355	Cultivo

Tabla 5.44. Ubicación de los levantamientos fotogramétrico con RPAS

N.º	Zona	Sector	Código de vuelo	Tipo de sensor	Coordenadas UTM - WGS 84 Zona 19 K		Cantidad de imágenes procesadas
					Este (m)	Norte (m)	
1	Margaritani	- Sector Wedland Sur - Sector Qda. Apostoloni - Bo. Wetland Norte - Bo. Botadero Norte	TJ01	RGB	372212	8166602	1849
2			TJ02		372259	8166734	
3			TJ03		372248	8166909	
4			TJ04		373363	8166838	
5			TJ05		372119	8167130	
6			TJ06		373459	8167004	
7			TJ07		372203	8167297	
8			TJ08		373492	8167166	
9			TJ09		372287	8167453	
10			TJ10		373429	8167343	
11			TJ11		372370	8167594	
12			TJ12		373451	8167489	
13			TJ13		372468	8167722	
14			TJ14		373563	8167848	
15			TJ15		372485	8168081	
16			TJ16		373636	8168000	
17			TJ17		372506	8168245	
18			TJ18		372592	8168414	
19			TJ19		373779	8168150	
20			TJ20		373768	8168354	
21			TJ21		372708	8168583	
22			TJ22		373311	8168537	
23		- Sector Wedland Sur - Sector Qda. Apostoloni - Bo. Qda. Margaritani - Bo. Botadero Norte	BF01	Multiespectral (B, G, R, RE, NIR)	372867	8166199	5640
24			BF02		372922	8166325	
25			BF03		372774	8166480	
26			BF04		371853	8166956	
27			BF05		371562	8167416	
28			BF06		371373	8167792	
29			BF07		370945	8167873	
30			BF08		371845	8168178	
31	Queullirijahuiri	- Bo. Blanco 1 - Bo. Blanco 2	BF09	Multiespectral (B, G, R, RE, NIR)	370712	8169797	2046
32			BF10		370490	8169957	
33			BF11		372213	8169809	
34			BF12		372228	8169926	
35			BF13		372297	8170034	
36	Aruntaya	- Parte baja de Aruntaya	BF14	Multiespectral (B, G, R, RE, NIR)	361625	8164854	642

5.4.2.4. Metodología de análisis

a) Parcelas para la evaluación de flora

El método «cuadrantes de 1 m^2», se utiliza para muestrear vegetación herbácea y hacer muestreos más homogéneos y de menos impacto de borde en comparación a los transectos[36]. Estos cuadrantes sirven para registrar la riqueza y cobertura vegetal (de forma porcentual). Asimismo, como información complementaria a lo registrado dentro de los cuadrantes, se realizó una evaluación cualitativa o búsqueda intensiva a través de caminatas dentro del área de estudio. Además, se realizaron colectas de especímenes que no fueron identificados en campo para su posterior identificación en el herbario, los procedimientos de

[36] Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz- Bolivia, Ed. El País. 87 pp.

colecta y prensado fueron empleados, siguiendo la metodología recomendada por Cerrate[37]. También, para cada una de ellas se anotó la forma de crecimiento (hierba, arbusto, sufrútice, etc.) y alguna característica que pueda perderse luego del secado del espécimen. Se colectarón solo especímenes en estadios de floración y fructificación, aquellas en vegetativo solo fuerón registradas.

Las parcelas de muestreo seleccionados para la evaluación de flora, dentro de la zona que corresponde a Margaritani, fuerón elegidas tomando como referencia los puntos para la evaluación de la calidad de suelos (Tabla 6.27 y 6.28).

b) Clasificación de coberturas e índice de vegetación

Como parte de la evaluación de flora silvestre, se realizó la clasificación de cobertura e índices de vegetación; se consideró como base la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a una escala 1:100000, y para mejorar la escala de trabajo, se realizó el levantamiento fotogramétrico con RPAS, tomando en cuenta parte de las especificaciones técnicas establecidas para la producción cartográfica a escala 1:1000, así como, las especificaciones técnicas para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global del IGN y la guía para la elaboración de planes de vuelo con RPAS de CENEPRED. Cabe precisar que en el Perú el uso y operaciones de las aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), están reguladas por la Ley N.° 30740[38] y la Norma Técnica Complementaria NTC: 001-2015.

La fotogrametría es una técnica que permite tener una visión amplia de las zonas de estudio, tal como lo define Pacheco y Pozzobon (2006), las técnicas fotogramétricas permiten alcanzar, con rapidez, amplitud, detalle y a un costo moderado la ubicación de cualquier variable impresa sobre una fotografía, y por ello la fotogrametría es un aliado casi indispensable para el usuario de imágenes espaciales (fotográficas) y para el equipo interdisciplinario que participe en la planificación y evaluación de los recursos naturales y ambientales de un área o región.

El análisis fotogramétrico o también denominada fotointerpretación, según Pacheco y Pozzobon (2006), se considera como la identificación de objetos sobre fotografías aéreas que dependen de una serie de factores que pueden ser asociados en 3 grupos: a) la capacidad del intérprete b) la calidad del material aerofotográfico y c) las características propias de los objetos fotografiados. Lehmann (1975), manifiesta que la fotointerpretación no tiene como fin la medida, sino la investigación y la significación del contenido de las vistas en cuanto respecta a la geografía, la geología, la vegetación o la investigación arqueológica.

Por otro lado, los índices espectrales de vegetación son medidas cuantitativas, basadas en los valores de reflectancia, que tienden a medir la biomasa o vigor vegetal. Normalmente el índice de vegetación es resultado de operaciones aritméticas aplicadas a distintas regiones del espectro electromagnético con el objeto de obtener un valor simple que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un píxel. Altos valores de índices de vegetación identifican píxeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable (Jensen, 2015).

En esta evaluación, se usaron los siguientes índices:

Índice de hojas verdes (Green leaf index, en adelante índice GLI), este índice se diseñó originalmente para usarse con una cámara RGB digital para medir la cobertura de trigo,

37 Cerrate, E. (1969). Manera de preparar Plantas para el Herbario. Museo de Historia Natural, Serie de Divulgación, N°1. 10 pp

38 Ley que regula el uso y las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS).

donde los números digitales (DN) rojo, verde y azul van de 0 a 255 (Louhaichi, 2001). Los valores de GLI oscilan entre -1 y +1. Los valores negativos representan características del suelo y no vivas, mientras que los valores positivos representan hojas y tallos verdes (Louhaichi, 2001).

$$GLI = ((b2-b3)+(b2-b1)\ )/(\ (2*b2)+b3+b1))$$

Donde:

b1: Banda azul

b2: Banda verde

b3: Banda roja

Indice Normalizado Diferencial de Borde Rojo (NDRE), este índice se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar la vigorosidad de la planta, este índice utiliza bandas a lo largo del borde rojo en lugar de los principales picos de absorción y reflectancia utilizados en otros índices, permitiendo así discriminar las unidades de observación sin que el indicador alcance niveles de saturación. Su rango de variación es fijo entre -1 y +1.

$$NDRE = (NIR-RED\ EDGE) / NIR+RED\ EDGE)$$

Dónde:

NIR = Infrarojo cercano

RED EDGE= Borde rojo

c) Tejido vegetal de flora silvestre y cultivos

El muestreo de tejido vegetal de flora silvestre fue realizado en las 3 zonas (zona Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya). Asimismo, se seleccionó muestras en cada sector de interés, denominado áreas de potencial interés (API) y áreas de muestreo de nivel de fondo (Blanco) como se detalla en la Tabla 6.38 y Tabla 6.39. Por otro lado, el análisis de metales en los tejidos de los principales cultivos se realizó únicamente en la zona Coralaque-Titire, que corresponde a la microcuenca Coralaque, principalmente en cultivos del centro poblado de Pachas. Cabe precisar que, para la selección de los principales cultivos, se tuvo en consideración 2 tratamientos, 1. Cultivos regados por aguas de la Qda. Coralaque y 2. Cultivos regados por aguas de la Qda. Condorani (que no tiene influencia de la Qda. Coralaque).

El laboratorio acreditado encargado de realizar los análisis de tejido vegetal fue AGQ PERÚ S.A.C. La normativa referencial para comparar fue la «Normativa del gobierno español aprobada con Real Decreto 465/2003, de 25 de abril de 2003, sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal, publicado en el Boletín Oficial del Estado N.° 102 del Ministerio de la Presidencia de España, el 29 de abril de 2003, referencia: BOE-A-2003-8717. Última modificación: 5 de marzo de 2011». Asimismo, fue utiliazado como otra normativa referencial para alimentos y piensos El Codex Stan 193-2019 (en adelante Codex)

5.4.2.5. Parámetros

Los parámetros tomados en cuenta para la evaluación de las comunidades de flora silvestre fueron: composición especies, riqueza de especies y cobertura vegetal. Para determinar el porcentaje de cobertura vegetal dentro de cada parcela, se clasificaron en; (medio físico, vegetación muerta, vegetación arbustiva, vegetación de cojín, vegetación graminoide). Estos parámetros se obtuvieron de la evaluación cuantitativa y cualitativa (Tabla 5.45).

Tabla 5.45. Parámetros para evaluación de flora silvestre en la UF Florencia-Tucari

N.º	Parámetro		Flora
1	Composición de especies (familias, géneros y especies)		x
2	Riqueza de especies (número de especies registradas)		x
3	Cobertura (porcentaje)	Medio físico (incluye suelo descubierto y cuerpos de agua)	x
		Vegetación muerta (materia orgánica en descomposición)	x
		Vegetación arbustiva (de porte arbustivo)	x
		Vegetación de cojín (o almohadillado típico de bofedales)	x
		Vegetación graminoide (tipo gramíneas, pastos y pajonales)	x

Los parámetros para la evaluación de tejido vegetal en cultivos se detallan en la Tabla 5.46.

Tabla 5.46. Parámetros para evaluar tejido vegetal de cultivos de la UH Coralaque

N.º	Parámetros	Cantidad	Observaciones
1	Metales totales flora silvestre	54*	Las especies seleccionadas fueron las más representativas de cada formación vegetal.
2	Metales totales en cultivos	16*	Las especies de cultivos seleccionadas fueron los más cultivados en el CP Pachas

(*) En las áreas de potencial interés y en áreas para muestreo de nivel de fondo se colectará muestras a 2 niveles: radicular y foliar

a) Composición, riqueza y cobertura

Para la evaluación de la flora silvestre en el área de estudio, fue utilizando la metodología de «cuadrantes» establecida y aceptada en el documento «Guía para la evaluación de Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - SEIA»[39].

b) Riqueza de especies

La riqueza específica es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de estas (Moreno, 2001).

c) Cobertura de la vegetación

Para el caso de los herbazales, dada a la complejidad de la distribución de su población y la dificultad de su registro en forma individual (son pequeñas y a veces entrelazadas), se procede a medir la cobertura relativa, es decir, el área en términos de porcentaje que ocupa la proyección horizontal del cuerpo de cada planta o grupos de plantas de cada especie en relación con la superficie total de la unidad muestral. Es usado para medir la densidad poblacional y la abundancia de especies en términos de porcentaje.

d) Clasificación de coberturas e índice de vegetación

En base a todo lo antes expuesto, se realizó la clasificación de la cobertura en 5 clases: Medio físico (incluye suelo descubierto y cuerpos de agua), Vegetación muerta (materia orgánica en descomposición), Vegetación tipo cojín (o almohadillado típico de bofedales) y Vegetación graminoide (tipo gramíneas, pastos y pajonales). En ese sentido, se consideró:

- La revisión e identificación, en gabinete, de las zonas que corresponden a los componentes mineros y los ecosistemas presentes en su entorno inmediato de manera (no supervisada), en base a mapas referenciales[40].

[39] Ministerio del Ambiente – MINAM. (2018). Guía para la elaboración de la Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental – SEIA. Lima – Perú, Anexo Nº 2.

[40] Resolución Ministerial N.° 440-2018-MINAM. Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú ha tomado como insumo para su elaboración el documento denominado Definiciones Conceptuales de los Ecosistemas del Perú.

- La supervisión y validación de las componetes y ecosistemas identificados en gabinete, que fue realizada durante la evaluación de campo, mediante el levantamiento fotogramétrico con RPAS.
- El procesamiento fotogramétrico para la obtención de ortomosaicos RGB, ortomosaicos multiespectrales y modelos digitales de elevación, que fue realizada en gabinete, mediante el uso de software especializados[41].
- El análisis de los ortomosaicos y modelos digitales de elevación para la clasificación de coberturas e índices de vegetación, que fue realizada mediante el uso de software especializados[42].
- La conversión de datos en información.

e) Análisis de tejido vegetal

Los resultados de metales en tejido vegetal fueron comparados referencialmente con los valores establecidos por la última modificación del Real Decreto 465/2003, basados en la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2002/32/CE (BOE-A-2003-8717 de 5.3.2011), sobre las sustancias indeseables[43] en la alimentación animal; aplicable solo para los metales de arsénico, cadmio, mercurio y plomo; asimismo, en relación a otros metales, se tomarán referencias bibliográficas respecto al rango de concentraciones en tejido foliar de flora altoandina.

f) Especies amenazadas y endémicas

Se realizó la identificación de especies de flora protegidas sobre la base de la última recategorización de flora silvestre para el Perú, realizada por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (Decreto Supremo N.º 043-2006-AG). Adicionalmente, se tomó en cuenta la Resolución Ministerial N.° 505-2016-MINAGRI, que aprueba la «Lista de clasificación oficial de especies de flora silvestre categorizadas como amenazadas»; considerando que en esta clasificación se incrementa la cantidad de especies a proteger y presenta modificaciones en las categorías para ciertas especies.

Además, se tomaron en cuenta, las categorías determinadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para la clasificación de especies sobre la base de criterios que determinan su estatus de conservación. Estas categorías fueron: extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazado (NT), preocupación menor (LC), menor riesgo o casi amenazado (LR), datos insuficientes (DD) y no evaluado (NE). Las especies listadas en las categorías CR, EN y VU se consideran «amenazadas». Asimismo, se listaron las especies incluidas en los apéndices de la CITES (2019) (Tabla 5.47).

Tabla 5.47. Categorías de conservación Nacional e internacional para fauna

Lista	Categoría	Descripción
Decreto Supremo Nº 043-2006 (Flora)	En Peligro Crítico (CR)	Cuando la mejor evidencia disponible acerca de un taxón indica la reducción en el número de poblaciones, una distribución limitada (menos de 100 km^2), un tamaño de población reducida (estimada en menos de 250 individuos maduros), y el análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado silvestre es por lo menos del 50 % dentro de 10 años o 3 generaciones.

41 Agisoft Metashape.
42 ArcGIS Pro for ArcGIS.
43 Resolución que aprueba el Plan Anual de Monitoreo de residuos químicos y otros contaminantes en Alimentos Agropecuarios Primarios y Piensos.

Lista	Categoría	Descripción
	En Peligro (EN)	Cuando la mejor evidencia disponible acerca de un taxón indica la reducción en el número de poblaciones, una distribución geográfica limitada (menos de 5000 km^2), un tamaño de población reducida (estimada en menos de 2500 individuos maduros), y el análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado silvestre es de por lo menos del 20 % en 20 años o 5 generaciones.
	Vulnerable (VU)	Cuando la mejor evidencia disponible acerca de un taxón indica que existe una reducción en el número de poblaciones, una distribución geográfica limitada (menos de 200000 km^2), un tamaño de la población reducida (estimada en menos de 100000 individuos), y el análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado silvestre es de por lo menos 10 % dentro de 100 años.
	Casi Amenazada (NT)	Cuando la mejor evidencia disponible muestra que si bien un taxón no cumple con los criterios: En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN) y/o Vulnerable (VU), está próximo a satisfacer dichos criterios, o posiblemente los satisfaga, en un futuro cercano.
IUCN (2020)	En Peligro Crítico (CR)	Un taxón está en CR cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple alguno de los criterios para la categoría CR y, por consiguiente, se considera en riesgo extremadamente alto de extinción.
	En Peligro (EN)	Un taxón es considerado EN cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple alguno de los criterios para la categoría EN y, por consiguiente, se considera en riesgo alto de extinción en estado silvestre.
	Vulnerable (VU)	Un taxón está en estado VU cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple alguno de los criterios para la categoría VU y, por consiguiente, se considera en riesgo alto de extinción en estado silvestre.
	Casi Amenazado (NT)	Un taxón está en estado Casi Amenazado (NT) cuando ha sido evaluado según los criterios de la categoría y no satisface los criterios para CR, EN o VU; pero está próximo a satisfacer los criterios, o posiblemente los satisfaga, en el futuro cercano.
CITES (2019)	Apéndice I	Lista de especies de animales y plantas con mayor peligro de extinción. Están amenazadas de extinción.
	Apéndice II	Lista de especies que no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio. En este Apéndice figuran también las llamadas «especies semejantes», es decir, especies cuyos especímenes objeto de comercio son semejantes a los de las especies incluidas por motivos de conservación.
	Apéndice III	Lista de las especies incluidas a solicitud de una parte que ya reglamenta el comercio de dicha especie y necesita la cooperación de otros países para evitar la explotación insostenible o ilegal de las mismas.

5.4.3. Fauna

5.4.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

a) Anfibios y reptiles

Los documentos usados como guía y manual para la ejecución de la evaluación de anfibios y reptiles en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque, se mencionan en la Tabla 5.48.

Tabla 5.48. Protocolos de muestreo para la evaluación de anfibios y reptiles

Referencia	Sección / Capítulo	País	Institución/autor	Año
Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 5	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	2015
Amphibian Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques	Parte 2 Parte 3 Parte 7	Reino Unido	C. Kenneth Dodd Jr.	2010
Reptile Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques	Parte 4	Reino Unido	C. Kenneth Dodd Jr.	2016
Methods of analysis by the U.S. Geological Survey National Water Quality Laboratory: preparation procedure for aquatic biological material determined for trace metals	Toda	Estados Unidos	Hoffman Gerald L.	1996

b) Aves

Los documentos usados como guía y manual para la ejecución de la evaluación de aves en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque, se menciona en la Tabla 5.49.

Tabla 5.49. Protocolos de muestreo para la evaluación de aves

Referencia	Sección / Capítulo	País	Institución/autor	Año
Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 6	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	2015
Field Guide Bird of Peru, Revised an updated Edition	Todas	Perú	Thomas S. Schulenberg, Douglas F. Stotz, Daniel F. Lane, John P. O´Neill & Theodore A. Parker III	2010
Metals in Feathers of Brown Noddy (Anous stolidus): evidence for bioaccumulation or exposure levels?	Todas	Estados Unidos	Joanna Burger	1993

c) Mamíferos

Los protocolos o guías usados para la evaluación de mamíferos en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque, se listan en la Tabla 5.50.

Tabla 5.50. Protocolos de muestreo para la evaluación de mamíferos

Referencia	Sección / Capítulo	País	Institución/autor	Año
Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 4	Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	2015
Procedimiento: Recolección y envío de especimenes/muestras, y exámenes solicitados al laboratorio	Todo	Perú	Servicio Nacional de Sanidad Agraria-SENASA	2008
Instrucciones para la preparación y conservación de mamíferos	Todo	Argentina	Programa de Investigaciones de Biodiversidad Argentina-PIDBA	1998

Referencia	Sección / Capítulo	País	Institución/autor	Año
Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education	Todo	Estados Unidos	Robert S. Sikes, John A. Bryan II, David Byman; Brent J. Danielson, Janna Eggleston, Michael R. Gannon, William L. Gannon, David W. Hale, Brett R. Jesmer, Daniel K. Odell, Hubbs, Link E. Olson, Richard D. Stevens, Tracy A. Thompson, Robert M. Timm, Stephanie A. Trewhitt, Janna R. Willoughby,	2020

5.4.3.2. Ubicación de puntos/estaciones de muestreo

a) Anfibios y reptiles

En el área de estudio se realizaron un total de 38 transectos en hábitats acuáticos, 2 registros oportunos y 28 búsquedas por encuentro visual (VES), las cuales se distribuyeron en las 4 zonas determinadas para la evaluación de fauna: (1) Queullirijahuiri; (2) Margaritani, microcuenca del río Margaritani; área de influencia de la UF Florencia-Tucari, (3) Aruntaya, aguas abajo de la UF Florencia-Tucari y (4) Titire – Coralaque. Adicionalmente, se obtuvieron 37 muestras de tejidos de los anfibios y reptiles presentes en las diferentes zonas evaluadas, de forma que se pueda determinar la posible afectación de las actividades mineras sobre estos organismos. Las coordenadas de ubicación y descripción de los transectos, registros oportunos, VES y muestras de tejido se presentan en las Tablas 5.51, 5.52 y 5.53 asimismo, en los mapas ubicación de la evaluación de anfibios y reptiles en el Anexo 1.

b) Aves

Durante la evaluación de aves en el área de estudio, se realizaron un total de 20 búsquedas intensivas, 2 conteos totales y se instalaron 69 redes niebla, las cuales se distribuyeron en las 4 zonas determinadas para la evaluación de fauna: (1) Queullirijahuiri; (2) Margaritani, microcuenca del río Margaritani; área de influencia de la UF Florencia-Tucari, (3) Aruntaya, aguas abajo de la UF Florencia-Tucari y (4) Titire – Coralaque. Mediante las redes de niebla se obtuvieron 34 muestras de plumas y 2 muestras de tejido de aves en las diferentes zonas evaluadas, las cuales servirán para determinar la posible afectación de las actividades mineras sobre este grupo. Las coordenadas de ubicación y descripción de las búsquedas intensivas, conteos totales, redes niebla y muestras de plumas y tejidos se presentan en las Tablas 5.54, 5.55 y 5.56 asimismo, en los mapas ubicación de la evaluación de aves en el Anexo 1.

c) Mamíferos

Para la evaluación de mamíferos en el área de estudio, se instalaron 17 líneas de captura y 17 cámaras trampa, las cuales se distribuyeron en las 4 zonas determinadas para la evaluación de fauna: (1) Queullirijahuiri; (2) Margaritani, microcuenca del río Margaritani; área de influencia de la UF Florencia-Tucari, (3) Paccha - Aruntaya, naciente del río Aruntaya; (4) Aruntaya, aguas abajo de la UF Florencia-Tucari; y (5) Titire – Coralaque. Adicionalmente se realizó la extracción de 10 muestras de sangre en alpacas para el análisis de los metales presentes. Las coordenadas de ubicación y descripción de se presentan en las tablas 5.57, 5.58 y 5.59; asimismo, en los mapas ubicación de la evaluación de mamíferos en el Anexo 1.

Tabla 5.51. Ubicación de los transectos en hábitats acuáticos y registros oportunos realizados en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
1	Titire – Coralaque	CO-HE-V1	08/09/2020	316439	8178336	3249	316421	8178228	3242	10:45	11:30	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.
2		CO-HE-V2	08/09/2020	316457	8178424	3237	316516	8178524	3227	12:25	13:10	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del río Coralaque, aproximadamente a 100 m aguas abajo del Centro Poblado de Pachas.
3		CO-HE-V3	08/09/2020	320458	8170845	3538	320494	8170751	3561	14:57	15:48	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del río Coralaque, aproximadamente a 100 m aguas arriba del puente Coralaque.
4		CO-HE-V4	09/09/2020	320584	8169979	3652	320617	8169881	3615	9:52	10:30	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas abajo de la quebrada Opani.
5		CO-HE-V5	09/09/2020	320744	8169715	3600	320814	8169633	3590	10:35	11:20	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba de la quebrada Opani.
6		CO-HE-V6	09/09/2020	320958	8169623	3585	321031	8169640	3584	11:55	12:40	Río Coralaque	Transecto realizado en cuerpo de agua formado por la filtración del río Coralaque, aproximadamente a 500 m de la confluencia con la quebrada Opani y cercana a la carretera.
7		CO-HE-V7	09/09/2020	321419	8169755	3589	321559	8169770	3589	12:45	13:30	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del río Coralaque, aproximadamente a 800 m de la confluencia con la quebrada Opani.

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
8		CO-HE-V8	09/09/2020	323087	8169523	3588	322992	8169453	3587	14:17	14:54	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del Río Coralaque, aproximadamente a 3,5 km aguas arriba del puente Coralaque y 200 m del punto de agua superficial RCora2.
9		CO-HE-V9	09/09/2020	322915	8169399	3589	322804	8169412	3590	15:00	15:45	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del Río Coralaque, aproximadamente a 3,5 km aguas arriba del puente Coralaque y a 20 m del punto de agua superficial RCora2.
10		CO-HE-V10	10/09/2020	324582	8169354	3612	324496	8169413	3620	9:00	10:00	Río Coralaque	Transecto realizado en cuerpo de agua formado por la filtración del río Coralaque, aproximadamente a 4,5 km aguas arriba del puente Coralaque, 1,5 Km del punto de agua superficial RCora2 y a 200 m de la carretera.
11		CO-HE-V11	10/09/2020	324437	8169402	3619	324267	8169362	3621	10:05	11:20	Río Coralaque	Transecto realizado en cuerpo de agua de gran tamaño formado por la filtración del río Coralaque, aproximadamente a 4,2 km aguas arriba del puente Coralaque y a 200 m de la carretera.
12		CO-HE-V13	10/09/2020	323265	8169639	3607	323189	8169563	3608	12:43	13:35	Río Coralaque	Transecto realizado a lo largo del río Coralaque, aproximadamente a 400 m del punto de agua superficial RCora2.
13		HE-T1	11/09/2020	355315	8172170	4364	355270	8172069	4354	11:18	12:05	Río Titire	Transecto realizado a lo largo del río Titire, aproximadamente a 700 m

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
													antes de su confluencia con el río Aruntaya.
14		HE-T2	11/09/2020	355122	8172004	4357	355045	8171935	4358	12:09	12:55	Río Titire	Transecto realizado en cuerpo de agua de gran tamaño formado por la filtración del Río Titire, aproximadamente a 500 m antes de su confluencia con el río Aruntaya.
15		TI-HE-T1	12/09/2020	354572	8171621	4308	354549	8171517	4345	10:18	11:03	Río Titire	Transecto realizado a lo largo del río Titire, aproximadamente a 250 m aguas abajo de su confluencia con el río Aruntaya.
16		TI-HE-T2	12/09/2020	354247	8171139	4356	354179	8171062	4355	12:07	12:52	Río Titire	Transecto realizado a lo largo del río Titire, aproximadamente a 800 m aguas abajo de su confluencia con el río Aruntaya.
17		TI-HE-T3	12/09/2020	354025	8170889	4354	353938	8170818	4351	13:00	13:45	Río Titire	Transecto realizado a lo largo del río Titire, aproximadamente a 1 km aguas abajo de la confluencia con el río Aruntaya, y a 500 m aguas arriba de la fuente termal Quello.
18	Aruntaya	AR-HE-T1	15/09/2020	361827	8164793	4428	361929	8164799	4430	10:28	11:13	Río Queullirijahuiri	Transecto realizado aguas abajo de las operaciones. Río Queullirijahuiri, aproximadamente a 500 m antes de su confluencia con el río Aruntaya.
19		AR-HE-T2	15/09/2020	361717	8164744	4425	361614	8164716	4425	12:30	13:15	Bofedal	Transecto realizado en bofedal cuyas aguas desembocan en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 500 m

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
													antes de su confluencia con el río Aruntaya.
20		AR-HE-T3	15/09/2020	361608	8164440	4194	361711	8164421	4344	15:00	15:45	Río Aruntaya	Transecto realizado a lo largo del río de Aruntaya aproximadamente a 600 m antes de su confluencia con el río Queullirijahuiri.
21		BL-HE-T10	10/10/2020	368483	8169535	4734	368509	8169647	4754	10:23	11:00	Bofedal	Transecto realizado en bofedal ubicado en la parte alta de la laguna sin nombre, aproximadamente a 700 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
22		AR-HE-RO2*	10/10/2020	361642	8164781	4422	-	-	-	15:21	-	Bofedal	Registro oportuno realizado en bofedal cuyas aguas desembocan en el Río Queullirijahuiri, aproximadamente a 500 m antes de su confluencia con el río Aruntaya.
23	Queullirijahuiri	BL-HE-T1	16/09/2020	369784	8169912	4730	369729	8169998	4742	10:35	13:00	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2,7 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
24		BL-HE-T2	16/09/2020	369910	8170095	4738	370014	8170078	4740	13:15	14:00	Bofedal	Transecto realizado en el río Queullirijahuiri, próximo a bofedal de gran extensión, aproximadamente a 2,7 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
25		BL-HE-T3	16/09/2020	370865	8170482	4749	370801	8170395	4745	15:30	16:15	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 3 km

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
													de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
26		BL-HE-T4	16/09/2020	370651	8170232	4744	370576	8170145	4742	16:30	17:15	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 3,1 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
27		BL-HE-T5	17/09/2020	369689	8169837	4739	369606	8169895	4738	10:08	10:53	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2,2 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
28		BL-HE-T6	17/09/2020	369400	8170031	4733	369321	8169957	4733	11:20	12:05	Río Queullirijahuiri	Transecto realizado en el río Queullirijahuiri, próximo a bofedal de gran extensión, aproximadamente a 1,6 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
29		BL-HE-T7	17/09/2020	369279	8169810	4734	369180	8169848	4731	12:15	13:00	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 1,4 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
30		BL-HE-T8	17/09/2020	369066	8169695	4722	368965	8169664	4719	13:16	14:25	Río Queullirijahuiri	Transecto realizado en el río Queullirijahuiri, en la parte final de bofedal de gran extensión, aproximadamente a 1,6 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
31		BL-HE-T9	06/10/2020	372168	8169935	4829	372077	8169894	4823	14:35	15:20	Bofedal	Transecto realizado en bofedal pequeño, ubicado en la parte alta del río Queullirijahuiri.

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
32	Margaritani	TU-HE-T1	30/09/2020	371991	8166985	4837	371889	8167043	4830	9:16	10:01	Quebrada Apostoloni	Transecto realizado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 85 m aguas abajo del punto de vertimiento PM-02 y aguas arriba del punto de vertimiento PS-02.
33		TU-HE-T2	01/10/2020	371212	8167757	4818	371325	8167779	4822	8:34	8:55	Quebrada Margaritani	Transecto realizado a lo largo de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 300 m de la confluencia con la quebrada Apostoloni.
34		TU-HE-T3	02/10/2020	371561	8167151	4818	371646	8167092	4824	8:15	8:45	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión, al borde la quebrada Apostoloni, aguas abajo del punto de vertimiento PS-02.
35		TU-HE-T4	02/10/2020	371629	8166996	4828	371627	8166896	4839	8:50	9:35	Bofedal	Transecto realizado en la parte media del bofedal de gran extensión, al borde la quebrada Apostoloni, aguas abajo del punto de vertimiento PS-02.
36		TU-HE-T5	02/10/2020	372008	8168153	4839	371905	8168174	4833	10:50	11:20	Quebrada Sin Nombre	Transecto realizado en la quebrada sin nombre, tributario a la quebrada Margaritani, aproximadamente a 20 m de la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte.
37		TU-HE-T6	05/10/2020	370898	8167461	4740	370793	8167452	4774	9:45	10:20	Río Margaritani	Transecto realizado en el río Margaritani, aproximadamente a 90 m aguas debajo de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni.
38		TU-HE-T7	05/10/2020	370650	8167588	4803	370678	8167683	4806	11:04	10:55	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión,

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
													cuyas aguas desembocan en el río Margaritani, aproximadamente 150 m de distancia.
39		TU-HE-T8	05/10/2020	370712	8167749	4807	370796	8167816	4818	12:00	12:45	Bofedal	Transecto realizado en bofedal de gran extensión cuyas aguas desembocan en el río Margaritani, aproximadamente 300 m de distancia.
40		TU-HE-RO1*	06/10/2020	371726	8167798	4840	-	-	-	14:00	-	Matorral	Registro oportuno realizado aproximadamente a 100 m al oeste del depósito de desmonte (canal lado norte).

* Registros oportunos

Tabla 5.52. Ubicación de las búsquedas por encuentros visuales realizadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.º	Zona	Código punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
1	Titire – Coralaque	CO-HE-V12	10/09/2020	323627	8169545	3620	323500	8169526	3616	12:12	12:42	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado al borde la carretera, a 50 m del río Coralaque y aproximadamente a 4,5 km aguas arriba del puente Coralaque.
2		HE-V1	11/09/2020	354949	8171859	4316	354856	8171813	4345	14:25	14:55	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado aproximadamente a 200 m antes de la confluencia de los ríos Titire y Aruntaya.
3		TI-HE-V1	11/09/2020	354829	8171704	4346	354929	8171651	4346	15:15	16:15	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizada en el borde del río Aruntaya, aproximadamente 150 m antes de su confluencia con el río Titire.
4		TI-HE-V2	12/09/2020	354458	8171312	4349	354536	8171257	4355	11:15	11:45	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en el borde del río Titire,

N.º	Zona	Código punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
													aproximadamente 500 m aguas abajo de su confluencia con el río Aruntaya.
5	Aruntaya	AR-HE-V1	15/09/2020	361880	8164828	4428	361765	8164849	4426	11:20	11:50	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal, aguas abajo de las operaciones. Río Queullirijahuiri, aproximadamente a 600 m antes de su confluencia con el río Aruntaya.
6		BL-HE-V5	09/10/2020	368441	8169359	4728	368335	8169320	4728	11:20	11:50	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal ubicado al margen derecho de la laguna sin nombre, a 540 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
7		BL-HE-V6	10/10/2020	368401	8169574	4736	368318	8169510	4730	11:05	11:35	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal ubicado al margen izquierdo de la laguna sin nombre, a 600 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
8		BL-HE-V7	10/10/2020	368266	8169453	4729	368228	8169341	4725	11:40	12:10	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal ubicado al margen izquierdo de la laguna sin nombre, a 450 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
9		BL-HE-V8	10/10/2020	368206	8169203	4727	368288	8169284	4724	12:16	12:46	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal ubicado al margen derecho de la laguna sin nombre, a 200 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
10	Queullirijahuiri	BL-HE-V1	16/09/2020	370154	8170151	4735	370214	8170253	4743	14:35	15:05	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal cercana al río Queullirijahuiri, próximo a bofedal de gran extensión, aproximadamente a 2,8 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
11		BL-HE-V2	17/09/2020	369749	8169618	4736	369631	8169657	4739	14:32	15:02	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal cercana

N.º	Zona	Código punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
													al río Queullirijahuiri, próximo a bofedal de gran extensión, aproximadamente a 2,5 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari.
12		BL-HE-V3	06/10/2020	372417	8169755	4847	372423	8169839	4841	12:09	12:39	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal ubicada en el ramal derecho del río Queullirijahuiri (parte alta).
13		BL-HE-V4	06/10/2020	372475	8169910	4844	372517	8169992	4842	12:48	13:18	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal ubicado aproximadamente a 50 m de la zona de recarga de un bofedal en la naciente del río Queullirijahuiri.
14	Margaritani	TU-HE-V1	30/09/2020	371812	8167071	4826	371868	8166961	4834	10:06	10:36	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizada en bofedal de gran extensión, al borde la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 150 m aguas abajo del punto de vertimiento PM-02 y aguas arriba del punto de vertimiento PS-02.
15		TU-HE-V2	30/09/2020	371900	8166842	4841	372016	8166889	4837	10:40	11:10	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizada en bofedal de gran extensión, al borde la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 100 m aguas abajo del punto de vertimiento PM-02 y aguas arriba del punto de vertimiento PS-02.
16		TU-HE-V3	30/09/2020	371146	8167776	4819	371098	8167684	4796	13:42	14:12	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizado en un bofedal de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 270 m de la confluencia con la quebrada Apostoloni.
17		TU-HE-V4	01/10/2020	371535	8167836	4824	371632	8167775	4827	9:03	9:33	Matorral	Búsqueda por encuentro visual realizado aproximadamente a 500 m al oeste del depósito de desmonte (canal lado norte).
18		TU-HE-V5	01/10/2020	371734	8167769	4843	371667	8167707	4833	9:48	10:18	Matorral	Búsqueda por encuentro visual realizado aproximadamente a 200 m al oeste del depósito de desmonte (canal lado norte).

N.º	Zona	Código punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
19		TU-HE-V6	01/10/2020	371641	8167634	4832	371538	8167680	4819	10:30	11:00	Matorral	Búsqueda por encuentro visual realizado aproximadamente a 100 m al oeste del depósito de desmonte (canal lado norte).
20		TU-HE-V7	02/10/2020	371575	8166886	4842	371563	8167038	4821	9:46	10:16	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizado en la parte alta del bofedal de gran extensión, al borde la quebrada Apostoloni, aguas abajo del punto de vertimiento PS-02.
21		TU-HE-V8	02/10/2020	371897	8168240	4835	371788	8168221	4830	11:30	12:00	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizado en bofedal ubicado aproximadamente a 100 m de la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte.
22		TU-HE-V9	02/10/2020	371730	8168348	4843	371726	8168251	4836	12:18	12:48	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizado en la parte alta de bofedal ubicado aproximadamente a 200 m de la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte.
23		TU-HE-V10	02/10/2020	371980	8168076	4888	371874	8168088	4851	13:19	13:49	Matorral	Búsqueda por encuentro visual realizado en la parte baja de la carretera aproximadamente a 50 m de la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte.
24		TU-HE-V11	02/10/2020	372050	8168122	4850	372010	8168035	4858	14:29	15:00	Matorral	Búsqueda por encuentro visual realizado en la parte alta de la carretera aproximadamente a 20 m de la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte.
25		TU-HE-V12	03/10/2020	373506	8168281	4994	373392	8168313	4970	8:46	9:16	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizado en bofedal en la parte alta de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 200 m al noreste de la planta de tratamiento de aguas ácidas del punto de control PS-01.
26		TU-HE-V13	03/10/2020	373242	8168423	4951	373138	8168485	4943	9:39	10:09	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizado en bofedal en la parte alta de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 50 m de la planta

N.º	Zona	Código punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Inicial (m s.n.m)	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud Final (m s.n.m)	Hora Inicio	Hora Final	Hábitat	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)					
													de tratamiento de aguas ácidas del punto de control PS-01.
27		TU-HE-V14	03/10/2020	373101	8168570	4943	372978	8168573	4937	10:15	10:45	Bofedal	Búsqueda por encuentro visual realizado en bofedal en la parte alta de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 250 m de la planta de tratamiento de aguas ácidas del punto de control PS-01.
28		TU-HE-V15	05/10/2020	370727	8167480	4782	370690	8167530	4795	10:24	10:54	Pajonal	Búsqueda por encuentro visual realizado en ladera de pajonal cercana al río Margaritani a 200 m aguas debajo de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni.

Tabla 5.53. Muestras de tejido de anfibios y reptiles tomadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Código muestra	Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Tipo de muestra
						Este (m)	Norte (m)		
1	Titire – Coralaque	CO-HE-V1	Co-He-V1	08/09/2020	10:45	316439	8178336	3249	Renacuajos
2		CO-HE-V2	Co-He-V2	08/09/2020	12:25	316457	8178424	3237	Músculo e hígado
3		CO-HE-V6	CO-HE-V6	09/09/2020	12:00	320958	8169623	3585	Especimen completo
4		CO-HE-V11	CO-HE-V11	10/09/2020	10:32	324437	8169402	3619	Músculo e hígado
5	Aruntaya	TI-HE-V2	Ti-HE-V2/M1	12/09/2020	11:30	354458	8171312	4349	Músculo e hígado
6			Ti-HE-V2/M2	12/09/2020	11:30	354458	8171312	4349	Especimen completo
7		HE-V1	HE-V1	11/09/2020	14:36	354949	8171859	4316	Músculo e hígado
8		AR-HE-V1	AR-HE-V1/M1	15/09/2020	11:50	361880	8164828	4428	Músculo e hígado
9			AR-HE-V1/M2	15/09/2020	11:50	361880	8164828	4428	Especimen completo
10		AR-HE-RO2*	AR-HE-RO2	10/10/2020	15:21	361642	8164781	4422	Especimen completo
11		BL-HE-V5	BL-HE-V5/M1	09/10/2020	11:20	368441	8169359	4728	Músculo e hígado

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Código muestra	Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Tipo de muestra
						Este (m)	Norte (m)		
12			BL-HE-V5/M2	09/10/2020	11:20	368441	8169359	4728	Especimen completo
13			BL-HE-V5/M3	09/10/2020	11:39	368441	8169359	4728	Músculo e hígado
14			BL-HE-V5/M4	09/10/2020	11:39	368441	8169359	4728	Especimen completo
15		BL-HE-V7	BL-HE-V7/M1	10/10/2020	11:45	368266	8169453	4729	Músculo e hígado
16			BL-HE-V7/M2	10/10/2020	11:45	368266	8169453	4729	Especimen completo
17		BL-HE-V8	BL-HE-V8	10/10/2020	12:22	368206	8169203	4727	Especimen completo
18	Queullirijahuiri	BL-HE-T1	BL-HE-T1	16/09/2020	12:34	369784	8169912	4730	Renacuajos
19		BL-HE-V3	BL-HE-V3/M1	06/10/2020	12:39	372417	8169755	4847	Músculo e hígado
20			BL-HE-V3/M2	06/10/2020	12:39	372417	8169755	4847	Especimen completo
21		BL-HE-V4	BL-HE-V4	06/10/2020	13:03	372475	8169910	4844	Especimen completo
22	Margaritani	TU-HE-T5	TU-HE-T5	02/10/2020	11:22	372008	8168153	4839	Especimen completo
23		TU-HE-V8	TU-HE-V8/M1	02/10/2020	11:32	371897	8168240	4835	Músculo e hígado
24			TU-HE-V8/M2	02/10/2020	11:32	371897	8168240	4835	Especimen completo
25		TU-HE-V10	TU-HE-V10/M1	02/10/2020	14:29	371980	8168076	4888	Músculo e hígado
26			TU-HE-V10/M2	02/10/2020	14:29	371980	8168076	4888	Especimen completo
27		TU-HE-V12	TU-HE-V12	03/10/2020	10:59	373506	8168281	4994	Especimen completo
28		TU-HE-V2	TU-HE-V2/M1	30/09/2020	10:42	371900	8166842	4841	Músculo e hígado
29			TU-HE-V2/M2	30/09/2020	10:42	371900	8166842	4841	Especimen completo
30		TU-HE-V4	TU-HE-V4/M1	01/10/2020	9:35	371535	8167836	4824	Músculo e hígado
31			TU-HE-V4/M2	01/10/2020	9:35	371535	8167836	4824	Especimen completo
32		TU-HE-V6	TU-HE-V6/M1	01/10/2020	10:40	371641	8167634	4832	Músculo e hígado
33			TU-HE-V6/M2	01/10/2020	10:40	371641	8167634	4832	Especimen completo
34		TU-HE-V15	TU-HE-V15/M1	05/10/2020	10:32	370727	8167480	4782	Músculo e hígado
35			TU-HE-V15/M2	05/10/2020	10:32	370727	8167480	4782	Especimen completo

N.º	Zona	Código del Punto de muestreo	Código muestra	Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Tipo de muestra
						Este (m)	Norte (m)		
36		TU-HE-RO1*	TU-HE-RO1/M1	06/10/2020	11:15	371726	8167798	4840	Músculo e hígado
37			TU-HE-RO1/M2	06/10/2020	11:15	371726	8167798	4840	Especimen completo

Tabla 5.54. Ubicación de las búsquedas intensivas y conteos totales realizados por zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Nº	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
1	Queullirijahuiri	BL-AV-01*	06/10/2020	14:37	14:47	372396	8169903	4837	Bofedal	Búsqueda intensiva ubicada cerca del río Queullirijahuiri, en el bofedal sin nombre de poca extensión, bordeado por pequeños parches de matorral corto, y roquedales de diferentes tamaños.
				14:47	14:57	372309	8169953	4837		
				14:57	15:07	372166	8169884	4830		
				15:07	15:17	372131	8169946	4831		
				15:17	15:27	372108	8169905	4827		
				15:27	15:37	371992	8169888	4820		
2		BL-AV-02*	17/09/2020	10:45	10:55	370876	8170114	4747	Bofedal	Búsqueda intensiva realizada en el bofedal de gran extensión ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2,7 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari, bordeado por roquedales de diferente tamaño, con parches de pajonal y matorral corto.
				10:55	11:05	370708	8170304	4745		
				11:05	11:15	370755	8169859	4738		
				11:15	11:25	370490	8169687	4740		
				11:25	11:35	370244	8170078	4739		
				11:35	11:45	370185	8169706	4741		
3		BL-AV-03*	17/09/2020	11:45	11:55	369961	8169911	4731	Bofedal	Búsqueda intensiva realizada en el bofedal de gran extensión ubicado en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 1,5 km de la garita de ingreso a la UM. Florencia Tucari, bordeado por roquedales de diferente tamaño, con parches de pajonal y matorral corto.
				11:55	12:05	369884	8169602	4738		
				12:05	12:15	369700	8170006	4740		
				12:15	12:25	369510	8169803	4738		
				12:25	12:35	369273	8169787	4739		
				12:35	15:32	368941	8169678	4740		
4	Margaritani	TU-AV-01*	02/10/2020	8:33	8:43	372114	8166798	4861	Bofedal	Búsqueda intensiva realizada en el Bofedal ubicado en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 20 m de la poza de sedimentación (PSS-01A). Es un bofedal de gran extensión con partes afectadas y otras conservadas, con presencia de
				8:43	8:53	372055	8166806	4858		
				8:53	9:03	371928	8166782	4867		
				9:03	9:13	371871	8166843	4853		

Nº	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
				9:13	9:23	371833	8166931	4837		parches de pajonal semidenso pegado a un roquedal de pendiente leve y de mediana extensión.
				9:23	9:33	371711	8166898	4842		
5		TU-AV-02*	02/10/2020	9:33	9:43	371627	8166842	4855	Bofedal	Bofedal de gran extensión con pendiente moderada, ubicado en la quebrada Apostoloni, a 300 m del efluente del sistema de tratamiento Wetland sur. Con presencia de pequeñas pozas de agua, con pequeños matorrales y parches de pajonal corto.
				9:43	9:53	371556	8166874	4846		
				9:53	10:03	371488	8167011	4829		
				10:03	10:13	371584	8167046	4820		
				10:13	10:13	371685	8167071	4823		
				10:13	10:23	371574	8167148	4817		
6		TU-AV-03*	02/10/2020	14:37	14:47	372014	8168106	4845	Bofedal	Bofedal de gran extensión cercano al Manantial ubicado a la margen izquierda de la quebrada Margaritani, cercano al botadero norte. Bordeado con roquedales de pendiente leve, con presencia de matorrales y pequeños parches de pajonal semidenso.
				14:47	14:57	371952	8168150	4839		
				14:57	15:07	371841	8168240	4840		
				15:07	15:17	371777	8168109	4833		
				15:17	15:27	371951	8168077	4844		
				15:27	15:37	371876	8168010	4847		
7		TU-AV-04*	03/10/2020	9:38	9:48	373311	8168485	4951	Bofedal	Bofedal impactado ubicado a 50 m del efluente del sistema de tratamiento Wetland norte, con descarga a la quebrada Margaritani. Área de pendiente leve, con presencia de piedras y rocas de diferente tamaño, con zonas de suelo fangoso.
				9:48	9:58	373153	8168572	4942		
				9:58	10:08	373013	8168648	4942		
				10:08	10:18	373026	8168553	4936		
				10:18	10:28	373145	8168476	4944		
				10:28	10:38	373256	8168412	4912		
8		TU-AV-05*	03/10/2020	10:38	10:48	373311	8168349	4961	Bofedal	Bofedal ubicado cerca en la quebrada sin nombre 1 cercano a la quebrada Margaritani, bordeado por pequeños roquedales de pendiente leve, en cuyos extremos finales se encuentran pequeños
				10:48	10:58	373377	8168321	4968		
				10:58	11:08	373503	8168288	4981		

Nº	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
				11:08	11:28	373356	8168265	4970		parches de matorral corto con algunas matas de pajonal, es abundante el suelo descubierto.
9		TU-AV-06*	03/10/2020	14:16	14:26	371742	8168273	4839	Bofedal	Bofedal ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, de poca extensión, rodeado por roquedales de pendiente leve, con pequeños parches de pajonal y matorral corto.
				14:26	14:36	371726	8168344	4850		
				14:36	14:56	371771	8168345	4850		
				14:56	15:06	371786	8168372	4851		
				15:06	15:16	371805	8168300	4837		
				15:16	15:26	371805	8168265	4836		
10		TU-AV-07*	05/10/2020	9:37	9:47	371138	8167783	4814	Bofedal	Búsqueda intensiva realizada en un bofedal ubicado en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 300 m de la confluencia con la quebrada Apostoloni. De poca extensión, pendiente leve, con presencia de pequeños cuerpos de agua.
				9:47	9:57	371088	8167752	4810		
				9:57	10:07	370990	8167647	4847		
				10:07	10:17	370911	8167493	4792		
				10:17	10:27	370741	8167465	4788		
				10:27	10:37	370617	8167360	4779		
11		TU-AV-08*	05/10/2020	13:38	13:48	371758	8167791	4842	Pajonal	Búsqueda intensiva realizada en una zona ubicada a 350 m al norte de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas Wetland sur, caracterizado por tener un pajonal corto con áreas de suelo descubierto y de suelo fangoso, rodeado de roquedales de pendiente leve y pequeños matorrales densos.
				13:48	13:58	371720	8167714	4837		
				13:58	14:08	371569	8167776	4815		
				14:08	14:18	371620	8167589	4822		
				14:18	14:28	371510	8167498	4817		
				14:28	14:38	371506	8167445	4817		
12	Aruntaya	AR-AV-01*	15/09/2020	10:18	10:33	361443	8164738	4424	Bofedal	Búsqueda intensiva realizada en un Bofedal de gran extensión ubicado a 290 m cerca del río de Aruntaya antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri, con presencia de rocas y piedras de diferentes tamaños.
				10:33	10:48	361306	8164811	4419		
				10:48	11:03	361149	8164760	4421		
				11:03	11:18	360988	8164796	4430		

Nº	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
				11:18	11:33	361002	8164961	4420		
				11:33	11:48	361082	8165107	4414		
13		AR-AV-02*	15/09/2020	11:59	12:14	360995	8165151	4415	Bofedal	Búsqueda intensiva realizada en el Bofedal de mediana extensión ubicado cerca al río Aruntaya, aproximadamente a 400 m de la confluencia con el río Queullirijahuiri, bordeado por un roquedal de pendiente leve.
				12:14	12:29	360847	8165186	4413		
				12:29	12:44	360694	8165242	4407		
				12:44	12:59	360555	8165324	4407		
				12:59	13:14	360428	8165427	4407		
				13:14	13:29	360340	8165561	4402		
14		AR-AV-03*	15/09/2020	15:41	15:51	361622	8164792	4413	Bofedal	Búsqueda intensiva realizada en un Bofedal de gran extensión ubicado a 300 m de la confluencia con el Río Queullirijahuiri., con presencia de abundantes pozas de agua y pequeños parches de pajonal.
				15:51	16:01	361750	8164715	4406		
				16:01	16:11	361889	8164637	4420		
				16:11	16:21	362050	8164610	4423		
				16:21	16:31	362203	8164664	4431		
15		Laguna AR-01**	15/09/2020	15:32	15:42	361615	8164711	4415	Laguna	Cuerpo de agua de pequeña extensión ubicado en la parte central del bofedal de gran extensión ubicado a 300 m de la confluencia con el Río Queullirijahuiri.
16		Laguna Sin Nombre**	10/10/2020	13:48	14:00	368377	8169323	4722	Laguna	Cuerpo de agua de gran extensión ubicado a 200 m de la garita N º 1 de ingreso a la UM Florencia - Tucari
17	Titire - Coralaque	TI-AV-01*	13/09/2020	10:18	10:28	355329	8171149	4369	Pajonal	Búsqueda intensiva realizada cerca de la Quebrada sin nombre 3, aproximadamente a 900 metros antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por estar bordeado por pajonales cortos, de pendiente leve, sin presencia de piedras o rocas.
				10:28	10:38	355342	8171297	4365		
				10:38	10:48	355325	8171447	4363		
				10:48	10:58	355350	8171596	4362		
				10:58	11:08	355412	8171734	4364		
				11:08	11:18	355553	8171787	4363		

Nº	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
18		TI-AV-02*	13/09/2020	11:22	11:32	355363	8172050	4361	Pajonal	Búsqueda intensiva realizada en el Río Titire, aproximadamente a 700 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por estar cubierta de arena y arenisca, con presencia de piedras y rocas de distinto tamaño en el curso del río, bordeado por pequeños parches de pajonal y matorral cortos semidenso.
				11:32	11:42	355213	8172084	4361		
				11:42	11:52	355117	8171963	4360		
				11:52	12:02	354969	8171917	4358		
				12:02	12:12	354821	8171873	4356		
				12:12	12:22	354677	8171827	4357		
19		TI-AV-03*	13/09/2020	12:27	12:37	354634	8171424	4358	Pajonal	Búsqueda intensiva realizada en el Río Titire, aproximadamente a 500 m aguas abajo de su confluencia con el río Aruntaya. Se caracteriza por presentar en los bordes del río, parches de vegetación semidensa, conformado por pajonales y matorrales.
				12:37	12:47	354513	8171327	4357		
				12:47	12:57	354366	8171282	4358		
				12:57	13:07	354268	8171164	4357		
				13:07	13:17	354151	8171055	4357		
				13:17	13:27	354080	8170908	4354		
20		CO-AV-01*	08/09/2020	10:36	10:56	316471	8178501	3248	Áreas de cultivo	Búsqueda intensiva realizada en el Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas. Es un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta.
				10:56	11:16	316506	8178539	3245		
				11:16	11:36	316459	8178414	3247		
				11:36	11:51	316422	8178315	3239		
				11:51	12:06	316455	8178227	3239		
21		CO-AV-02*	08/09/2020	14:50	15:00	320408	8170815	3576	Pajonal	Búsqueda intensiva realizada al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 100 m aguas arriba del puente Coralaque. Con presencia de rocas y piedras de distinto tamaño, con áreas de vegetación seca y pequeñas playas.
				15:00	15:10	320495	8170760	3572		
				15:10	15:20	320454	8170663	3569		
				15:20	15:30	320416	8170571	3577		
				15:30	15:40	320415	8170468	3569		
				15:40	15:50	320405	8170337	3569		

Nº	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
22		CO-AV-03*	10/09/2020	16:07	16:17	324880	8168916	3631	Pajonal	Búsqueda intensiva realizada al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 5 km del puente Coralaque. Con presencia de piedras de rocas y piedras de diferentes tamaños repartidos en toda el área, el suelo es de tipo arenoso, con presencia de pajonal y matorral pequeños.
				16:18	16:28	324963	8168832	3637		
				16:29	16:39	325061	8168770	3629		
				16:40	16:50	325207	8168760	3633		
				16:51	17:01	325317	8168669	3635		
				17:02	17:12	325387	8168580	3647		

*Estación evaluada mediante búsquedas intensivas / **Estación evaluada mediante Conteo total

Tabla 5.55. Ubicación de las redes niebla instaladas por zonas valuadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
1	Queullirijahuiri	R01-BL-AV	16/09/2020	10:15	16:00	369892	8169601	4742	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre, a 125 m de la carretera.
2		R02-BL-AV	16/09/2020	10:32	16:00	369868	8169612	4741	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre a 110 m de la carretera.
3		R03-BL-AV	16/09/2020	10:47	16:00	369862	8169648	4738	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre a 140 m de la carretera.
4		R04-BL-AV	16/09/2020	11:00	16:00	369858	8169666	4740	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre a 160 m de la carretera.
5		R05-BL-AV	16/09/2020	11:07	16:00	369855	8169694	4739	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre a 180 m de la carretera.
6		R06-BL-AV	16/09/2020	11:22	16:00	369840	8169698	4737	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre, a 190 m de la carretera.
7		R07-BL-AV	16/09/2020	11:36	16:00	369815	8169720	4739	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre, a 210 m de la carretera.

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
8		R08-BL-AV	16/09/2020	11:42	16:00	369808	8169742	4737	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre a 240 m de la carretera.
9		R09-BL-AV	16/09/2020	11:57	16:00	369798	8169775	4736	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre, a 260 m de la carretera.
10		R10-BL-AV	16/09/2020	12:10	16:00	369799	8169873	4731	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre, a 340 m de la carretera.
11		R11-BL-AV	16/09/2020	12:24	16:00	369791	8169871	4734	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre, a 330 m de la carretera.
12		R12-BL-AV	16/09/2020	12:30	16:00	369780	8169888	4734	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en la parte media del bofedal sin nombre, a 350 m de la carretera.
13		R13-BL-AV	17/09/2020	10:05	16:00	369760	8169609	4742	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en el roquedal al borde del bofedal sin nombre, a 20 m de la carretera.
14		R14-BL-AV	17/09/2020	10:00	16:00	369771	8169605	4742	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en el roquedal al borde del bofedal sin nombre, a 25 m de la carretera.
15		R15-BL-AV	17/09/2020	10:25	16:00	369669	8169649	4743	Red ubicada en el río Queullirijahuiri, aproximadamente a 2 km antes de la confluencia con el río Margaritani, en el roquedal al borde del bofedal sin nombre, a 15 m de la carretera.
16		R27-TU-AV	06/10/2020	12:18	16:00	372185	8169860	4834	Red ubicada cerca del río Queullirijahuiri, en el bofedal sin nombre de poca extensión, bordeado por pequeños parches de matorral corto, y roquedales de diferentes tamaños
17		R28-TU-AV	06/10/2020	12:30	16:00	372115	8169818	4837	Red ubicada cerca del río Queullirijahuiri, en el bofedal sin nombre de poca extensión, bordeado por pequeños parches de matorral corto, y roquedales de diferentes tamaños
18		R29-TU-AV	06/10/2020	12:39	16:00	372126	8169780	4842	Red ubicada cerca del río Queullirijahuiri, en el bofedal sin nombre de poca extensión, bordeado por pequeños parches de matorral corto, y roquedales de diferentes tamaños
19		R30-TU-AV	06/10/2020	12:51	16:00	372087	8169804	4837	Red ubicada cerca del río Queullirijahuiri, en el bofedal sin nombre de poca extensión, bordeado por pequeños parches de matorral corto, y roquedales de diferentes tamaños
20		R31-TU-AV	06/10/2020	13:41	16:00	372145	8169912	4830	Red ubicada cerca del río Queullirijahuiri, en el bofedal sin nombre de poca extensión, bordeado por pequeños parches de matorral corto, y roquedales de diferentes tamaños

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
21		R32-TU-AV	06/10/2020	13:50	16:00	372155	8169927	4829	Red ubicada cerca del río Queullirijahuiri, en el bofedal sin nombre de poca extensión, bordeado por pequeños parches de matorral corto, y roquedales de diferentes tamaños
22	Margaritani	R01-TU-AV	30/09/2020	9:22	16:00	372019	8166948	4837	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 125 m de la poza de sedimentación (PSS-01A).
23		R02-TU-AV	30/09/2020	9:29	16:00	372007	8166962	4836	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 140 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
24		R03-TU-AV	30/09/2020	9:35	16:00	371989	8166972	4834	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 160 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
25		R04-TU-AV	30/09/2020	9:45	16:00	371970	8166979	4833	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 180 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
26		R05-TU-AV	30/09/2020	9:55	16:00	371944	8167000	4831	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 210 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
27		R06-TU-AV	30/09/2020	10:05	16:00	371921	8167021	4830	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 240 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
28		R07-TU-AV	30/09/2020	10:13	16:00	371888	8167039	4827	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 280 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
29		R08-TU-AV	30/09/2020	10:25	16:00	371863	8167041	4829	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 300 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
30		R09-TU-AV	30/09/2020	10:35	16:00	371834	8167047	4825	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 330 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
31		R10-TU-AV	30/09/2020	12:05	16:00	371821	8167075	4826	Red ubicada en la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 350 m de la poza de sedimentación (PSS-01A), al borde de la carretera.
32		R11-TU-AV	01/10/2020	9:08	16:00	371132	8167719	4815	Red ubicada en un bofedal de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 270 m de la confluencia con la quebrada Apostoloni. De poca extensión, pendiente leve, con presencia de pequeños cuerpos de agua.
33		R12-TU-AV	01/10/2020	9:13	16:00	371135	8167731	4814	Red ubicada en un bofedal de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 285 m de la confluencia con la quebrada Apostoloni. De poca extensión, pendiente leve, con presencia de pequeños cuerpos de agua.
34		R13-TU-AV	01/10/2020	10:19	16:00	371718	8167830	4845	Red ubicada a 380 m al norte de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas Wetland sur, en un roquedal cercano a la carretera.
35		R14-TU-AV	01/10/2020	10:21	16:00	371702	8167800	4840	Red ubicada a 350 m al norte de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas Wetland sur, en un roquedal cercano a la carretera.

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
36		R15-TU-AV	01/10/2020	10:30	16:00	371727	8167785	4846	Red ubicada a 340 m al norte de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas Wetland sur, en un roquedal cercano a la carretera.
37		R16-TU-AV	02/10/2020	10:50	16:00	372025	8168076	4850	Red ubicada cerca de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 70 m a la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte Norte, en el matorral corto al borde de la carretera.
38		R17-TU-AV	02/10/2020	10:57	16:00	372016	8168066	4845	Red ubicada cerca de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 80 m a la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte Norte, en el matorral corto al borde de la carretera.
39		R18-TU-AV	02/10/2020	11:10	16:00	371990	8168056	4845	Red ubicada cerca de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 90 m a la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte Norte, en el matorral corto al borde de la carretera.
40		R19-TU-AV	02/10/2020	11:30	16:00	372012	8168117	4835	Red ubicada cerca al Manantial de la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 30 m a la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte Norte, en el bofedal cercano a la carretera.
41		R20-TU-AV	02/10/2020	11:36	16:00	372027	8168127	4835	Red ubicada cerca al Manantial de la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 30 m a la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte Norte, en el bofedal cercano a la carretera.
42		R21-TU-AV	02/10/2020	11:52	16:00	371969	8168168	4832	Red ubicada en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 35 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada sin nombre 2, cercano a un roquedal de gran tamaño.
43		R22-TU-AV	02/10/2020	11:57	16:00	371945	8168185	4826	Red ubicada en la quebrada Margaritani, aproximadamente a 60 m aguas abajo de la confluencia con la quebrada sin nombre 2, cercano a un roquedal de gran tamaño.
44		R23-TU-AV	02/10/2020	12:08	16:00	371900	8168230	4827	Red ubicada en el bofedal cercano a un roquedal de pendiente moderada a 50 m de la quebrada Margaritani.
45		R24-TU-AV	03/10/2020	8:45	16:00	373140	8168436	4946	Red ubicada en el borde del bofedal impactado, a 110 m del margen derecho de la quebrada Margaritani.
46		R25-TU-AV	03/10/2020	9:02	16:00	373090	8168439	4950	Red ubicada en el borde del bofedal impactado, a 130 m del margen derecho de la quebrada Margaritani.
47		R26-TU-AV	03/10/2020	9:16	16:00	373076	8168523	4944	Red ubicada en un roquedal en la parte media del bofedal impactado, específicamente a 70 de la margen derecha de la quebrada Margaritani.
48	Aruntaya	R16-BL-AV	09/10/2020	11:08	16:00	368330	8169320	4525	Red ubicada al margen derecho de la laguna sin nombre, a 380 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
49		R17-BL-AV	09/10/2020	11:20	16:00	368355	8169335	4596	Red ubicada al margen derecho de la laguna sin nombre, a 420 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
50		R18-BL-AV	09/10/2020	11:29	16:00	368376	8169346	4631	Red ubicada al margen derecho de la laguna sin nombre, a 480 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
51		R19-BL-AV	09/10/2020	11:36	16:00	368393	8169353	4651	Red ubicada al margen derecho de la laguna sin nombre, a 540 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
52		R20-BL-AV	09/10/2020	11:43	16:00	368454	8169362	4668	Red ubicada al margen derecho de la laguna sin nombre, a 600 m de la garita de ingreso a la UM Florencia Tucari.
53	Titire - Coralaque	R01-TI-AV	11/09/2020	10:00	16:00	354936	8171872	4400	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
54		R02-TI-AV	11/09/2020	10:15	16:00	354943	8171878	4405	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
55		R03-TI-AV	11/09/2020	10:35	16:00	354947	8171885	4396	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
56		R04-TI-AV	11/09/2020	10:50	16:00	354949	8171905	4394	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
57		R05-TI-AV	11/09/2020	11:05	16:00	354948	8171917	4390	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
58		R06-TI-AV	11/09/2020	11:20	16:00	354929	8171916	4388	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
59		R07-TI-AV	11/09/2020	11:40	16:00	354890	8171882	4379	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
60		R08-TI-AV	11/09/2020	11:45	16:00	354894	8171873	4377	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
61		R09-TI-AV	11/09/2020	12:00	16:00	354778	8171824	4372	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
									áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
62		R10-TI-AV	11/09/2020	12:05	16:00	354780	8171808	4372	Red ubicada en el Río Titire, aproximadamente a 200 m antes de su confluencia con el río Aruntaya. Esta zona se caracteriza por tener áreas de área suelta y compacta, las cuales son divididas por el cauce del río Titire.
63		R01-CO-AV	09/09/2020	10:05	16:00	316466	8178503	3254	Red ubicada en un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta. Al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.
64		R02-CO-AV	09/09/2020	10:20	16:00	316472	8178529	3248	Red ubicada en un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta. Al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.
65		R03-CO-AV	09/09/2020	10:35	16:00	316486	8178554	3242	Red ubicada en un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta. Al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.
66		R04-CO-AV	09/09/2020	10:50	16:00	316510	8178546	3240	Red ubicada en un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta. Al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.
67		R05-CO-AV	09/09/2020	11:05	16:00	316496	8178571	3239	Red ubicada en un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta. Al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.
68		R06-CO-AV	09/09/2020	11:15	16:00	316516	8178527	3226	Red ubicada en un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta. Al borde del Río Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.
69		R07-CO-AV	09/09/2020	11:30	16:00	316499	8178511	3224	Red ubicada en un área de cultivo abandonado, con presencia de vegetación xerofítica, matorrales y pajonales secos, de pendiente leve, cercana a una ladera de montaña de pendiente alta. Al borde del Río

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora inicio	Hora final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s.n.m)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
									Coralaque, aproximadamente a 200 m aguas arriba del Centro Poblado de Pachas.

Tabla 5.56. Muestras de plumas de aves tomadas para el análisis de metales totales y cianuro en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N°	ID de la muestra	Zona	Punto de evaluación	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)	Método de evaluación	Especie	Nombre Común	Hábito	Muestra	Observación
1	CO-AVE-01	Titire-Coralaque	R05-CO-AV	09/09/2020	11:40	316496	8178571	Redes niebla	*Metallura phoebe*	Colibrí Negro	T	P	Muestra analizada
2	CO-AVE-02	Titire-Coralaque	R02-CO-AV	09/09/2020	13:00	316472	8178529	Redes niebla	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	T	P	Muestra analizada
3	CO-AVE-03	Titire-Coralaque	R04-CO-AV	09/09/2020	14:00	316510	8178546	Redes niebla	*Zonotrichia capensis*	Gorrión de Collar Rufo	T	P	Muestra analizada
4	CO-AVE-04	Titire-Coralaque	R04-CO-AV	09/09/2020	14:20	316510	8178546	Redes niebla	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	T	P	Muestra analizada
5	CO-AVE-05	Titire-Coralaque	R04-CO-AV	10/09/2020	10:10	316510	8178546	Redes niebla	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	T	P	Muestra analizada
6	CO-AVE-06	Titire-Coralaque	R05-CO-AV	10/09/2020	10:35	316496	8178571	Redes niebla	*Zonotrichia capensis*	Gorrión de Collar Rufo	T	P	Muestra analizada
7	CO-AVE-07	Titire-Coralaque	R03-CO-AV	10/09/2020	11:05	316486	8178554	Redes niebla	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	T	P	Muestra analizada
8	CO-AVE-08	Titire-Coralaque	R05-CO-AV	10/09/2020	11:45	316496	8178571	Redes niebla	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	T	P	Muestra analizada
9	CO-AVE-09	Titire-Coralaque	R05-CO-AV	10/09/2020	12:30	316496	8178571	Redes niebla	*Ochthoeca leucophrys*	Pitajo de Ceja Blanca	T	P	Muestra analizada
10	TI-AVE-01	Titire-Coralaque	R10-TI-AV	12/09/2020	12:10	354780	8171808	Redes niebla	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	A	P	Muestra analizada
11	TI-AVE-02	Titire-Coralaque	R05-TI-AV	11/09/2020	12:45	354948	8171917	Redes niebla	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	T	P	Muestra analizada
12	TI-AVE-03	Titire-Coralaque	R05-TI-AV	11/09/2020	14:51	354948	8171917	Redes niebla	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	T	P	Muestra analizada
13	TI-AVE-04	Titire-Coralaque	R01-TI-AV	11/09/2020	15:03	354936	8171872	Redes niebla	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	T	P	Muestra analizada
14	TI-AVE-05	Titire-Coralaque	R06-TI-AV	12/09/2020	9:18	354929	8171916	Redes niebla	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	T	P	Muestra analizada
15	TI-AVE-06*	Titire-Coralaque	-	09/10/2020	15:05	354780	8171808	Oportunista	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	A	P	Muestra analizada
16	BL-AVE-01	Queullirijahuiri	R03-BL-AV	17/09/2020	13:01	369862	8169648	Redes niebla	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	T	P	Muestra analizada
17	BL-AVE-02	Queullirijahuiri	R13-BL-AV	17/09/2020	13:26	369760	8169609	Redes niebla	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	T	P	Muestra analizada
18	BL-AVE-03	Queullirijahuiri	R14-BL-AV	17/09/2020	13:51	369771	8169605	Redes niebla	*Idiopsar speculifera*	Diuca de Ala Blanca	T	P	Muestra analizada
19	BL-AVE-04	Aruntaya	R20-BL-AV	10/10/2020	11:48	368454	8169362	Redes niebla	*Fulica gigantea*	Gallareta Gigante	A	P	Muestra analizada
20	BL-AVE-05	Aruntaya	R16-BL-AV	10/10/2020	12:32	368330	8169320	Redes niebla	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	T	P	Muestra analizada
21	BL-AVE-06	Aruntaya	R17-BL-AV	10/10/2020	12:51	368355	8169335	Redes niebla	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	T	P	Muestra analizada
22	BL-AVE-07	Aruntaya	R17-BL-AV	10/10/2020	13:20	368355	8169335	Redes niebla	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	T	P	Muestra no analizada
23	TU-AVE-01*	Margaritani	TU-AV-01	30/09/2020	10:50	372114	8166798	Oportunista	*Attagis gayi*	Agachona de Vientre Rufo	T	P	Muestra analizada

N°	ID de la muestra	Zona	Punto de evaluación	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)	Método de evaluación	Especie	Nombre Común	Hábito	Muestra	Observación
24	TU-AVE-02	Margaritani	R03-TU-AV	01/10/2020	11:35	371989	8166972	Redes niebla	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	T	P	Muestra analizada
25	TU-AVE-03	Margaritani	R06-TU-AV	01/10/2020	11:45	371921	8167021	Redes niebla	*Asthenes modesta*	Canastero Cordillerano	T	P	Muestra analizada
26	TU-AVE-04	Margaritani	R03-TU-AV	01/10/2020	11:53	371989	8166972	Redes niebla	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	T	P	Muestra analizada
27	TU-AVE-05*	Margaritani	TU-AV-01	02/10/2020	9:09	372114	8166798	Oportunista	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	T	P	Muestra analizada
28	TU-AVE-06*	Margaritani	TU-AV-01	02/10/2020	9:11	372114	8166798	Oportunista	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	T	P	Muestra analizada
29	TU-AVE-07	Margaritani	R03-TU-AV	30/09/2020	9:40	371989	8166972	Redes niebla	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	T	P	Muestra no analizada
30	TU-AVE-08	Margaritani	R17-TU-AV	02/10/2020	11:57	372016	8168066	Redes niebla	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	T	P	Muestra no analizada
31	TU-AVE-09	Margaritani	R15-TU-AV	03/10/2020	15:31	371727	8167785	Redes niebla	*Spinus atratus*	Jilguero Negro	T	P	Muestra no analizada
32	TU-AVE-10	Margaritani	R15-TU-AV	03/10/2020	16:07	371727	8167785	Redes niebla	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	T	P	Muestra no analizada
33	TU-01	Margaritani	TU-AV-01	02/10/2020	15:30	372114	8166798	Redes niebla	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	T	T	Muestra analizada
34	TU-02	Margaritani	TU-AV-01	02/10/2020	15:45	372114	8166798	Redes niebla	*Asthenes modesta*	Canastero Cordillerano	T	T	Muestra analizada

Leyenda: T: Terrestre, A: acuático en Hábito, mientras que P: plumas, T: Tejido en Muestra
* Registros oportunos

Tabla 5.57. Ubicación de las líneas de captura para roedores por zonas de evaluación en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.°	Zona	Código del Punto de muestreo	Código de la muestra (Tejido)	Fecha	Código de punto Inicio/final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
1	Margaritani	Tu-Ro1	-	10/09/2020	Tu-Ro1i	372532	8166588	4899	Matorral	Línea de captura ubicada en dirección noreste del Pad III, y en margen izquierda de quebrada Apostoloni
					Tu-Ro1f	372852	8166303	4964		Punto final de la línea de captura ubicada en dirección noreste del Pad III, y en margen izquierda de quebrada Apostoloni a 250 m de distancia del punto inicial de la línea
2		Tu-Ro2	Mm-Tuca-01	10/09/2020	Tu-Ro2i	372289	8166681	4,890	Matorral	Línea de captura ubicada en dirección noreste del Pad III, y en margen izquierda de quebrada Apostoloni a unos 100 m de la línea Tu-Ro1
			Mm-Tuca-02		Tu-Ro2f	372600	8166442	4923		Punto final de la línea de captura ubicada en dirección noreste del Pad III, y en margen izquierda de quebrada Apostoloni a unos 350 m de la línea Tu-Ro1

N.°	Zona	Código del Punto de muestreo	Código de la muestra (Tejido)	Fecha	Código de punto Inicio/final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
3		Tu-Ro5	-	13/09/2020	Tu-Ro5i	373555	8168397	4971	Bofedal	Línea ubicada en el sector de la quebrada Margaritani a unos 300 m al noreste de la planta de tratamiento de aguas ácidas
					Tu-Ro5f	373490	8168535	4970		Punto final de la línea ubicada en el sector de la quebrada Margaritani a unos 300 m al noreste de la planta de tratamiento de aguas ácidas y a 250 m de su punto inicial
4		Tu-Ro6	Mm-Tuca-04	14/09/2020	Tu-Ro6i	373417	8168274	4899	Bofedal	Línea ubicada en el sector de la quebrada Margaritani a unos 200 m al noreste de la planta de tratamiento de aguas ácidas del margen izquierdo
			Mm-Tuca-07		Tu-Ro6f	373081	8168520	4918		Punto final de la línea ubicada en el sector de la quebrada Margaritani a unos 200 m al noreste de la planta de tratamiento de aguas ácidas del margen izquierdo y a unos 250 m del punto inicial
5		Tu-Ro7	Mm-Tuca-08	15/09/2020	Tu-Ro7i	372027	8168128	4831	Bofedal/Roquedal	Línea ubicada en el margen derecho de la quebrada Margaritani a unos 100 m del canal de Coronación del depósito de desmonte Norte
					Tu-Ro7f	371673	8168116	4829		Punto final de la línea ubicada en el margen derecho de la quebrada Margaritani a unos 100 m del canal de Coronación del depósito de desmonte Norte y a 250 m del punto inicial de la línea
6		Tu-Ro8	Mm-Tuca-05	15/09/2020	Tu-Ro8i	371558	8167975	4829	Bofedal/Roquedal	Línea ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Margaritani a unos 160 m del canal de Coronación del depósito de desmonte Norte
					Tu-Ro8f	371918	8168074	4840		Punto final de la línea ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Margaritani a unos 160 m del canal de Coronación del depósito de desmonte Norte y a 250 m del punto inicial de la línea
7		Tu-Ro11	Mm-Tuca-12	17/09/2020	Tu-Ro11i	367659	8168162	4740	Pajonal	Línea ubicada en la parte baja del río Margaritani a unos 300 m del campamento base

N.°	Zona	Código del Punto de muestreo	Código de la muestra (Tejido)	Fecha	Código de punto Inicio/final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
					Tu-Ro11f	367936	8167914	4679		Punto final de la línea ubicada en la parte baja del río Margaritani a unos 300 m del campamento base y a 250 m del punto inicial de la línea
8		Tu-Ro12	Mm-Tuca-10	17/09/2020	Tu-Ro12i	368017	8167834	4697	Pajonal	Línea ubicada en la parte baja del río Margaritani a unos 400 m del campamento base
			Mm-Tuca-11		Tu-Ro12f	368279	8167523	4685		Punto final de la línea ubicada en la parte baja del río Margaritani a unos 400 m del campamento base y a 250 m del punto inicial de la línea
9	Queullirijahuiri	Tu-Ro9	Mm-Tuca-09	16/09/2020	Tu-Ro9i	370052	8169500	4744	Bofedal	Línea ubicada en el Bofedal del sector norte del río Queullirijahuiri, en el margen izquierdo en su parte baja
					Tu-Ro9f	370443	8169581	4751	Bofedal	Punto final de la línea ubicada en el Bofedal del sector norte del río Queullirijahuiri, en el margen izquierdo en su parte baja y a 250 m de su punto inicial
10		Tu-Ro10	Mm-Tuca-06	16/09/2020	Tu-Ro10i	370546	8169630	4752	Bofedal	Línea ubicada en el Bofedal del sector norte del río Queullirijahuiri, en el margen izquierdo en la parte alta
					Tu-Ro10f	370890	8169769	4746		Punto final de la línea ubicada en el Bofedal del sector norte del río Queullirijahuiri, en el margen izquierdo en la parte alta y a 250 m del punto inicial
11	Aruntaya	Tu-Ro13	Mm-Tuca-13	23/09/2020	Tu-Ro13i	362730	8165445	4446	Matorral	Línea ubicada en la parte media del río Queullirijahuiri en su margen izquierdo
					Tu-Ro133f	362440	8165214	4434		Punto final de la línea ubicada en la parte media del río Queullirijahuiri en su margen izquierdo y a 250 m del punto inicial
12		Tu-Ro14	-	23/09/2020	Tu-Ro14i	361672	8164812	4408	Matorral	Línea ubicada en la parte baja del río Queullirijahuiri en su margen izquierdo
					Tu-Ro14f	361999	8164840	4415		Punto final de la línea ubicada en la parte baja del río Queullirijahuiri en su margen izquierdo y a 250 m del punto inicial de la línea

N.°	Zona	Código del Punto de muestreo	Código de la muestra (Tejido)	Fecha	Código de punto Inicio/final	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Hábitat	Descripción
						Este (m)	Norte (m)			
13		Tu-Ro15	Mm-Tuca-14	25/09/2020	Tu-Ro15i	364491	8167393	4361	Matorral	Línea ubicada en la parte alta del río Queullirijahuiri en su margen derecha
			Mm-Tuca-15		Tu-Ro15f	364735	8167630	4455		Punto final de la línea ubicada en la parte alta del río Queullirijahuiri en su margen derecha y a 250 m del punto inicial de la línea
14		Tu-Ro16	Mm-Tuca-16	29/09/2020	Tu-Ro16i	359132	8165439	4200	Roquedal / pajonal	Línea ubicada como línea de control en el sector de la comunidad de Aruntaya a unos 600 m de distancia del río Queullirijahuiri por su margen izquierdo
			Mm-Tuca-17		Tu-Ro16f	358712	8165663	4407		Punto final de la línea ubicada como línea de control en el sector de la comunidad de Aruntaya a unos 600 m de distancia del río Queullirijahuiri por su margen izquierdo y a 250 m del punto inicial de la línea
15	Paccha-Aruntaya	Tu-Ro3	Mm-Tuca-03	11/09/2020	Tu-Ro3i	373613	8163568	4950	Bofedal	Línea de captura ubicada en el sector del río Aruntaya, parte baja del curso de río y bofedal
					Tu-Ro3f	373207	8163558	4901		Punto final de la línea de captura ubicada en el sector del río Aruntaya, parte baja del curso de río y bofedal a 250 m del punto inicial de la línea
16		Tu-Ro4	-	12/09/2020	Tu-Ro4i	373190	8163619	4906	Bofedal	Línea de captura ubicada en el sector del río Aruntaya, parte baja del curso de río y bofedal a unos 100 m más debajo de la línea Tu-Ro3
					Tu-Ro4f	372841	8163668	4908		Punto final de la línea de captura ubicada en el sector del río Aruntaya, parte baja del curso de río y bofedal a unos 100 m más debajo de la línea Tu-Ro3 y a unos 250 m del punto inicial de la línea
17	Coralaque	Tu-Ro17	Mm-Tuca-18	03/10/2020	Tu-Ro17i	321033	8169586	3580	Matorral	Ubicado en el margen izquierdo del río Titire y a unos 100 m de la carretera de acceso al centro poblado de Pachas
			Mm-Tuca-19		Tu-Ro17f	321365	8169732	3563		Punto final de la línea ubicada en el margen izquierdo del río Titire y a unos 100 m de la carretera de acceso al centro poblado de Pachas y a 250 m del punto inicial de la línea
			Mm-Tuca-20							

Tabla 5.58. Ubicación de las cámaras trampa para mamíferos mayores silvestres y domésticos por zona en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
1	Margaritani	TUCA1	15/09/2020	371471	8167882	4817	Trampa cámara ubicada en el derecho de la quebrada Margaritani a unos 300 m del canal de Coronación del depósito de desmonte Norte
2		TUCA2	15/09/2020	372039	8168141	4835	Trampa cámara ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Margaritani a unos 60 m del canal de Coronación del depósito de desmonte Norte
3		TUCA3	15/09/2020	371680	8168093	4830	Trampa cámara ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Margaritani a unos 150 m del canal de Coronación del depósito de desmonte Norte
4		TUCA4	15/09/2020	373298	8168473	4903	Trampa cámara ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Margaritani a unos 60 m del sistema de tratamiento wetland norte
5		TUCA5	15/09/2020	373055	8168599	4906	Trampa cámara ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Margaritani a unos 150 m del sistema de tratamiento wetland sur
6		TUCA6	16/09/2020	372117	8166795	4829	Trampa cámara ubicada en la quebrada Apostoloni a unos 100 m de la poza de sedimentación PSS-01A
7		TUCA7	16/09/2020	371819	8167085	4812	Trampa cámara ubicada en la quebrada Apostoloni a unos 500 m de la poza de sedimentación PSS-01A
8		TUCA8	16/09/2020	371903	8167037	4820	Trampa cámara ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Margaritani a unos 300 m de la poza de sedimentación PSS-01A
11		TUCA11	18/09/2020	371020	8167510	4809	Trampa cámara ubicada entre la confluencia de la quebrada Margaritani y Apostoloni
12		TUCA12	18/09/2020	369589	8167116	4749	Trampa cámara ubicada en el río Margaritani a unos 100 m del PAD I
13		TUCA13	18/09/2020	367650	8168386	4642	Trampa cámara ubicada en la parte baja del río Margaritani a unos 300 m del campamento base
9	Queullirijahuiri	TUCA9	17/09/2020	370443	8169713	4753	Trampa cámara ubicada en la parte media del bofedal del río Queullirijahuiri
10		TUCA10	17/09/2020	370954	8170071	4822	Trampa cámara ubicada en la parte alta del bofedal del río Queullirijahuiri
14	Aruntaya	TUCA14	24/09/2020	363946	8166935	4478	Trampa cámara ubicada en la parte baja del río Queullirijahuiri en su margen derecha fuera del área de influencia
15		TUCA15	24/09/2020	364182	8167146	4483	Trampa cámara ubicada en la parte alta del río Queullirijahuiri en su margen izquierda fuera del área de influencia
16		TUCA16	29/09/2020	360980	8165190	4421	Trampa cámara ubicada en el sector de la comunidad de Aruntaya en el río Queullirijahuiri por su margen izquierdo
17		TUCA17	29/09/2020	360582	8165346	4408	Trampa cámara ubicada en el sector de la comunidad de Aruntaya en el río Queullirijahuiri por su margen derecho a unos 500 m de TUCA16

Tabla 5.59. Ubicación de los lugares de muestreo de sangre en alpacas (*Vicugna pacos*) por zona en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N°	Zona	Código del punto de muestreo	Fecha	Hora	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 K		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
					Este (m)	Norte (m)		
1	Aruntaya	S-Tu-01	26/09/2020	15:00	364393	8167112	4545	Muestra extraída de los animales ubicados en la parte baja del río Queullirijahuiri en su margen derecha fuera del área de influencia
2		S-Tu-02	29/09/2020	10:00	364393	8167112	4545	
3		S-Tu-03	29/09/2020	15:45	360524	8165064	4390	Muestra extraída de los animales ubicados en el sector de la comunidad de Aruntaya en el río Queullirijahuiri por su margen izquierdo
4		S-Tu-04	29/09/2020	15:50	360524	8165064	4390	
5		S-Tu-05	29/09/2020	17:00	361379	8160924	4445	Muestra de animales ubicados en el sector oeste de la comunidad de Aruntaya a unos 2000 metros de distancia del río Queullirijahuiri por su margen izquierdo
6		S-Tu-06	29/09/2020	17:05	361379	8160924	4445	
7		S-Tu-07	29/09/2020	17:55	359270	8165146	4431	Muestra de animales ubicados en el sector de la comunidad de Aruntaya a unos 600 m de distancia del río Queullirijahuiri por su margen izquierdo
8		S-Tu-08	30/09/2020	16:40	359235	8165394	4413	
9	Titire	S-Tu-09	01/10/2020	7:35	355635	8171141	4374	Muestra de animales ubicados en el sector de la comunidad de Titire aledaños al río Titire
10		S-Tu-10	01/10/2020	8:10	355635	8171141	4374	

5.4.3.3. Métodos de análisis

a) Anfibios y reptiles

- **Evaluación por registro visual o «*Visual Encounter Survey*» (VES)**

Es la metodología más utilizada en las diversas evaluaciones herpetológicas (Crump y Scott, 2001). El VES consiste en la búsqueda intensiva de anfibios y reptiles a través de caminatas aleatorias en una determinada zona, por un tiempo determinado (30 minutos), registrando tanto sobre el sustrato, como entre la vegetación, y revisando potenciales lugares de refugio para anfibios y reptiles como, áreas debajo de rocas, piedras y/o vegetación (Angulo *et al*., 2006). Cada VES debe estuvo distanciado como mínimo 50 m una de la otra. Los resultados obtenidos mediante esta metodología permitirán calcular la riqueza y abundancia relativa de los organismos evaluados.

Se tomaron los siguientes datos de campo: hora de inicio y fin de cada evaluación con sus respectivas coordenadas geográficas UTM (*Universal Transverse Mercator;* marcador transversal universal) y elevación con respecto al nivel del mar. Para cada individuo se registrará la hora de avistamiento, edad (juvenil/adulto), sexo, actividad ((a) termorregulando, (b) alimentándose, (c) en interacciones sociales), microhábitat, estado reproductivo, condición climática ((a) nublado, (b) seminublado, (c) despejado, (d) llovizna); y condición física: peso, tamaño (longitud total: cuerpo y cola).

- **Transectos en hábitats acuáticos**

Los transectos son unidades de muestreo lineares que se establecieron en 100 m a lo largo de cursos de hábitats acuáticos. Se instalaron principalmente en los afluentes, efluentes de los bofedales y quebradas que se encuentran en el área de evaluación. En cada transecto se realizaron búsquedas intensivas bajo piedras, huecos, acumulaciones de algas, entre otros y las zonas de orillas. El tiempo de evaluación varió según la dificultad de evaluación de cada hábitat (entre 45 y 60 minutos).

En cada transecto se registraron datos de tiempo de evaluación, coordenadas geográficas UTM (*Universal Transverse Mercator;* marcador transversal universal) para los puntos de inicio y final de cada transecto, altitud y características de hábitat tales como: número de pozas, clasificación cualitativa de caudal (empozada, lenta, rápida), tipo de lecho (rocoso, limoso, arenoso, otros), pendiente, vegetación acuática y substrato de orilla. Adicionalmente cada individuo capturado fue fotografiado y se recabaron datos de sexo, estadio de desarrollo (adulto, juvenil, metamorfo o larva) y medidas morfológicas. Mediante esta metodología se obtuvieron datos de diversidad, abundancia y caracterización de hábitat de especies acuáticas de anfibios.

- **Registros oportunos**

Son observaciones de especímenes fuera de las técnicas de evaluación (registros de otros especialistas, animales muertos, entre otras), las cuales contribuyen al conocimiento sobre la ocurrencia de anfibios y reptiles en el área de influencia del proyecto (Manzanilla y Péfaur, 2000); sin embargo y a pesar de que frecuentemente producen valiosos registros por localidad, su aporte debe ser considerado para los índices de diversidad (Manzanilla y Péfaur, 2000).

Para la determinación taxonómica de las especies de anfibios y reptiles registrados y/o colectados durante las evaluaciones, se utilizaron claves taxonómicas especializadas (Peters y Donoso-Barros, 1970; Rodríguez *et al*., 1993), descripciones científicas, bases de

datos internacionales, así como colecciones científicas de referencia (Departamento de Herpetología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos).

b) Aves

- **Búsquedas intensivas (BI)**

Para la evaluación cuantitativa de las aves se utilizó el método de búsquedas intensivas (Ralph *et al*.,1996, Bibby *et al*.,1993, Franke *et al*., 2014). Este método consistió en recorrer el área estudiada en busca de aves siguiendo una ruta libre a criterio del evaluador. Las búsquedas tuvieron una duración de 10 minutos y el área de búsqueda fue variable, dependiendo del tamaño de los hábitats, teniendo un límite de detección de 100 m de radio. En cada búsqueda se registró a las especies mediante escaneos visuales y auditivos, anotando el número de individuos por especie y algunas observaciones ecológicas (hábitat y registros reproductivos).

Las búsquedas intensivas se realizaron a lo largo de las formaciones vegetales registradas en torno a cada zona de evaluación: Zona Queullirijahuiri, Zona Margaritani, Zona Aruntaya y Zona Titire - Coralaque. La evaluación se inició en horas de la mañana (8:00 a 14:00 horas) y en horas de la tarde (15:00 a 17:00 horas). Para cada búsqueda de aves se tomaron los siguientes datos: fecha, hora de inicio, hora final y coordenadas geográficas UTM (*Universal Transverse Mercator;* marcador transversal universal).

- **Conteo total**

Este método, como su nombre lo indica, consiste en contabilizar a todos los individuos de las diferentes especies presentes en los cuerpos de agua. El evaluador se coloca en la parte más alta de la zona cercana al cuerpo de agua (laguna o lago), con el objetivo de tener una mayor y mejor visibilidad de las especies presentes y procede a realizar el conteo de los individuos (Bibby *et al*.,1993; Franke *et al*., 2014).

En cada conteo total se tomaron los siguientes datos: número de especies, número de individuos por especie, coordenadas geográficas UTM (*Universal Transverse Mercator;* marcador transversal universal), hora del conteo, tipo de hábitat y una descripción general de la zona. El tiempo promedio para cada conteo total fue de aproximadamente 30 minutos.

- **Redes niebla**

Para complementar la evaluación de aves en el área de estudio, se realizaron capturas vivas de especies con redes niebla. Se utilizaron un total de 10 redes de niebla (12 m x 2,8 m; malla de 36 mm), las cuales fueron colocadas en lugares donde se observaron una gran diversidad de aves como, por ejemplo; matorrales, pajonales densos o semidensos, zonas de transición entre bofedales y lagunas o bofedales y pajonales.

Las redes permanecieron abiertas desde las 8:00 hasta las 17:00 horas, siendo revisadas en un primer momento cada 30 minutos, este tiempo varió de acuerdo con el número de capturas obtenidas (Ralph *et al*., 1996).

Las aves capturadas fueron identificadas, fotografiadas y liberadas en el más corto plazo posible. La información que se registra antes de la liberación del especimen consiste en; anotar el nombre de la especie, código de la red, hábitat, peso, presencia del parche de incubación, muda, sexo (en especies con dimorfismo sexual) y condición general (Franke *et al*., 2014).

c) Mamíferos

- **Mamíferos mayores - Cámaras trampa**

Las cámaras trampa son herramientas útiles debido a que permiten ampliar nuestras observaciones de las especies en el tiempo y el espacio sin interferir con su conducta, generando así información muy valiosa sobre la biología y ecología de las especies, que de otra manera sería más difícil de obtener si se utilizaran métodos tradicionales (Chávez *et al.*, 2013). Actualmente esta metodología es utilizada para realizar inventarios, detectar presencia o ausencia de animales, estimar la diversidad, abundancia y densidad en diferentes paisajes (Díaz-Pulido y Payán, 2012).

- **Mamíferos menores (roedores) – Captura viva con trampas Sherman**

Para la evaluación de mamíferos menores se empleó el método de captura viva mediante el uso de trampas tipo Sherman, dispuestas a lo largo de transectos divididas en estaciones. Se emplea esta variedad de trampas porque las especies reaccionan de modo diferente a cada tipo de trampa (Voss y Emmons, 1996).

Cada transecto o línea de captura estuvo conformada por 25 estaciones, separadas 10 metros entre sí; colocándose 2 trampas por cada estación, ubicadas a nivel del suelo y algunas en lo alto de las ramas de la vegetación presente para facilitar la captura. Estas trampas fueron cebadas con una mezcla de mantequilla de maní, avena, vainilla, pasas, miel y diferentes tipos de semillas. Las trampas permanecieron activas 2 noches por cada unidad de muestreo, siendo revisadas durante las primeras horas de la mañana y recebadas diariamente. El esfuerzo de captura realizado es el número de trampas utilizadas por el tiempo durante el cual dichas trampas fueron monitoreadas, y se expresa como «trampas noche» (Jones *et al.,* 1996).

Para la determinación de las especies de mamíferos silvestres (mayores y menores) se utilizó la información taxonómica de forma referencial indicada por Eisenberg y Redford (1999), Patton *et al*., (2015), Emmons y Feer (1997) y Pacheco *et al*., (2009).

5.4.3.4. Parámetros

Los parámetros tomados en cuenta en la evaluación de la fauna fueron: composición taxonómica, riqueza de especies, abundancia (número de individuos), diversidad alfa y diversidad beta. Adicionalmente se realizaron las curvas de acumulación de especies y análisis multivariados para determinar la eficacia de la evaluación realizada. (Tabla 5.60).

Tabla 5.60. Parámetros analizados en la evaluación de la fauna silvestre y doméstica en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Parámetros		Fauna Silvestre		
		Anfibios y reptiles	Aves	Mamíferos
Composición y riqueza de especies		x	x	x
Abundancia de especies		x	x	
Índice de diversidad alfa	Números de Hill	x	x	
Índices de diversidad beta	Índice de Morisita		x	x
Análisis multivariados			x	
Metales totales (incluido mercurio) y cianuro		x	x	x

A continuación, se describen todos los parámetros a evaluarse:

a) Composición, riqueza y abundancia

- **Riqueza de especies**

La riqueza específica es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de estas (Moreno, 2001).

- **Abundancia de especies**

La abundancia es la suma total de los individuos de una especie o especies obtenida mediante un muestreo (Magurran, 2004). Esta abundancia junto con la riqueza de especies obtenida de la evaluación cuantitativa se utilizó para el cálculo de los índices de diversidad alfa y beta.

- **Estimación de la riqueza esperada**

La curva de acumulación de especies representa gráficamente la forma como las especies van apareciendo en las unidades de muestreo o de acuerdo con el incremento de número de individuos; de esta forma permite estimar el esfuerzo necesario para registrar a todas las especies presentes.

Modelo de la ecuación Clench

Este modelo es comúnmente utilizado para analizar la relación del esfuerzo de muestreo respecto a las especies registradas, siendo aplicado en varios taxones de forma óptima. Para la presente evaluación se utilizó este modelo debido a lo extenso del área evaluada, lo cual permite que existe una mayor probabilidad de agregar nuevas especies al estudio (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

Su fórmula es:

$$S_n = a \times n/(1 + b \times n)$$

Donde:

a: Tasa de incremento de nuevas especies al comienzo del inventario.
b: Parámetro relacionado con la forma de la curva.

Para realizar la curva de acumulación de especies mediante este modelo se usó el programa *EstimateS* versión 9.1 (Colwell, 2013), que permite la aleatorización de las especies acumuladas de los muestreos y realiza cálculos del número de especies observadas y esperadas utilizando estimadores y considerando las desviaciones estándar del proceso de aleatorización. Por otro lado, se utilizó el paquete estadístico *STATISTICA* versión 7 (www.statsoft.com) para elaborar la curva de acumulación de especies.

Modelo de exponencial negativo

Para la evaluación de anfibios y reptiles se utilizó este modelo, debido a la reducida extensión del área evaluada y la presencia de especies conocidas durante las evaluaciones, las cuales tienen altas probabilidades de ser registradas (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). Su fórmula es:

$$S_n = (a[1 - exp(-b \times n)])b$$

Donde:

a: Tasa de incremento de nuevas especies al comienzo del inventario
b: Parámetro relacionado con la forma de la curva

Para realizar la curva de acumulación de especies mediante este modelo se usó el programa *EstimateS* versión 9.1 (Colwell, 2013), que permite la aleatorización de las especies acumuladas de los muestreos y realiza cálculos del número de especies observadas y esperadas utilizando estimadores y considerando las desviaciones estándar del proceso de aleatorización. Por otro lado, se utilizó el paquete estadístico *STATISTICA* versión 7 (www.statsoft.com) para elaborar la curva de acumulación de especies.

b) Diversidad

Los índices de diversidad son aquellos que describen lo diverso que puede ser un determinado lugar, considerando el número de especies (riqueza) y el número de individuos de cada especie (abundancia) tal como señalan Moreno (2001) y Gaston (1996).

- **Diversidad alfa**

Número efectivo de especies o números de Hill

Es una medida estandarizada de los índices de diversidad clásicos, los cuales tienen propiedades únicas para aplicaciones específicas. De manera que los índices netos de diversidad (Riqueza S, Shannon H' y Simpson 1- ʎ.) pueden ser expresados en valores de una diversidad real o verdadera de una comunidad virtual en la que todas las especies tuvieran la misma abundancia relativa (Hill, 1973; Jost, 2007). Este índice de diversidad (^qD) muestra una medida del número de especies efectivas cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa (Hill, 1973; Jost, 2007). Valores diferentes del exponente que en cada cálculo otorga un peso diferencial a la abundancia relativa de especies (Jost *et al*., 2011). El valor de N_0 corresponde a la riqueza de especies, N_1 muestra el número de especies comunes y N_2 representa el número de las especies dominantes y más abundantes (Chao *et al*., 2014).

El cálculo se realiza a partir de la siguiente formula (Jost, 2006):

$$qD = \left(\sum_{i=1}^{s} p_i^q\right)^{\frac{1}{(1-q)}} \quad (5.6)$$

Donde:

qD: Diversidad verdadera
pi: abundancia de la especie i dividida entre la suma total de abundancias de las S especies que integran la comunidad
q: exponente de la diversidad

Estos análisis se realizaron en el paquete estadístico INext 2.0.12 (Hsieh *et al*., 2016) con un Bootstrap de 100 repeticiones y un intervalo de confianza del 95%, en el programa R (R Core Team, 2018).

- **Diversidad beta**

Índice de Morisita

Este índice expresa cuan semejantes son 2 muestras en base a la abundancia proporcional de cada especie en dichas muestras (Magurran, 1988; Krebs, 1989; Moreno, 2001). Este índice está definido por:

$$Morisita_{jk} = \frac{2\sum_{i=1}^{s}(x_{ij}x_{ik})}{(\lambda_1 + \lambda_2)\sum_{i=1}^{s}x_{ij}\sum_{i=1}^{s}x_{ik}}$$

Donde:

X_{ij}, X_{ik}: Número individuos de la especie i en las muestras J y K
N_j: $\sum X_{ij}$: Total de individuos en la muestra J
N_k: $\sum X_{ik}$: Total de individuos en la muestra K

- **Análisis multivariado**

El análisis multivariado (AM) es la parte de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resultan de observar más de una variable estadística sobre una muestra de individuos. Las variables observables son homogéneas y correlacionadas, sin que alguna predomine sobre las demás. La información estadística en el análisis multivariado es de carácter multidimensional, por lo tanto, la geometría, el cálculo matricial y las distribuciones multivariantes juegan un papel fundamental (Cuadras, 2014).

El análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés) es un método estadístico que permite simplificar la complejidad de espacios muestrales con muchas dimensiones, a la vez que conserva su información. Supóngase que existe una muestra con NN individuos cada uno con pp variables (X1X1, X2X2,…, XpXp), es decir, el espacio muestral tiene pp dimensiones. El PCA permite encontrar un número de factores subyacentes (z<p)(z<p) que explican aproximadamente lo mismo que las pp variables originales. Donde antes se necesitaban pp valores para caracterizar a cada individuo, ahora bastan zz valores. Cada una de estas zz nuevas variables reciben el nombre de componente principal (Amat, 2017).

c) Especies amenazadas y endémicas

Se determinó a las especies amenazadas de fauna (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) obtenidas en la presente evaluación, mediante una comparación con la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas, aprobado según Decreto Supremo N.° 004-2014-MINAGRI y el Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú (Serfor, 2018).

Además, se tomaron en cuenta, las categorías determinadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para la clasificación de especies sobre la base de criterios que determinan su estatus de conservación. Estas categorías fueron: extinto (EX), extinto en estado silvestre (EW), en peligro crítico (CR), en peligro (EN), vulnerable (VU), casi amenazado (NT), preocupación menor (LC), menor riesgo o casi amenazado (LR), datos insuficientes (DD) y no evaluado (NE). Las especies listadas en las categorías CR, EN y VU se consideran «amenazadas». Asimismo, se listaron las especies incluidas en los apéndices de la CITES (2019) (Tabla 5.61).

Las especies de anfibios y reptiles endémicas de Perú fueron determinadas mediante la revisión de bibliografía especializada como las descripciones originales de las especies o aquellas que indiquen la ampliación de rango. Adicionalmente, se consultaron bases de datos en línea como «Reptile Database» (Uetz et al., 2019), «Amphibian species of the world» (Frost, 2020), «Amphibiaweb» (AmphibiaWeb, 2020) y la Lista Roja de especies amenazadas de la IUCN (2020).

El endemismo y migración de las aves fueron determinaron según Schulenberg *et al*. (2010) y Plenge (2020) y la lista de especies incluidas en los apéndices de la *Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals* (por sus siglas en inglés, CMS; 2015), del mismo modo para las especies endémicas de las *Endemic Birds Areas* (EBA) según Stattersfield *et al*. (1998) y de los biomas se determinaron según Stotz *et al*. (1996).

Finalmente se realizó un registro fotográfico de todas las especies de fauna observadas y los hábitats evaluados en cada zona, los cuales se presentan en el Anexo 3 (Reporte N.º RRE-047-2020-STEC).

Tabla 5.61. Categorías de conservación Nacional e internacional para fauna

Lista	Categoría	Descripción
Decreto Supremo Nº 004-2014 (Fauna)	En Peligro Crítico (CR)	Cuando la mejor evidencia disponible acerca de un taxón indica la reducción en el número de poblaciones, una distribución limitada (menos de 100 km^2), un tamaño de población reducida (estimada en menos de 250 individuos maduros), y el análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado silvestre es por lo menos del 50 % dentro de 10 años o 3 generaciones.
	En Peligro (EN)	Cuando la mejor evidencia disponible acerca de un taxón indica la reducción en el número de poblaciones, una distribución geográfica limitada (menos de 5000 km^2), un tamaño de población reducida (estimada en menos de 2500 individuos maduros), y el análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado silvestre es de por lo menos del 20 % en 20 años o 5 generaciones.
	Vulnerable (VU)	Cuando la mejor evidencia disponible acerca de un taxón indica que existe una reducción en el número de poblaciones, una distribución geográfica limitada (menos de 200000 km^2), un tamaño de la población reducida (estimada en menos de 100000 individuos), y el análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado silvestre es de por lo menos 10 % dentro de 100 años.
	Casi Amenazada (NT)	Cuando la mejor evidencia disponible muestra que si bien un taxón no cumple con los criterios: En Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN) y/o Vulnerable (VU), está próximo a satisfacer dichos criterios, o posiblemente los satisfaga, en un futuro cercano.
IUCN (2020)	En Peligro Crítico (CR)	Un taxón está en CR cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple alguno de los criterios para la categoría CR y, por consiguiente, se considera en riesgo extremadamente alto de extinción.
	En Peligro (EN)	Un taxón es considerado EN cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple alguno de los criterios para la categoría EN y, por consiguiente, se considera en riesgo alto de extinción en estado silvestre.
	Vulnerable (VU)	Un taxón está en estado VU cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple alguno de los criterios para la categoría VU y, por consiguiente, se considera en riesgo alto de extinción en estado silvestre.
	Casi Amenazado (NT)	Un taxón está en estado Casi Amenazado (NT) cuando ha sido evaluado según los criterios de la categoría y no satisface los criterios para CR, EN o VU; pero está próximo a satisfacer los criterios, o posiblemente los satisfaga, en el futuro cercano.

Lista	Categoría	Descripción
CITES (2019)	Apéndice I	Lista de especies de animales y plantas con mayor peligro de extinción. Están amenazadas de extinción.
	Apéndice II	Lista de especies que no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio. En este Apéndice figuran también las llamadas «especies semejantes», es decir, especies cuyos especímenes objeto de comercio son semejantes a los de las especies incluidas por motivos de conservación.
	Apéndice III	Lista de las especies incluidas a solicitud de una parte que ya reglamenta el comercio de dicha especie y necesita la cooperación de otros países para evitar la explotación insostenible o ilegal de las mismas.

6. RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados detallados por objetivo empleada en la evaluación ambiental de causalidad para evaluar la influencia de los componentes mineros de la unidad fiscalizable Florencia-Tucari y el contexto geológico sobre la ocurrencia del drenaje ácido, y el aporte de elementos de interés de fuentes termales en la unidad hidrográfica Coralaque. Los resultados de laboratorio de todas las matrices evaluadas se encuentran detallados en los reportes de resultados RRE-046-2020-STEC y RRE-047-2020-STEC.

6.1. Objetivo específico N.º 1: Identificar la generación de drenaje de ácido de mina en el tajo, depósitos de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero) y el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia - Tucari; así como sus mecanismos de transporte hacia los cuerpos de agua de la unidad hidrográfica Coralaque.

6.1.1. Caracterización geoquímica de componentes mineros

La caracterización geoquímica comprendió el análisis de muestras procedentes del tajo Tucari, depósitos de desmonte (zona Norte) y su ampliación (zona 10 y Hechadero), canteras de agregados y morrenas (Angelina y Edita), los cuales son considerados como fuentes potenciales de contaminación. Adicionalmente, se incluyeron muestras en zonas adyacentes a las canteras Edita y Agregados, denominadas como material removido 1 y 2, respectivamente. A continuación, se describen los resultados de los ensayos realizados.

6.1.1.1. Canteras de material de préstamo y material removido

En la unidad fiscalizable Florencia-Tucari se evaluó 3 áreas de canteras (material de préstamo) y 2 áreas con material removido aledaños a las canteras, ubicadas en la zona Margaritani; en la Figura 6.1 se presentan los resultados de las concentraciones de metales totales de las canteras Angelina (CA-AN-1 y CA-AN-2), Agregados (CA-AG-1) y Edita (CA-ED-1 y CA-ED-2), así como de los materiales removidos 1 (CA-CL-1) y 2 (CA-AG-2); los cuales fueron comparados referencialmente con los valores medios de las concentraciones de metales de la corteza superior e inferior (Rudnick, 2014).

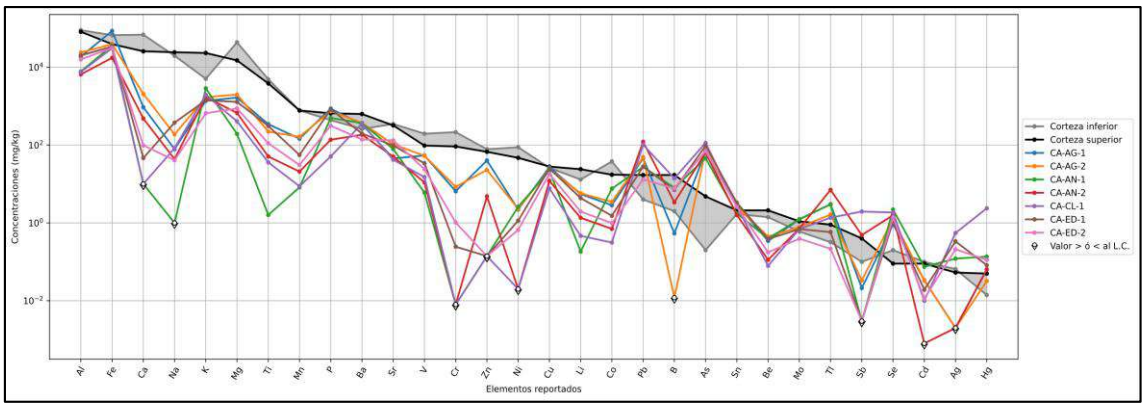


Figura 6.1. Concentraciones de metales totales en muestras de las canteras (Angelina, Agregados y Edita) y material removido (1 y 2), en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014)

La muestra CA-AG-1 de la cantera de Agregados fue la única que presentó concentraciones de hierro superior al valor medio de la corteza superior; en cambio las concentraciones de arsénico y selenio superaron el valor de referencia en todas las muestras de las canteras.

La muestra CA-ED-2 de la cantera Edita fue la única que no superó el valor medio de la corteza superior para el plomo; en el caso del mercurio superó el valor medio de la corteza en las muestras de las canteras Edita, Angelina y solo en la muestra CA-AG-1 de la cantera de Agregados, además del material removido 1 (CA-CL-1). A su vez el material removido 1 presentó concentraciones de talio, antimonio y estaño superiores al valor medio de la corteza; así como, plata en las muestras del material removido 1 y las canteras Edita (CA-ED-1 y CA-ED-2) y Angelina (CA-AN-1).

Se precisa que las elevadas concentraciones de arsénico, plata, plomo, mercurio, antimonio y estaño, superiores a la corteza, presentes en las canteras se encuentran asociadas al yacimiento de oro epitermal de alta sulfuración de la unidad minera Florencia-Tucari.

En la Figura 6.2 se presenta los resultados de granulometría de las muestras obtenidas en las canteras y material removido. Donde las muestras del material removido 1 (CA-CL-1), material removido 2 (CA-AG-2) y cantera Angelina (CA-AN-2) presentaron mayor porcentaje de grava y arena en relación con la cantera Edita (CA-ED-1), la cual presenta mayor porcentaje de material fino (limo y arcillas).

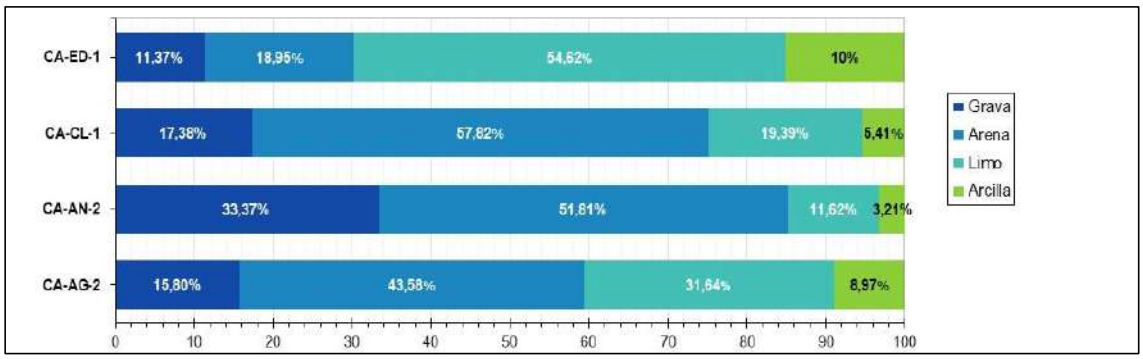


Figura 6.2. Granulometría en muestras de las canteras de material de préstamo Edita, Angelina y material removido (1 y 2).

En cuanto a la generación de acidez, mediante la prueba estática de balance ácido-base (ABA), que permite determinar el balance entre la producción y consumo de ácido de un material, la Figura 6.3 indica que mediante el criterio 1, evaluación del potencial de neutralización neto (PNN), las muestras de las canteras Angelina (CA-AN-1) y material removido 1 (CA-CL-1) son consideradas como potenciales generadoras de acidez; a su vez, según el criterio 2 las muestras de las canteras de Agregados, Angelina, Edita (solo muestra CA-ED-1) y material removido 1 y 2 son consideradas potenciales generadoras de acidez, mientras que la muestra CA-ED-2 se halla en la zona de incertidumbre.

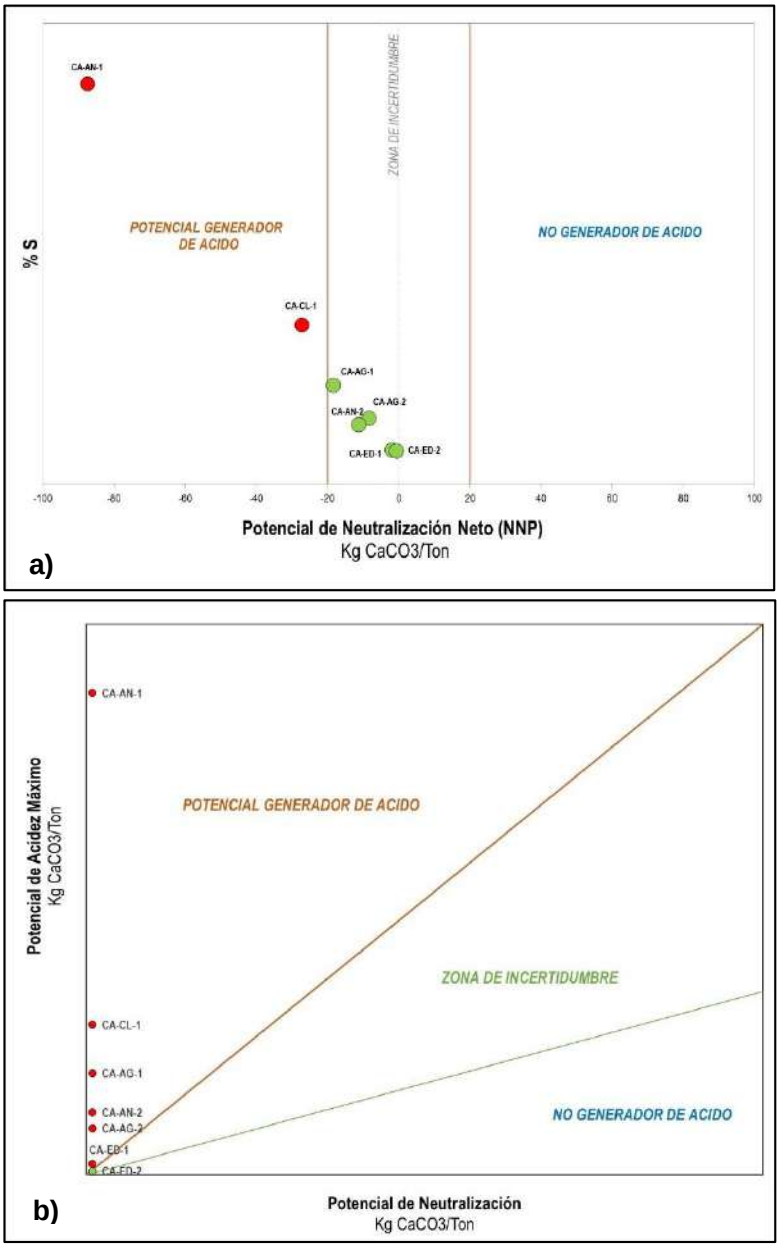


Figura 6.3. Prueba ABA de muestras de las canteras Edita, Cleo, Angelina y Paco Paco analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b).

Criterio 1: Para un potencial neto de neutralización: < a 0, la muestra es «generadora neta de ácido» [entre -20 y +20 kg CaCO3/Ton] la muestra corresponde a un rango de «incertidumbre»; > a +20 kg CaCO3/Ton, se considera a la muestra es «potencial no generador de ácido» < a -20 kg CaCO3/Ton se considera «potencial generador de ácido»

Criterio 2: Ratio potencial de neto (RNP), para un 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».

Se empleó la prueba lixiviación *shake flask extraction* para caracterizar y medir la interacción del material de las canteras y material removido con agua proveniente de fenómenos meteorológicos (agua meteórica), como resultado se obtuvo una corrida de 33 metales, detallados en el Anexo 3 RRE 046-2020-STEC.

En la Tabla 6.1 se presentan las concentraciones de los principales metales obtenidos en las muestras de canteras y material removido, en las que destacan las concentraciones de elementos mayoritarios como el potasio, sodio, calcio, aluminio y magnesio.

Tabla 6.1. Concentraciones de metales obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de canteras y material removido

Elementos	Unidad	Canteras		Material removido	
		Angelina	Edita	Material removido 1	Material removido 2
		CA-AN-2	CA-ED-1	CA-CL-1	CA-AG-2
Arsénico (As)	mg/L	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	0,0007
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025	< 0,00025
Cobalto (Co)	mg/L	< 0,0004	0,0004	0,0007	< 0,0004
Cromo (Cr)	mg/L	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012	< 0,0012
Cobre (Cu)	mg/L	0,0051	0,0044	0,0077	0,0078
Mercurio (Hg)	mg/L	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Níquel (Ni)	mg/L	0,0006	0,0004	0,0011	< 0,0004
Plomo (Pb)	mg/L	0,0006	< 0,0004	0,0006	0,0005
Zinc (Zn)	mg/L	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Hierro (Fe)	mg/L	0,049	< 0,048	< 0,048	0,073
Aluminio (Al)	mg/L	0,094	0,128	0,498	0,04
Antimonio (Sb)	mg/L	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004	< 0,0004
Bario (Ba)	mg/L	0,1425	0,0947	0,0902	0,0536
Calcio (Ca)	mg/L	0,39	0,44	1,06	1,7
Potasio (K)	mg/L	5,92	4,11	10,35	2,1
Magnesio (Mg)	mg/L	0,09	0,09	0,337	0,408
Manganeso (Mn)	mg/L	0,0191	0,014	0,0305	0,0203
Sodio (Na)	mg/L	1,75	2,02	2,03	0,56

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorio AGQ PERÚ S.A.C.

De la comparación referencial de las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc obtenidas en las canteras y material removido con los Límites Máximos Permisibles, en adelante LMP (2010), en la Figura 6.4 se observa que los lixiviados de arsénico, cobre y plomo de las canteras (Angelina y Edita) y materiales removidos (1 y 2), no superaron referencialmente los LMP (2010). En cuanto al mercurio, cadmio y zinc todos los valores se encontraron por debajo al límite de cuantificación del método del laboratorio (<0,00010, <0,00025 y <0,0200 mg/L, respectivamente).

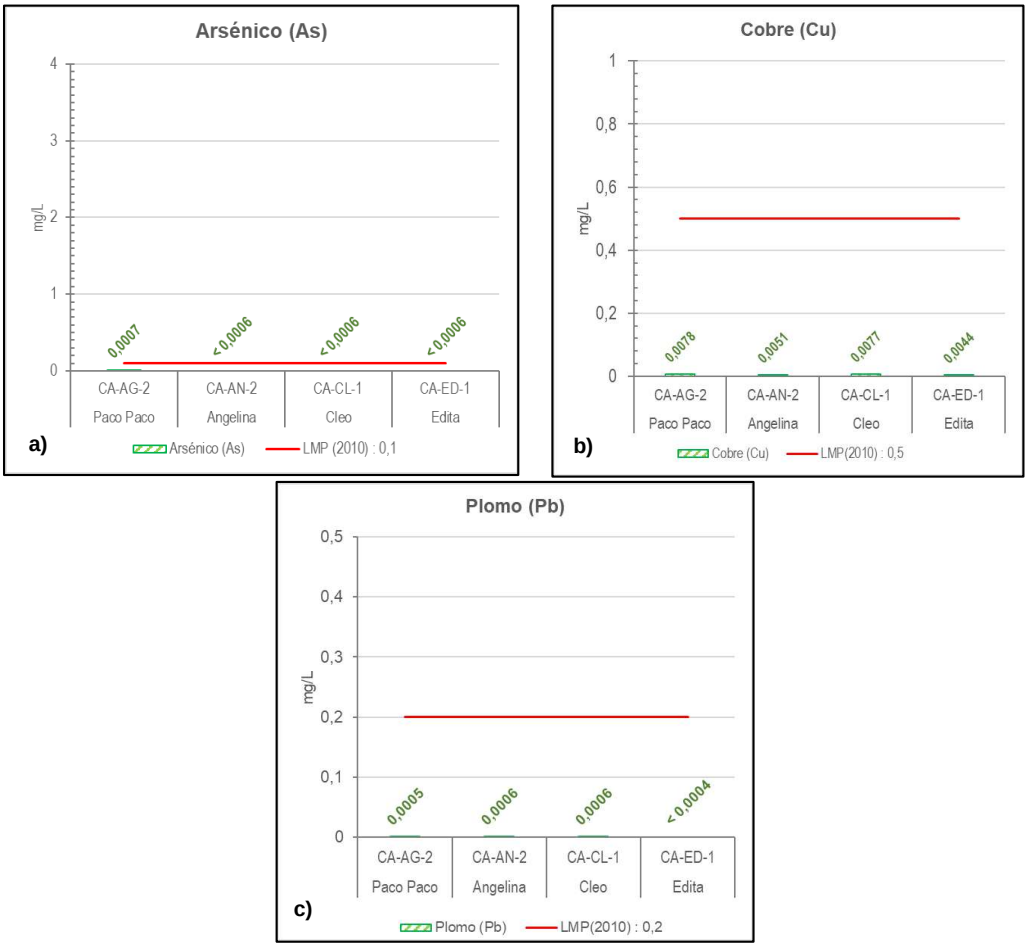


Figura 6.4. Concentraciones de metales obtenidas mediante *Shake flask extraction* en las canteras Angelina, Paco Paco, Cleo y Edita comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (LMP): a) arsénico, b) cobre y c) plomo

En la Figura 6.5 se presentan los resultados de *shake flask extraction* para aniones de las 4 muestras de canteras (CA-AG-2, CA-AN-2, CA-CL-1 y CA-ED-1), donde se aprecia que los aniones que predominan son los sulfatos (5,63 - 23 mg/L) en comparación con los otros 5 aniones reportados (cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y fluoruros).

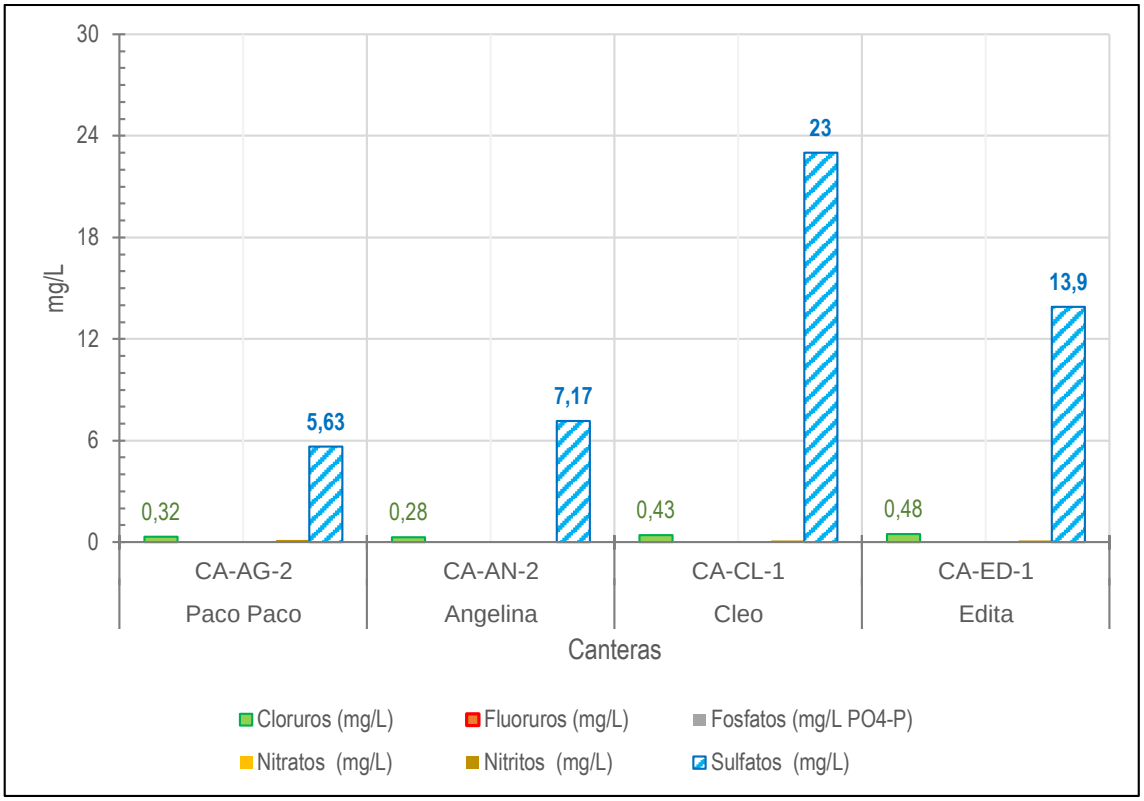
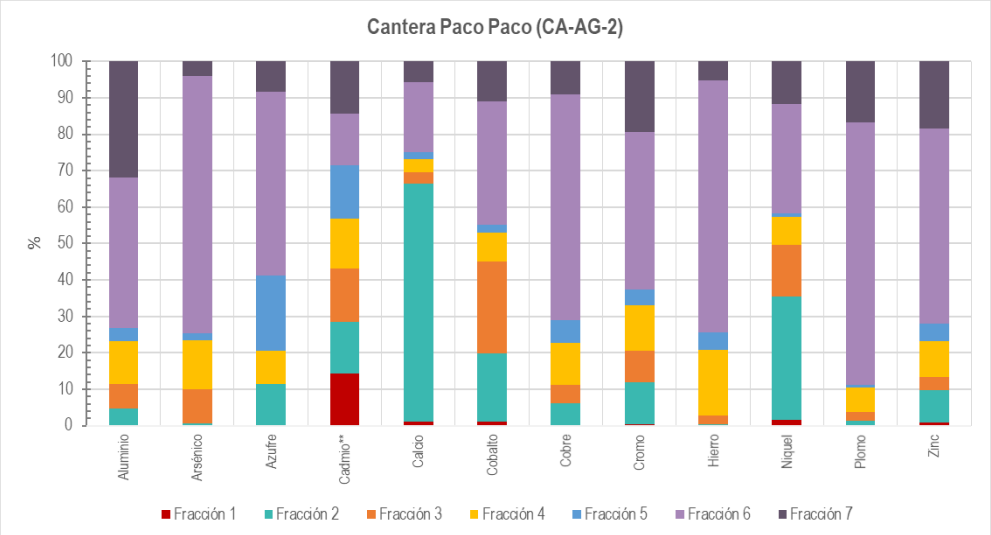


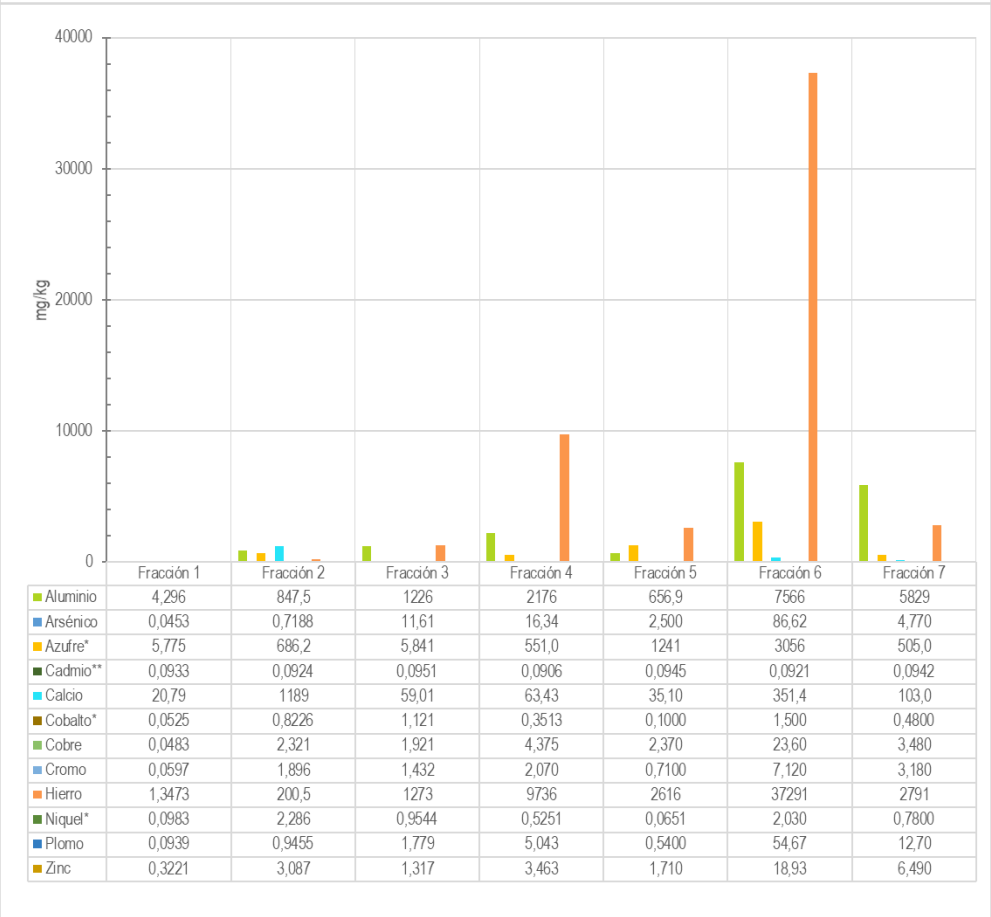
Figura 6.5. Concentraciones de aniones obtenidos mediante *shake flask extraction* en muestras de las canteras (Angelina y Edita) y material removido (1 y 2).

Adicionalmente, se realizó la extracción secuencial de metales solubles mediante la metodología de especiación de Dold, B. (2003), el análisis permite caracterizar la potencial movilidad y biodisponibilidad de 12 elementos presentes en el material de las canteras y material removido, en determinadas condiciones.

En las Figuras 6.6 al 6.9 se presentan los resultados de las 7 fracciones de extracción secuencial respectiva y se observa que, en las cuatro muestras de las canteras (Angelina y Edita) y material removido (1 y 2), los elementos que se liberan en la fracción 1 (soluble en agua) en todas las muestras son el hierro, aluminio, zinc, níquel y cobre, estos tres últimos elementos con una escasa solubilidad (<1 %). Adicionalmente, se liberó azufre en una considerable proporción, en la cantera Edita y material removido 1. De igual manera el calcio en los materiales removidos (1 y 2) y la cantera Edita; y plomo con escasa solubilidad (<1%) en los materiales removidos 1 y 2.

En la fracción 2 (intercambiable) se liberaron en mayor proporción aluminio, azufre, hierro y calcio, destacando las concentraciones de calcio del material removido 2; y aluminio y hierro en la cantera Edita. En cuanto a los metales como níquel, cromo, plomo, zinc, cobre y cobalto estos se liberaron en escasas proporciones, resaltando las concentraciones de níquel en todas las muestras, liberado en porcentajes considerables en la fracción 2 con respecto a las otras 6 fracciones. Es importante precisar que el cadmio se presenta valores por debajo al límite de cuantificación en todas las fracciones, y que la fracción 1 de las muestras de canteras presentaron porcentajes bajos en comparación con las fracciones 6 y 7.

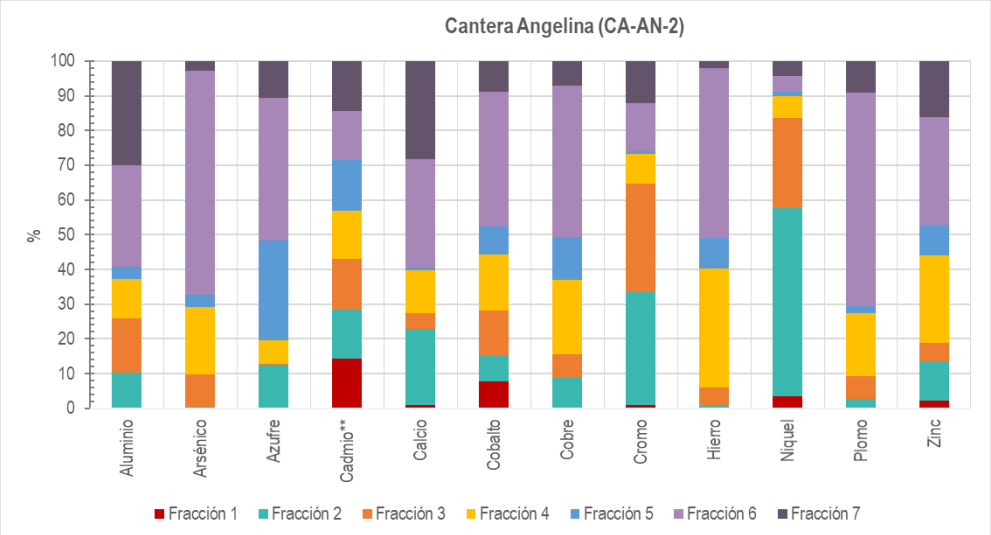


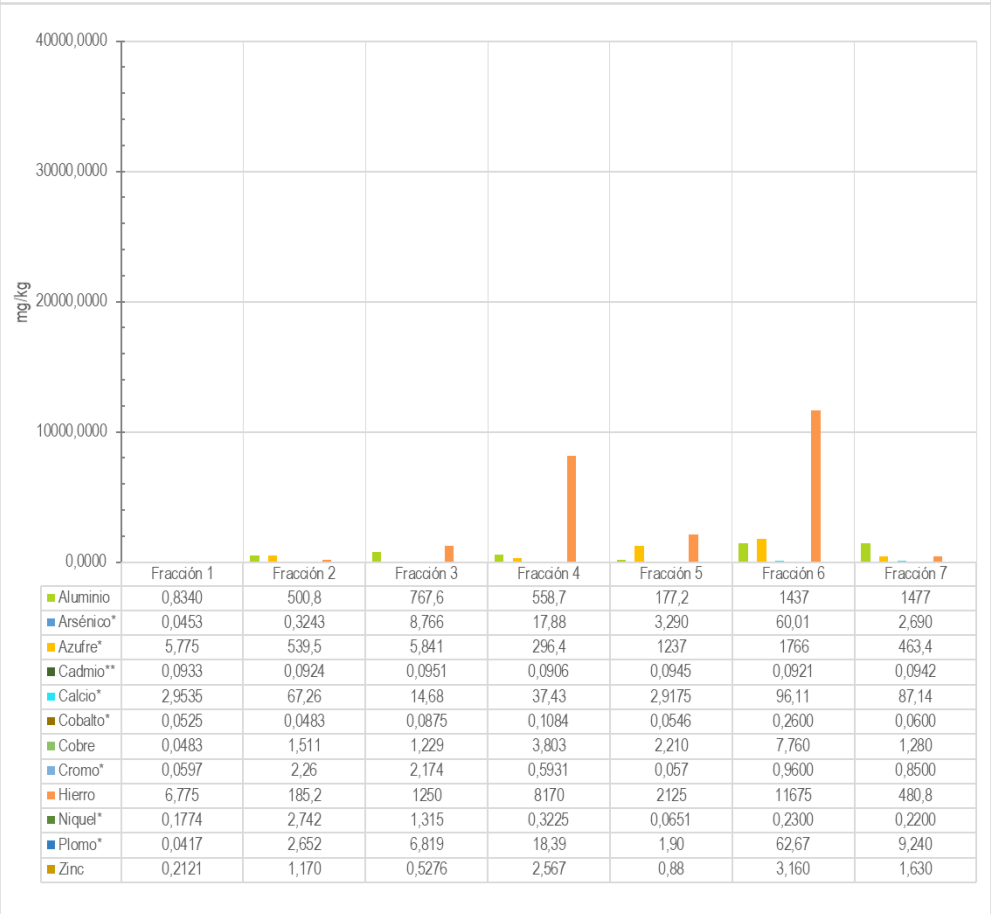


	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4	Fracción 5	Fracción 6	Fracción 7
Aluminio	4,296	847,5	1226	2176	656,9	7566	5829
Arsénico	0,0453	0,7188	11,61	16,34	2,500	86,62	4,770
Azufre*	5,775	686,2	5,841	551,0	1241	3056	505,0
Cadmio**	0,0933	0,0924	0,0951	0,0906	0,0945	0,0921	0,0942
Calcio	20,79	1189	59,01	63,43	35,10	351,4	103,0
Cobalto*	0,0525	0,8226	1,121	0,3513	0,1000	1,500	0,4800
Cobre	0,0483	2,321	1,921	4,375	2,370	23,60	3,480
Cromo	0,0597	1,896	1,432	2,070	0,7100	7,120	3,180
Hierro	1,3473	200,5	1273	9736	2616	37291	2791
Níquel*	0,0983	2,286	0,9544	0,5251	0,0651	2,030	0,7800
Plomo	0,0939	0,9455	1,779	5,043	0,5400	54,67	12,70
Zinc	0,3221	3,087	1,317	3,463	1,710	18,93	6,490

(*): Elementos que reportaron concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.); azufre (fracción 1 y 3), cobalto (fracción 1) y níquel (fracción 5).
(**): Cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en las 7 fracciones reportadas.

Figura 6.6. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra del material removido 2

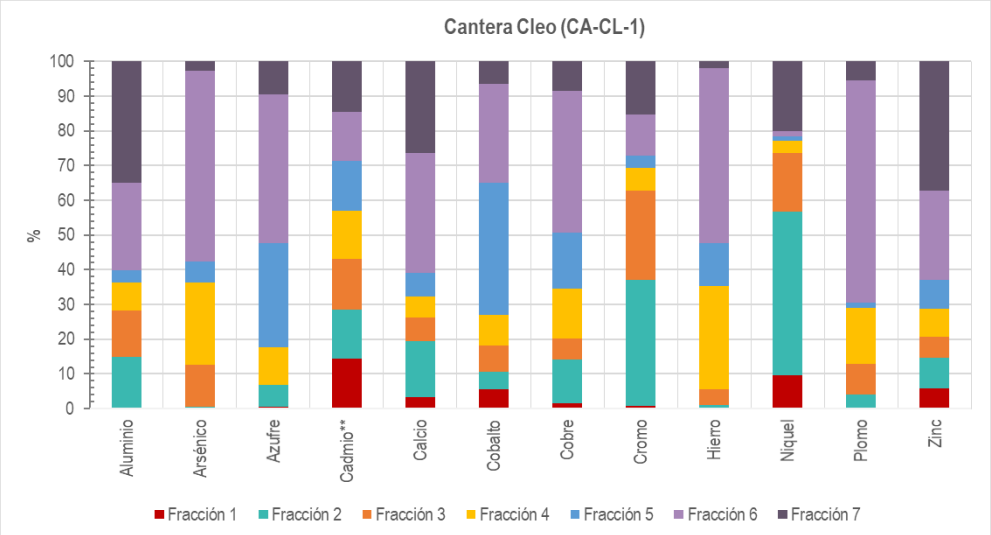


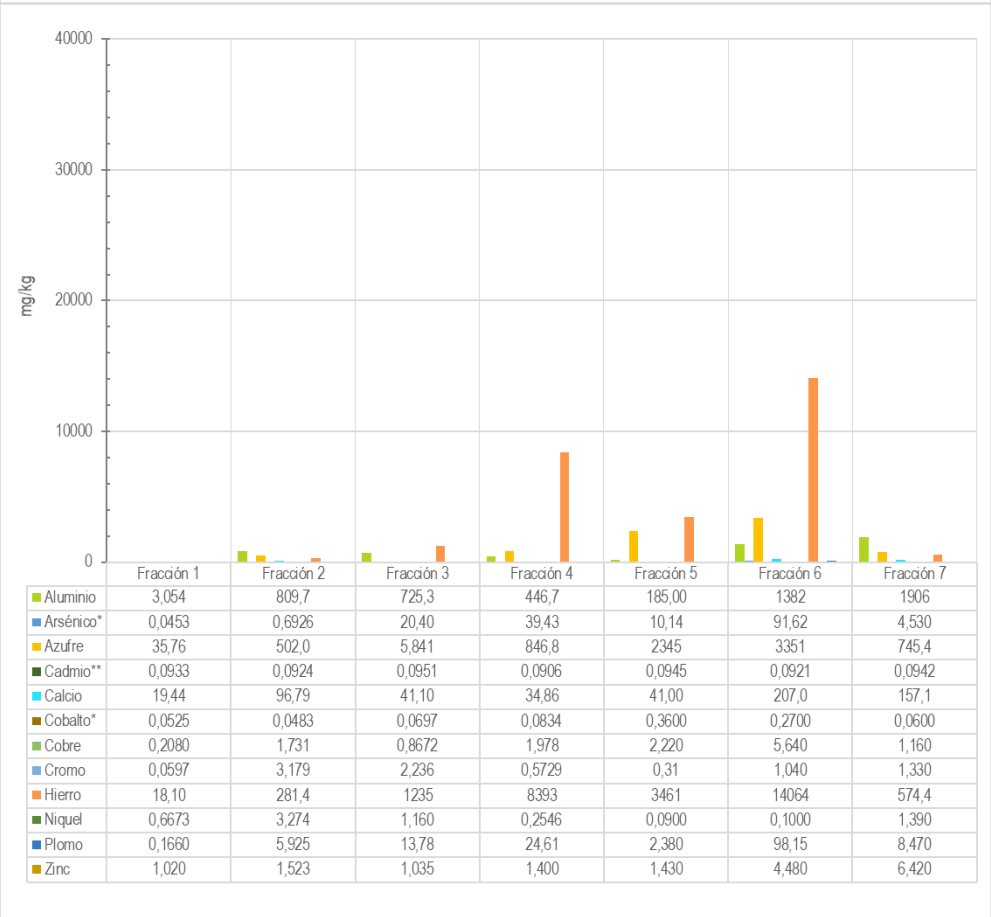


	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4	Fracción 5	Fracción 6	Fracción 7
Aluminio	0,8340	500,8	767,6	558,7	177,2	1437	1477
Arsénico*	0,0453	0,3243	8,766	17,88	3,290	60,01	2,690
Azufre*	5,775	539,5	5,841	296,4	1237	1766	463,4
Cadmio**	0,0933	0,0924	0,0951	0,0906	0,0945	0,0921	0,0942
Calcio*	2,9535	67,26	14,68	37,43	2,9175	96,11	87,14
Cobalto*	0,0525	0,0483	0,0875	0,1084	0,0546	0,2600	0,0600
Cobre	0,0483	1,511	1,229	3,803	2,210	7,760	1,280
Cromo*	0,0597	2,26	2,174	0,5931	0,057	0,9600	0,8500
Hierro	6,775	185,2	1250	8170	2125	11675	480,8
Niquel*	0,1774	2,742	1,315	0,3225	0,0651	0,2300	0,2200
Plomo*	0,0417	2,652	6,819	18,39	1,90	62,67	9,240
Zinc	0,2121	1,170	0,5276	2,567	0,88	3,160	1,630

(*): Elementos que reportaron concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.); arsénico (fracción 1), azufre (fracción 1 y 3), calcio (fracción 1 y 5), cobalto (fracción 1), níquel (fracción 5) y plomo (fracción 1).
(**): Cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en las 7 fracciones reportadas.

Figura 6.7. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra de cantera Angelina

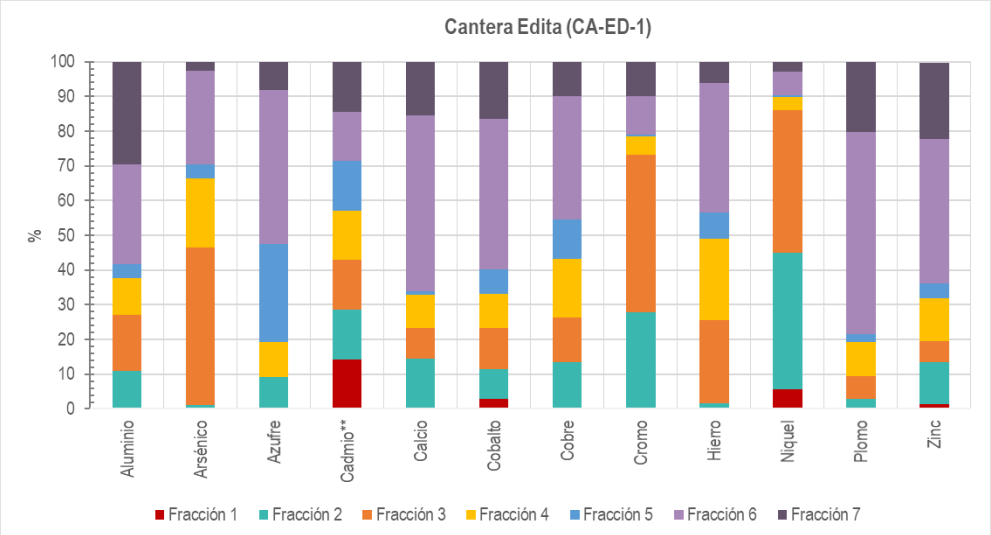


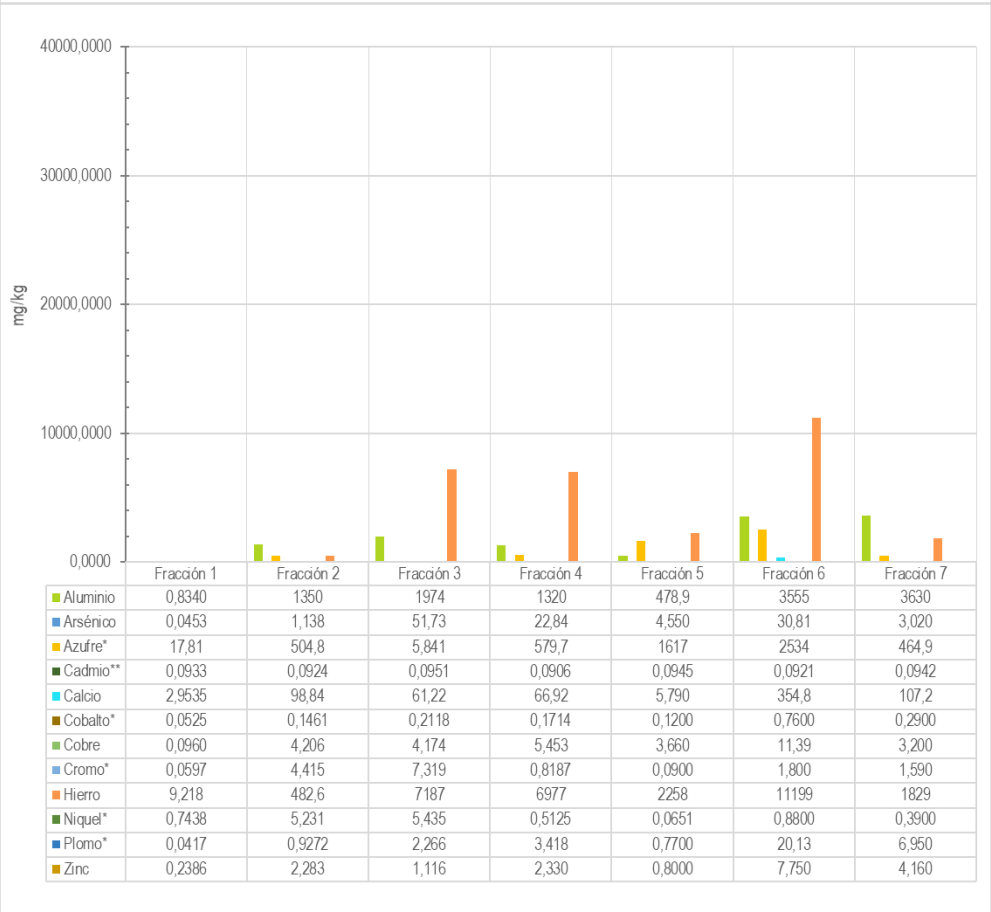


	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4	Fracción 5	Fracción 6	Fracción 7
Aluminio	3,054	809,7	725,3	446,7	185,00	1382	1906
Arsénico*	0,0453	0,6926	20,40	39,43	10,14	91,62	4,530
Azufre	35,76	502,0	5,841	846,8	2345	3351	745,4
Cadmio**	0,0933	0,0924	0,0951	0,0906	0,0945	0,0921	0,0942
Calcio	19,44	96,79	41,10	34,86	41,00	207,0	157,1
Cobalto*	0,0525	0,0483	0,0697	0,0834	0,3600	0,2700	0,0600
Cobre	0,2080	1,731	0,8672	1,978	2,220	5,640	1,160
Cromo	0,0597	3,179	2,236	0,5729	0,31	1,040	1,330
Hierro	18,10	281,4	1235	8393	3461	14064	574,4
Niquel	0,6673	3,274	1,160	0,2546	0,0900	0,1000	1,390
Plomo	0,1660	5,925	13,78	24,61	2,380	98,15	8,470
Zinc	1,020	1,523	1,035	1,400	1,430	4,480	6,420

(*): Elementos que reportaron concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.); arsénico (fracción 1) y cobalto (fracción 1).
(**): Cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en las 7 fracciones reportadas.

Figura 6.8. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra de material removido 1



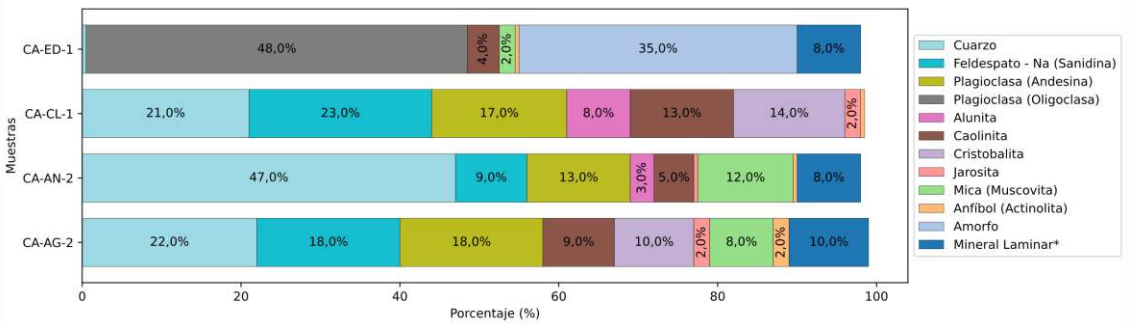


	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4	Fracción 5	Fracción 6	Fracción 7
Aluminio	0,8340	1350	1974	1320	478,9	3555	3630
Arsénico	0,0453	1,138	51,73	22,84	4,550	30,81	3,020
Azufre*	17,81	504,8	5,841	579,7	1617	2534	464,9
Cadmio**	0,0933	0,0924	0,0951	0,0906	0,0945	0,0921	0,0942
Calcio	2,9535	98,84	61,22	66,92	5,790	354,8	107,2
Cobalto*	0,0525	0,1461	0,2118	0,1714	0,1200	0,7600	0,2900
Cobre	0,0960	4,206	4,174	5,453	3,660	11,39	3,200
Cromo*	0,0597	4,415	7,319	0,8187	0,0900	1,800	1,590
Hierro	9,218	482,6	7187	6977	2258	11199	1829
Niquel*	0,7438	5,231	5,435	0,5125	0,0651	0,8800	0,3900
Plomo*	0,0417	0,9272	2,266	3,418	0,7700	20,13	6,950
Zinc	0,2386	2,283	1,116	2,330	0,8000	7,750	4,160

(*): Elementos que reportaron concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.); azufre (fracción 3), cobalto (fracción 1), cromo (fracción 1), níquel (fracción 5) y plomo (fracción 1).
(**): Cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en las 7 fracciones reportadas.

Figura 6.9. Distribución de elementos en las fracciones solubles de la muestra de cantera Edita.

Con respecto al análisis mineralógico mediante difracción de rayos X de las muestras de las canteras y material removido, se presenta en la Figura 6.10 la distribución de los minerales presentes. Se aprecia que el material removido 1 y 2 (CA-CL-1 y CA-AG-2 respectivamente) así como la cantera Angelina presentan en mayor porcentaje minerales de cuarzo, feldespato sódico (familia sanidina), plagioclasa (familia andesina) mayores al 50%, en cambio la muestra de la cantera Edita (CA-ED-1) presentó mayor porcentaje de plagioclasa (familia oligoclasa); con respecto al mineral alunita (sulfato de aluminio y potasio) se presentó únicamente en las muestras del material removido 1 CA-CL-1 (8%) y la cantera Angelina CA-AN-2 (3%). La caolinita (arcilla producto de la alteración de los silicatos) se presentó en las 4 muestras con porcentajes que van desde 4 % hasta 13%, en cuanto a la mica (familia muscovita) y anfíboles (silicato ferromagnesiano) solo se presentaron en las muestras de la cantera Angelina (CA-AN-2) y material removido 2 (CA-AG-2).



(*) Mineral laminar: Fase probable de mica y/o arcilla

Figura 6.10. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras de canteras Angelina (CA-AN-2), Edita (CA-ED-1) y material removido 1 y 2 (CA-CL-1 y CA-AG-2)

Por otra parte, la cristobalita (silicato) se presentó en las muestras CA-AG-2 (10%) y CA-CL-2 (14%), y la muestra CA-ED-1 fue la única que reportó amorfos en un 35 %, se precisa que estos amorfos no guardan ordenamiento ni periodicidad en su arreglo estructural, y se limita a la técnica de análisis mineralógico por difracción de rayos X. En cuanto a los minerales laminares, estos se encuentran en las muestras CA-AG-2 (10%), CA-AN-2 (8%) y CA-ED-1 (8%). Finalmente, la jarosita (hidroxisulfato de potasio y hierro) se presentó únicamente en la muestra de material removido 1 aledaño a la cantera Edita (CA-CL-1) en 2 %.

A su vez, las muestras de cantera y material removido fueron analizados mediante microscopía electrónica de barrido, y se detalla en la Tabla 6.2 los minerales identificados en cada muestra.

Tabla 6.2. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de canteras y material removido

Minerales identificados	Puntos de muestreo			
	CA-AG-2	CA-AN-2	CA-CL-1	CA-ED-1
Ilmenita $(Fe,Mn)TiO_3$	x	x	-	-
Hematita $(Fe,Ti)2O_3$	x	x	-	x
Baritina $(BaSO_4)$	x	x	x	-
Magnetita $(Fe,Ti)_3O_4$	x	x	x	x
Goethita (FeO.OH)	x	x	x	x
Galena (PbS)	x	x	-	x

Minerales identificados	Puntos de muestreo			
	CA-AG-2	CA-AN-2	CA-CL-1	CA-ED-1
Fosfato de cerio y lantano (presenta proporciones menores de calcio y plata)	x	-	-	-
Bismutinita (Bi_2S_3)	x	-	-	-
Oro Nativo (Au,Ag)	x	-	-	-
Pirita (FeS_2)	-	x	-	-
Diaforita ($Pb_2Ag_3Sb_3S_8$)	-	-	x	-

(-): No aplica.

6.1.1.2. Depósito de desmonte y ampliación

El depósito de desmonte zona Norte representado por las muestras DD-NR-1, DD-NR-2 y DD-NR-3 y su ampliación con los depósitos de desmonte zona 10 (DD-10-1) y zona Hechadero (DD-HE-1 y DD-HE-2) presentaron concentraciones superiores a los valores medios de la corteza superior de plomo, arsénico, molibdeno, talio, antimonio, selenio, plata y mercurio; mientras que la muestra DD-NR-3 del depósito de desmonte Norte fue la única que no superó el valor medio de la corteza para cobre (Figura 6.11).

En cuanto a las concentraciones de zinc y hierro, la muestra DD-HE-2 fue la única muestra que superó el valor en referencia; mientras que las concentraciones de cadmio fueron superiores en las muestras del depósito de desmonte zona Hechadero, zona 10 y únicamente en la muestra DD-NR-2 del depósito de desmonte Norte. De igual forma el bario y estaño superaron el valor medio de la corteza en el depósito de desmonte zona Norte.

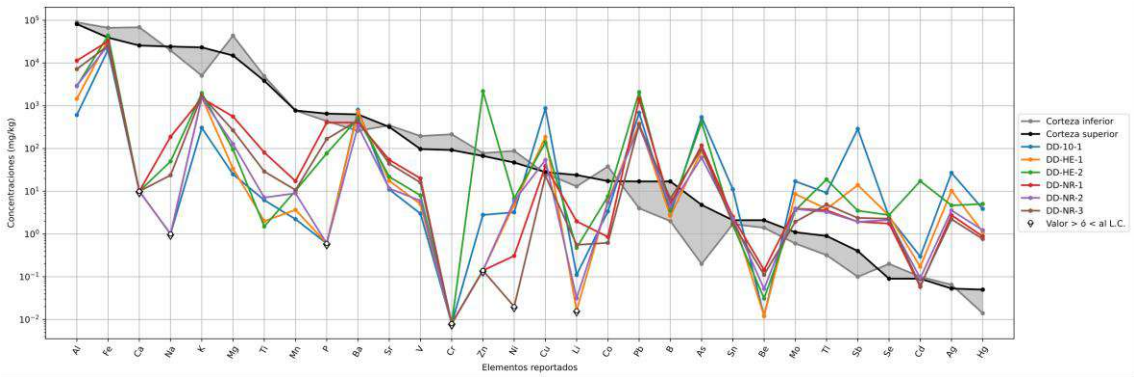


Figura 6.11. Concentraciones de metales en muestras del material de depósitos de desmonte zona Norte, zona 10 y zona Hechadero en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014)

Es importante mencionar que las concentraciones cobre, arsénico, plata, plomo, mercurio, antimonio, estaño, zinc y molibdeno presentes en elevadas concentraciones se encuentran asociadas al yacimiento de oro epitermal de alta sulfuración de la unidad minera Tucari.

En la Figura 6.12 se presenta los resultados de granulometría de las muestras obtenidas de los depósitos de desmonte, donde se observa la presencia de mayor porcentaje de grava y arena en las 4 muestras superando el 50 % en relación con el porcentaje de arcillas y limos.

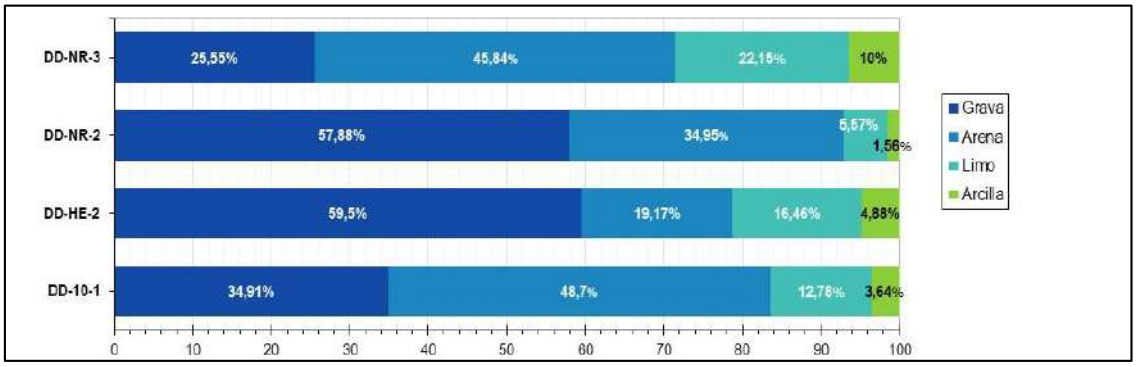
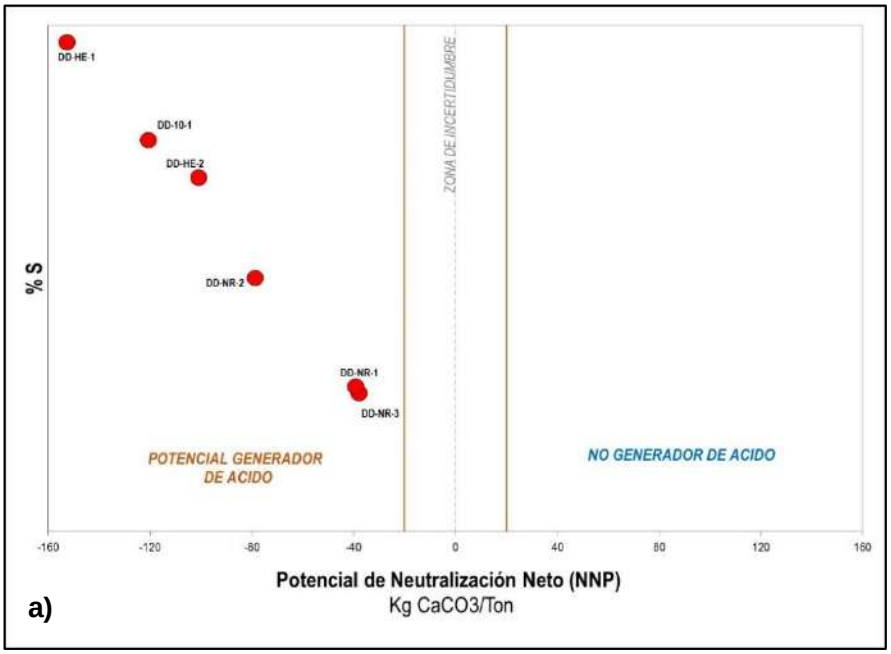


Figura 6.12. Granulometría en muestras de material de los depósitos de desmonte

En cuanto a la generación de acidez de las muestras de desmonte y su ampliacion, mediante la prueba estática de balance ácido-base (ABA), según el criterio 1 y 2 todas las muestras son consideradas como potenciales generadoras de acidez (Figura 6.13).



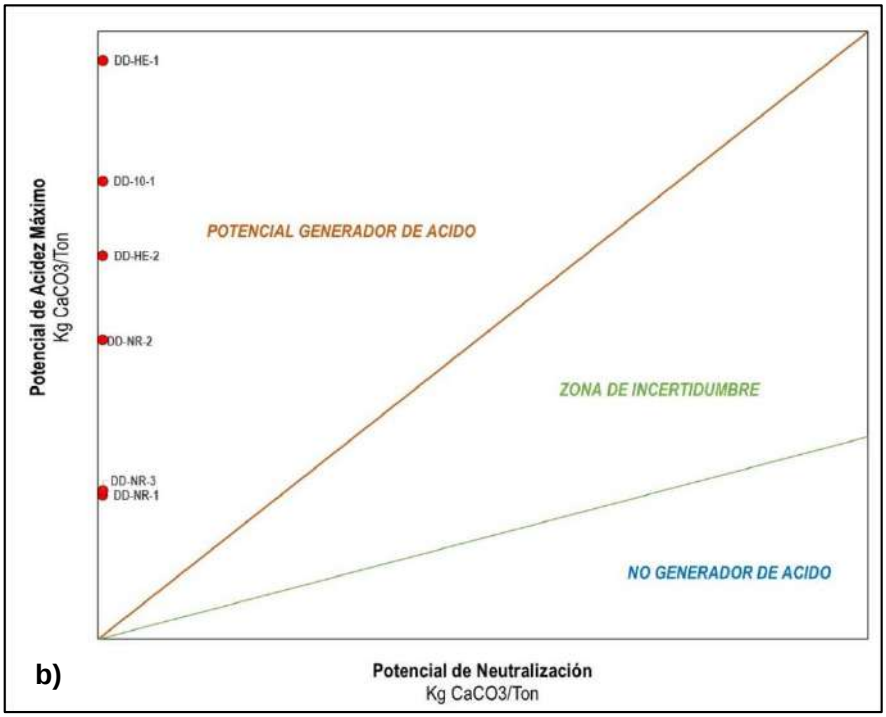


Figura 6.13. Prueba ABA de muestras de material de desmonte (Norte, zona 10 y zona Hechadero) analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b).

Criterio 1: Para un potencial neto de neutralización: < a 0, la muestra es «generadora neta de ácido» [entre -20 y +20 kg CaCO3/Ton] la muestra corresponde a un rango de «incertidumbre»; > a +20 kg CaCO3/Ton, se considera a la muestra es «potencial no generador de ácido» < a -20 kg CaCO3/Ton se considera «potencial generador de ácido»

Criterio 2: Ratio potencial de neto (RNP), para un 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».

En la Tabla 6.3 se presentan las concentraciones de los principales metales obtenidos en las muestras de desmonte, en las que destacan las concentraciones de elementos mayoritarios como hierro y aluminio, y en cuanto a los elementos minoritarios, el cobre en el desmonte zona Hechadero y 10. El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo 3 RRE 046-2020-STEC.

Tabla 6.3. Concentraciones de metales obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de desmonte

Metales totales	Unidad	Desmonte			
		Zona 10	Zona Hechadero	Zona Norte	
		DD-10-1	DD-HE-2	DD-NR-2	DD-NR-3
Arsénico (As)	mg/L	0,2166	0,3115	0,0099	0,002
Cadmio (Cd)	mg/L	0,0083	0,06694	0,00348	0,00276
Cobalto (Co)	mg/L	0,1174	0,4128	0,145	0,0435
Cromo (Cr)	mg/L	0,4487	0,1054	0,2147	0,0072
Cobre (Cu)	mg/L	2,81	4,831	0,466	0,8218
Mercurio (Hg)	mg/L	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Níquel (Ni)	mg/L	0,128	0,3689	0,1783	0,0419
Plomo (Pb)	mg/L	0,97	0,6246	0,1581	0,0025
Zinc (Zn)	mg/L	0,991	7,831	0,76	0,399
Hierro (Fe)	mg/L	262,8	356,5	162,9	7,644
Aluminio (Al)	mg/L	35,59	105,7	46,27	30,79
Antimonio (Sb)	mg/L	0,3293	0,01	0,0025	0,0009
Bario (Ba)	mg/L	0,021	0,0132	0,0192	0,0187
Calcio (Ca)	mg/L	6,88	4,69	6,12	7,42
Potasio (K)	mg/L	2,48	1,42	2,51	10,09
Magnesio (Mg)	mg/L	2,221	2,067	2,454	2,544
Manganeso (Mn)	mg/L	0,5291	0,5926	0,3375	0,378
Sodio (Na)	mg/L	2,02	1,11	0,57	2,65

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorio AGQ PERÚ S.A.C.

En la Figura 6.14 se presenta los resultados de la prueba de lixiviación de *shake flask extraction* de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc obtenidas de las muestras de desmonte comparados de manera referencial con los LMP (2010), donde se observó lo siguiente:

- Arsénico y plomo: Las muestras del desmonte zona 10 (DD-10-1) y zona Hechadero (DD-HE-2) superaron referencialmente los valores establecidos en los LMP.
- Cadmio y zinc: La muestra de desmonte de zona Hechadero (DD-HE-2) fue la única que superó referencialmente los valores establecidos en los LMP.
- Cobre: Las muestras de desmonte zona 10 (DD-10-1), Hechadero (DD-HE-2) y Norte (DD-NR-3) superaron referencialmente el LMP.
- Mercurio: Todas las muestras de desmonte se encontraron por debajo al límite de cuantificación (< 0,00010 mg/L).

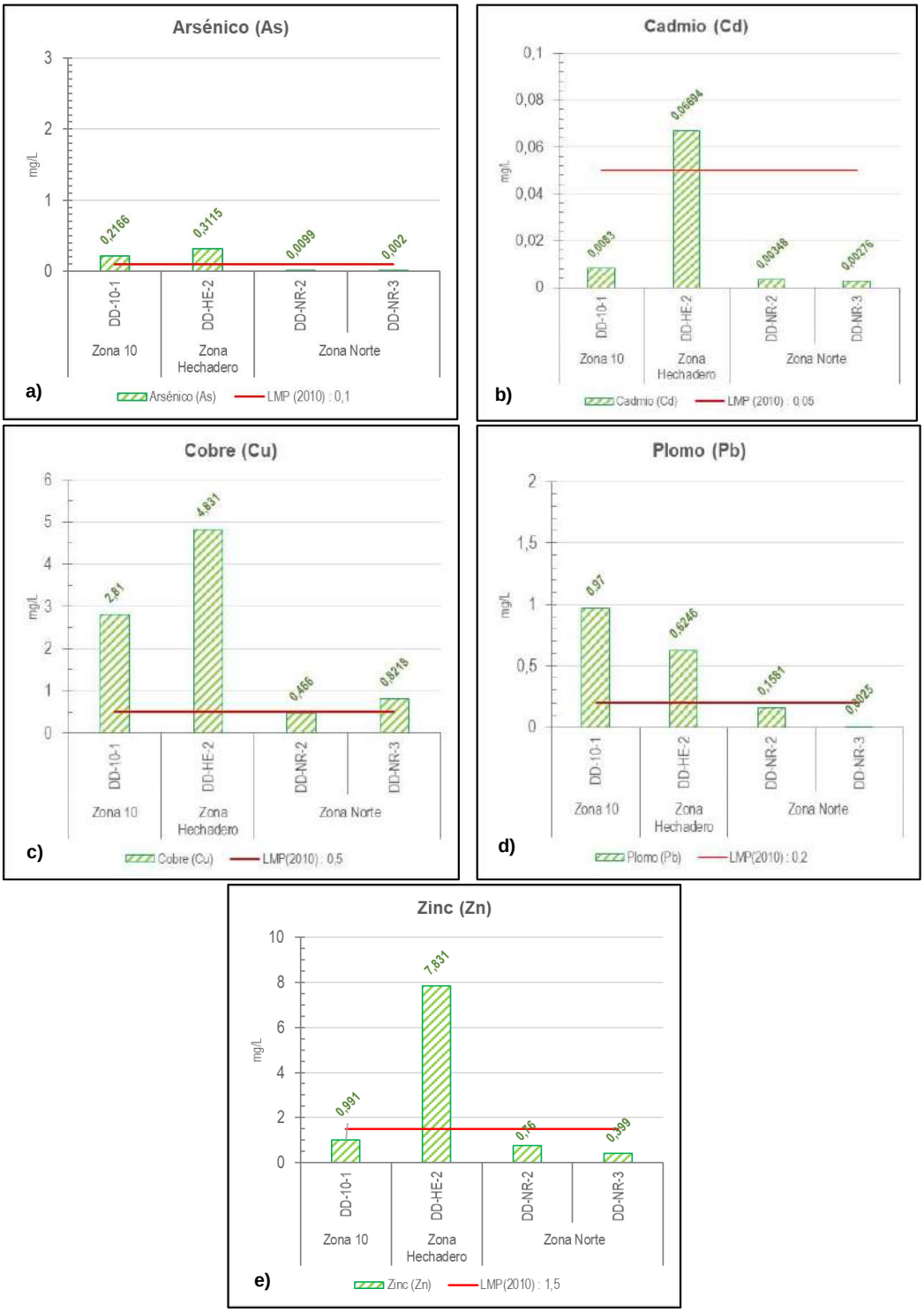


Figura 6.14. Concentraciones de metales obtenidas mediante *Shake flask extraction* de los depósitos de desmonte zona Norte, 10 y Hechadero, comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010): a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) plomo y e) zinc

En la Figura 6.15 se presentan los resultados de *shake flask extraction* aniones de las 4 muestras de desmonte (DD-10-1, DD-HE-2, DD-NR-2 y DD-NR-2), donde se aprecia que los aniones que predominan son los sulfatos (437 – 2669 mg/L) en comparación con los 5 aniones reportados (cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y fluoruros).

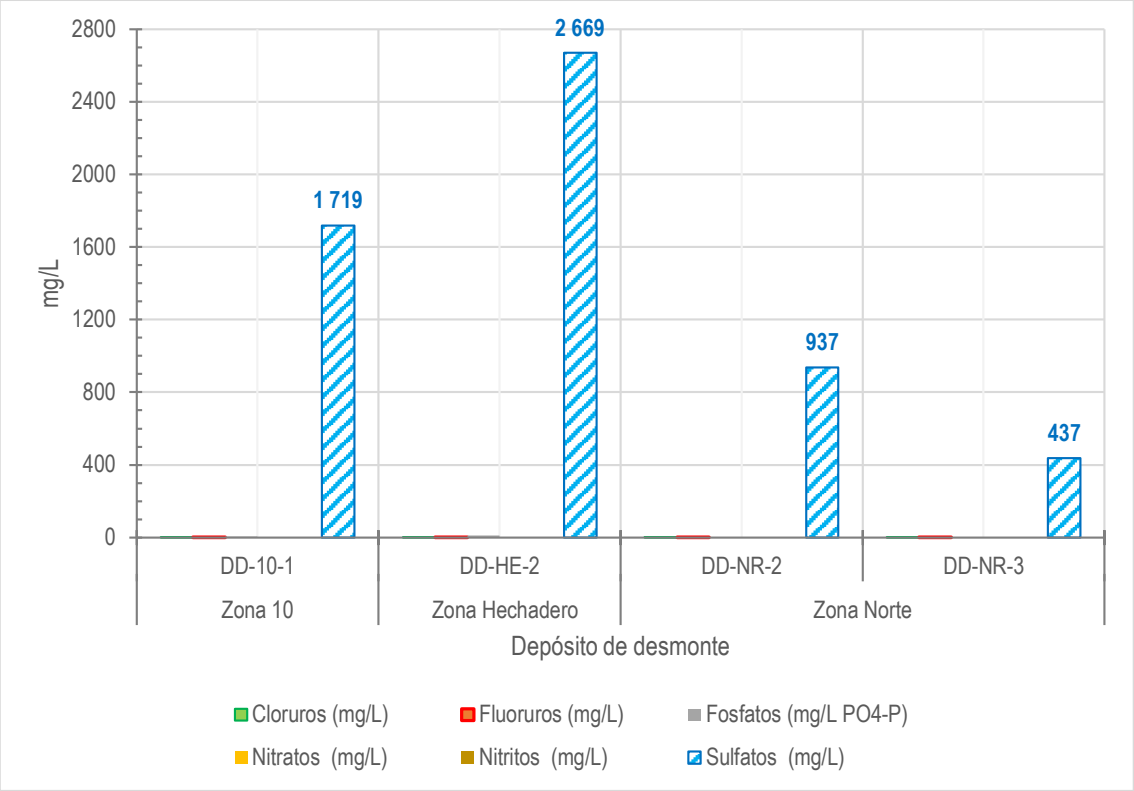
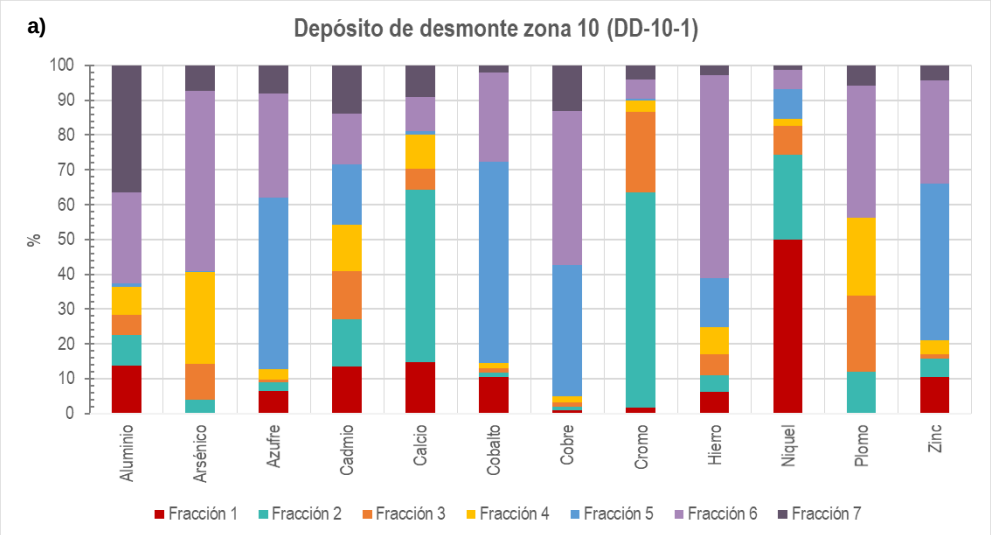
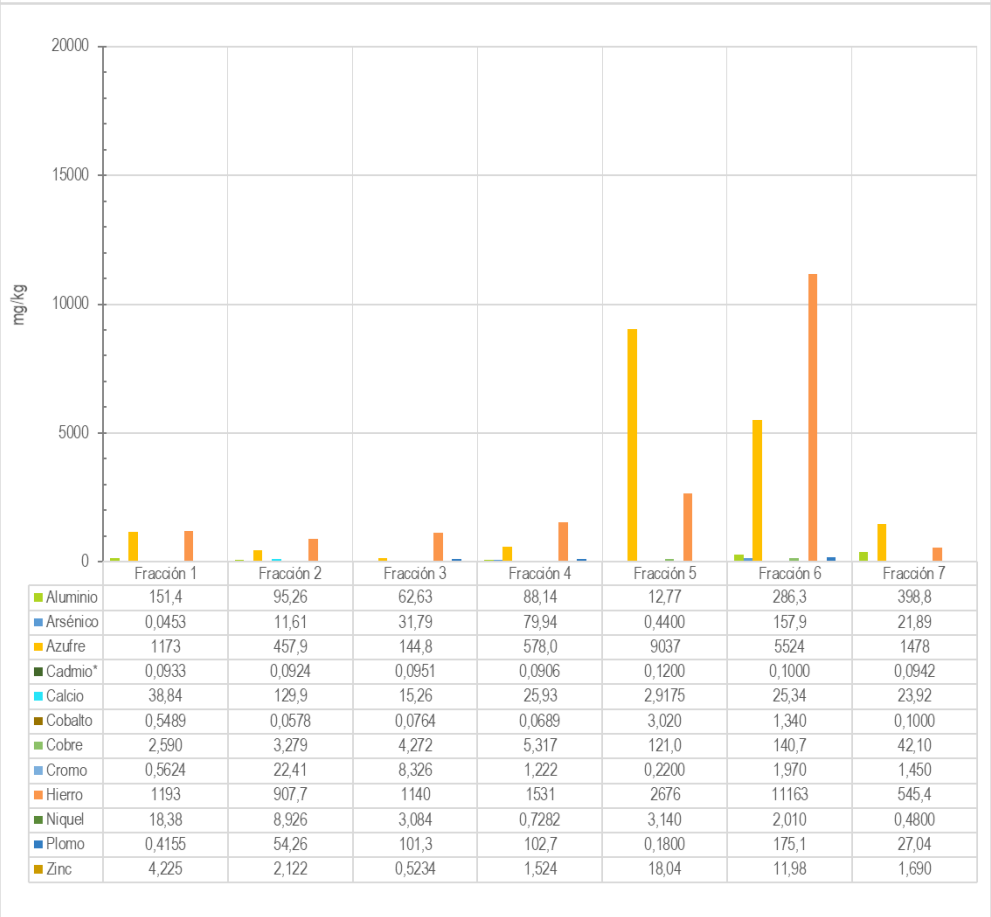


Figura 6.15. Concentraciones de aniones obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de depósito de desmonte zona Norte, 10 y Hechadero

En la Figura 6.16 se presentan los resultados de las 7 fracciones secuencial de las muestras de desmonte zona 10, Hechadero y Norte; donde se observó que, los elementos que se liberan en la fracción 1 (soluble en agua) en orden decreciente son el azufre, hierro, aluminio, calcio, níquel, zinc, cobre, plomo, cromo y cobalto, en los tres depósitos de desmonte (DD-10-1, DD-HE-2 y DD-NR-2) con proporciones variables del 1 al 63%. Resaltando que las mayores concentraciones liberadas de los mencionados elementos, a excepción del aluminio, calcio y níquel, fueron de la muestra de depósito de desmonte zona Hechadero, donde adicionalmente se liberó arsénico y cadmio.

Por otra parte, los elementos que son liberados en la fracción 2 (intercambiable) en mayor proporción en orden decreciente fueron hierro, azufre y aluminio, en los tres depósitos de desmonte (DD-10-1, DD-HE-2 y DD-NR-2), mientras que el calcio, plomo, cromo, níquel, arsénico, zinc, cobre y cobalto tambien fueron liberados, pero en proporciones menores. Destaca que las concentraciones de calcio y cromo en las 3 muestras (DD-10-1, DD-HE-2 y DD-NR-2); y el zinc en la muestra del depósito de desmonte Norte (DD-NR-2) fueron mayores en esta fracción con respecto a las otras 6 fracciones. Se precisa que las fracciones 1 y 2 presentaron porcentajes bajos en comparación con la fracción 6.

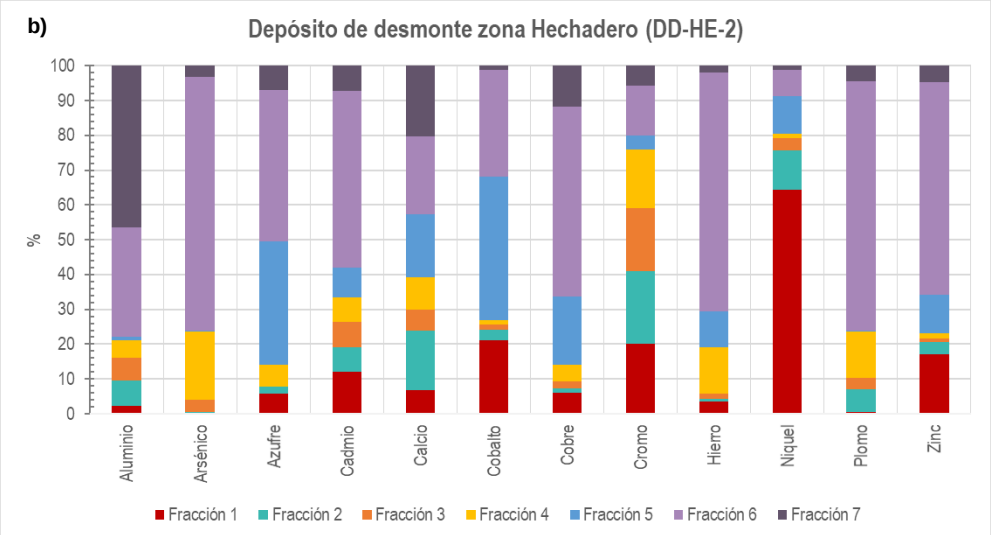


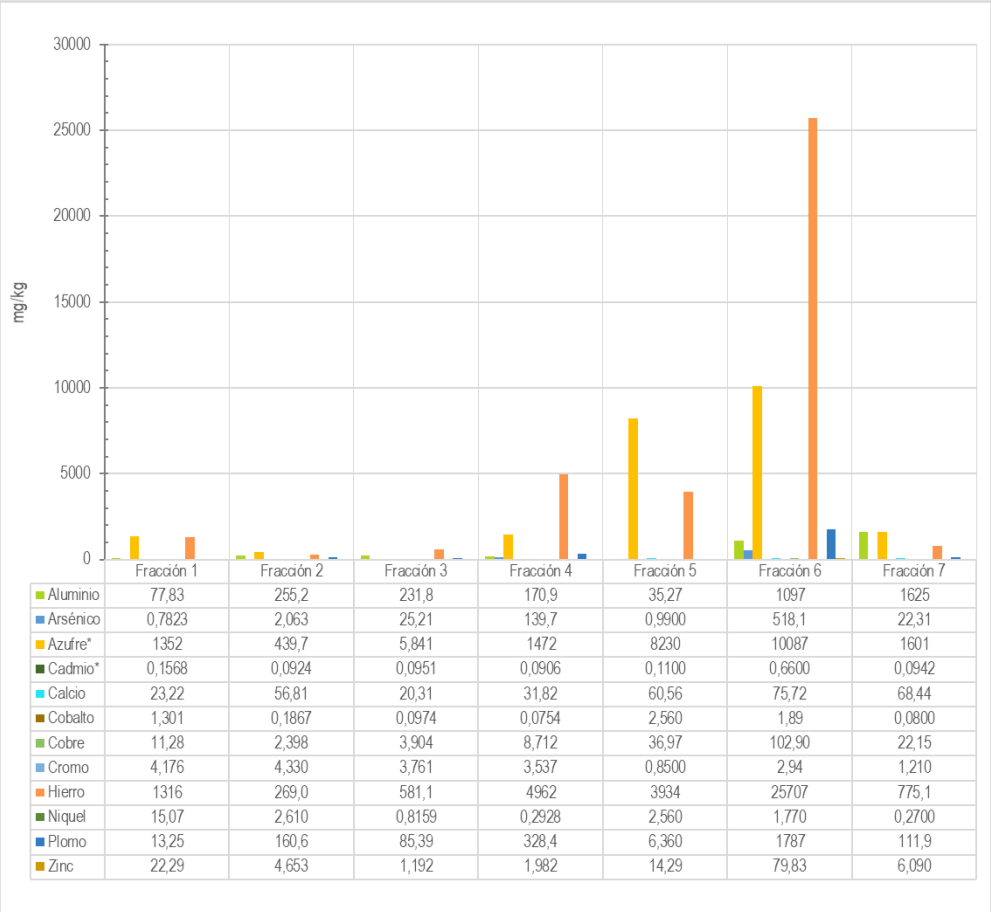


	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4	Fracción 5	Fracción 6	Fracción 7
Aluminio	151,4	95,26	62,63	88,14	12,77	286,3	398,8
Arsénico	0,0453	11,61	31,79	79,94	0,4400	157,9	21,89
Azufre	1173	457,9	144,8	578,0	9037	5524	1478
Cadmio*	0,0933	0,0924	0,0951	0,0906	0,1200	0,1000	0,0942
Calcio	38,84	129,9	15,26	25,93	2,9175	25,34	23,92
Cobalto	0,5489	0,0578	0,0764	0,0689	3,020	1,340	0,1000
Cobre	2,590	3,279	4,272	5,317	121,0	140,7	42,10
Cromo	0,5624	22,41	8,326	1,222	0,2200	1,970	1,450
Hierro	1193	907,7	1140	1531	2676	11163	545,4
Niquel	18,38	8,926	3,084	0,7282	3,140	2,010	0,4800
Plomo	0,4155	54,26	101,3	102,7	0,1800	175,1	27,04
Zinc	4,225	2,122	0,5234	1,524	18,04	11,98	1,690

(*): El cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en las fracciones 1, 2, 3, 4 y 7.

Figura 6.16. Distribución de elementos en las fracciones solubles de las muestras de los depósitos de desmonte zona 10

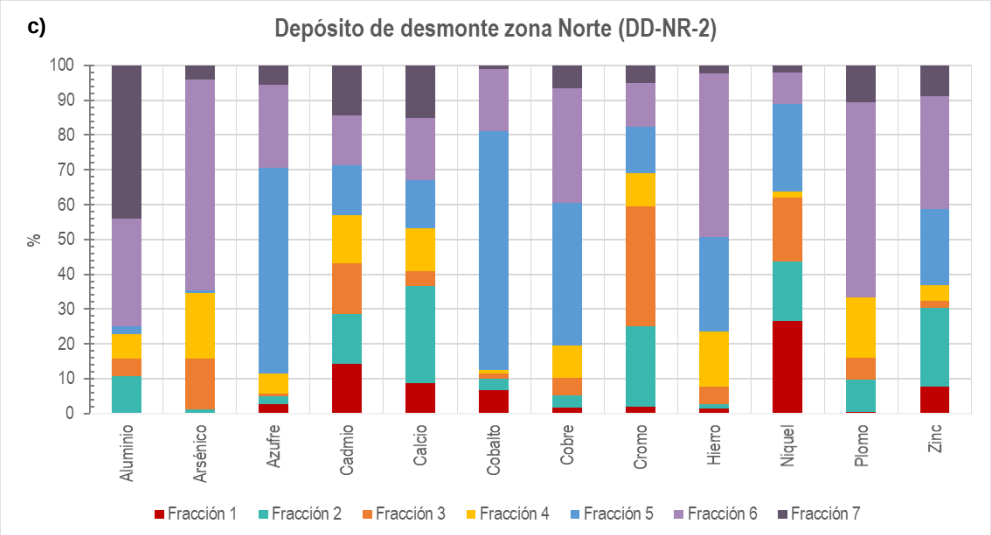


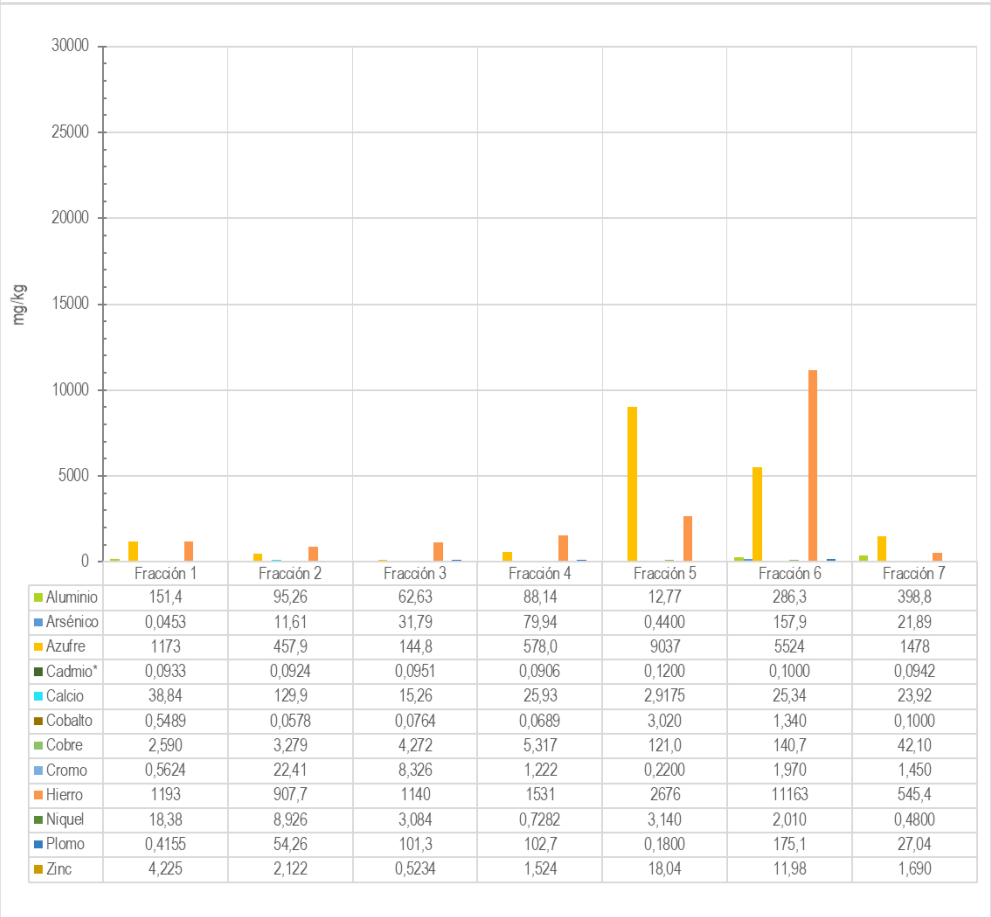


	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4	Fracción 5	Fracción 6	Fracción 7
Aluminio	77,83	255,2	231,8	170,9	35,27	1097	1625
Arsénico	0,7823	2,063	25,21	139,7	0,9900	518,1	22,31
Azufre*	1352	439,7	5,841	1472	8230	10087	1601
Cadmio*	0,1568	0,0924	0,0951	0,0906	0,1100	0,6600	0,0942
Calcio	23,22	56,81	20,31	31,82	60,56	75,72	68,44
Cobalto	1,301	0,1867	0,0974	0,0754	2,560	1,89	0,0800
Cobre	11,28	2,398	3,904	8,712	36,97	102,90	22,15
Cromo	4,176	4,330	3,761	3,537	0,8500	2,94	1,210
Hierro	1316	269,0	581,1	4962	3934	25707	775,1
Niquel	15,07	2,610	0,8159	0,2928	2,560	1,770	0,2700
Plomo	13,25	160,6	85,39	328,4	6,360	1787	111,9
Zinc	22,29	4,653	1,192	1,982	14,29	79,83	6,090

(*): Elementos que reportaron concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.); azufre (fracción 3) y cobalto (fracción 2, 3 y 4).

Figura 6.17. Distribución de elementos en las fracciones solubles de las muestras de los depósitos de desmonte zona Hechadero





	Fracción 1	Fracción 2	Fracción 3	Fracción 4	Fracción 5	Fracción 6	Fracción 7
Aluminio	151,4	95,26	62,63	88,14	12,77	286,3	398,8
Arsénico	0,0453	11,61	31,79	79,94	0,4400	157,9	21,89
Azufre	1173	457,9	144,8	578,0	9037	5524	1478
Cadmio*	0,0933	0,0924	0,0951	0,0906	0,1200	0,1000	0,0942
Calcio	38,84	129,9	15,26	25,93	2,9175	25,34	23,92
Cobalto	0,5489	0,0578	0,0764	0,0689	3,020	1,340	0,1000
Cobre	2,590	3,279	4,272	5,317	121,0	140,7	42,10
Cromo	0,5624	22,41	8,326	1,222	0,2200	1,970	1,450
Hierro	1193	907,7	1140	1531	2676	11163	545,4
Níquel	18,38	8,926	3,084	0,7282	3,140	2,010	0,4800
Plomo	0,4155	54,26	101,3	102,7	0,1800	175,1	27,04
Zinc	4,225	2,122	0,5234	1,524	18,04	11,98	1,690

(*): El cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en las fracciones 1, 2, 3, 4 y 7.

Figura 6.18. Distribución de elementos en las fracciones solubles de las muestras de los depósitos de desmonte zona Norte

En la Figura 6.19 se presenta los resultados del análisis mineralógico mediante difracción de rayos X de las muestras de depósito de desmonte. Se aprecia que las cuatro muestras presentan principalmente cuarzo en porcentajes desde 50% hasta 81%, a su vez, la alunita (sulfato de aluminio y potasio) y la caolinita (arcilla) se presentan en las cuatro muestras de los depósitos de desmonte. Los silicatos; feldespato sódico (familia sanidina) y plagioclasa

(familia andesina) se encuentran únicamente en la muestra del depósito de desmonte zona Norte (4% y 9% respectivamente); a su vez, la mica (familia muscovita) se presenta en las muestras del depósito de desmonte zona Hechadero (DD-HE-2) y zona Norte (DD-NR-2 y DD-NR-3) en porcentajes que van desde 2 % hasta 23%, además, en los dos depósitos mencionados también se encuentra la jarosita (hidroxisulfato de potasio y hierro) en porcentajes bajos (2 - 3%) en comparación al resto de minerales reportados.

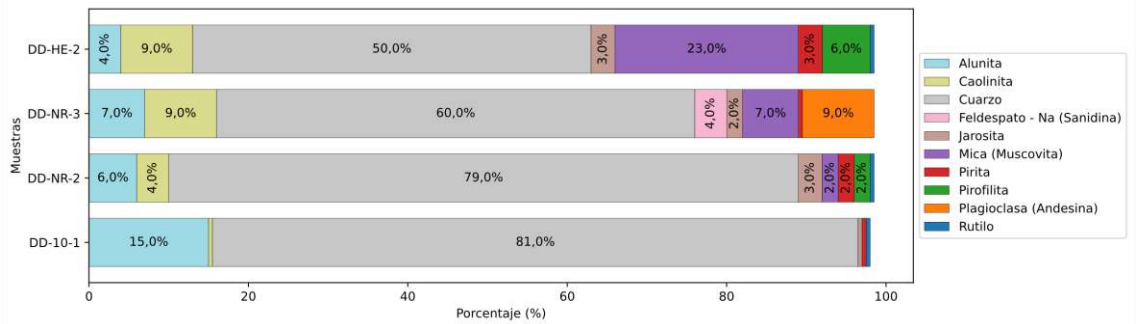


Figura 6.19. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras de los depósitos de desmonte zona 10, zona Hechadero y zona Norte.

La pirofilita (silicato de alúmina hidratado) y la pirita se encuentran únicamente en las muestras DD-HE-2 (6% y 3% respectivamente) y DD-NR-2 (2% y 2%); en cuanto al rutilo, este mineral se reportó como identificado en la muestra, sin embargo, con valores menores al límite de detección en las muestras del depósito de desmonte zona Hechadero, zona Norte (DD-NR-2) y zona 10. Se precisa que la muestra DD-10-1 que corresponde al depósito de desmonte zona 10 presentó presencia de los minerales caolinita, jarosita y pirita los cuales no se cuantificaron al encontrarse por debajo del 1% (<L.D.)

A su vez, las muestras de los depósitos de desmonte fueron analizadas mediante microscopía electrónica de barrido y se detalla en la Tabla 6.4 los minerales identificados en cada muestra.

Tabla 6.4. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de depósito de desmonte

Minerales identificados	Puntos de muestreo			
	DD-10-1	DD-NR-2	DD-NR-3	D-HE-2
Galena (PbS)	x	x	x	x
Baritina ($BaSO_4$)	x	x	x	x
Pirita (FeS_2)	x	x	x	x
Óxido de antimonio y bismuto	x	-	-	-
Óxido de antimonio	x	-	-	-
Sulfuro de antimonio y bismuto	x	-	-	-
Rutilo $(Ti,Fe)O_2$	-	x	-	x
Cerusita $(Pb,Fe)CO_3$	-	x	x	-
Magnetita $(Fe,Ti)_3O_4$	-	-	x	-
Calcopirita $CuFeS_2$	-	-	x	-
Hematita $(Fe,Ti)_2O_3$	-	-	x	-
Goethita (FeO.OH)	-	-	x	-
Uchucchacuaita $(Ag,Fe)Pb_3MnSb_5S_{12}$	-	-	x	-
Jordanita $Pb_{14}As_6S_{23}$	-	-	-	x

(-): No aplica.

6.1.1.3. Tajo

En el tajo Tucari se realizó el muestreo en 3 puntos, el primer punto de código TJ-1 compuesto por material granular depositado por gravedad en la ladera sur al interior del tajo, el segundo (TJ-2) y tercer (TJ-3) punto corresponden al macizo rocoso en la ladera norte al interior del tajo. A su vez se consideró el muestreo del material de relleno depositado en el tajo en 3 puntos (MRTJ1, MRTJ-2 y MRTJ-3).

En la Figura 6.20 se presentan los resultados de las concentraciones de metales totales en comparación con los valores medios de la corteza superior e inferior (Rudnick, 2014); se observa que el cobre, plomo, arsénico, molibdeno, antimonio, selenio, plata y mercurio superan los valores medios de la corteza superior; en cuanto al hierro y zinc superaron el valor en referencia únicamente en las muestras TJ-2 y MRTJ-1 respectivamente. Asimismo, el estaño presenta concentraciones superiores al valor de referencia en las muestras TJ-1, TJ-2, TJ-3 y MRTJ-1.

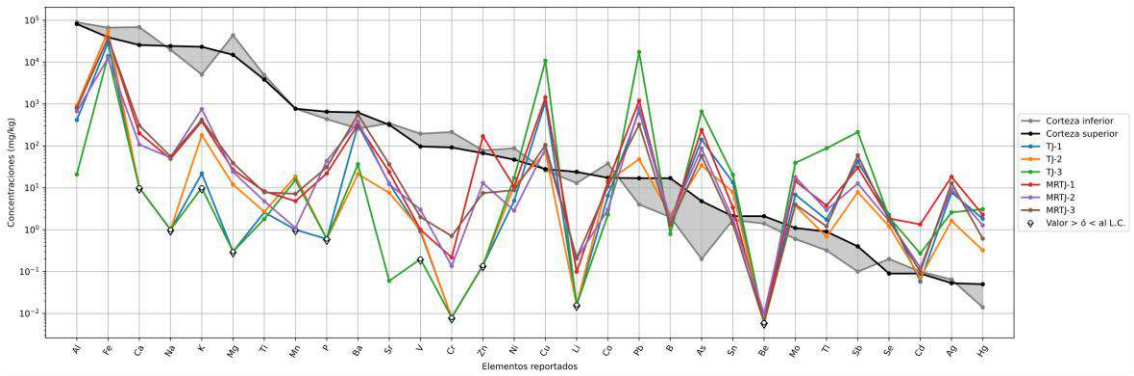


Figura 6.20. Concentraciones de metales en muestras del material de tajo y material de relleno de tajo en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014)

Para el cadmio superó el valor medio en las muestras TJ-3, MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3, a su vez el talio superó el valor medio en todas las muestras del tajo y únicamente la muestra TJ-2 fue la que no superó el valor en mención. Por consiguiente, al igual que los depósitos de desmonte la presencia de cobre, arsénico, plata, plomo, mercurio, antimonio, estaño, zinc y molibdeno se encuentran asociados al yacimiento de oro epitermal de alta sulfuración de la unidad minera Tucari.

En la Figura 6.21 se presenta los resultados de granulometría de las muestras obtenidas en el tajo representada por el material granular (TJ-1) y material de relleno del tajo (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3); se observa la presencia de mayor porcentaje de grava y arena en 4 muestras de material del tajo en relación con el porcentaje de arcillas y limos (50%).

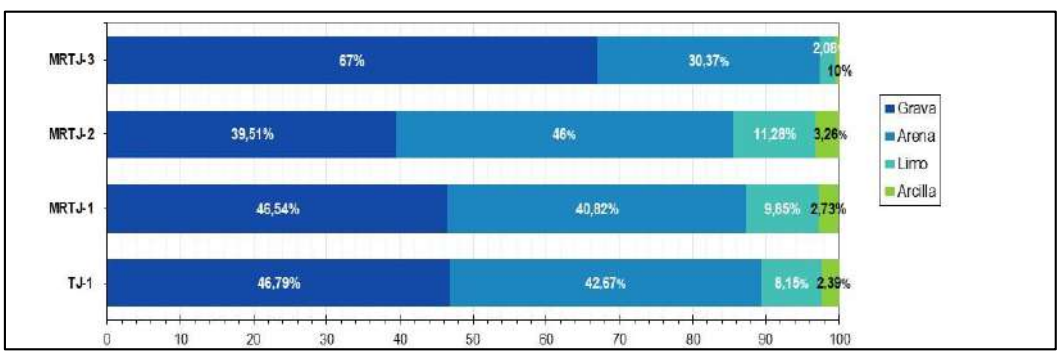


Figura 6.21. Granulometría en muestras de material de relleno de tajo y material erosionado

En cuanto a la generación de acidez, mediante la prueba estática de balance ácido-base (ABA), según el criterio 1 y 2, todas las muestras obtenidas en el tajo son consideradas como potenciales generadoras de acidez (Figura 6.22).

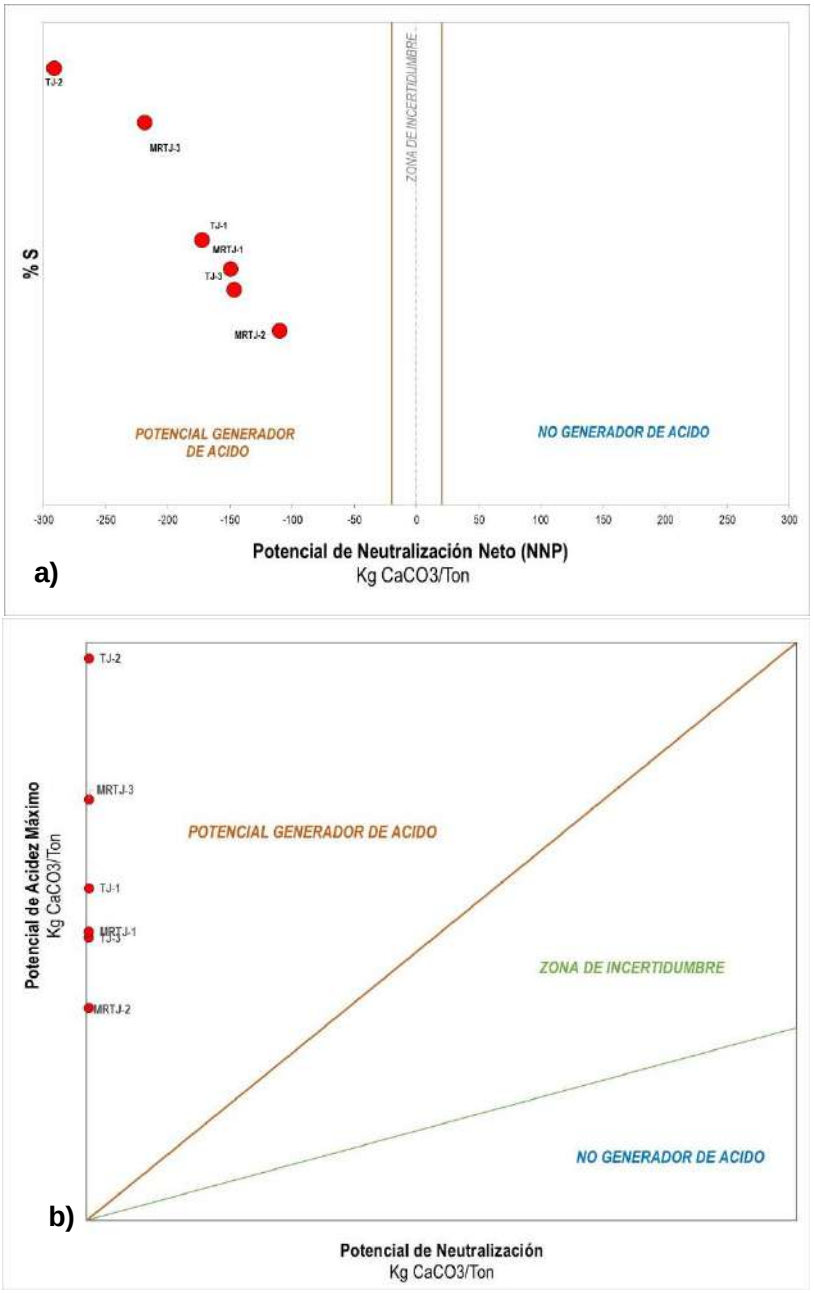


Figura 6.22. Prueba ABA en muestras de material del tajo analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b).

Criterio 1: Para un potencial neto de neutralización: < a 0, la muestra es «generadora neta de ácido» [entre -20 y +20 kg CaCO3/Ton] la muestra corresponde a un rango de «incertidumbre»; > a +20 kg CaCO3/Ton, se considera a la muestra es «potencial no generador de ácido» < a -20 kg CaCO3/Ton se considera «potencial generador de ácido»

Criterio 2: Ratio potencial de neto (RNP), para un 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».

En la Tabla 6.5 se presentan las concentraciones de los principales metales obtenidas en las muestras del tajo, en las que destacan las concentraciones de elementos mayoritarios como hierro y aluminio en todas las muestras del tajo, y en cuanto a los elementos minoritarios, resalta el cobre en todas las muestras, a excepción del TJ-1. El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo 3, RRE 046-2020-STEC.

Tabla 6.5. Concentraciones de metales obtenidas mediante *shake flask extraction* en muestras de tajo Tucari y material de relleno del tajo

Metales totales	Unidad	Tajo			Material de relleno de Tajo		
		TJ-1	TJ-2	TJ-3	MRTJ-1	MRTJ-2	MRTJ-3
Arsénico (As)	mg/L	0,0012	1,588	0,1235	8,121	1,785	7,483
Cadmio (Cd)	mg/L	0,00074	0,00356	0,01971	0,03583	0,00634	0,02047
Cobalto (Co)	mg/L	0,042	0,1474	0,2549	0,523	0,2795	0,9624
Cromo (Cr)	mg/L	0,0195	0,6838	0,1923	0,0448	0,0239	0,1338
Cobre (Cu)	mg/L	0,0749	23,64	31,97	28,46	4,829	18,92
Mercurio (Hg)	mg/L	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010	< 0,00010
Níquel (Ni)	mg/L	0,0746	0,142	0,8931	0,4354	0,3076	0,8305
Plomo (Pb)	mg/L	0,001	2,046	5,251	2,305	2,35	2,349
Zinc (Zn)	mg/L	0,072	0,251	0,6	5,124	0,683	0,845
Hierro (Fe)	mg/L	29,46	390,7	139,6	1462	782,3	3354
Aluminio (Al)	mg/L	18,29	33,13	1,648	49,18	24,68	89,73
Antimonio (Sb)	mg/L	0,0091	0,1543	0,1718	0,1817	0,101	0,2858
Bario (Ba)	mg/L	0,007	0,017	< 0,0014	0,0088	0,0118	0,0155
Calcio (Ca)	mg/L	4,75	2,96	1,48	4,43	2,77	13,06
Potasio (K)	mg/L	2,13	10,79	0,46	11,5	5,28	11,5
Magnesio (Mg)	mg/L	0,345	0,457	0,568	1,885	1,404	6,973
Manganeso (Mn)	mg/L	0,3619	0,2757	1,715	0,3425	0,1685	0,6651
Sodio (Na)	mg/L	4,3	1,92	0,61	1,82	0,8	4,67

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorio AGQ PERÚ S.A.C.

En la Figura 6.23 se presenta los resultados de la prueba de lixiviación *shake flask extraction* de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc obtenidas en las muestras del tajo comparados de manera referencial con los LMP (2010) donde se observó lo siguiente:

- Arsénico, cobre y plomo: Las muestras obtenidas en el tajo presentaron concentraciones superiores al LMP (2010), a excepción de la muestra TJ-1.
- Cadmio: Ninguna muestra superó LMP (2010).
- Zinc: La única muestra que presentó una concentración mayor al LMP (2010) fue MRTJ-1.
- Mercurio: Todas las muestras presentaron concentraciones por debajo al límite de cuantificación (< 0,00010 mg/L).

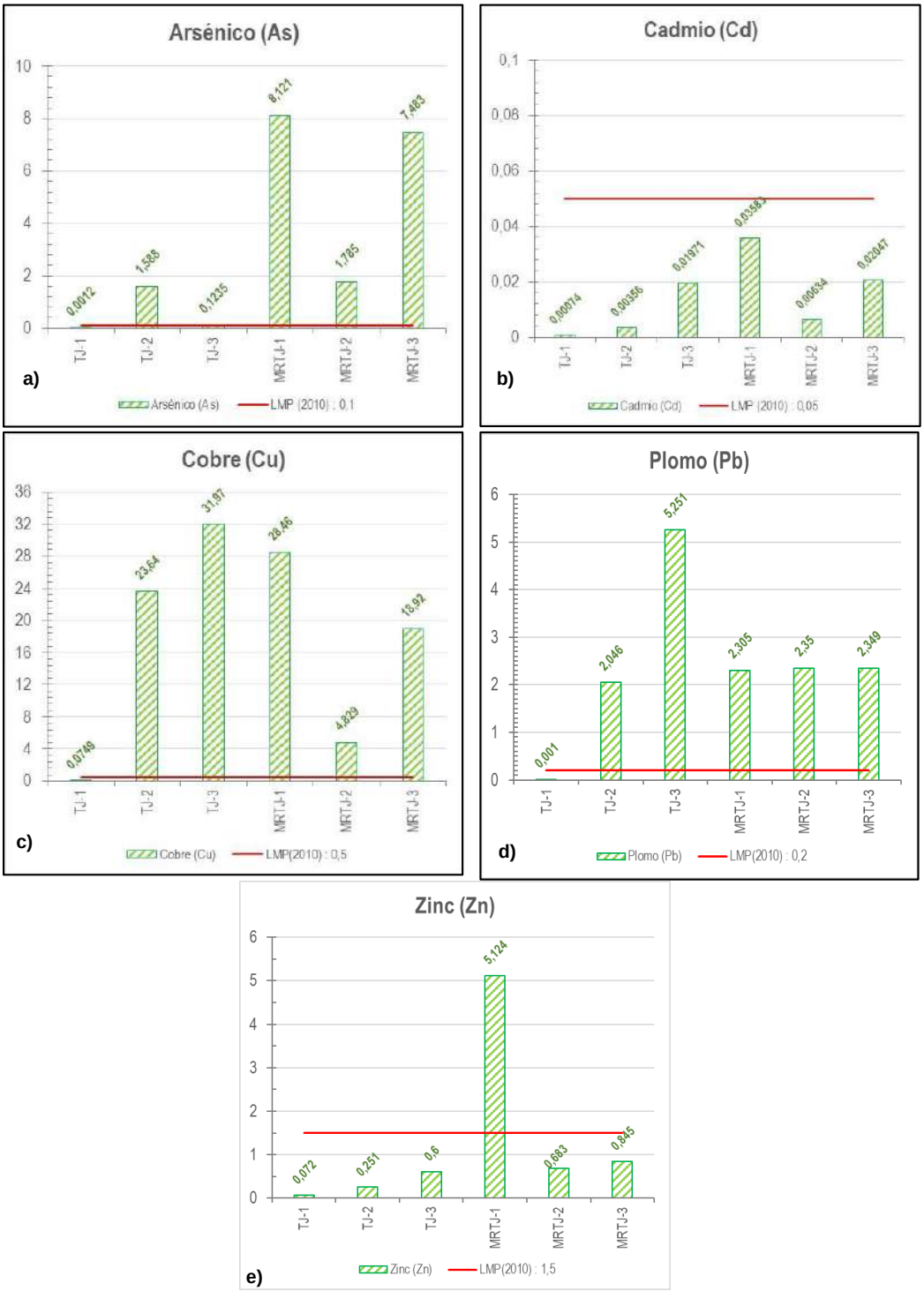


Figura 6.23. Concentraciones de metales obtenidas mediante *Shake flask extraction* en muestras del tajo comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (LMP): a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) plomo y e) zinc.

En la Figura 6.24 se presentan los resultados de *shake flask extraction* aniones de las 6 muestras del tajo (TJ-1, TJ-2, TJ-3, MRTJ1, MRTJ-2 y MRTJ-3), donde se aprecia la predominancia de los sulfatos (217 mg/L – 8276 mg/L) en comparación con los 5 aniones reportados (cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y fluoruros).

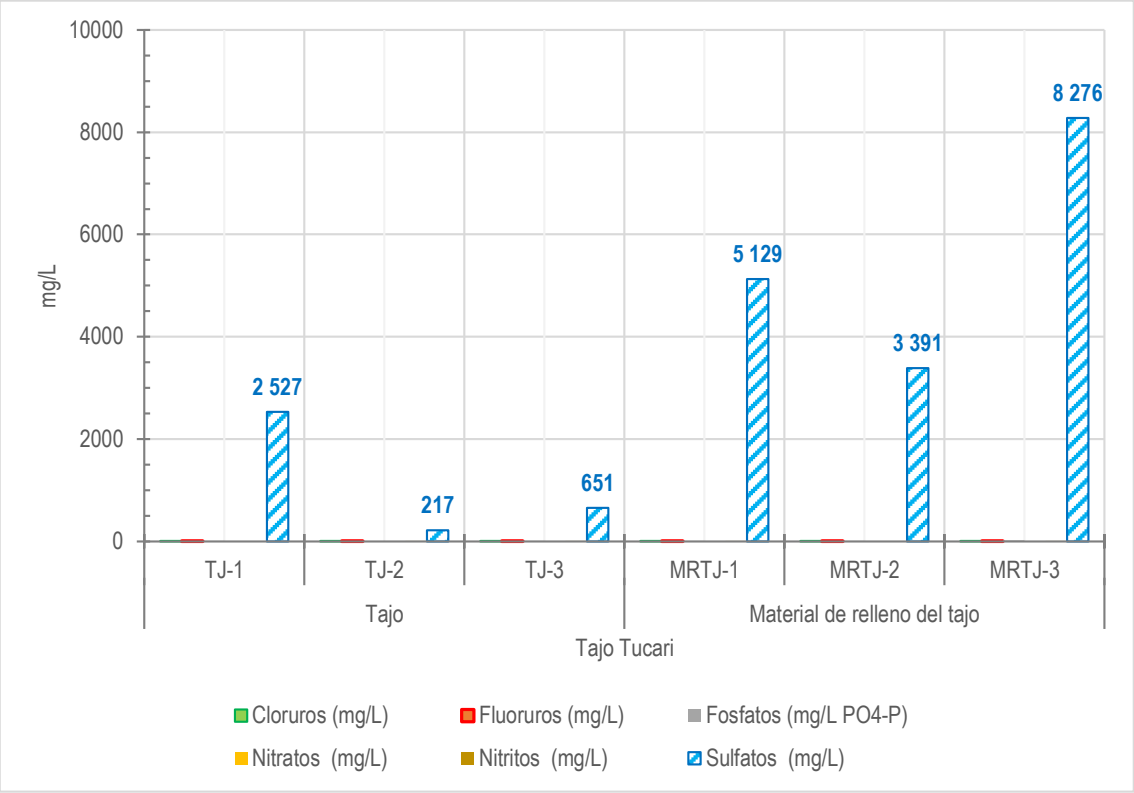


Figura 6.24. Concentraciones de aniones obtenidos mediante *shake flask extraction* de las muestras del tajo

En la Figura 6.25 se presentan los resultados de las 7 fracciones respectivas de cada muestra del tajo (TJ-1, TJ-2 y TJ-3) y el material de relleno (MRTJ1, MRTJ-2 y MRTJ-3); se observa que, en las 6 muestras los elementos que se liberan en la fracción 1 (soluble en agua) son el azufre, calcio, níquel y zinc; en cuanto al aluminio, cobalto, cobre, hierro y plomo también son liberados en la fracción 1 en 5 muestras (TJ-1, TJ-3, MRTJ1, MRTJ-2 y MRTJ-3) y el cadmio se libera en 4 muestras (TJ-3, MRTJ1, MRTJ-2 y MRTJ-3).

El cromo y arsénico se liberan en las muestras TJ-1 y MRTJ-3 respectivamente. Se precisa que el material de relleno del tajo es más soluble en agua, presentando porcentajes mayores concentraciones en comparación de los depósitos de desmonte y canteras e inclusive es mayor al material granular (TJ-1) y a la roca del macizo rocoso del tajo (TJ-2 y TJ-3). A su vez estos materiales liberan plomo en la fracción 2 (intercambiable) en 5 muestras (TJ-1, TJ-3, MRTJ1, MRTJ-2 y MRTJ-3) presentando porcentajes mayores (desde 33 % hasta 63%) en comparación con la fracción 7 (desde 1, 06% hasta 5,6%). Es decir que, las muestras del material de relleno presentan en su composición mayor porcentaje de sales metálicas y sulfatos.

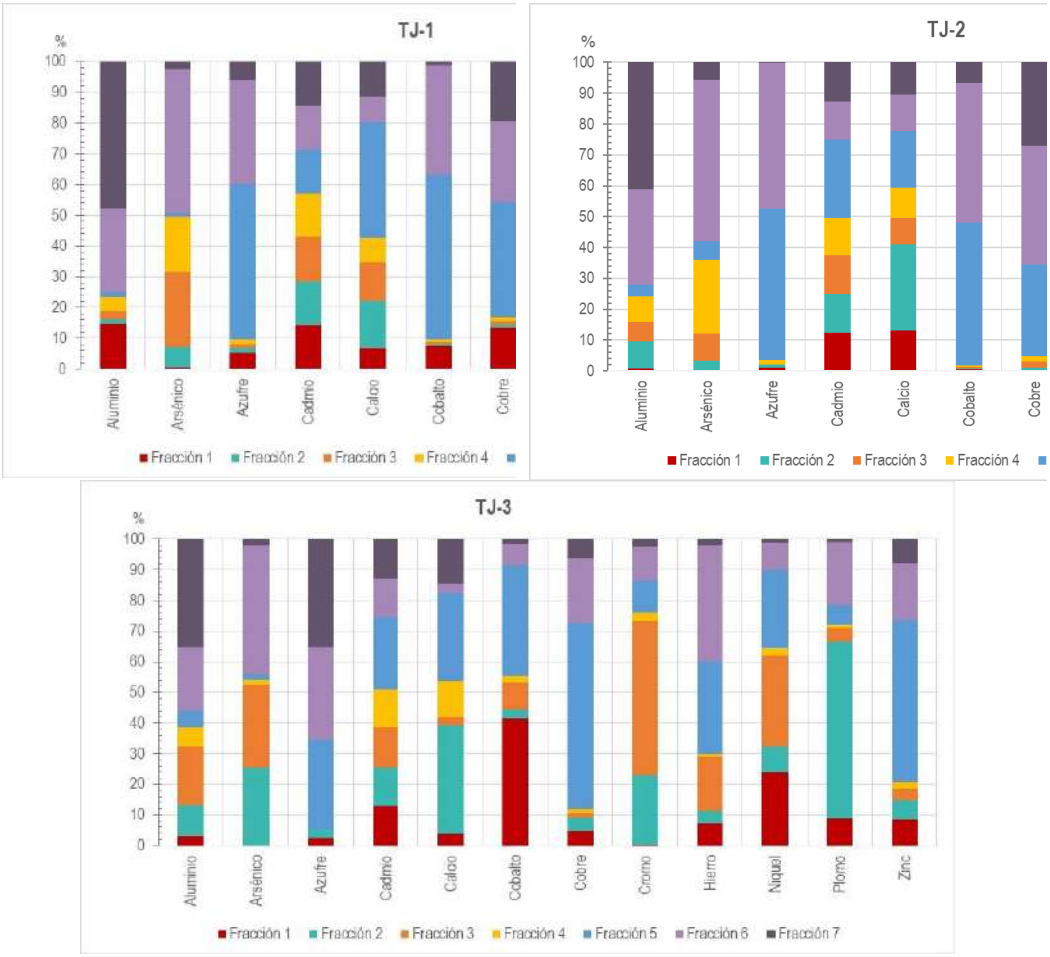


Figura 6.25. Proporción de fracciones solubles de las muestras de roca del tajo

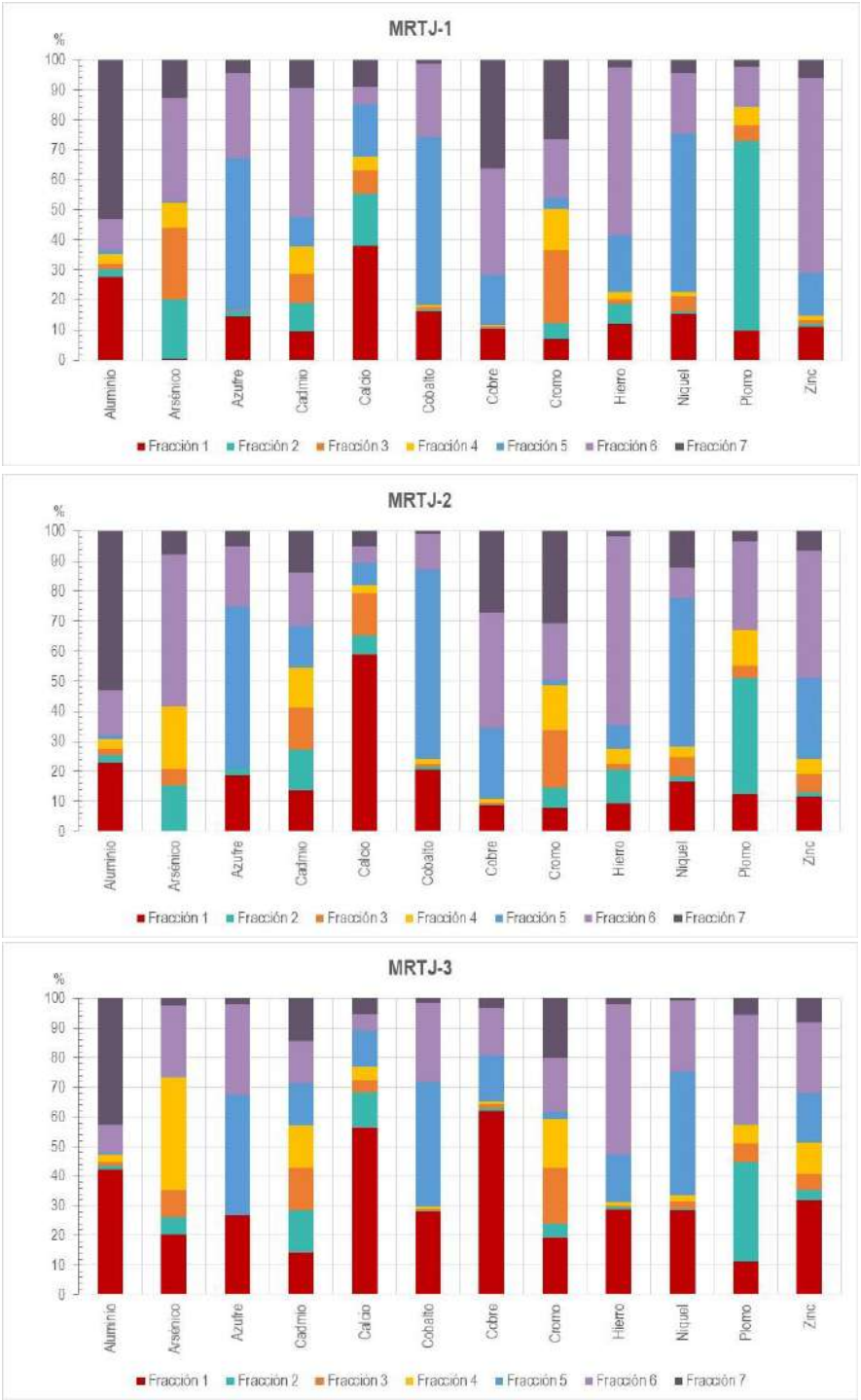
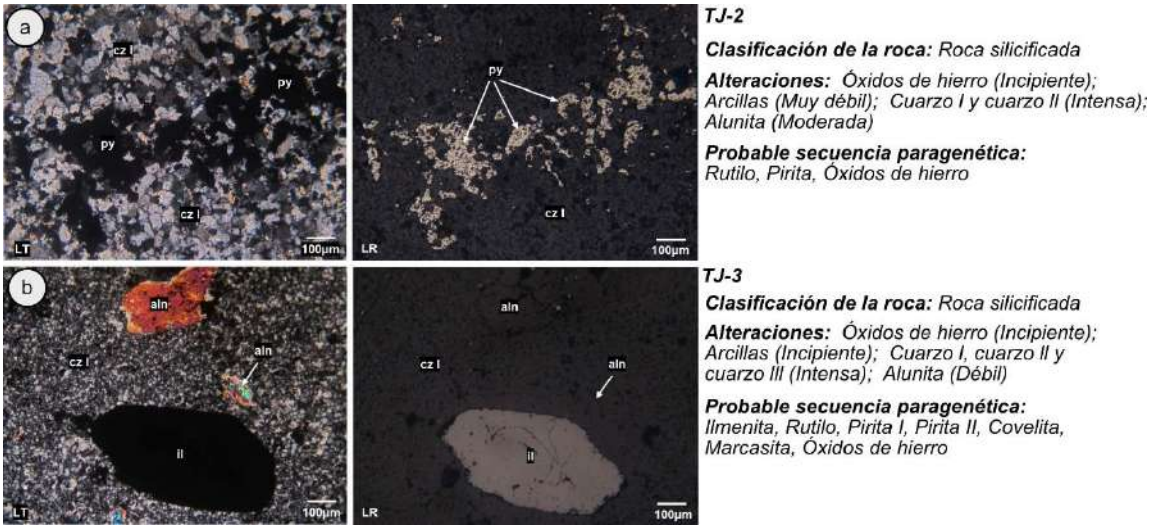


Figura 6.26. Proporción de fracciones solubles de las muestras de material de relleno del tajo

A continuación, en la Figura 6.27, se presentan las fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas de estudios de microscopía óptica correspondientes a las muestras roca obtenidas del macizo rocoso del tajo, donde se indica las alteraciones presentes y posible secuencia paragenética (formación de minerales). Se precisa que el detalle de los resultados de los estudios de petromineragrafía se encuentra en el Anexo 3 RRE XX-2020-STEC.



Alunita (aln), covelita (cv), cuarzo (cz), ilmenita (il) y pirita (py). Luz transmitida (LT) y luz reflejada (LR).

Figura 6.27. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca obtenidas del macizo rocoso del tajo **a)** y **b)** Roca silicificada**.**

Las muestras TJ-2 y TJ-3 corresponden a rocas silicificadas, en cuanto a la muestra TJ-2 (Figura 6.27a) ha sido completamente silicificada borrándose por completo su textura original, como minerales primarios solo se encuentran relictos de pequeños cristales de zircón, el cual ha sido reemplazado por agregados de cristales de cuarzo I (82%) con pirita (5%) y rutilo (traza) en sus intersticios. En las venas y fracturas se presenta la alunita (12%) como relleno, además agregados terrosos de arcillas (1%) y óxidos de hierro (traza) han impregnado a los cristales de alunita e ingresado por los insterticios de cuarzo I y el cuarzo II (traza) se presenta en pequeñas cavidades como relleno.

Con respecto a la muestra TJ-3 (Figura 6.28b) similar a la muestra TJ-2, la textura original ha sido completamente borrada y ha sido reemplazada por agregados de pequeños cristales de cuarzo I (87%) con zircón (traza), ilmenita (traza), pirita I (0,5%), y rutilo (traza) en sus intersticios. Las cavidades presentan relleno de cristales de cuarzo II (4%) y pirita II (1,5%), posteriormente venas y cavidades rellenas por alunita (3%), diásporo (3%) y cuarzo III (traza); con escasas fracturas y cavidades rellenas de covelita (traza) y marcasita (1%). Finalmente, agregados de arcillas (traza) y óxidos de hierro (traza) se encuentran impregnado a los cristales de alunita y diásporo ingresando por insterticios de cuarzo I.

Se presenta en la Tabla 6.6 la distribución de minerales reportados en porcentajes de las muestras de roca obtenidas del macizo rocoso del tajo.

Tabla 6.6. Distribución de minerales primarios y minerales secundarios de muestras de roca del tajo.

Minerales	Unidad	TJ-2	TJ-3
Minerales primarios			
Zircón	%	Traza	Traza
Minerales secundarios			
Arcillas	%	1	Traza
Óxidos de hierro	%	Traza	Traza
Rutilo	%	Traza	Traza
Pirita	%	5	-
Pirita I	%	-	0,5
Cuarzo I	%	82	87
Cuarzo II	%	Traza	4
Cuarzo III	%	-	Traza
Ilmenita	%	-	Traza
Pirita II	%	-	1,5
Alunita	%	12	3
Diásporo	%	-	3
Covelita	%	-	Traza
Marcasita	%	-	1

Presencia: Se refiere a los moldes presentes en las muestras y no se reporta en porcentaje.

En la Figura 6.28 se presenta los resultados del análisis mineralógico mediante difracción de rayos X de las muestras de material granular del tajo (TJ-1) y material de relleno del tajo (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3). Los minerales presentes en mayor porcentaje son el cuarzo (70 - 78%) identificado en las cuatro muestras, seguido de la alunita (sulfato de aluminio y potasio) con valores que varían desde 16% hasta 27%; en cuanto a la mica (familia de muscovita) únicamente se encuentra en las muestras MRTJ-1 y MRTJ-2. La caolinita (arcilla) y el rutilo (óxido de titanio) se reportaron únicamente como presencia en las muestras MRTJ-1 y MRTJ-2; además, de la muestra de MRTJ-3 con presencia solo de rutilo.

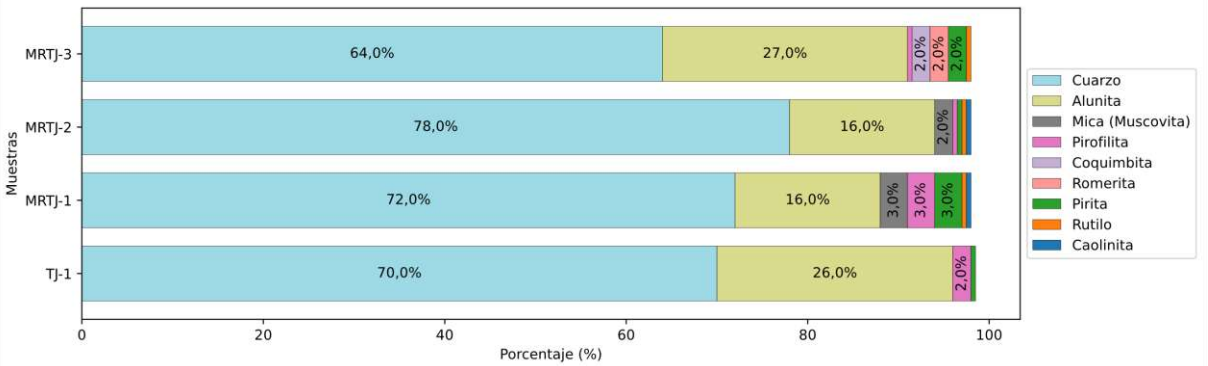


Figura 6.28. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras de material granular (TJ-1) y material de relleno del tajo (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3).

Se identificaron en las cuatro muestras pirita (sulfuro de hierro), sin embargo, únicamente en dos muestras fueron cuantificadas (MRTJ-1 y MRTJ-3) con porcentajes de 3% y 2% respectivamente. En cuanto a la pirofilita (silicato de alúmina hidratado) al igual que la pirita se identificaron en las cuatro muestras; sin embargo, únicamente en las muestras TJ-1 y MRTJ-1 presentaron porcentajes cuantificables, con porcentajes de 2% y 3% respectivamente. En cuanto a la coquimbita y romerita, ambos sulfatos de hierro se identificaron en la muestra MRTJ-3, con porcentajes de 2% de cada mineral.

A su vez, las muestras del material granular y material de relleno del tajo fueron analizados mediante microscopía electrónica de barrido y se detalla en la Tabla 6.7 los minerales identificados en cada muestra. Se puede apreciar que los minerales identificados corresponden al grupo de los sulfuros principalmente (pirita, pirrotita, galena, esfalerita).

Tabla 6.7. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de depósito de desmonte

Minerales identificados	Puntos de muestreo			
	TJ-1	MRTJ-1	MRTJ-2	MRTJ-3
Pirita (FeS_2)	x	x	x	x
Rutilo $(Ti,Fe)O_2$	x	x	x	-
Pirrotita $Fe_{1-x}S$.	x	-	-	-
Cerusita $(Pb,Fe)CO_3$	x	-	x	-
Galena (PbS)	x	x	x	x
Baritina ($BaSO_4$)	x	x	x	x
Esfalerita (Zn.Fe)S	-	x	-	-

(-): No aplica.

6.1.1.4. Lodo (pozas de sedimentación)

La evaluación ambiental también contempló el muestreo de los lodos de las pozas de sedimentación (puntos LODO-01 y POZA-01) de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas wetland norte y sur, ubicados en la zona Margaritani, en los sectores de las quebradas Margaritani y Apostoloni respectivamente. Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en los lodos de las pozas de sedimentación se presentan en la Tabla 6.8 y las Figuras 6.29, 6.30, 6.31 y 6.32. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo C (reporte de resultados).

Tabla 6.8. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los lodos de las pozas de sedimentación de los sistemas wetland norte y sur

Parámetros	**Unidades**	**Puntos de muestreo**	
		Poza sistema wetland norte	**Poza sistema wetland sur**
		LODO-01	**POZA-01**
pH	Unidades de pH	> 12,0	9,7
Sulfatos	mg/kg S	151298	165523
Materia orgánica	%	<0,3	<0,3
Fe	mg/kg PS	60166	77116
Cu	mg/kg PS	3077	2585
Pb	mg/kg PS	32,82	1,859
Zn	mg/kg PS	2178	1737
Cd	mg/kg PS	17,16	19,61
Co	mg/kg PS	162	126
Cr	mg/kg PS	6,83	8,83
Ni	mg/kg PS	176	139
Hg	mg/kg PS	0,055	0,014
As	mg/kg PS	829	320
Sb	mg/kg PS	0,7207	1,327
Al	mg/kg PS	32916	47618
Mn	mg/kg PS	1631	893
Ca	mg/kg PS	19319	132184

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo	
		Poza sistema wetland norte	Poza sistema wetland sur
		LODO-01	POZA-01
Na	mg/kg PS	305173	103
K	mg/kg PS	1267	424,5
Mg	mg/kg PS	1631	4862
Ba	mg/kg PS	60,5	7,731

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C. y SGS del Perú S.A.C.

Se obtuvieron valores de pH de > 12,0 y 9,7 para los puntos LODO-01 y POZA-01, lo que evidencia lodos de características alcalinas. Asimismo, el contenido de materia orgánica estuvo por debajo del límite de detección del laboratorio (< 0,3) en ambos puntos de muestreo de las pozas de sedimentación. Asimismo, se encontraron altas concentraciones de sulfatos (151298 y 165523 mg/kg S), hierro (60166 y 77116 mg/kg PS), cobre (3077 y 2585 mg/kg PS), zinc (2178 y 1737 mg/kg PS), cadmio (17,16 y 19,61 mg/kg PS) y calcio (19319 y 132184 mg/kg PS) en los lodos de las pozas de sedimentación del sistema de tratamiento de agua ácidas wetland norte y sur (LODO-01 y POZA-01).

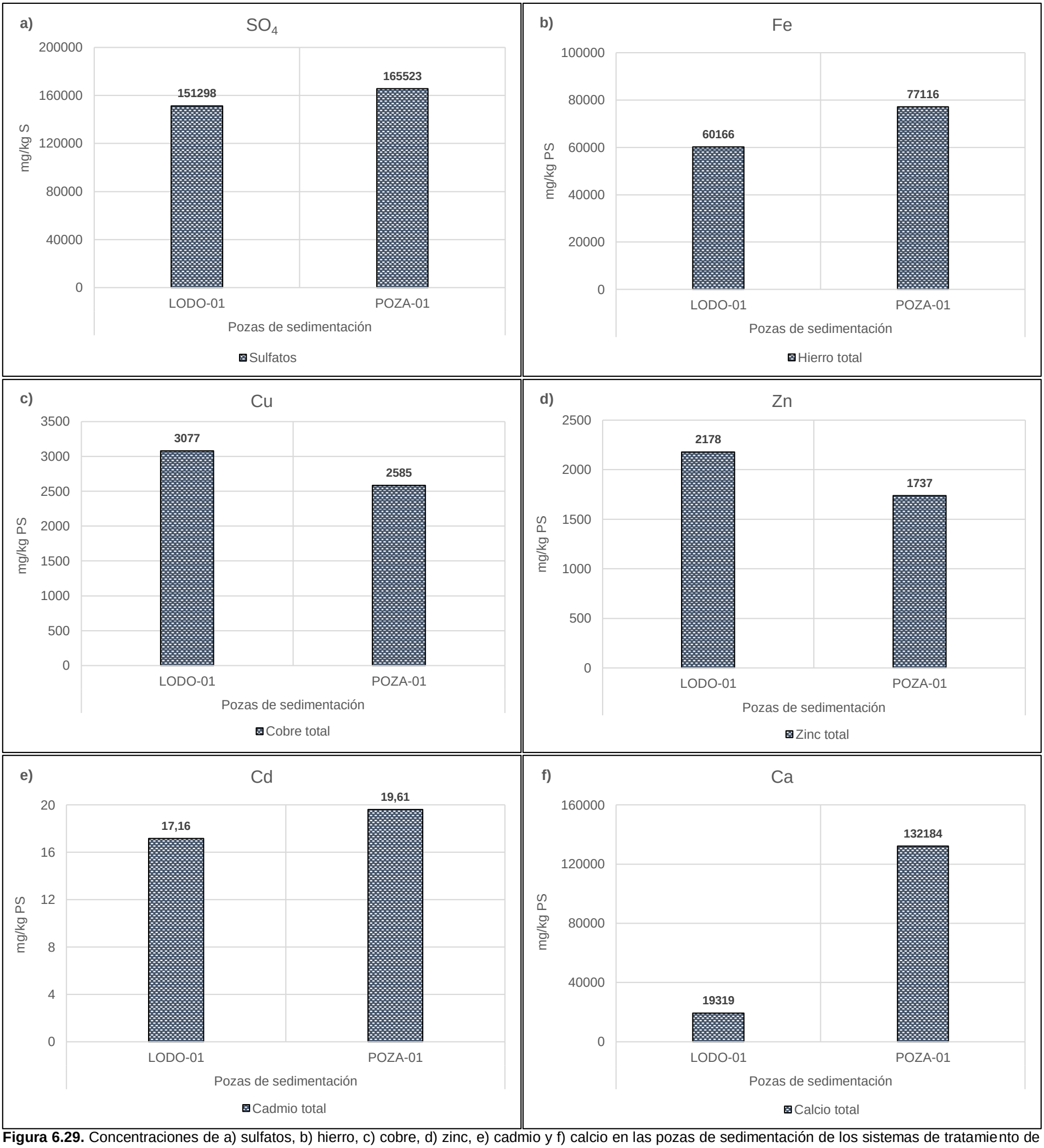


Figura 6.29. Concentraciones de a) sulfatos, b) hierro, c) cobre, d) zinc, e) cadmio y f) calcio en las pozas de sedimentación de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas wetland norte y sur

Análisis mineralógico

Difracción de rayos X

El análisis mineralógico (difracción de rayos X) de los lodos de las pozas de sedimentación de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas wetland norte y sur (LODO-01 y POZA-01) se presenta en la Figura 6.11. En el lodo del sistema wetland norte (punto LODO-01) se registraron minerales como thenardita (44 %), calcita (13 %), caolinita (3 %), cuarzo (5 %), bayerita (3 %), nordstrandita (2 %) y plagioclasas (2%); mientras que en el punto POZA-01 del sistema wetland sur, la composición mineralógica consistió principalmente de yeso (97 %), el cual se formaría luego del proceso de neutralización con cal (óxido de calcio) de las aguas ácidas del tajo y depósito de desmonte Norte en el sistema de tratamiento mencionado.

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido de los lodos de las pozas de sedimentación de los sistemas de tratamiento de agua ácida wetland norte y sur (puntos LODO-01 y POZA-01) se presentan en la Tabla 6.9 y Figura 6.30 y 6.31. Se identificaron minerales basados hierro en los lodos de las pozas de sedimentación (puntos LODO-01 y POZA-01) tales como goethita, aleación Fe-Cr-Ni, aleación Cu-Zn-Fe y magnetita. Además, se identificaron minerales de sulfuros de plomo (galena), hierro (pirita), cobre (calcopirita) y zinc (esfalerita).

Tabla 6.9. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las pozas de sedimentación de los sistemas wetland norte y sur (LODO-01 y POZA-01)

Minerales identificados	Puntos de muestreo	
	Pozas de sedimentación	
	LODO-01	POZA-01
Galena (PbS)	x	x
Goethita (FeO.OH)	x	-
Pirita (FeS2)	x	x
Rutilo (TiO2)	x	-
Aleación de Fe-Cr-Ni	x	x
Aleación de Cu-Zn-Fe	x	-
Scheelita [(Ca,Fe)W04]	x	-
Calcopirita (CuFeS2)	x	x
Óxido de bismuto, antimonio y hierro, con menores proporciones en peso de arsénico y plata	x	-
Magnetita [(Fe,Ti,Mn,Mg)304]	-	x
Barita (BaSO4)	-	x
Esfalerita[(Zn,Fe)S]	-	x

(-): No aplica.

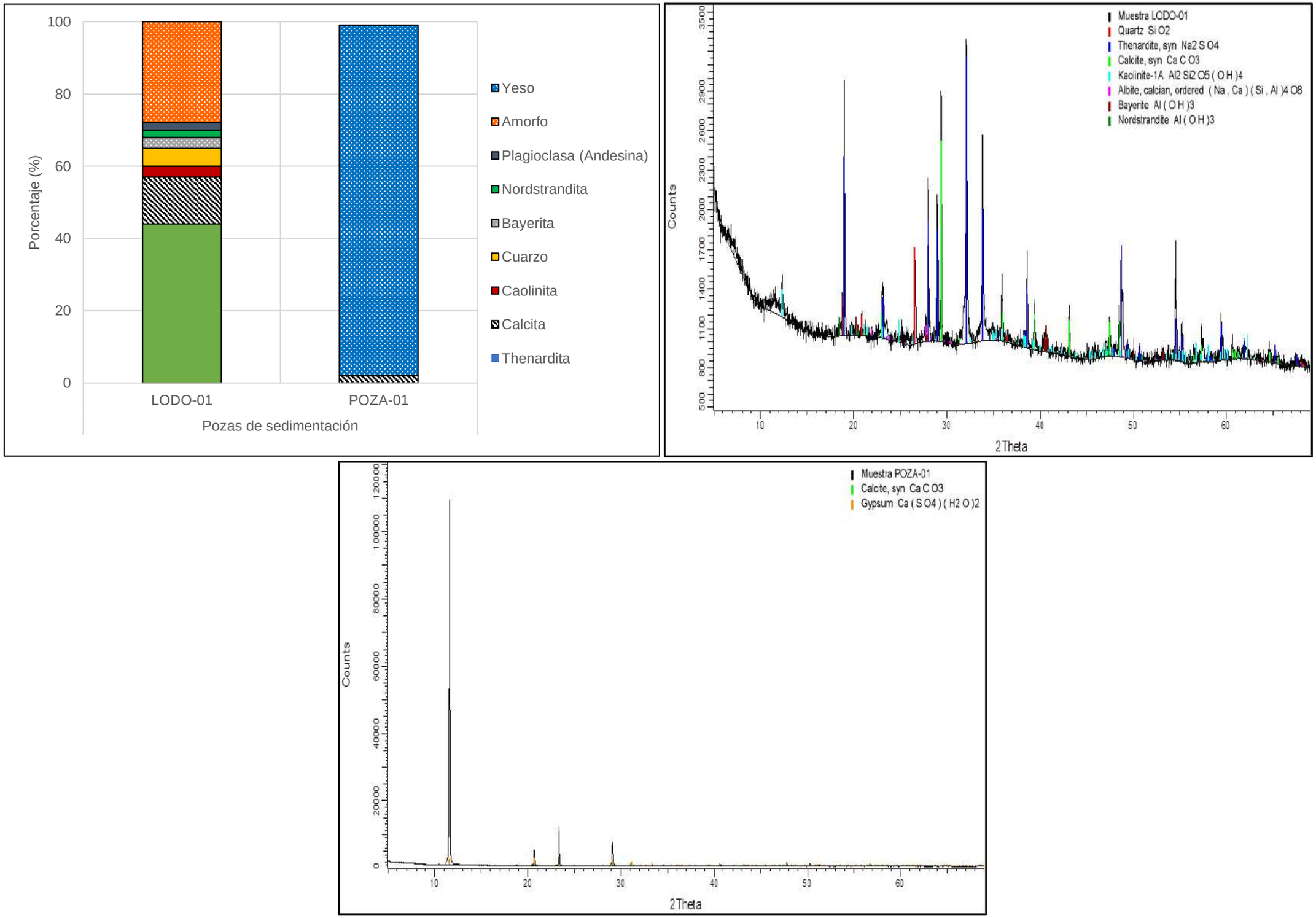


Figura 6.30. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los lodos de las pozas de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas wetland norte y sur

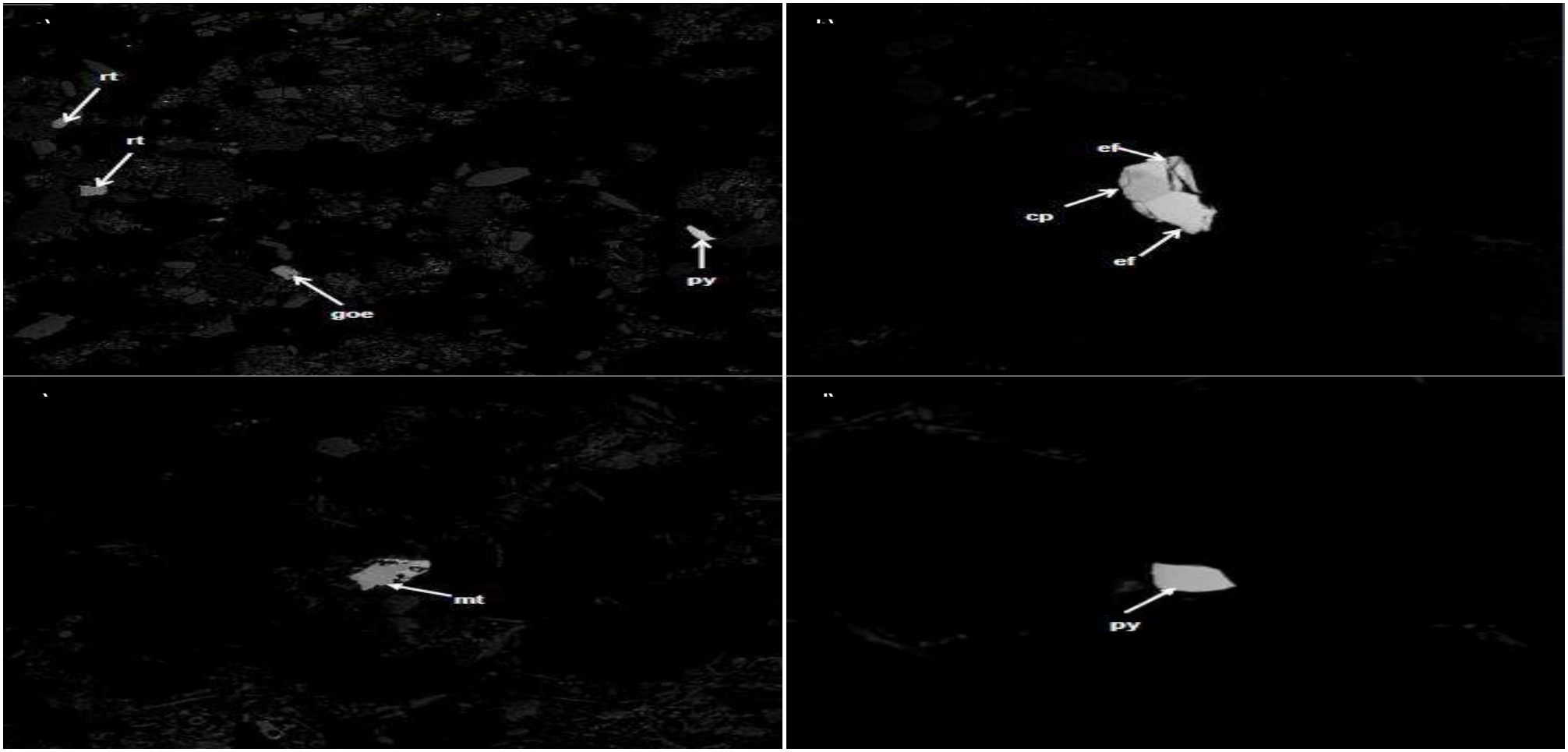


Figura 6.31. Minerales en los lodos de las pozas de sedimentación de los sistemas wetland norte y sur; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo LODO-01 (a y b) y POZA-01 (c y d). Granos libres de mrutilo (rt), pirita (py), goethita (goe), esfalerita (ef), calcopirita (cp) y magnetita

6.1.2. Efluentes y agua residual industrial

Los resultados que se exponen mediante Tablas y Figuras en este ítem son de aquellos parámetros que excedieron los valores de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM) y de aquellos que presentaron alguna anomalía en su comportamiento. Cabe indicar que los resultados de agua residual industrial (agua de subdrenaje, pozas de soluciones y afloramientos subterráneos) fueron comparados de manera referencial con la norma mencionada. En el Anexo 3 (RRE N.° 046-2020-STEC) se encuentra el detalle de los resultados correspondientes.

a) Comparación con Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas

Se evaluaron 2 puntos de efluentes minero-metalúrgicos[44], PS-01 y PS-02 correspondientes a las plantas de tratamiento de aguas residuales del depósito de desmonte y Tajo, respectivamente. De la comparación de los resultados de las mediciones *in situ* y de laboratorio en los efluentes con los Límites Máximos Permisibles, en adelante LMP (2010), todos los parámetros cumplieron con la normativa de referencia, tal como se aprecia en la Tabla 6.10. Respecto a las mediciones *in situ* se resalta un menor valor de pH y mayor conductividad, potencial oxido reducción y turbidez del efluente PS-02 respecto con PS-01.

Tabla 6.10. Resultados de campo y laboratorio de efluentes líquidos

Código		PS-01	PS-02	LMP(1)
Parámetro	Unidad			En cualquier momento
Mediciones in situ				
pH	Unidad de pH	6,85	6,18	6,0-9,0
Conductividad eléctrica	µS/cm	863,00	2370,00	---
Temperatura	°C	5,80	10,60	---
Oxígeno disuelto - OD	mg/L	5,96	5,89	---
Potencial oxido-reducción - ORP	mV	29,40	177,90	---
Turbidez	NTU	0,78	8,59	---
Caudal	m^3/s	0,00001	0,00010	---
Parámetros de laboratorio				
Sólidos totales suspendidos	mg/L	< 2,00	4,00	50
Cianuro total	mg/L	-	-	1
Arsénico Total	mg/L	0,00015	0,00283	0,1
Cadmio Total	mg/L	0,00017	0,0008	0,05
Cobre Total	mg/L	0,0113	0,0197	0,5
Mercurio Total	mg/L	< 0,000070	< 0,000070	0,002
Plomo Total	mg/L	0,0003	0,00034	0,2
Zinc Total	mg/L	0,023	0,037	1,5
Hierro Disuelto	mg/L	0,31	0,53	2

Fuente: Informe de ensayo 41940/2020, 42659/2020 del laboratorio ALS Perú SAC; SAA-20/00659, SAA-20/00659, A-20/091505, SAA-20/00575 del laboratorio AGQ Perú SAC contenidos en el Anexo XX (Reporte de resultados XX-2020-STEC).

(1) Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgica aprobado por Decreto Supremo D.S. N° 010-2010-MINAM.

(---) No tiene valor de comparación

[44] Durante la evaluación en campo se verificaron 4 puntos de control de efluente minero metalúrgico, sin embargo 2 se encontraron sin vertimiento, tal como se detalla en el reporte de campo RC 044-2020-STEC.

b) Comparación referencial del agua residual industrial con Límites Máximos Permisibles (LMP)

Se evaluaron 15 puntos de agua residual industrial los cuales se encuentran asociados a componentes mineros, tal como se detalla a continuación:

- Pozas de soluciones: PLS (ARI-13), ILS (ARI-14) y mayores eventos N.° 2 (ARI-07 y ARI-08) asociadas al PAD 3; y su subdrenaje PSS-01A.
- Pozas de soluciones: PLS (ARI-11), ILS (ARI-10) y mayores eventos N.° 1 (ARI-09) asociadas al PAD 1, PAD 2 y PAD Especial; y su subdrenaje TU-06.
- Pozas de colección de aguas ácidas asociadas al Depósito de Desmonte y el tajo (ARI-04); y la ampliación del depósito de desmonte (ARI-05)
- Afloramientos subterráneos asociados al depósito de desmonte y su ampliación: FBO-1, MT-46, MT-BO6 y MT-55.

De las mediciones *in situ* se resalta que el punto MT-BO6 tuvo el valor más bajo de pH (2,04 unidades de pH) y el punto ARI-09 el más alto (9,04 unidades de pH); en el punto TU-06 se registró la conductividad más baja (438 µS/cm) y el punto ARI-04 la conductividad más alta (19710 µS/cm) y en el punto MT-55 se registró la turbidez más baja (0,82 NTU) a diferencia del punto ARI-04 que registro la mayor turbidez (45 NTU).

A continuación, se detallan los puntos que excedieron de manera referencial los LMP (2010) de acuerdo con cada componente asociado.

Pozas de soluciones y subdrenajes:

- Potencial de hidrogeno (pH): Los puntos ARI-13 y ARI-09 con valores de pH alcalino entre 9,02 y 9,04 fueron los únicos que estuvieron fuera del rango establecido en los LMP. (Figura 6.19a).

- Arsénico total: Las concentraciones de arsénico total excedieron el valor establecido de los LMP en los puntos ARI-13 y ARI-14 (Figura 6.19c).

- Cobre total: Las concentraciones de cobre total excedieron el valor establecido en los LMP en los puntos ARI-07 al ARI-11, ARI-13 y ARI-14 de las pozas de soluciones (Figura 6.20b).

- Mercurio total: Las concentraciones de mercurio total excedieron el valor establecido de los LMP en los puntos ARI-13, ARI-14, ARI-07, ARI-10, ARI-11 y ARI-09 (Figura 6.21b).

- Zinc total: Las concentraciones de zinc total excedieron el valor establecido de los LMP en los puntos ARI-07, ARI-10 y ARI-11 (Figura 6.20b).

- Cianuro total: Las concentraciones de cianuro total excedieron el valor establecido de los LMP (2010) solo en los puntos ARI-13, ARI-14, ARI-10 y ARI-11 de las pozas de soluciones. Se resalta también que las concentraciones de cianuro libre y cianuro wad fueron las más altas en los puntos mencionados, y se observan trazas de cianuro total en los subdrenajes (Figuras 6.32a, 6.32b y 6.32c).

Las concentraciones de sólidos totales suspendidos, cadmio y plomo total, y hierro disuelto no excedieron los LMP en las pozas de soluciones y subdrenajes.

Pozas de colección de aguas ácidas:

- Potencial de hidrogeno (pH): Los puntos ARI-04 y ARI-05, con valores de pH ácido de 2,06 y 2,46, respectivamente, se registraron fuera del rango establecido de los LMP (Figura 6.19a).

- Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre y zinc total en los puntos ARI-04 y ARI-05 excedieron los valores establecidos en los LMP (Figura 6.19c, 6.20a, 6.20b y 6.21b).

- Las concentraciones de hierro disuelto en los puntos ARI-04 y ARI-05 excedieron el valor establecido de los LMP (Figura 6.21c).

Las concentraciones de sólidos totales suspendidos (STS), cadmio, mercurio y plomo total no excedieron los LMP en las pozas de colección de aguas ácidas (Figuras 6.19b, 6.20a, 6.20c y 6.21a). Se resalta que los valores de conductividad eléctrica variaron entre 6420 y 19710 µS/cm.

Afloramientos subterráneos:

- Potencial de hidrogeno (pH): Los afloramientos FBO-1, MT-46, MT-BO6 y MT-55 registraron valores de pH que oscilaron entre 2,04 y 3,78 unidades de pH, fuera del rango establecido en los LMP.

- Las concentraciones de arsénico, cobre, cadmio y zinc total, y hierro disuelto excedieron los LMP en los 4 afloramientos. Adicionalmente, el plomo en el punto MT-BO6 y los sólidos totales suspendidos en el punto FBO-1 excedieron la normativa referencial de comparación (Figura 6.32).

Se resalta que los valores de conductividad eléctrica variaron entre 5050 y 7010 µS/cm.

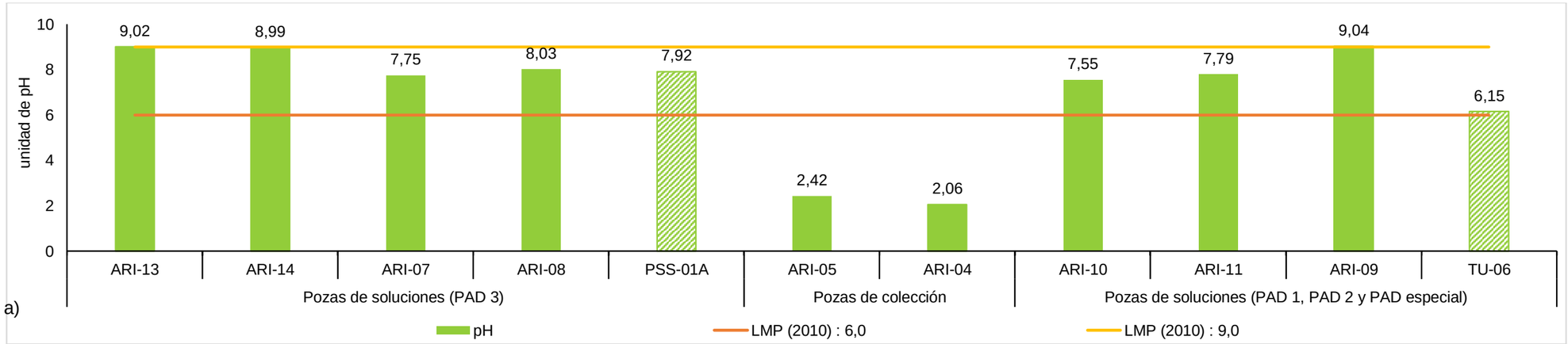
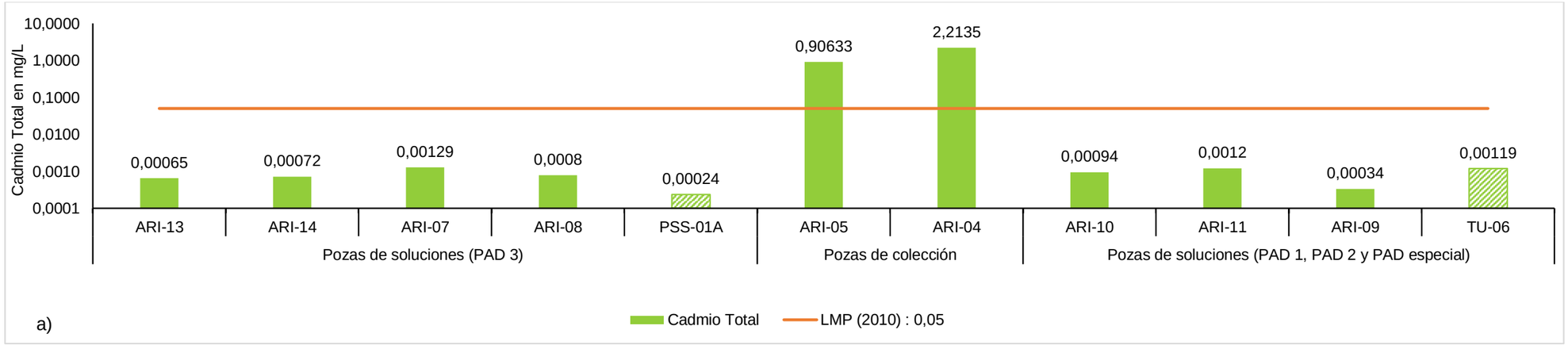
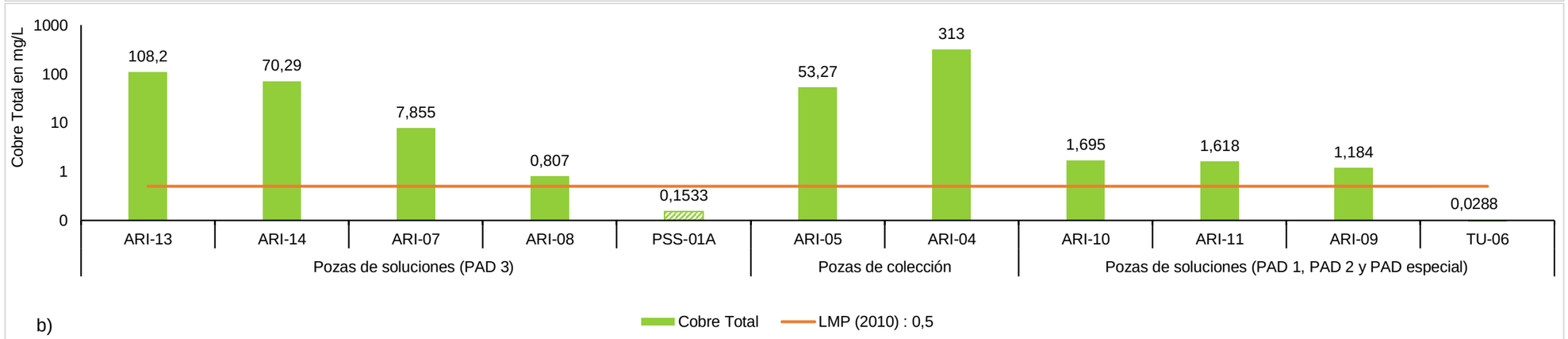


Figura 6.32. Valores y concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) potencial de hidrogeno, b) sólidos totales suspendidos y c) arsénico total





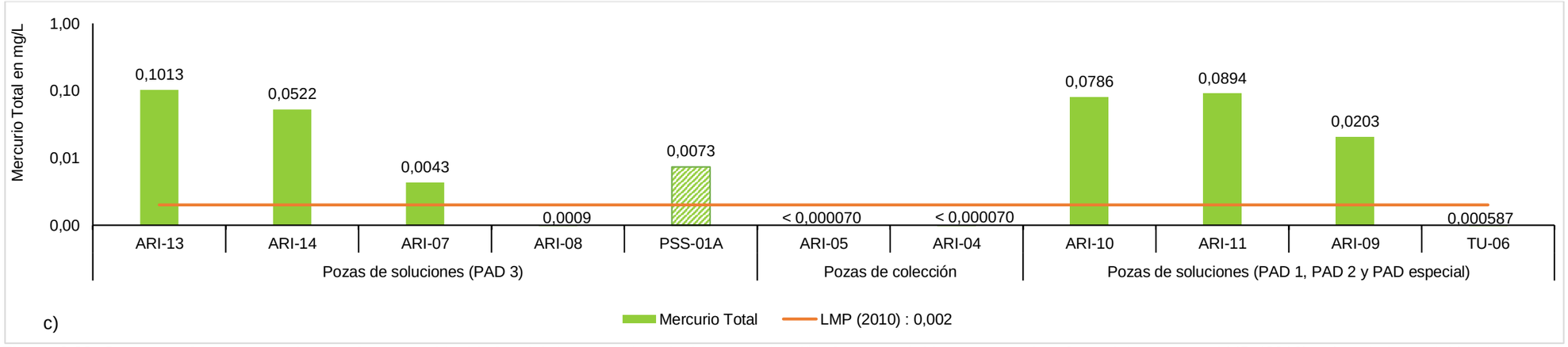
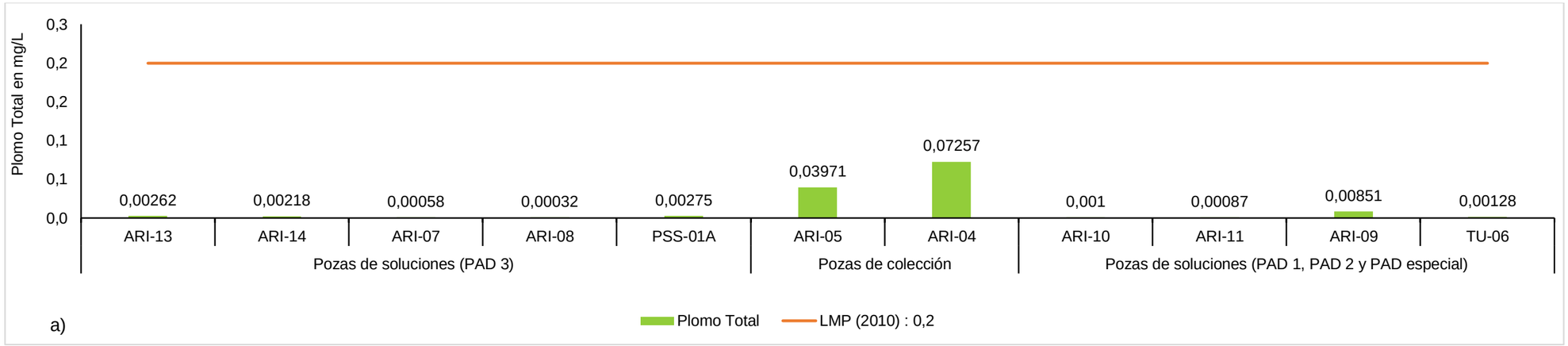
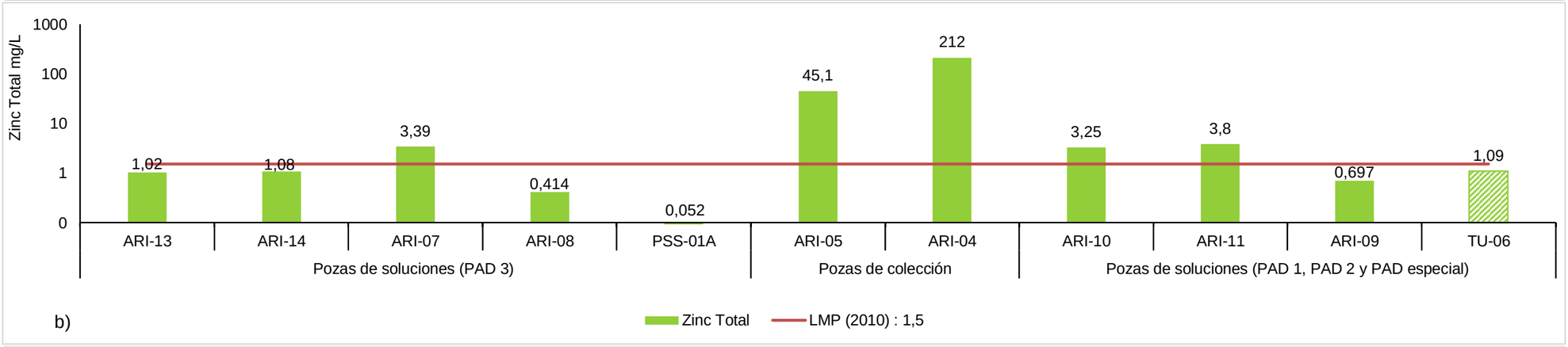


Figura 6.33. Concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) cadmio total, b) cobre total y c) mercurio total





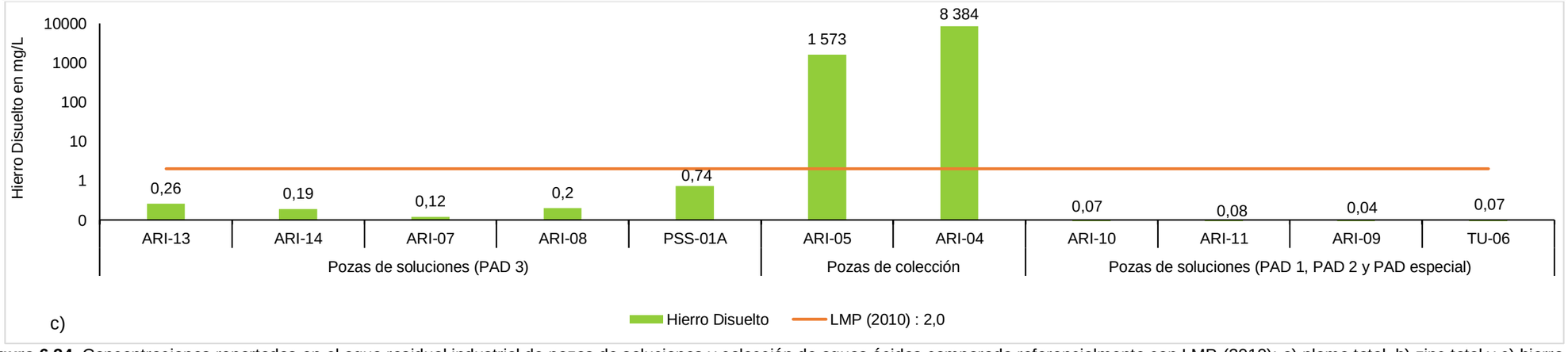
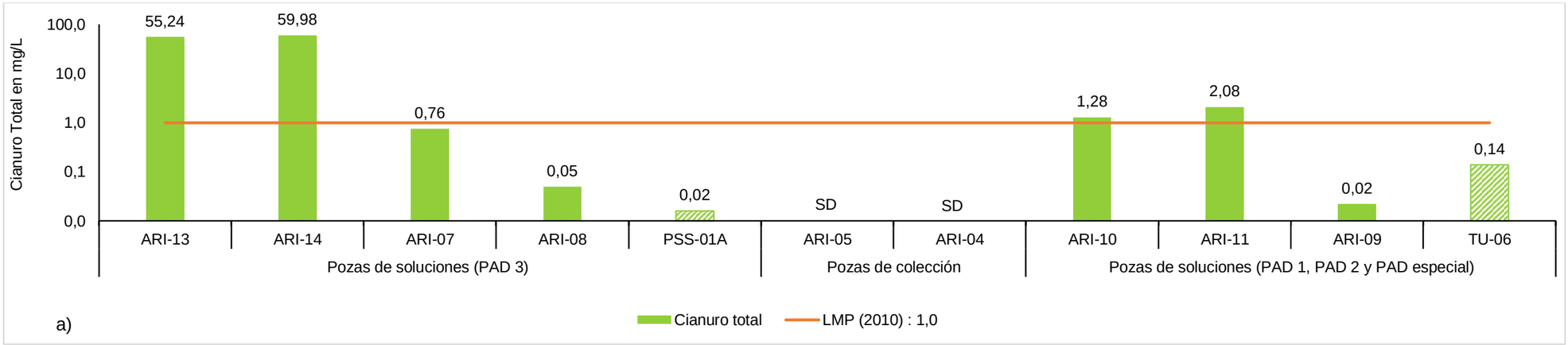
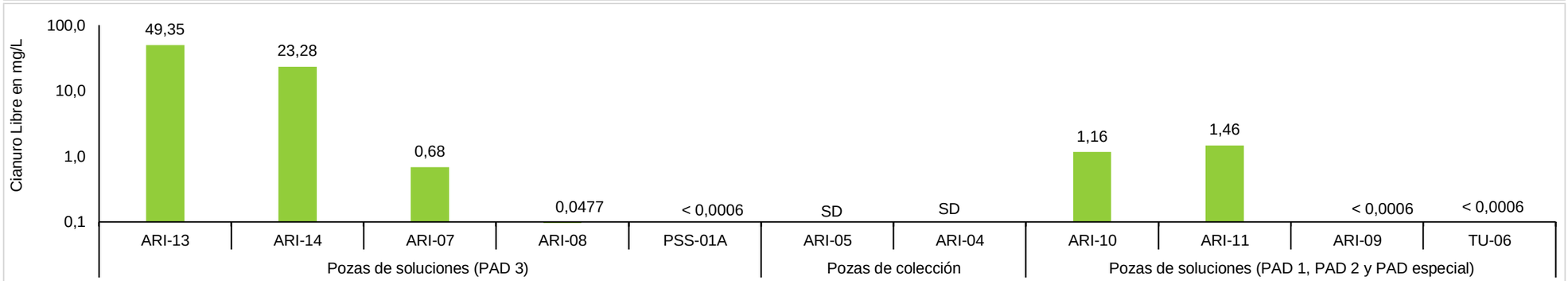


Figura 6.34. Concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) plomo total, b) zinc total y c) hierro disuelto





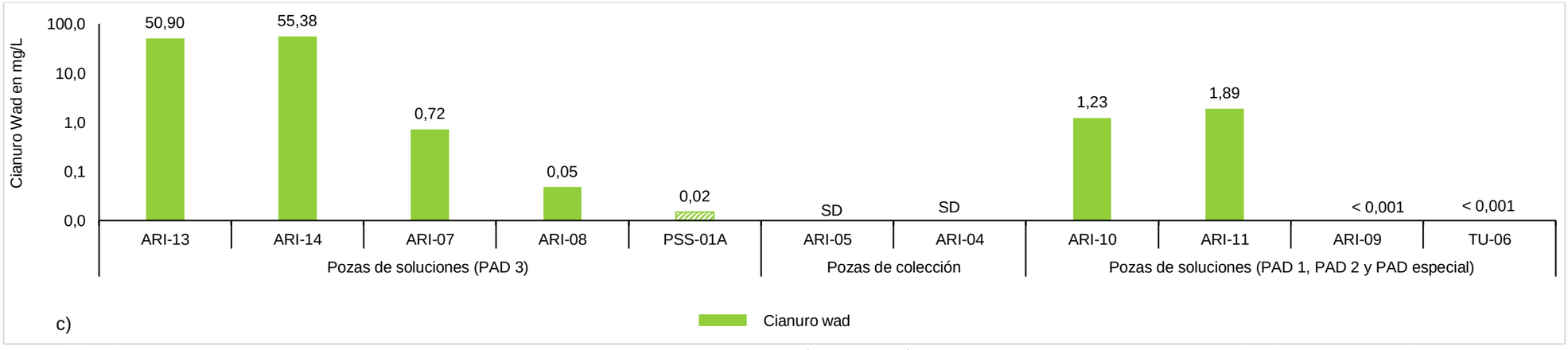
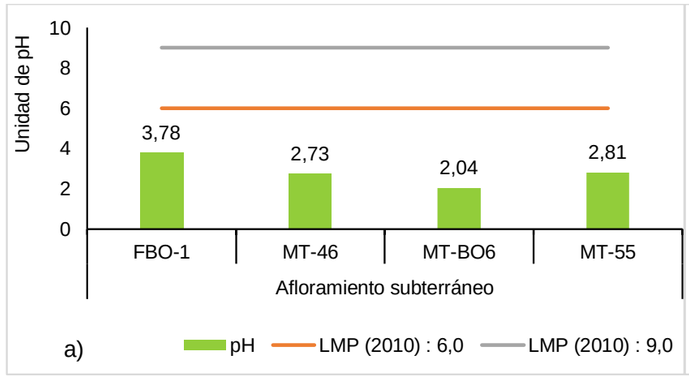
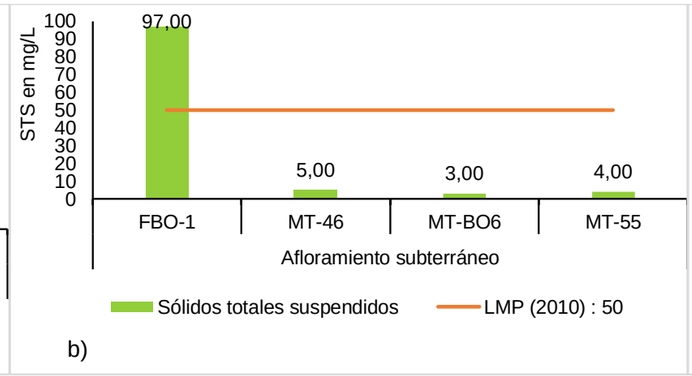
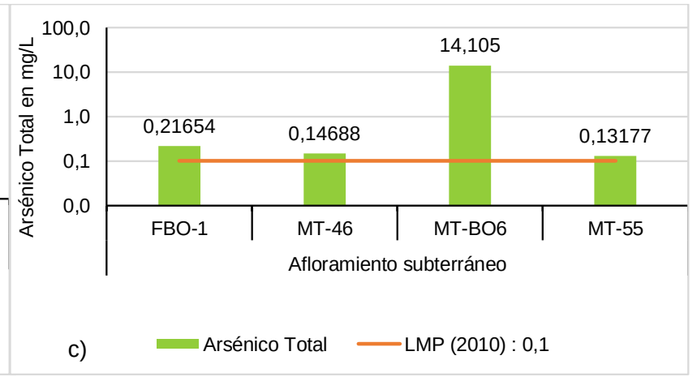
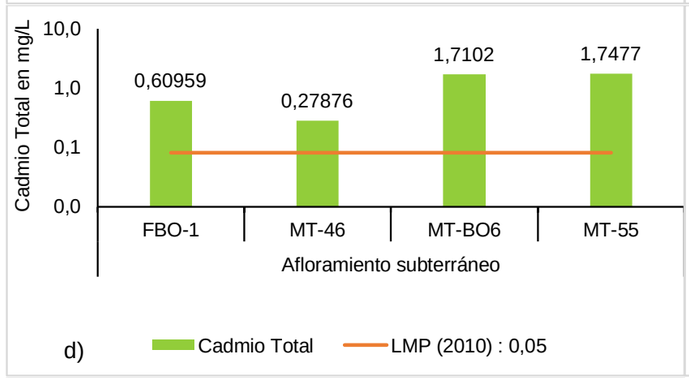


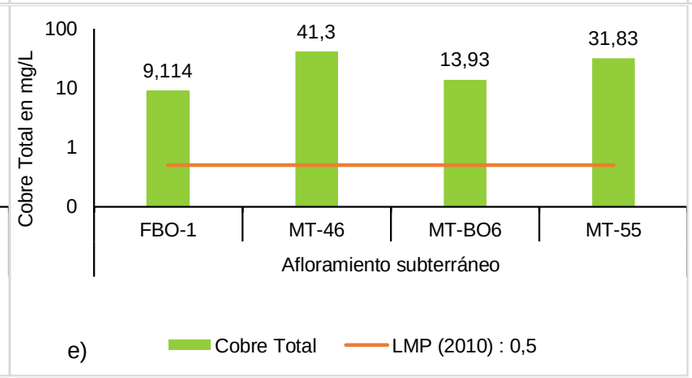
Figura 6.35. Concentraciones reportadas en el agua residual industrial de pozas de soluciones y colección de aguas ácidas comparada referencialmente con LMP (2010): a) cianuro total, b) cianuro libre y c) cianuro total
SD: sin dado.

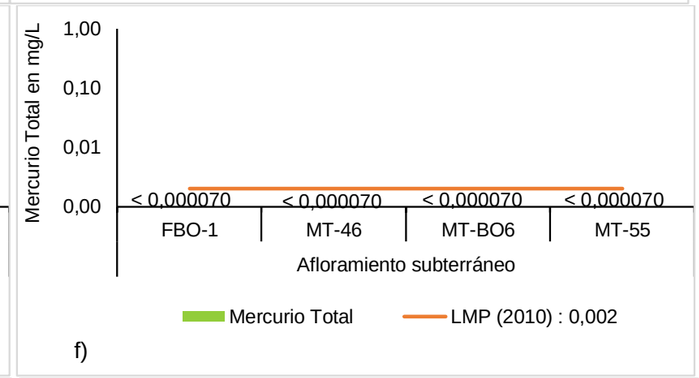


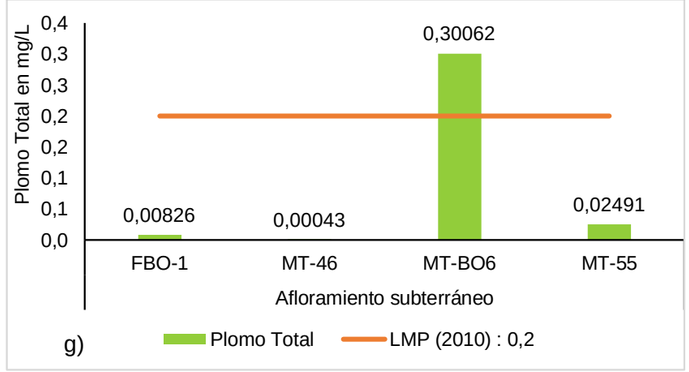


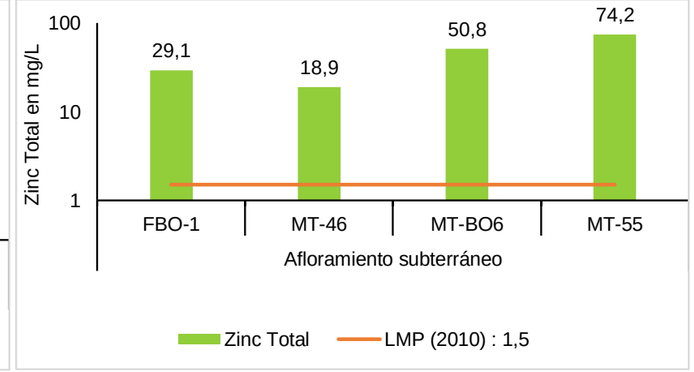












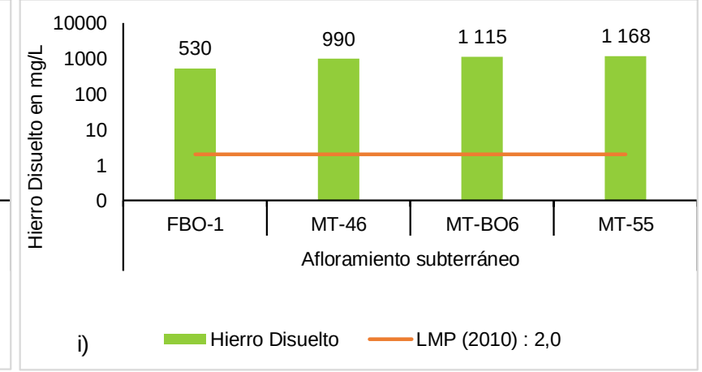


Figura 6.36. Valores y concentraciones reportadas en agua residual industrial de afloramientos subterráneos comparados referencialmente con LMP (2010): a) potencial de hidrógeno, b) sólidos totales suspendidos, c) arsénico total, d) cadmio total, e) cobre total, f) mercurio total, g) plomo total, h) zinc total y j) hierro disuelto

6.2. Objetivo específico 2: Identificar las zonas de generación de drenaje ácido de roca mediante el cartografiado geológico, geomorfológico y la caracterización geoquímica y mineralógica de roca a escala local en las zonas Margaritani y Queullirijahuiri y a escala regional la caracterización geoquímica de sedimentos de quebrada en las zonas Aruntaya, Titire y Coralaque.

6.2.1. Caracterización geológica y geomorfológica

La caracterización geológica se realizó con el objetivo de describir la litología, geología estructural y zonas de alteración en el ámbito de la microcuenca Margaritani; así mismo, de presentar el mapa geológico local de la zona de evaluación. A continuación, se presentan los ítems desarrollados.

6.2.1.1. Geología Regional

Las descripciones de las unidades geológicas a nivel regional serán utilizadas en la presente evaluación para las zonas Paccha-Aruntaya, Aruntaya y Titire-Coralaque; en el ámbito de la unidad hidrográfica Coralaque (en adelante UH Coralaque) se conforman principalmente por secuencias volcánicas y sedimentarias las cuales son cubiertas por depósitos cuaternarios. En la Figura 6.37, se presenta la columna estratigráfica que representa la geología regional de las zonas de evaluación.

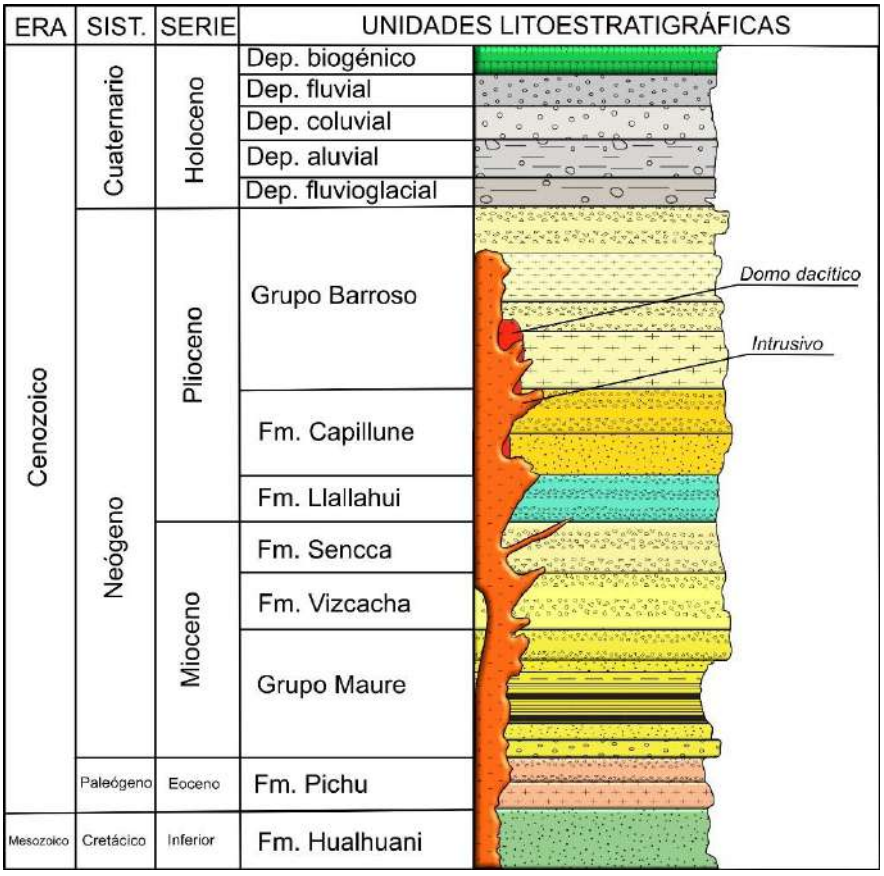


Figura 6.37. Columna estratigráfica de la Unidad Hidrográfica Coralaque

La información geológica a escala regional fue proporcionada por INGEMMET y por el administrado.

Formación Huallhuani

La formación Huallhuani del Cretácico inferior se encuentra representada principalmente por secuencias de areniscas y cuarcitas que presentan estratificación oblicua, además en algunos casos se encuentran niveles de lutitas. En la UH Coralaque esta secuencia aflora una pequeña zona al norte del centro poblado de Titire.

Formación Pichu

Formación del Eoceno media a superior, se conforma por alternancias de andesitas de coloración gris rosadas y niveles con patinas de color verdoso debido a la alteración (albitización y cloritización) de las plagioclasas, en la parte media se encuentran secuencias de aglomerados volcánicos y al tope brechas volcánicas con clastos subangulosos de rocas volcánicas de composición andesítica a dacítica.

Estas secuencias se ubican al oeste de la UH Coralaque y a la margen izquierda del río Coralaque a partir del punto de muestreo de sedimentos de quebrada (GSED-6) hasta el sector del Centro Poblado de Santiago de Pachas, asimismo su presencia abarca poca área en la UH Coralaque.

Grupo Maure

El grupo Maure abarca gran parte de la UH del río Coralaque y se encuentra representado principalmente por secuencias sedimentarias, piroclásticas y secuencias lávicas (secuencias volcano-sedimentarias). A continuación, se describen cada una de las mencionadas secuencias.

✓ *Secuencia sedimentaria*: Se conforma en la parte inferior por intercalaciones de conglomerados, limo arenas y brechas; en cuando a la parte media se encuentra conformada por estratos calcáreos intercalados con sedimentos volcanogénicos y la parte superior tiene intercalación de limoarenas y niveles calcáreos delgados.

✓ *Secuencia piroclásicas:* Se presentan secuencias de tobas blancas y rosadas, con clastos líticos que se alternan con sedimentos volcanoclásticos de coloración verdosa en la parte inferior y en la parte superior se encuentran presentes tobas de coloración violácea a tonalidades rojizas.

✓ *Secuencia lávica:* Conformada por flujos de lavas que presentan cristales pequeños de plagioclasa con hornblendas alteradas a cloritas, esa secuencia se encuentra bastante erosionado.

Formación Vizcachas

La formación Vizcachas del Mioceno superior presenta secuencias de piroclastos de color amarillento, en cuanto a la parte cristalina se encuentra constituida principalmente por cuarzo, biotita y escasos cristales de plagioclasas y hornblendas; los fragmentos líticos están constituidos por andesitas de coloración gris y la matriz está constituida por ceniza y fragmentos líticos.

La parte inferior presenta secuencias con fragmentos líticos y en la parte superior aumenta la presencia de biotita. Estas secuencias piroclásticas afloran en el sector medio de la UH Coralaque.

Formación Sencca

Formación del Plioceno conformada por secuencias piroclásticas de coloración gris claro, constituida principalmente por cuarzo y biotita, en cuanto a los fragmentos líticos se conforman por andesitas y la matriz está conformada por cenizas finas. Estas secuencias piroclásticas afloran en la parte media al sur de la UH Coralaque, específicamente a la margen izquierda del río Aruntaya antes de confluencia con el río Titire.

Formación Llallahui

Se encuentra conformada por piroclastos de tipo riodacítico con intercalaciones de flujos lávicos porfiríticos de composición andesítica de color gris verdoso, aglomerados y brechas volcánicas. Las lavas andesíticas presentan textura porfirítica y el mineral esencial es la plagioclasa maclada y presenta alteración (silicifiación moderada, cloritización y epidotización débil). Las secuencias en mención afloran al noroeste de la UH Coralaque, en el sector norte del río Coralaque.

Formación Capillune

Formación del Plioceno se encuentra conformada por sedimentos volcanogénicos alternados con secuencias sedimentarias (arenas intercaladas arcillas y limonitas). Dichas secuencias afloran en áreas pequeñas al sur de la UH Coralaque.

Grupo Barroso

El Grupo Barroso del Neógeno está comprendido principalmente de secuencias volcánicas de tobas y flujos de lavas. Afloran ampliamente al sur de la UH Coralaque, y sobreyacen a las rocas sedimentarias del Grupo Maure, además este grupo está diferenciado desde el aspecto morfoestructural en complejos y aparatos volcánicos. Asimismo, la litología predominante corresponde a secuencias de lavas andesitas porfiriticas de color gris y andesitas oscuras con secuencias de tobas, brechas y riolitas. La característica hidrogeológica de este grupo está condicionada por su grado de fracturamiento la cual permite su propia recarga y la de otros acuíferos.

Depósitos cuaternarios

- ✓ *Depósitos Fluvioglaciares*: Son originados por la actividad glaciar y fluvial del Plioceno y Pleistoceno, depositados en superficies entre los 3500 y 4500 m s.n.m. Compuesta por material heterogéneo inconsolidado con clastos angulosos y subangulosos de rocas volcánicas soportados en una matriz areno-arcillosa y son caracterizados por ser depósitos permeables.

- ✓ *Depósitos aluviales:* Constituidos por gravas y clastos angulosos en una matriz fina. Se depositan en los valles y quebradas formando terrazas antiguas y conos aluviales.

- ✓ *Depósitos coluviales:* Formados por la desintegración de las rocas y posterior acumulación producto de la gravedad en las laderas de montañas y cerca de las cimas. Compuestos principalmente por fragmentos de rocas angulosos.

- ✓ *Depósitos fluviales*: Materiales que se depositan a lo largo de las quebradas y se conforman principalmente por gravas, arenas y cantos redondeados a subredondeados.

- ✓ Depósitos biogénicos: Son zonas donde se acumula abundante material orgánico descompuesto formando zonas pantanosas y generalmente se ubican en las nacientes de quebradas o asociadas a lagunas y se encuentran cubiertos con vegetación tenue. Estos depósitos desde el punto de vista hidrogeológico están ligados a surgencias de aguas subterráneas en un régimen generalmente permanente.

En cuanto a los rasgos estructurales se limitan por fallas de dirección NO-SE, y la falla más representativa se ubica en la parte este de la pampa de Titire, la cual ha movilizado bloques del Grupo Maure; este lineamiento se puede proyectar hasta el extremo suroeste del embalse de Pasto Grande.

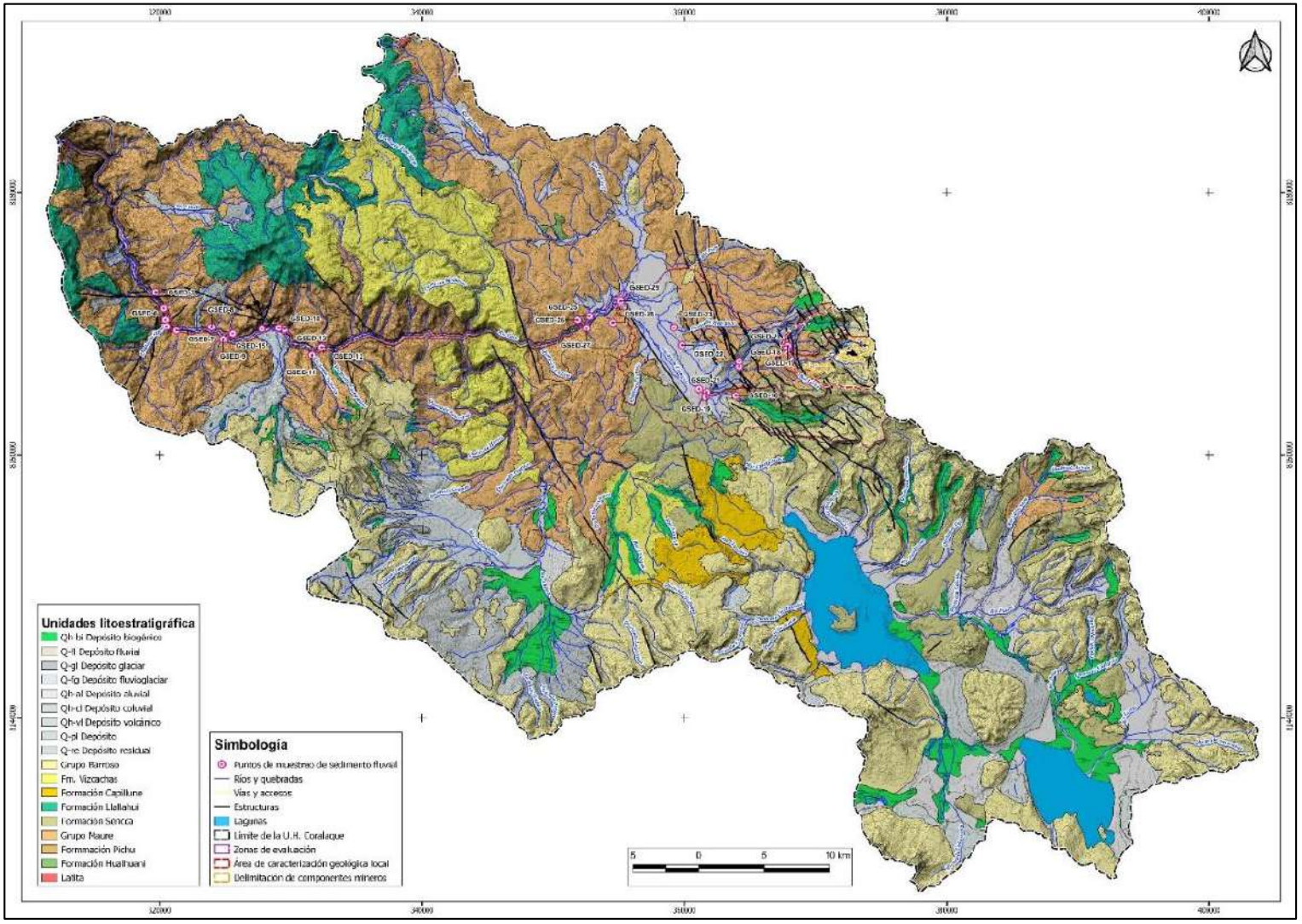


Figura 6.38. Mapa geológico regional de la Unidad Hidrográfica Coralaque

6.2.1.1.1. Geomorfologia regional

Para la zona de estudio se realizó el análisis geomorfológico regional (Figura 6.39) utilizando el modelo digital de elevación (4.5 m/pixel de resolución) construido a partir de imágenes satelitales estéreo y tri-estéreo SPOT disponibles, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

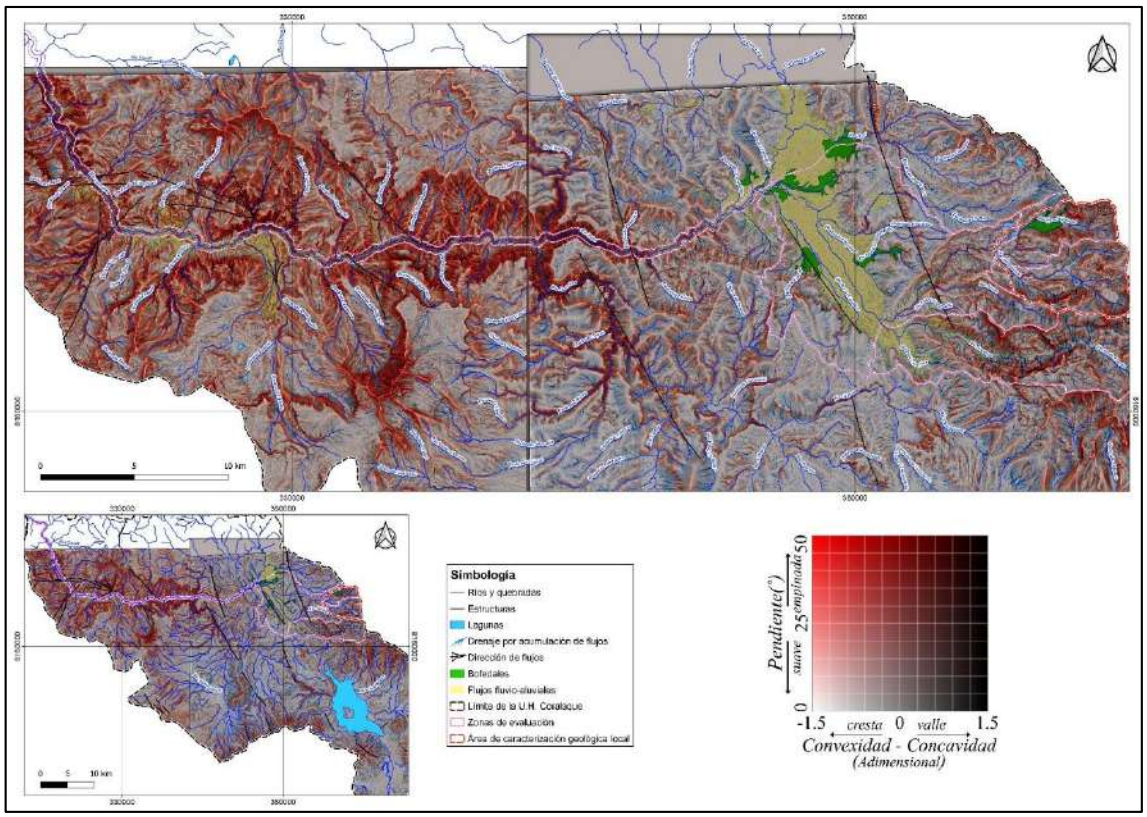


Figura 6.39. Mapa geomorfológico regional de la Unidad Hidrográfica Coralaque

La zona de estudio se desarrolla sobre la Cordillera Occidental, y comprende valles glaciares de la microcuenca Margaritani de rumbo este-oeste, los cuales se encuentran desde la cota de 4460 m s.n.m hasta los 5476 m s.n.m., presentan una pendiente media de 13°, con rangos que varían desde los 0°, en el fondo de los valles, hasta los 72° en las laderas de las montañas, se configura como una zona de erosión y aporte de detritos.

Seguido se encuentran la llanura aluvial del río Aruntaya, que se encuentra desde la cota de 4386 m s.n.m. hasta los 4700 m s.n.m., se caracterizar por el dominio de pendientes bajas con una media de 5° que varían desde los 0° hasta los 10°, esta zona se configura como una zona de acumulación de sedimentos.

Por último, se encuentra el valle encañonado de los ríos Titire y Coralaque, que hacia su naciente es dominado por la erosión vertical hasta la confluencia del río Vizcachas, luego además de profundizarse aún más el cañón, se hacen más recurrentes los deslizamientos y caídas de rocas, esta zona se encuentra entre las cotas de 3200 m s.n.m. hasta los 5300 m.s.n.m, las pendientes se presentan con una media de 15°, variando de 0° en algunos sectores del canal del río, hasta los 90° en las laderas de las montañas que limitan el cañón. Esta variación de pendientes configura zonas de erosión (llanura aluvial angosta y altas

pendientes) y acumulación de sedimentos (llanura aluvial amplia y bajas pendientes) a lo largo del recorrido.

6.2.1.1.2. Unidades hidrogeológicas

La descripción de las unidades hidrogeológicas en el presente ítem se realizó de acuerdo con el estudio hidrogeológico del año 2020[45] del INGEMMET, de manera que, la caracterización hidrogeológica y la definición de las unidades hidrogeológicas se basaron en la geología y litología de las formaciones geológicas en la UH Coralaque. En la Tabla 6.11, se listan las unidades presentes en la UH Coralaque.

Tabla 6.11. Caracterización hidrogeológica de las formaciones de la UH Coralaque

N.°	Geología	Descripción	Caracterización Hidrogeológica
1	Depósito biogénico	Bloques heterométricos y gravas, en matriz arcillo-limo-arenosa (bofedales).	Acuífero Poroso no Consolidado
2	Depósito aluvial	Gravas, rodados y arenas mal seleccionadas en matriz limo-arenosa y areno-limosa.	
3	Depósito coluvial	Bloques y gravas soportadas entre sí.	
4	Depósito fluvioglaciar	Guijarros en matriz areno-limosa, intercalados con arenas. Clastos en matriz areno-limosa. Aglomerados sedimentarios, bloques angulosos a subangulosos.	
5	Grupo Barroso	Andesita porfirítica vesicular, roca volcánica intensamente alterada. Dacita porfirítica. Lavas traquiandesíticas. Andesitas porfiríticas micritas.	Acuífero Fisurado Volcánico
		Andesitas basálticas, aglomerados.	Acuífero Volcánico Sedimentario
		Piroclastos. Rocas vitrificas de textura de tufo. Ignimbritas interestratificadas con tobas. Brecha piroclástica soldada. Dacitas.	Acuitardo Volcánico
		Domo lava dacítica y riolítica.	Acuitardo Subvolcánico
		Rocas Ígneas -Diorita, Pórfido andesítico	Acuitardo Intrusivo
		Tobas soldadas líticas, aglomerados andesítico.	Acuitardo Volcánico Sedimentario
6	Grupo Maure	Lava andesítica retrabajada.	Acuífero Fisurado Sedimentario
		Unidad superior, nivel tobáceo.	Acuífero Fisurado Volcánico
		Aglomerados volcánicos, tipo debrisflow, intercalado con coladas andesíticas y areniscas, verdes tobáceas	Acuífero Volcánico Sedimentario
		Niveles vulcano-sedimentarios, andesitas basálticas y aglomerados.	Acuitardo Volcánico Sedimentario

Fuente: Hidrogeología de la cuenca del Río Tambo (1318) – Regiones Arequipa, Moquegua y Puno (2020).

6.2.1.1.3. Contexto metalogenético

De acuerdo con el mapa de franjas metalogenéticas del INGEMMET (Figura 6.40), la UH Coralaque abarca 3 franjas metalogenéticas como se detalla a continuación:

- ✓ Franja XV: Pórfidos-Skarn de Cu-Mo (Au, Zn) y depósitos de Cu-Au-Fe relacionados con intrusivos del Eoceno- Oligoceno.

[45] Carpio, J. & Peña, F. (2020). Hidrogeología de la cuenca del río Tambo (1318) regiones Arequipa, Moquegua y Puno. INGEMMET. Boletín, Serie H: Hidrogeología,7, 288 p., 2 mapas.

- ✓ Franja XXI-C: Depósitos polimetálicos Pb-Zn-Cu con superposición epitermal de Au-Ag.
- ✓ Franja XXIII: Epitermales de Au-Ag del Mio-Plioceno

En el mapa metalogenético de la UH Coralaque se encuentra principalmente dos Operaciones Mineras Tucari y Santa Rosa; ambas operaciones se explotaron yacimientos epitermales de alta sulfuración del Mio-Plioceno.

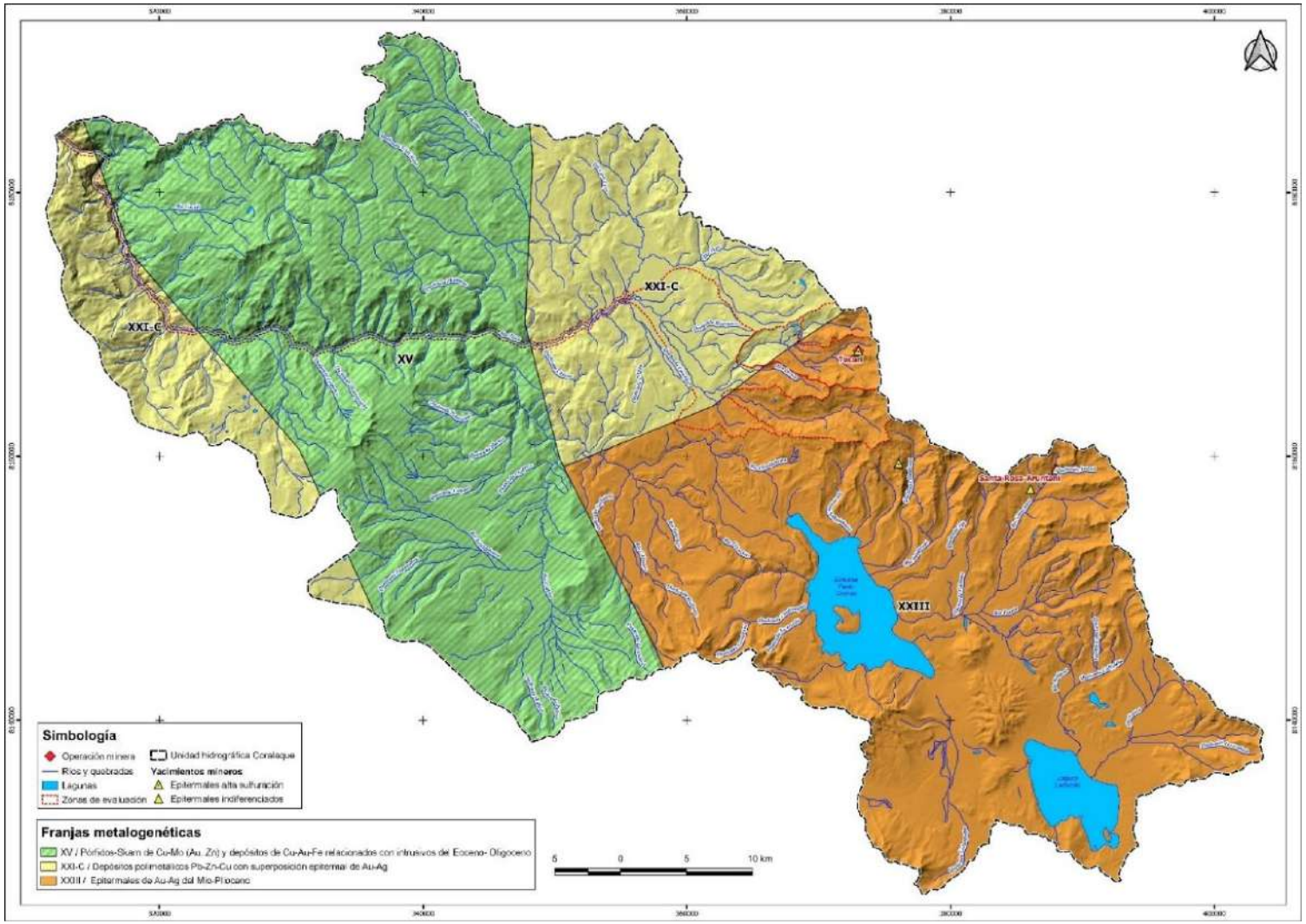


Figura 6.40. Mapa metalogenético de la Unidad Hidrográfica Coralaque

6.2.1.2. Geología local

La geología local es descrita para las zonas Queullirijahuiri y Margaritani, en el ámbito de la Unidad Fiscalizable Florencia-Tucari, para su elaboración fue utilizada información proporcionada por el administrado y de referencia el estudio de la Evaluación Ambiental realizada el 2017[46]; además, se detallan las características macroscópicas de los afloramientos identificados y descripciones de puntos de observación geológica realizada en la etapa de campo, detallados en el reporte de campo N.° 044-2019-STEC (Anexo 2).

En la Figura 6.41, se presenta la columna estratigráfica local de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani, representados por secuencias volcanosedimentarias y piroclásticas principalmente del Grupo Barroso.

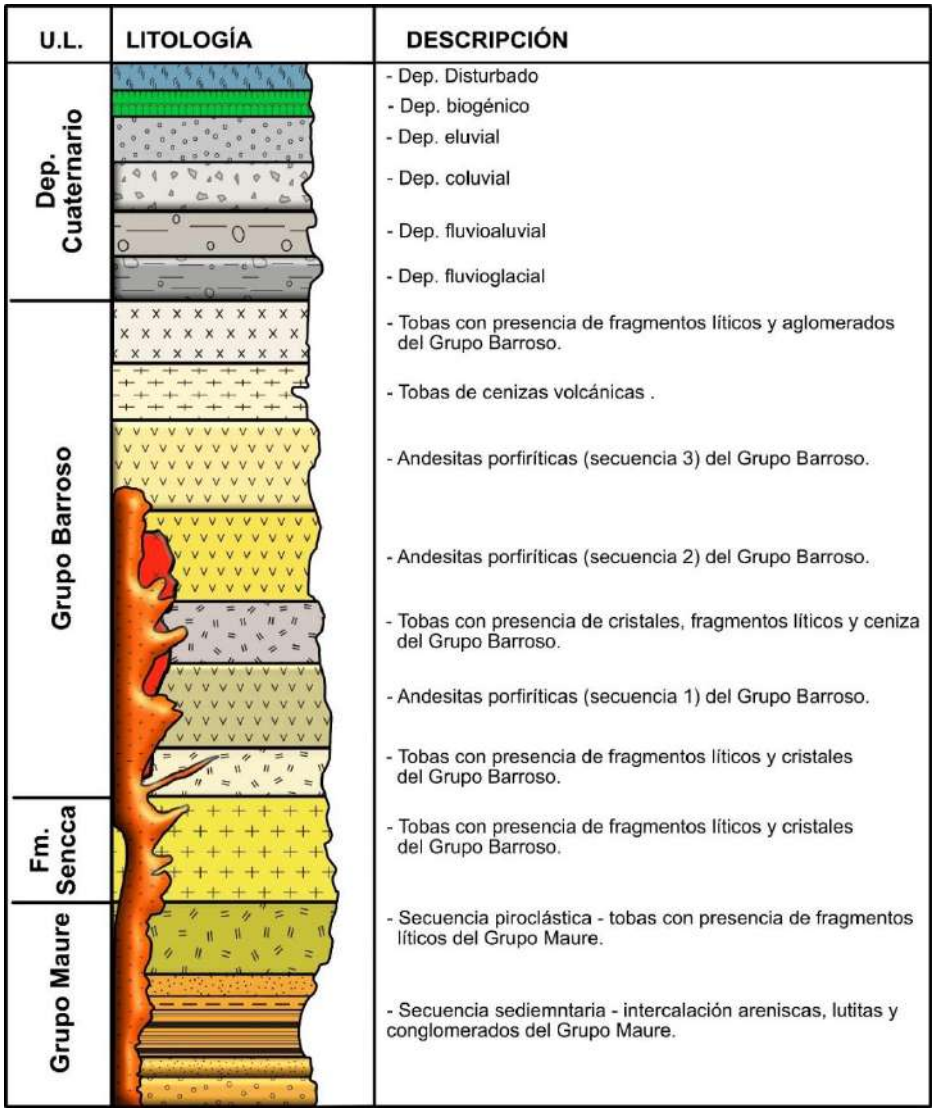


Figura 6.41. Columna estratigráfica local para las zonas Queullirijahuiri y Margaritani.

La secuencia más antigua de la zona de evaluación corresponde al Grupo Maure (volcanosedimentarias), el cual se conforma principalmente por secuencias sedimentarias y piroclásticas, en el ámbito de la zona Margaritani, afloran secuencias de areniscas

[46] Informe N.º 0095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME, «Evaluación ambiental en el área de influencia de la unidad minera Tucari, durante el año 2017»

intercaladas con lutitas y conglomerados, de coloración violácea y tonos verdosos en ciertos niveles. Además, presentan conglomerados con matriz soportado, en cuanto a las areniscas se encuentran constituidos por material de origen volcánico de grano fino a grueso y se intercalan con lutitas presentando una secuencia grano creciente (Figura 6.42).



Figura 6.42. Afloramiento de areniscas y conglomerados intercalados con delgados estratos de lutitas de la secuencia sedimentaria del Grupo Maure

Esta secuencia aflora en el sector medio de la microcuenca Margaritani, aguas abajo de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni. Seguidamente las secuencias piroclásticas que sobreyacen a las secuencias sedimentarias corresponden a tobas con textura fragmental de coloración blanquecina; además, presentan fragmentos líticos, cristales de cuarzo y vidrio volcánico, la matriz es de grano fino y presentan óxidos de hierro en fracturas (Figura 6.43). En cuanto a estas secuencias piroclásticas afloran a la margen izquierda del río Queullirijahuiri en la zona del mismo nombre.

Para la caracterización geoquímica se procedió a realizar el muestreo de roca en los afloramientos rocosos de las secuencias sedimentaria y piroclástica representadas por las muestras GR-FT-47 y GR-FT-48 respectivamente, se precisa que, en el siguiente capítulo se describen a detalle los resultas obtenidos de los análisis de metales totales, pruebas de lixiviación, entre otros.



Figura 6.43. Afloramiento de tobas con presencia de fragmentos líticos y cristales de la secuencia piroclástica del Grupo Maure

Seguidamente las rocas que sobreyacen a las secuencias del Grupo Maure son las rocas piroclásticas de la Formación Sencca, conformadas principalmente por tobas de coloración blanquecino, los cuales presentan fragmentos líticos en su composición además de vidrio volcánico y presentan ciertas oquedades producto de la alteración de posibles feldespatos. Asimismo, en los afloramientos rocosos se presentan fracturas con presencia de óxidos de hierro (Figura 6.44). La mencionada secuencia aflora a la margen izquierda de la quebrada Apostoloni y al sur del río Margaritani en el sector del PAD 2 y PAD 1; para la caracterización geoquímica se consideraron las muestras de roca GR-FT-45 y GR-FT-46.

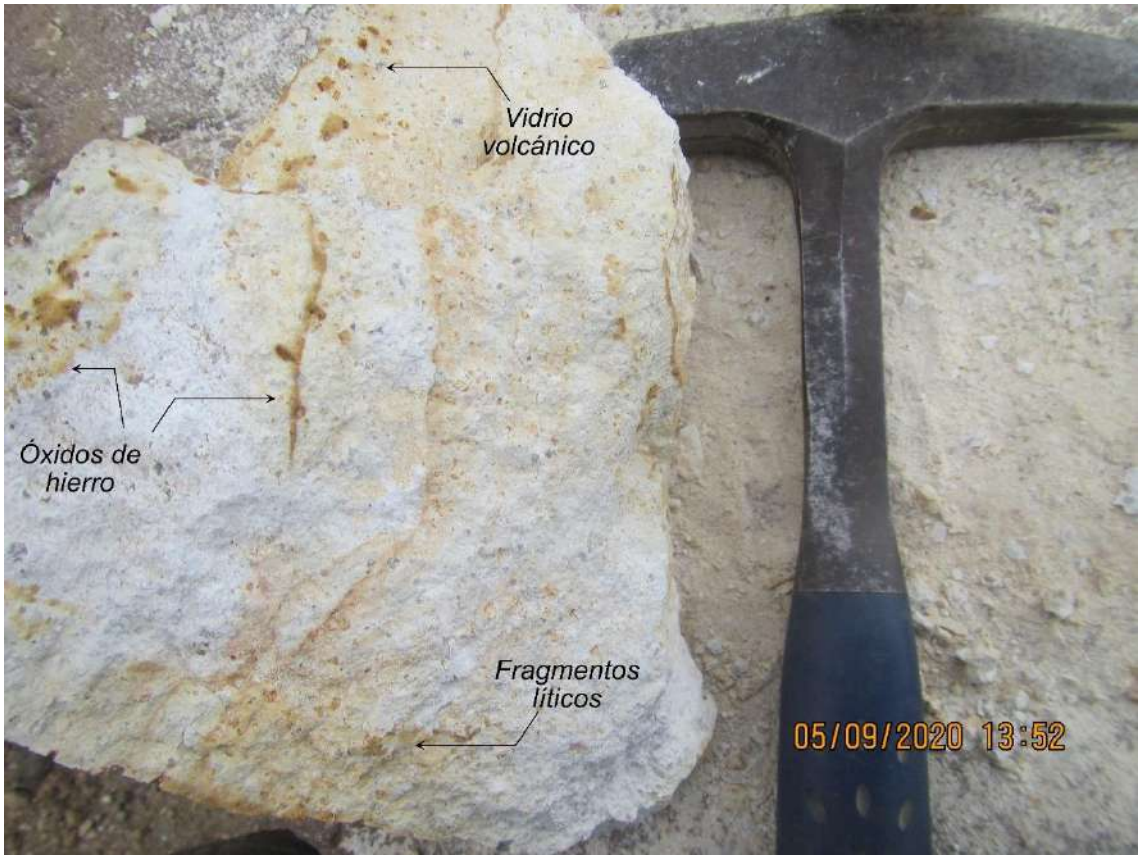


Figura 6.44. Tobas con presencia de fragmentos líticos, vidrio volcánico y óxidos de hierro de la Formación Sencca

En la Figura 6.45 se observa los afloramientos de las secuencias piroclásticas y sedimentarias del Grupo Maure seguida de las secuencias piroclásticas de la Formación Sencca y seguidamente el Grupo Barroso conformada por andesitas al tope de todas las secuencias.



Figura 6.45. Afloramiento de secuencias volcanosedimentarias del Grupo Maure, secuencias piroclásticas de la Formación Sencca y afloramiento de rocas volcánicas del Grupo Barroso

En la naciente del río Margaritani y quebrada Apostoloni afloran ampliamente secuencias piroclásticas y rocas volcánicas de composición intermedia del Grupo Barroso, representadas por tobas y andesitas distribuidas en 7 secuencias y una zona de alteración:

- ✓ *Tobas con fragmentos líticos y cristales:* Secuencias de tobas con fragmentos líticos y presencia de cristales de cuarzo de coloración blanquecina y presencia de óxidos de hierro en las fracturas y oquedades, el macizo rocoso se encontró altamente fracturado y afloran en la margen derechas de la quebrada Margaritani antes de la confluencia con la quebrada Apostoloni. La muestra de roca GR-FT-22 fue considerada para la caracterización geoquímica de esta secuencia.

- ✓ *Andesitas porfiríticas (secuencia 1):* Secuencias de andesitas porfiríticas con presencia de fenocristales de plagioclasas de coloración gris oscura altamente fracturadas. Estas secuencias afloran en ambas márgenes de la quebrada Margaritani y quebrada Sin nombre 2. Las muestras GR-FT-17, GR-FT-21 y GR-FT-23 fueron consideradas para la caracterización geoquímica de esta secuencia.

- ✓ *Tobas con presencia de líticos y ceniza:* Secuencias de tobas con presencia de cristales de cuarzo, en algunos sectores presenta alteración (argilización y oxidación) y afloran las ambas márgenes de la quebrada Margaritani en el sector de descarga del vertimiento PS-01; además, en el afloramiento hay presencia de evaporitas. Las muestras GR-FT-10, GR-FT-11, GR-FT-12 y GR-FT-18 fueron consideradas para la caracterización geoquímica de esta secuencia.

- ✓ *Andesitas porfiríticas (secuencia 2):* Secuencias de andesitas con textura porfirítica, de color gris oscuro, presentan cristales de plagioclasas y óxidos de hierro; además de magnetismo débil. Estas secuencias afloran en la naciente de la quebrada Margaritani. Las muestras GR-FT-2, GR-FT-3, GR-FT-16 y GR-FT-41 fueron consideradas para la caracterización geoquímica de esta secuencia.

- ✓ *Andesitas porfiríticas (secuencia3):* Secuencias de andesitas porfiriticas con presencia fenocristales de plagioclasas de coloración gris oscuro y altamente fracturadas. Afloran en las nacientes de las quebradas Apostoloni, Margaritani y Queullirijahuiri. Las muestras GR-FT-14, GR-FT-25, GR-FT-26, GR-FT-27, GR-FT-20, GR-FT-30, GR-FT-34, GR-FT-36 y GR-FT-44 fueron consideradas para la caracterización geoquímica de esta secuencia.

- ✓ *Tobas de cenizas*: Las tobas de esta secuencia presentan una matriz fina, y afloran en las nacientes de las quebradas Apostoloni y Margaritani. No se consideró realizar el muestreo de estas secuencias.

- ✓ *Tobas con presencia de líticos y aglomerados:* Presentan secuencias de tobas con fragmentos líticos y cristales; al tope afloran aglomerados que se encuentran compuestos por clastos angulosos a redondeados de diferentes tamaños de color gris. Asimismo, al igual que la secuencia de tobas y cenizas no se consideró realizar el muestreo de la mencionada secuencia.

- ✓ *Zona de alteración:* En la naciente de la quebrada Margaritani y a la margen derecha e izquierda, afloran secuencias de rocas que presentan alteración, ya sea alteración argílica (arcillas), oxidación (óxidos de hierro), silicificación (cuarzo), seritización (sericita) y carbonatación (carbonatos); además, en el sector de planta de tratamiento de aguas ácidas del tajo afloran también rocas alteradas. Las muestras

GR-FT-4, GR-FT-6, GR-FT-7, GR-FT-5, GR-FT-9, GR-FT-19, GR-FT-24 y GR-FT-43 fueron consideradas para la caracterización geoquímica de este tipo de muestras.

En cuanto a los depósitos cuaternarios, estos cubren gran parte de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani; se constituyen principalmente por material no consolidado a semiconsolidado los cuales se distribuyen en depósitos fluvioglaciares, fluvioaluviales, coluviales, eluviales y biogénicos.

- ✓ *Depósitos fluvioglaciares*: Originados por la actividad glaciar y fluvial principalmente, en el sector de la naciente de la quebrada Margaritani se produce por el deshielo de la nieve estacionaria transporte de los materiales y se conforman por clastos ángulos y subangulosos. No se consideró realizar el muestreo del mencionado material.

- ✓ *Depósitos fluvioaluviales:* Materiales constituidos por gravas y clastos angulosos en una matriz fina. Se depositan en los valles y quebradas formando terrazas antiguas y conos aluviales, además, se depositan en el lecho del cauce del río. La muestra GR-FT-13 fue considerada para la caracterización geoquímica del presente material.

- ✓ *Depósitos coluviales:* Formados por la desintegración de las rocas y posterior acumulación producto de la gravedad en las laderas de montañas y cerca de las cimas. Compuestos principalmente por fragmentos de rocas angulosos. Las muestras GR-FT-8, GR-FT-31, GR-FT-40 y GR-FT-42 fueron consideradas para la caracterización geoquímica del presente material.

- ✓ *Depósitos eluviales:* Depósitos conformados por clastos angulosos de andesitas y tobas en una matriz arenosa, formados por la desintegración de las rocas *in situ* por procesos de gelifracción. Las muestras GR-FT-1, GR-FT-15, GR-FT-28, GR-FT-29, GR-FT-32, GR-FT-33 y GR-FT-35 fueron consideradas para la caracterización geoquímica de este tipo de material.

- ✓ *Depósitos fluviales:* Materiales que se depositan a lo largo de las quebradas y se conforman principalmente por gravas, arenas y cantos redondeados a subredondeados.

- ✓ *Depósitos biogénicos:* Zonas de acumulación de abundante material orgánico descompuesto formando zonas pantanosas y se encuentran cubiertos con vegetación tenue.

- ✓ *Depósitos disturbados:* Zonas disturbadas, producto de la actividad (habilitación de accesos y otras actividades operacionales).

Adicionalmente se consideró realizar el muestreo de roca y material de los depósitos cuaternarios en la zona Paccha-Aruntaya, en la naciente del río Aruntaya (muestras GR-FT-37, GR-FT-38 y GR-FT-39). En cuanto a los rasgos estructurales corresponde al sistema regional, el cual según la base de datos de Neotectónica del INGEMMET[47] reporta fallas activas denominada Zonas de Fallas Ichuña que presentan un rumbo de tendencia NO-SE con movimiento normal.

Finalmente se presenta en la Figura 6.46, el mapa geológico local donde se representa las litologías de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani.

[47] Sistema Geológico y Catastral Minero – GEOCATMIN. 2020.

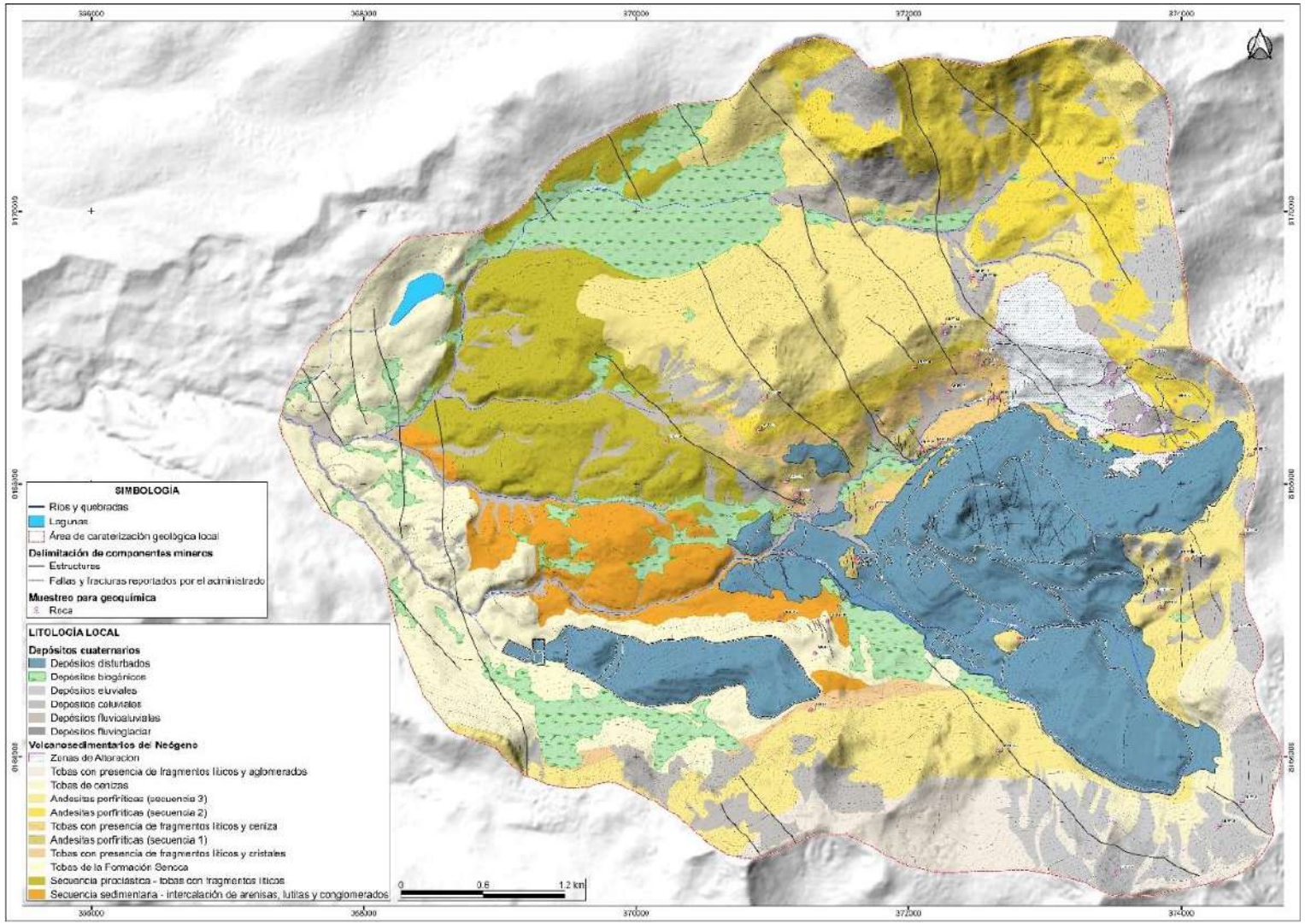


Figura 6.46. Mapa geológico local para las zonas Queullirijahuiri y Margaritani.

Mineralización del yacimiento

La mineralización en Tucari se encuentra emplazada en un domo de composición dacítica y presencia de alteraciones argílica y argílica avanzada. Asimismo, el tipo de yacimiento corresponde a epitermal de alta sulfuración, el cual fue desarrollado en un ambiente volcánico del Cenozoico. Las características de los depósitos epitermales de alta sulfuración son las siguientes:

- ✓ Relacionada a rocas ácidas a intermedias (andesitas y riodacitas).
- ✓ El control de emplazamiento se relaciona a fallas a escala regional o intrusiones subvolcánicas.
- ✓ La extensión de la zona de alteración es extensa.
- ✓ Alteración argílica avanzada (sericitica), siendo el mineral clave la alunita.
- ✓ Los metales predominantes son: Cu, Au, As (Ag y Pb). Además de la presencia local de los elementos: Bi, Sb. Mo, Sn. Zn, Te (Hg).
- ✓ Los minerales metálicos clave son: pirita, enargita, calcopirita, enargita, oro (esfalerita, galena, telururos). La arsenopirita es poco común, los sulfosales de Ag son raramente presentes y la presencia de bismutina es ocasional.
- ✓ Los minerales de ganga son: cuarzo, alunita, pirogfilita, barita y azufre nativo.

En la Figura 6.47, se presenta el esquema de la formación, procesos, tipos de alteración, temperaturas, pH, tipos de fluidos y reacciones que involucran en la formación de este tipo de yacimiento.

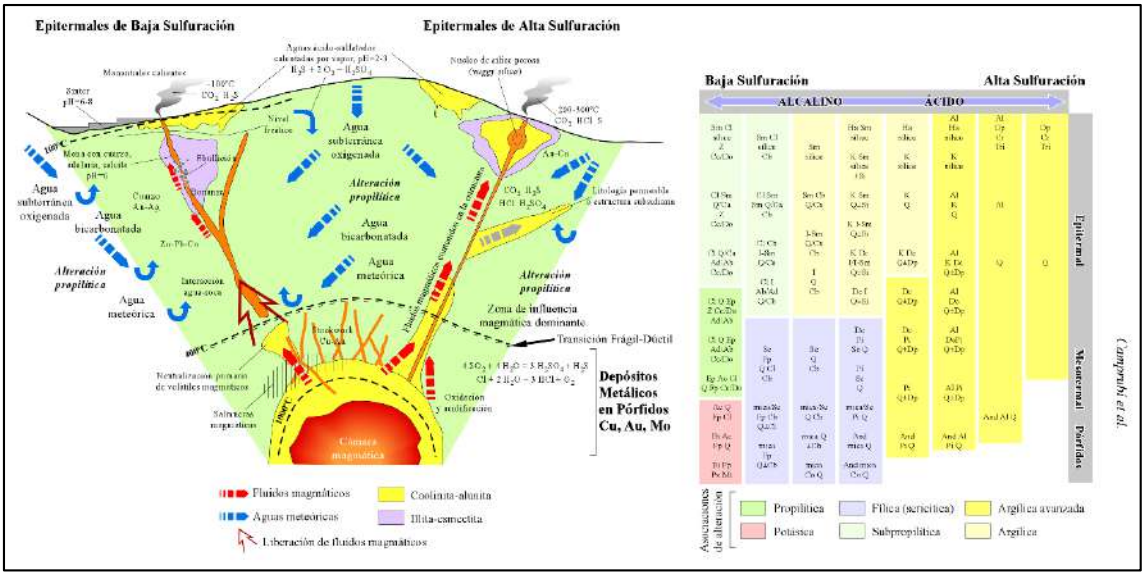


Figura 6.47. Esquema de formación de un yacimiento epitermal de alta y baja sulfuración (Camprubí *et al*., 2003).

6.2.1.3. Geomorfología

Para los sectores Margaritani y Apostoloni se realizó el análisis geomorfológico de detalle (Figura 6.48) utilizando el modelo digital de elevación (0.11 m/pixel de resolución) obtenido a partir de fotografías aéreas adquiridas con RPAS (Remote Pilot Aircraft System), donde se obtuvieron los siguientes resultados.

La quebrada Margaritani se desarrolla sobre un valle glaciar de rumbo este-oeste, el tramo a describir se encuentra desde la cota 4791 m s.n.m. hacia el aforo y la cota 5066 m s.n.m. hacia la cabecera. En general hacia el piso del valle presenta pendientes suaves con una media de 6°, por lo que el canal principal desarrolla meandros. En tres tramos se presentan bofedales que juntos suman un área de 90 164 m²; hacia la margen derecha se emplazan depósitos aluviales de pendiente promedio 10°, que hacia su naciente arrancan al pie de cárcavas profundizadas por la erosión de escorrentía superficial o laderas con pendientes pronunciadas con dirección de flujo hacia el canal principal hacia donde se abren los abanicos; hacia la margen izquierda se encuentran el depósito de desmonte «zona Norte» que en su ladera hacia el canal principal según el análisis del modelo digital de elevación presentan flujos paralelos en sus paredes que en general tienen una pendiente de 45°; entre la base del depósito de desmonte y el canal principal, se presentan antiguos abanicos aluviales de pendiente promedio de 7°, los cuales se encuentran disectados por cárcavas paralelas y perpendiculares al canal principal. A la altura del punto GR-FT-18 se halla un canal paralelo a la pared noroeste del depósito de desmonte y que tiene una dirección de flujo noreste suroeste hacia el canal principal.

En cuanto a la quebrada Apostoloni, se desarrolla sobre un valle glaciar de rumbo noroeste – sureste, el tramo a describir se encuentra desde la cota 4796 m hacia el aforo y la cota 5150 hacia la cabecera. En general hacia el piso del valle presenta pendientes suaves de promedio 4°, el canal principal actualmente se encuentra encausado debido a las actividades mineras de la UF Florencia Tucari, esta quebrada se forma a partir de dos canales, quebrada Apostoloni norte (canalizada con geomembrana) y quebrada Apostoloni sur. Hacia el extremo este del sector de interés, en la margen derecha de la quebrada Apostoloni norte se hallan flujos aluviales y coluviales con dirección de flujo noreste suroeste, los cuales se emplazan sobre canales profundizados y encañonados que se han desarrollado sobre rocas andesíticas, a su vez el relieve presenta una pendiente media de 17°. Antes de su confluencia con Apostoloni sur, hacia su margen derecha se halla el depósito de desmonte zona Disal y zona Hechadero, y a la margen izquierda el PAD N°3 y un cluster de pozas y finalmente un bofedal de 227 465 m², con una pendiente promedio de 6°. En cuanto a Apostoloni sur, a su margen derecha se hallan el PAD N°3 y el cluster de pozas, hacia su margen izquierda se hallan dos zonas de bofedales, que a su vez son el punto de llegada de flujos aluviales y coluviales con dirección hacia el canal, los que presentan una pendiente media de 12° y se encuentran disectados por cárcavas profundas y paralelas en la misma dirección del flujo general.

Antes de la confluencia de las dos quebradas (Margaritani y Apostoloni) al noroeste del punto GR-FT-24 se halla una geoforma alargada de rumbo preferencial SEE-NOO con dirección hacia el canal principal de la quebrada Margaritani.

De manera general se han identificado fallas y fracturas de rumbo preferencial noroeste – sureste, estructuras secundarias con rumbo preferencial norte – sur y noreste – sureste.

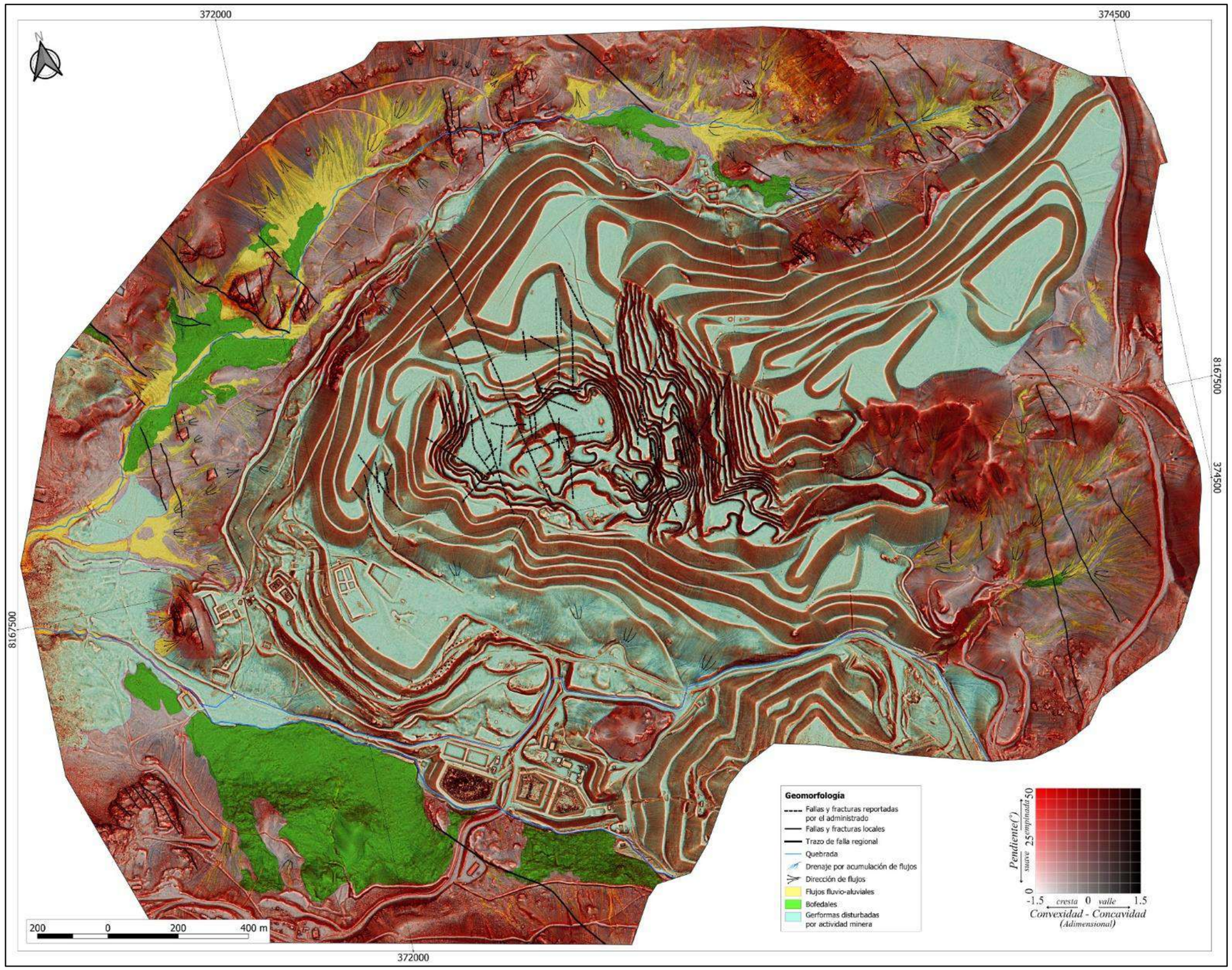


Figura 6.48. Mapa geomorfológico local
Elaborado a partir del raster DEM construido a partir del levantamiento fotogramétrico.

6.2.2. Caracterización geoquímica y mineralógica de roca

Seguida de la caracterización geológica regional y local, se realizó el muestreo de roca en el ámbito de la UF Florencia Tucari y depósitos cuaternarios de sedimentos fluviales de quebrada en la UH Coralaque para la caracterización geoquímica local y regional, respectivamente. A continuación, se describen los resultados obtenidos.

6.2.2.1. Caracterización geoquímica en el ámbito de la UF Florencia Tucari

En la Figura 6.49 se presentan los resultados de las concentraciones de metales totales en comparación referencialmente con los valores medios de la corteza superior (Rudnick, 2014), se observa que las concentraciones del material de los depósitos cuaternarios (eluviales, coluviales y fluvioaluviales) presentan similar firma. En cuanto a los elementos que superaron el valor medio en todas las muestras son el arsénico y selenio, mientras que el plomo solo supera en las muestras GR-FT-1, GR-FT-8, GR-FT-37, GR-FT-40 y GR-FT-42. Es importante precisar que las concentraciones de estaño, molibdeno, talio y mercurio también superan el valor de referencia, pero en muestras puntuales.

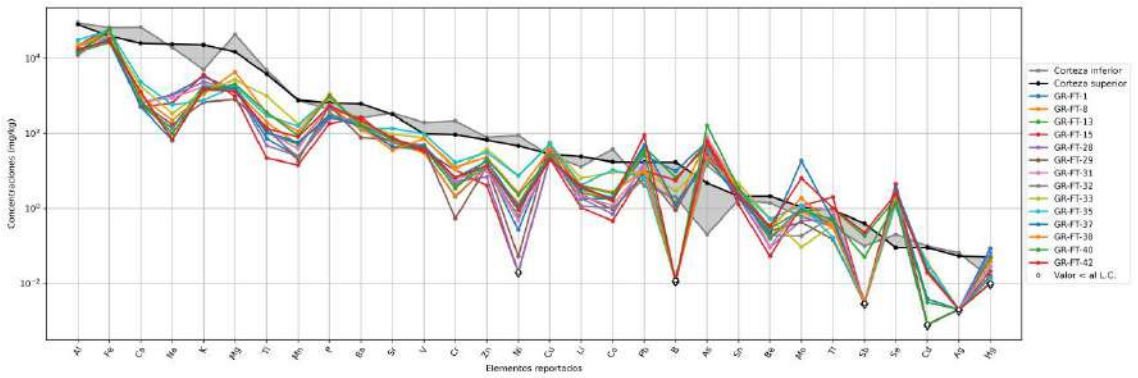


Figura 6.49. Concentraciones de metales totales en muestras del material cuaternario (depósitos eluviales, coluviales y fluvioaluviales) en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014)

Las andesitas porfiríticas presentan similar firma de distribución de elementos en las 3 secuencias como se observa en la Figura 6.50, además es notorio que, en las 3 secuencias el selenio y antimonio superan el valor medio de la corteza en todas las muestras, además el plomo la comparación con los depósitos cuaternarios no superaron el valor en referencia en las 3 secuencias. En cuanto el arsénico solo supera el valor medio de la corteza en las muestras GR-FT-2 y GR-FT-3 de la secuencia 2, y solo las muestras GR-FT-14, GR-FT-20, GR-FT-30 y GR-FT-36 de la secuencia 3.

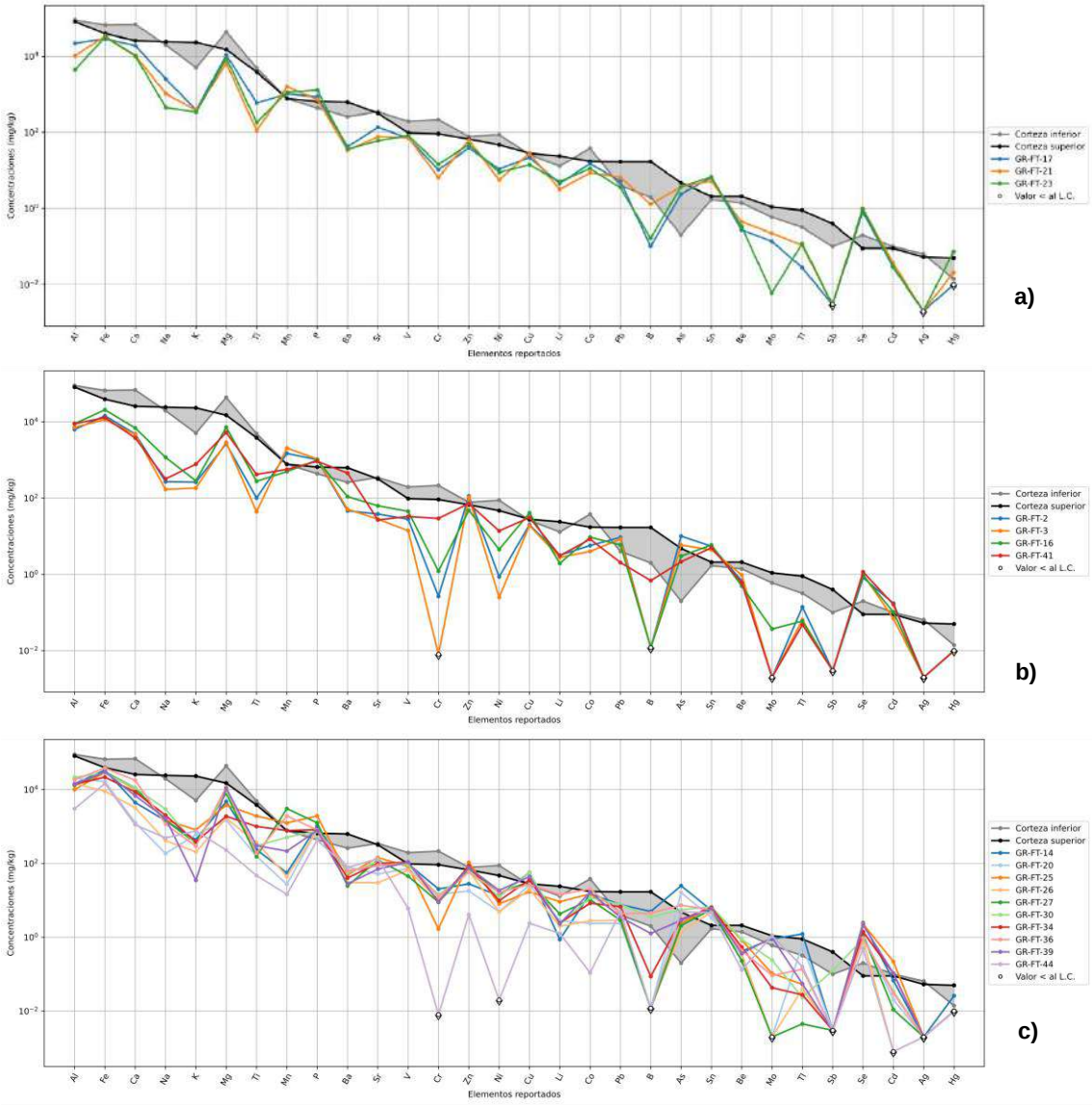


Figura 6.50. Concentraciones de metales totales de las 3 secuencias de andesitas del Grupo Barroso: a) Andesitas porfiríticas (secuencia 1), b) Andesitas porfiríticas (secuencia 2) y c) Andesitas porfiríticas (secuencia 3) en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014)

Asimismo, en el grupo de las andesitas de la secuencia 3 se consideró a la muestra GR-FT-39 que corresponde a la zona Paccha-Aruntaya, naciente del río Aruntaya, esta muestra solo supero el valor de referencia para el antimonio y selenio como se observa en la Figura 6.50.

Para el caso de las tobas del Grupo Barroso, las concentraciones de metales totales presentan una firma de distribución de elementos diferente a las andesitas, y se puede observar en la Figura 6.51 que los elementos que superan el valor medio de la corteza para el arsénico son las muestras GR-FT-10, GR-FT-12, GR-FT-18 y GR-FT-22, en cuanto al plomo las concentraciones de las muestras GR-FT-10, GR-FT-12, GR-FT-18 y GR-FT-11 superaron el valor de referencia. Asimismo, es notorio las elevadas concentraciones de mercurio en referencia al valor de corteza en todas las muestras de tobas.

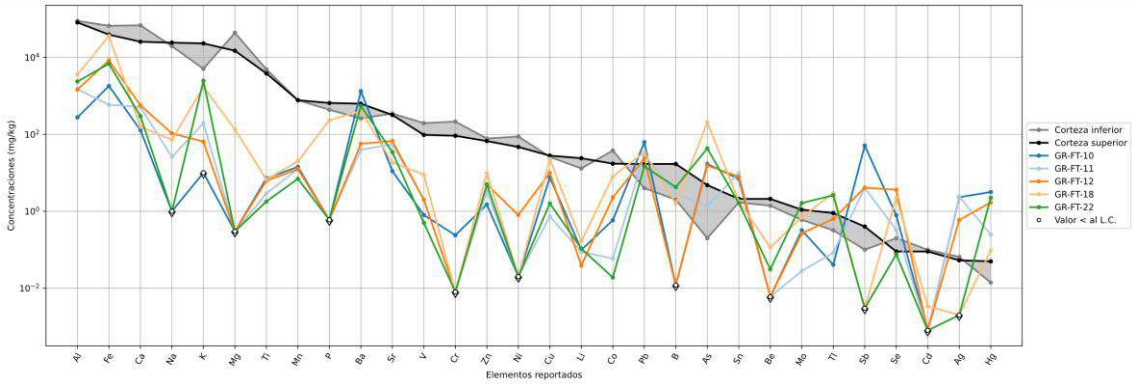


Figura 6.51. Concentraciones de metales totales en muestras de tobas del Grupo Barroso en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014)

En cuanto a los resultados de las muestras de la zona de alteración, estas presentan una distribución diferenciada, con respecto a las andesitas y tobas; debido a que estas rocas presentan diferentes tipos de alteración (argílica, argílica avanzada y fílica). Se observa en la Figura 6.52 que las concentraciones de arsénico y mercurio superan el valor medio de la corteza en todas las muestras de este grupo. El plomo supera el valor medio de la corteza en las muestras GR-FT-4, GR-FT-5, GR-FT-9, GR-FT-24 y GR-FT-43, en cambio la muestra GR-FT-19 supera el valor de referencia para hierro y plata.

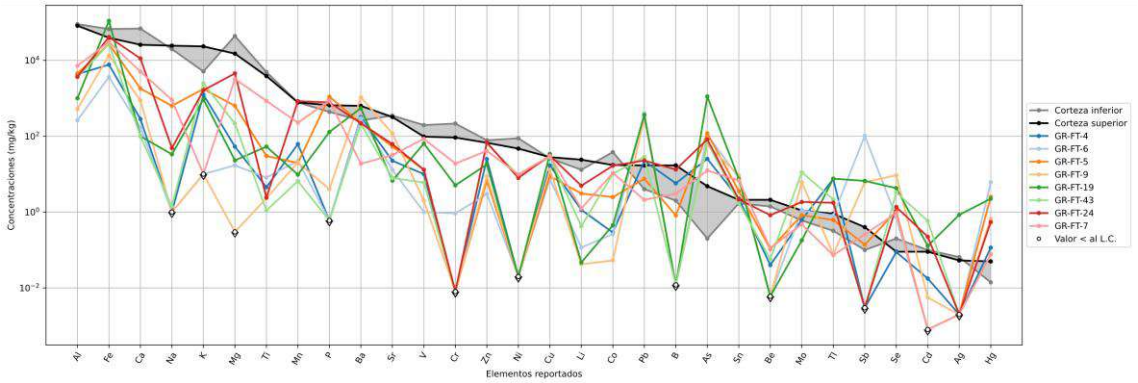


Figura 6.52. Concentraciones de metales totales en muestras de rocas con presencia de alteración en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014)

Asimismo, estas rocas presentan concentraciones de molibdeno que superan el valor de referencia en los puntos GR-FT-9, GR-FT-24 y GR-FT-43 y para el selenio únicamente la muestra GR-FT-4 no superó el valor en mención.

La Formación Sencca representada por secuencias de tobas, presentaron concentraciones que superaron el valor de la corteza para plomo, talio, antimonio, selenio y mercurio en la muestra GR-FT-46, para arsénico las muestras GR-FT-45 y GR-FT-46 como se puede aprecia en la Figura 6.53.

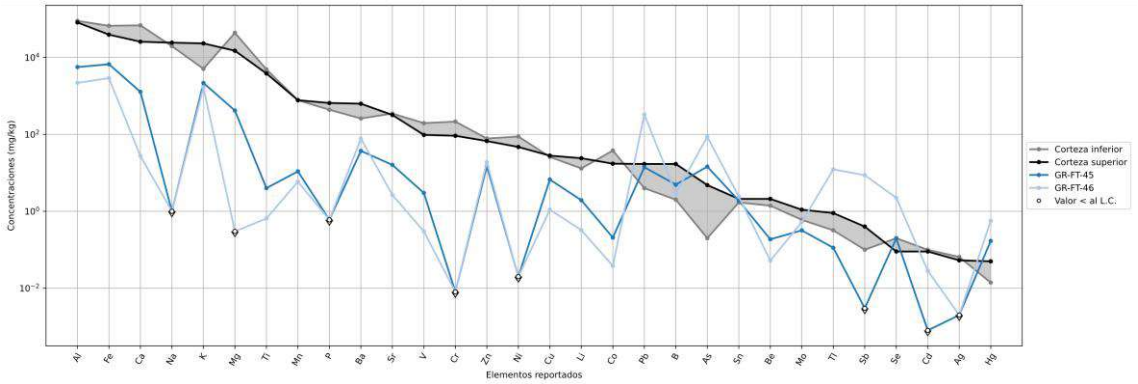


Figura 6.53. Concentraciones de metales totales en muestras de tobas de la Formación Sencca en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014)

En la Figura 6.54 se presenta la distribución de metales totales en comparación con la corteza para 3 muestras del Grupo Maure; la muestra GR-FT-47 corresponde a areniscas de grano grueso y la muestra GR-FT-48 pertenece a tobas de la secuencia piroclástica. Se observa que las concentraciones de selenio supera el valor medio de la corteza en las 2 muestras descritas, y únicamente el mercurio de la muestra GR-FT-48 supera el valor de referencia.

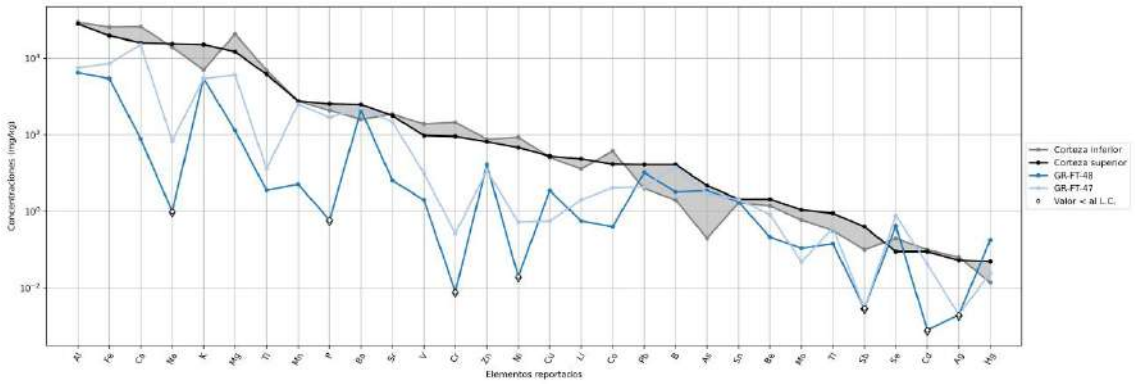


Figura 6.54. Concentraciones de metales totales en muestras del Grupo Maure en comparación con los valores medios de la corteza (Rudnick, 2014)

En la Figura 6.55 se presenta los resultados de granulometría de las muestras de material de los depósitos cuaternarios (eluviales, coluviales y fluvioaluviales). Donde todas las muestras presentaron mayor porcentaje de grava y arena en relación con el porcentaje de material fino (limo y arcillas).

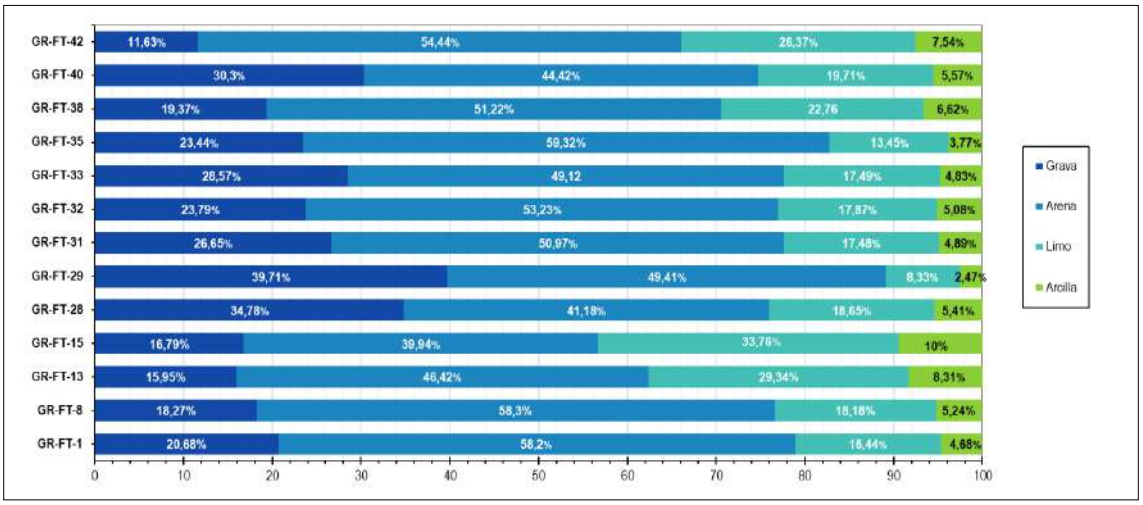


Figura 6.55. Granulometría en muestras del material de depósitos cuaternarios (eluviales, coluviales y fluvioaluviales).

En cuanto a la generación de acidez de las muestras de los materiales de depósitos cuaternarios (eluviales, coluviales y fluvioaluviales), mediante la prueba estática de balance ácido-base (ABA), la Figura 6.56 indica que mediante el criterio 1, la evaluación del potencial de neutralización neto (PNN), las muestras GR-FT-13, GR-FT-29 y GR-FT-32 son consideradas como potenciales generadoras de acidez; y según el criterio 2 únicamente las muestras GR-FT- 8 y GR-FT- 31 no son consideradas potenciales generadoras de acidez. Por lo tanto, las muestras GR-FT-1, GR-FT-8, GR-FT-13, GR-FT-15, GR-FT-28, GR-FT-29, GR-FT-32, GR-FT-33, GR-FT-35 GR-FT-38, GR-FT-40 y GR-FT-42 son consideradas como potenciales generadores de acidez.

A su vez, en la Figura 6.57 se presentan los resultados de las muestras de roca compuestas por tobas, andesitas y rocas alteradas, según el criterio 1, las muestras GR-FT12, GR-FT-24, GR-FT-18 y GR-FT-43 son consideradas como potenciales generadores de acidez, y las muestras GR-FT-3, GR-FT-36, GR-FT-47 no son generadoras de acidez. En cuanto al análisis del criterio 2, las muestras GR-FT12, GR-FT-24, GR-FT-18, GR-FT-43, GR-FT-19, GR-FT-14, GR-FT-9, GR-FT-4 y GR-FT-22 son consideradas como potenciales generadores de acidez; además al igual que el criterio 1 las muestras GR-FT-3, GR-FT-36, GR-FT-47 no son generadoras de acidez. El resto de las muestras analizadas con ambos criterios se encuentran el rango de incertidumbre.

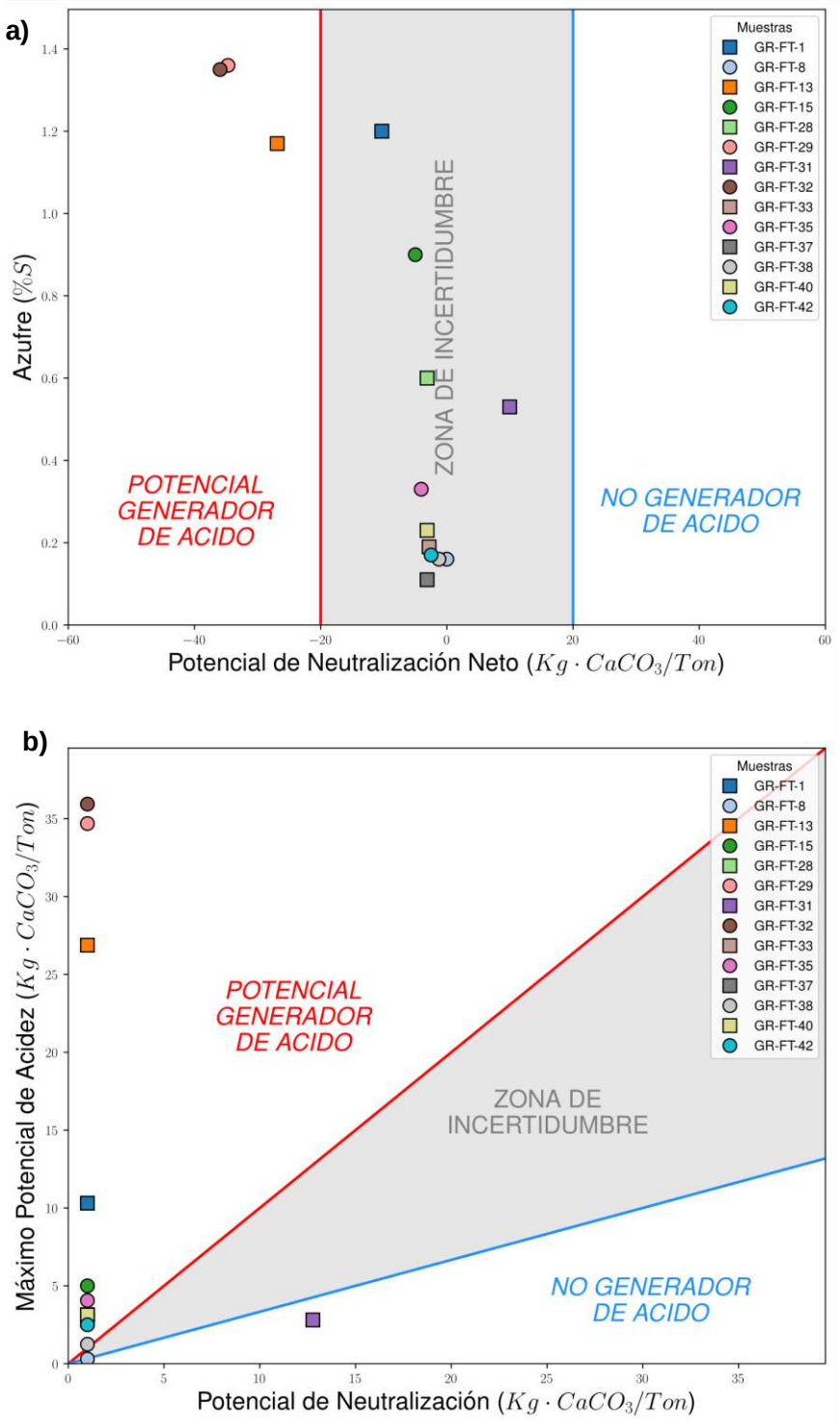


Figura 6.56. Prueba ABA de muestras de material cuaternario (depósitos eluviales, coluviales y fluvioaluviales analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b).

Criterio 1: Para un potencial neto de neutralización: < a 0, la muestra es «generadora neta de ácido» [entre -20 y +20 kg CaCO3/Ton] la muestra corresponde a un rango de «incertidumbre»; > a +20 kg CaCO3/Ton, se considera a la muestra es «potencial no generador de ácido» < a -20 kg CaCO3/Ton se considera «potencial generador de ácido»

Criterio 2: Ratio potencial de neto (RNP), para un 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».

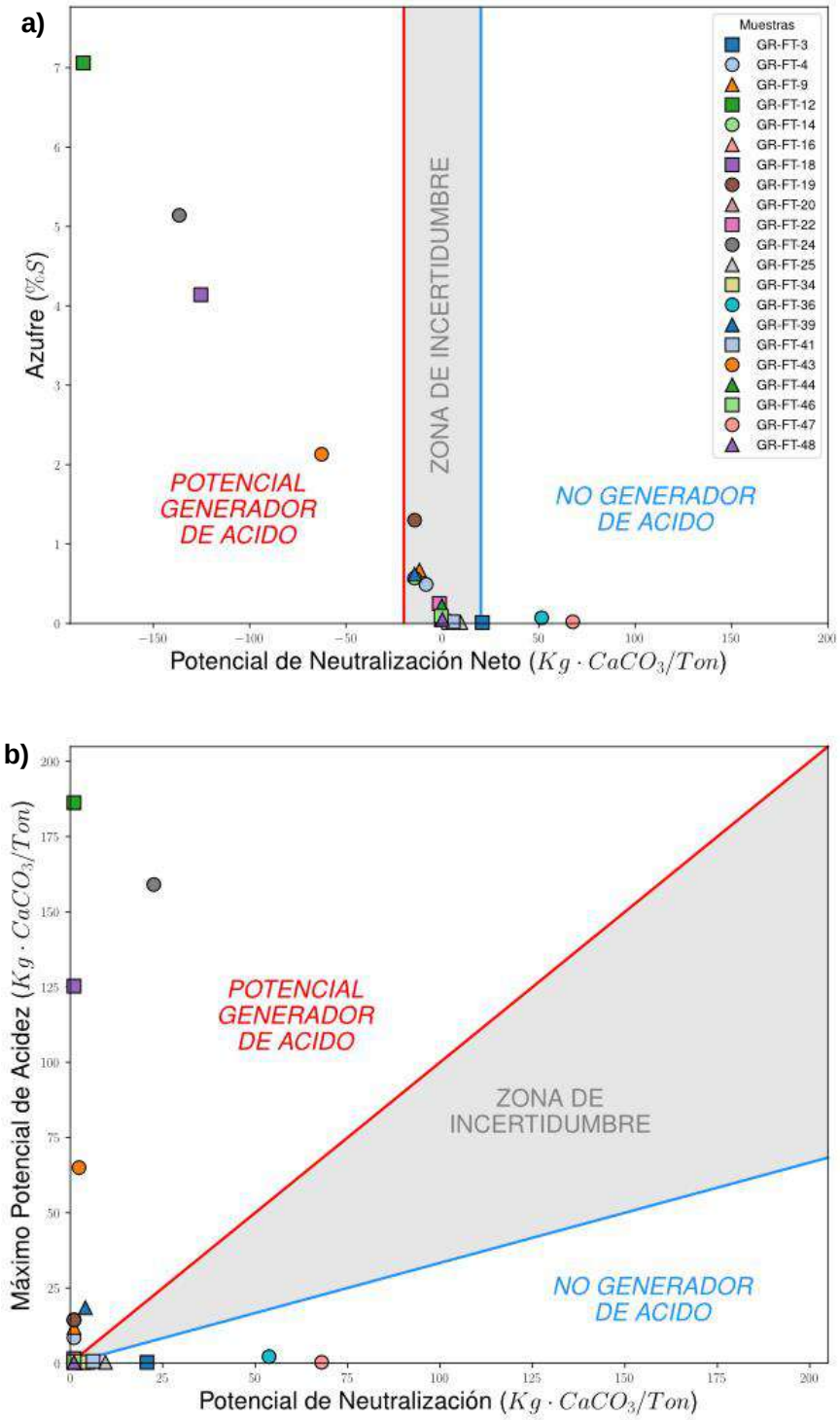


Figura 6.57. Prueba ABA de muestras de roca analizadas con el criterio 1 (a) y criterio 2 (b).
Criterio 1: Para un potencial neto de neutralización: < a 0, la muestra es «generadora neta de ácido» [entre -20 y +20 kg CaCO3/Ton] la muestra corresponde a un rango de «incertidumbre»; > a +20 kg CaCO3/Ton, se considera a la muestra es «potencial no generador de ácido» < a -20 kg CaCO3/Ton se considera «potencial generador de ácido»
Criterio 2: Ratio potencial de neto (RNP), para un 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».

Al igual que en los componentes mineros, se empleó la prueba lixiviación *shake flask extraction* para caracterizar y medir la interacción del material de los depósitos cuaternarios (eluviales, coluviales y fluvioaluviales) y roca con agua proveniente de fenómenos meteorológicos (agua meteórica), como resultado se tuvieron la corrida de 33 metales, detallados en el Anexo 3 RRE 046-2020-STEC; No obstante, en el presente capítulo se realizó la comparación referencial de las concentraciones reportadas para arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc con los Límites Máximos Permisibles, en adelante LMP (2010),.

La Figura 6.58 presenta los resultados de arsénico y cadmio comparados con el LMP (2010), la muestra de roca con código GR-FT-12 fue la única que superó referencialmente el valor establecido en los LMP (2010), en cambio para el cadmio, ninguna muestra superó el valor de referencia, sin embargo, se reportaron bajas concentraciones de este elemento en las muestras GR-FT-4, GR-FT-9, GR-FT-12, GR-FT-18, GR-FT-24, GR-FT-39, GR-FT-43 y GR-FT-47.

En cuanto al cobre, las muestras que superaron el valor establecido en los LMP (2010) fueron las muestras de roca GR-FT-12 y GR-FT-18 como se presenta en la Figura 6.59, además, para el plomo ninguna muestra de roca o material de los depósitos cuaternarios superaron el valor establecido. Finalmente, las concentraciones de zinc de las muestras GR-FT-18 y GR-FT 39 superaron referencialmente el valor establecido en los LMP (2010) como se observa en la Figura 6.60.

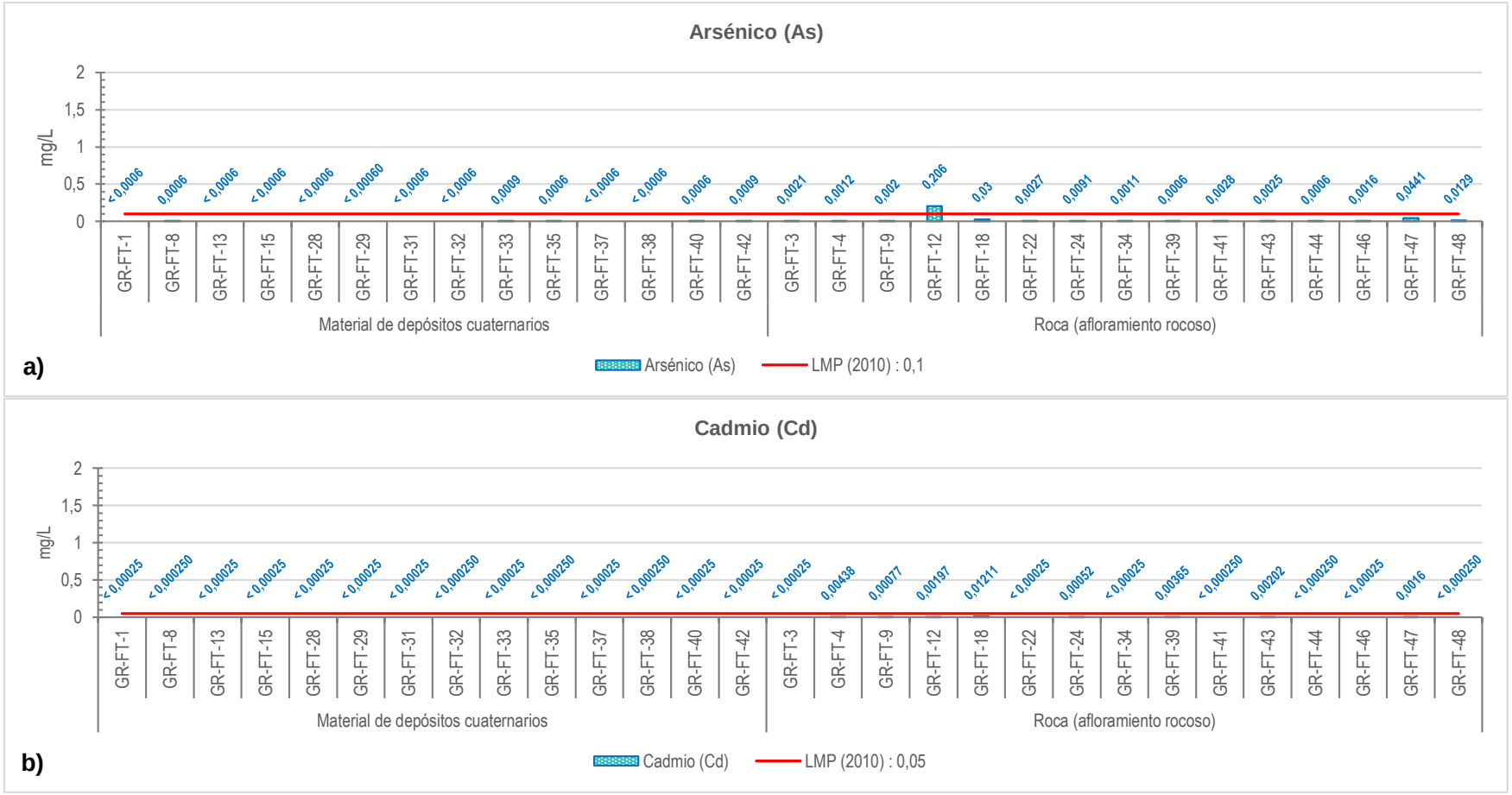


Figura 6.58. Concentraciones de metales obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de material de depósitos cuaternarios y roca comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010): a) arsénico y b) cadmio

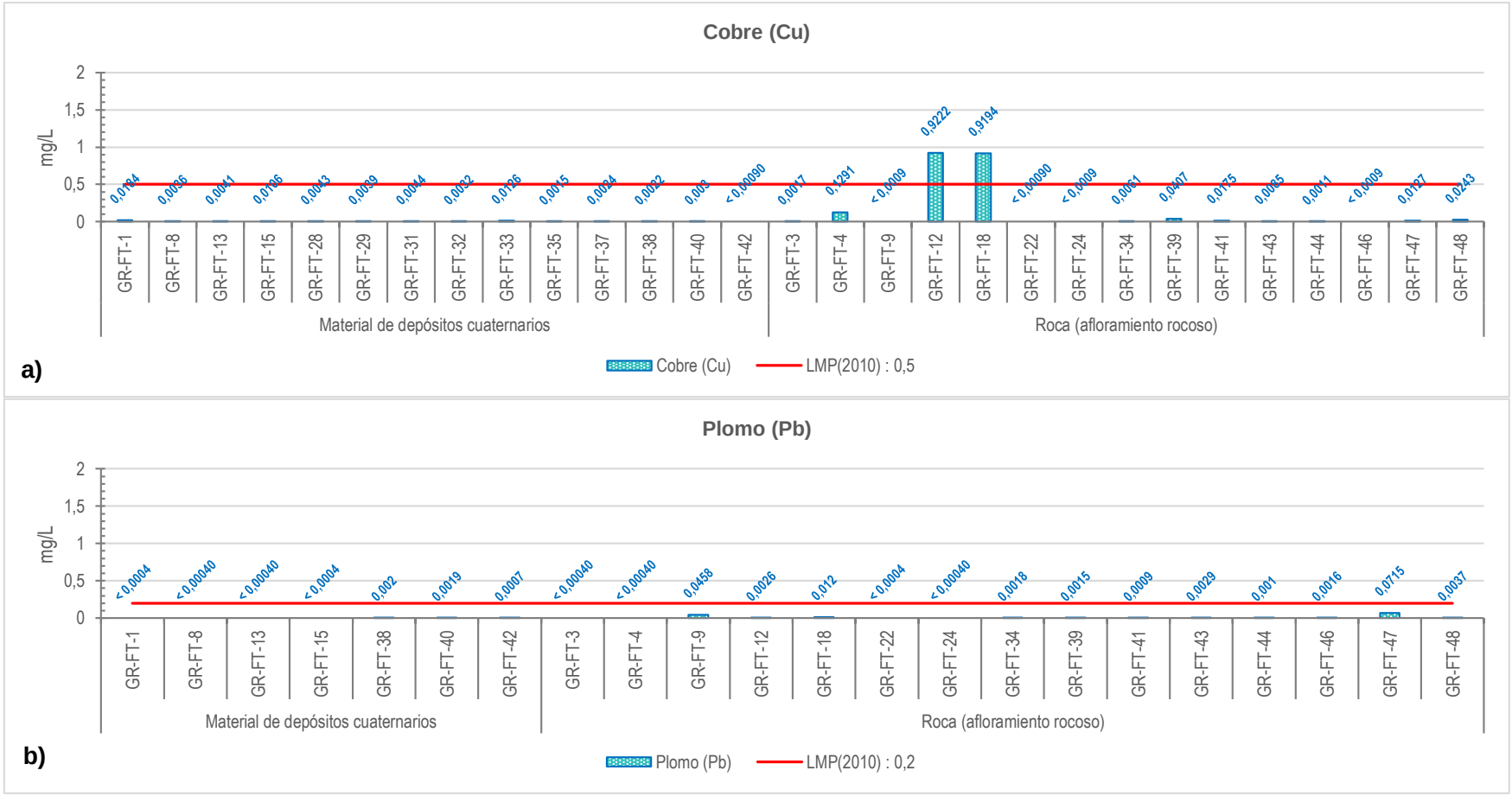


Figura 6.59. Concentraciones de metales obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de material de depósitos cuaternarios y roca comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010): a) cobre y b) plomo

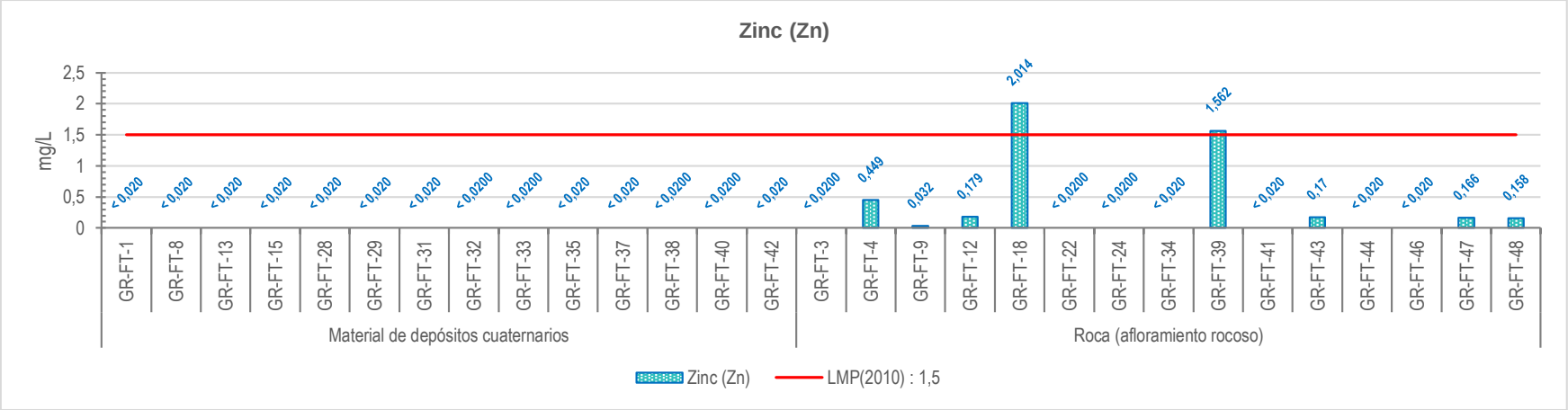


Figura 6.60. Concentraciones de zinc obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de material de depósitos cuaternarios y roca comparados referencialmente con los Límites Máximos Permisibles (2010)

En la Figura 6.61 se presentan los resultados de shake flask extraction aniones de las muestras del material de los depósitos cuaternarios (eluviales, coluviales y fluvioaluviales) y roca donde se aprecia que los aniones que predominan son los sulfatos en comparación con los otros 5 aniones reportados (cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y fluoruros) en los dos grupos de muestras de material de depósitos cuaternarios y roca comparados. Asimismo, se aprecia que las concentraciones de sulfatos de las muestras de roca son mayores a las concentraciones de las muestras de los materiales de depósitos cuaternarios.

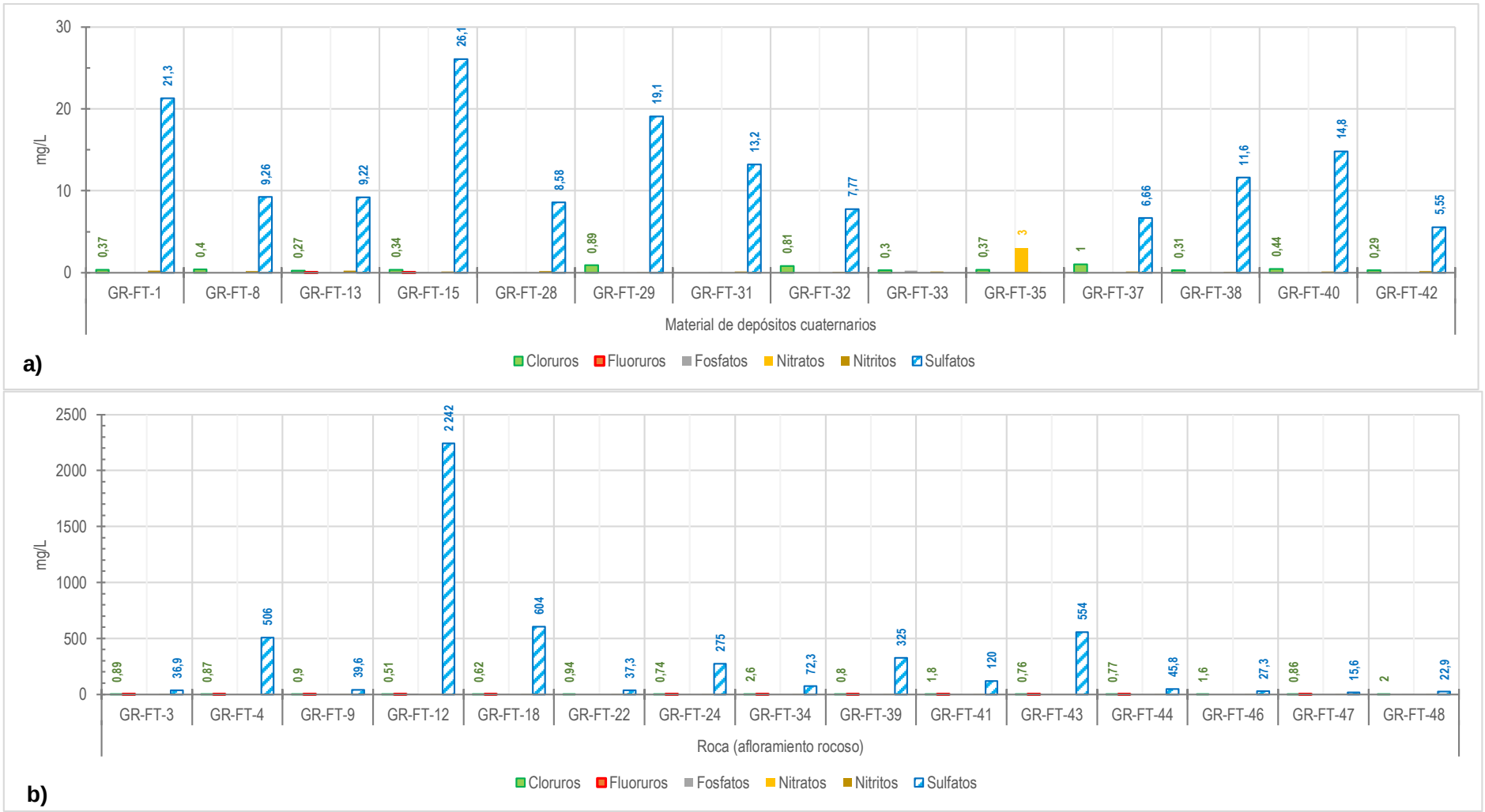
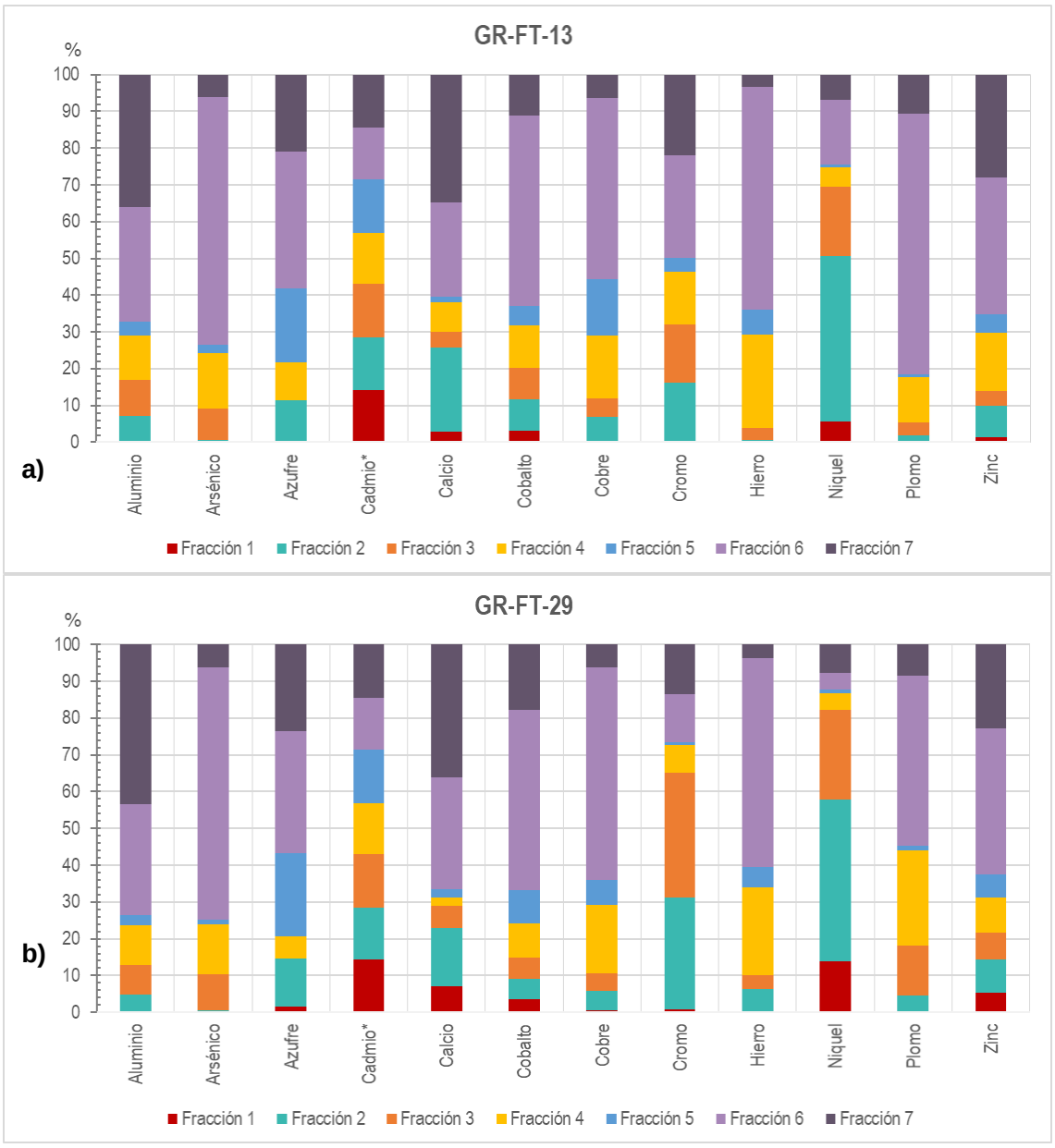


Figura 6.61. Concentraciones de aniones obtenidas en prueba *Shake flask extraction* en muestras de a) material de depósitos cuaternarios y b) roca

Se realizó la extracción secuencial de metales solubles mediante la metodología de especiación de Dold, B. (2003), para dos muestras de material depósitos de cuaternarios (GR-FT-13 y GR-FT-29) y dos muestras de roca (GR-FT-18 y GR-FT-24).

En la Figura 6.62 se presentan los resultados de las 7 fracciones de las 2 muestras de material de depósitos cuaternarios, los elementos que se liberan en la fracción 1 (soluble en agua) son el calcio, cobalto, níquel y zinc en ambas muestras. Es importante precisar que el cadmio se presenta valores por debajo al límite de cuantificación en todas las fracciones.



(*): El cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en todas las fracciones.

Figura 6.62. Distribución de elementos en las fracciones de extracción secuencial Dold en muestras de material de depósitos cuaternarios a) depósito fluvioaluvial y b) depósito eluvial.

La Figura 6.63 presenta la distribución de elementos de las 7 fracciones extraíbles de muestras de roca, en las muestras GR-FT-18 y GR-FT-24 (rocas porfiríticas intensamente alteradas) el calcio y azufre se liberan en la fracción 1 (soluble en agua) en bajos

porcentajes, en cambio en la liberación de cobalto, cobre, hierro, níquel y zinc solo ocurre en la muestra GR-FT-18.

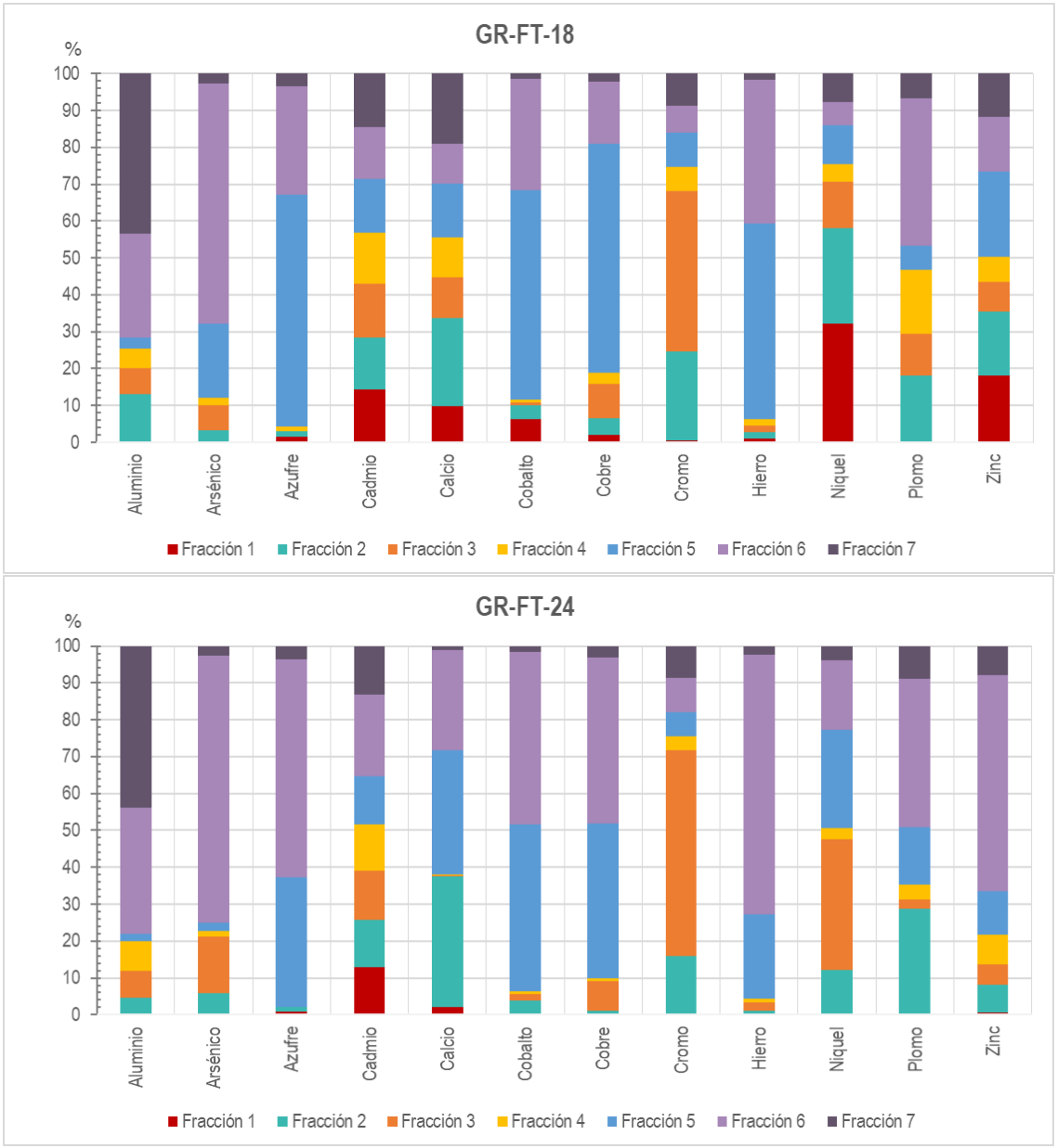
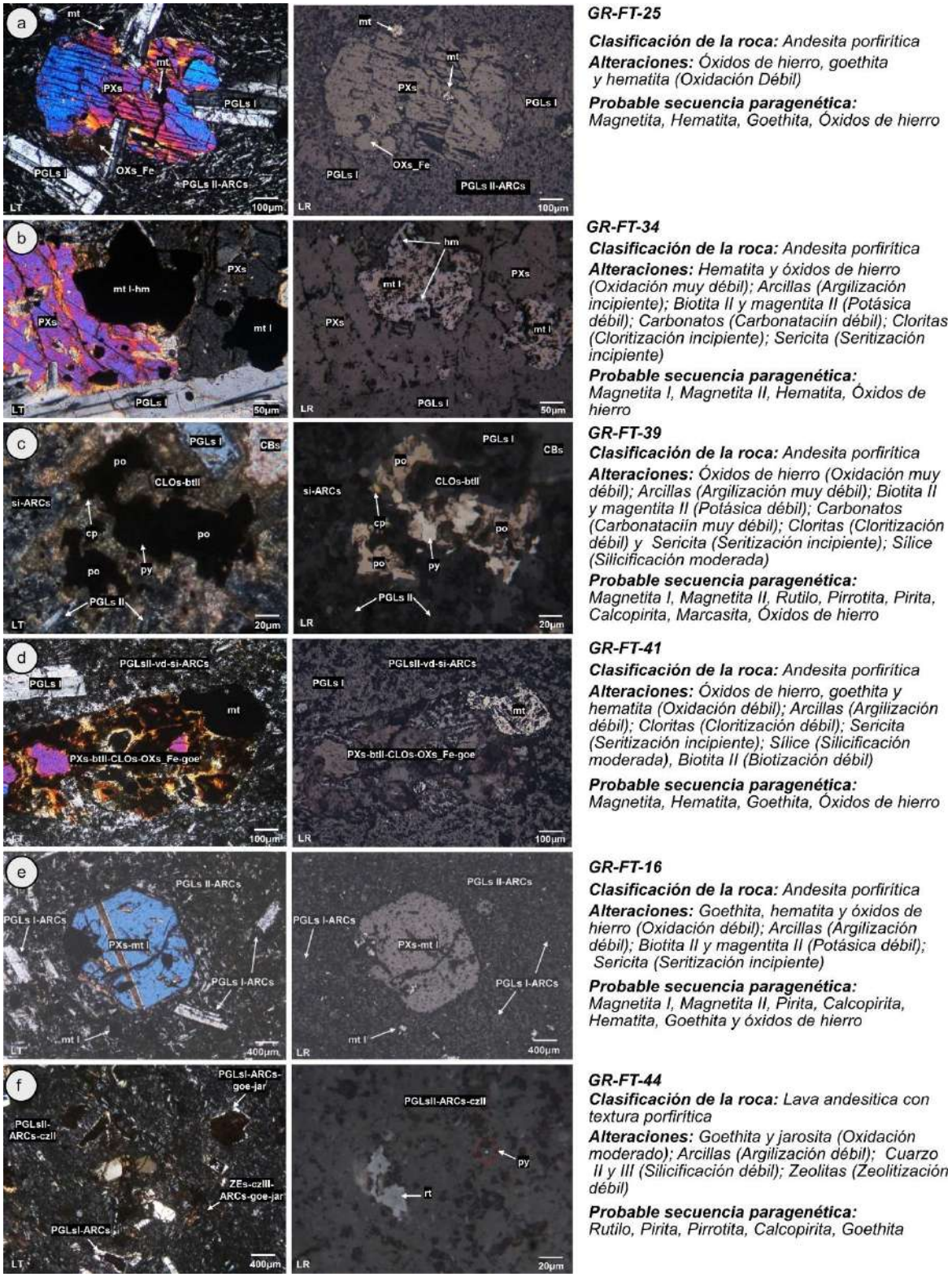


Figura 6.63. Distribución de elementos en las fracciones de extracción secuencial Dold en porfirítica intensamente alterada.
(*): El cadmio presenta concentraciones menores al límite de cuantificación (L.C.) en las fracciones 1, 2, 3, 4 y 7.

Se emplearon 3 metodologías para determinar la composición mineralógica en las rocas y material de los depósitos cuaternarios; para la roca se empleó el estudio petromineragráfico por microscopía óptica que describe los minerales metálicos y no metálicos presentes en la muestra del afloramiento rocos, en cambio para la muestra de material de los depósitos cuaternarios se empleó el análisis mineralógico por difracción de rayos x y el estudio de microscopia electrónica de barrido, de los cuales el primero consiste en la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra y la segunda reporta y corrobora el análisis puntual químico de las fases presentes en las muestras.

A continuación, en la Figura 6.64, se presentan las fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas de estudios de microscopía óptica correspondientes a las muestras de roca de composición andesítica, donde se indica las alteraciones presentes y posible secuencia paragenética (formación de minerales). Se precisa que el detalle de los resultados de los estudios de petromineragrafía se encuentra en el Anexo 3 RRE 046-2020-STEC.



GR-FT-25

Clasificación de la roca: *Andesita porfirítica*

Alteraciones: *Óxidos de hierro, goethita y hematita (Oxidación Débil)*

Probable secuencia paragenética: *Magnetita, Hematita, Goethita, Óxidos de hierro*

GR-FT-34

Clasificación de la roca: *Andesita porfirítica*

Alteraciones: *Hematita y óxidos de hierro (Oxidación muy débil); Arcillas (Argilización incipiente); Biotita II y magentita II (Potásica débil); Carbonatos (Carbonataciín débil); Cloritas (Cloritización incipiente); Sericita (Seritización incipiente)*

Probable secuencia paragenética: *Magnetita I, Magnetita II, Hematita, Óxidos de hierro*

GR-FT-39

Clasificación de la roca: *Andesita porfirítica*

Alteraciones: *Óxidos de hierro (Oxidación muy débil); Arcillas (Argilización muy débil); Biotita II y magentita II (Potásica débil); Carbonatos (Carbonataciín muy débil); Cloritas (Cloritización débil) y Sericita (Seritización incipiente); Sílice (Silicificación moderada)*

Probable secuencia paragenética: *Magnetita I, Magnetita II, Rutilo, Pirrotita, Pirita, Calcopirita, Marcasita, Óxidos de hierro*

GR-FT-41

Clasificación de la roca: *Andesita porfirítica*

Alteraciones: *Óxidos de hierro, goethita y hematita (Oxidación débil); Arcillas (Argilización débil); Cloritas (Cloritización débil); Sericita (Seritización incipiente); Sílice (Silicificación moderada), Biotita II (Biotización débil)*

Probable secuencia paragenética: *Magnetita, Hematita, Goethita, Óxidos de hierro*

GR-FT-16

Clasificación de la roca: *Andesita porfirítica*

Alteraciones: *Goethita, hematita y óxidos de hierro (Oxidación débil); Arcillas (Argilización débil); Biotita II y magentita II (Potásica débil); Sericita (Seritización incipiente)*

Probable secuencia paragenética: *Magnetita I, Magnetita II, Pirita, Calcopirita, Hematita, Goethita y óxidos de hierro*

GR-FT-44

Clasificación de la roca: *Lava andesitica con textura porfirítica*

Alteraciones: *Goethita y jarosita (Oxidación moderado); Arcillas (Argilización débil); Cuarzo II y III (Silicificación débil); Zeolitas (Zeolitización débil)*

Probable secuencia paragenética: *Rutilo, Pirita, Pirrotita, Calcopirita, Goethita*

Arcillas (ARCs), biotita (bt), calcopirita (cp), cuarzo (cz), goethita (goe), jarosita (jar), leucoxeno (LCX), magnetita (mt), óxidos de hierro (OXs_Fe), pirita (py), pirrotita (po), plagioclasas (PGLs), rutilo (rt), sericita (ser), sílice (si), vidrio (vd), zeolitas (ZEs). Luz transmitida (LT) y luz reflejada (LR).

Figura 6.64. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca **a)** - **e)** Andesitas porfiríticas y **f)** Lava andesítica porfirítica.

La muestra GR-FT-25 corresponde a una roca volcánica (andesita) con textura porfirítica (Figura 6.64a), donde se aprecian fenocristales de plagioclasas I (19%) que fueron alterados por arcillas (2%) y presentan impregnaciones de óxidos de hierro (3%), además de encontrarse piroxenos (3%) que fueron alterados por óxidos de hierro y goethita (traza); también hay cristales de magnetita (3%) diseminados. La matriz formada por microlitos de plagioclasas II (70%) con textura fluidal, los cristales de magentita fueron reemplazados por hematita quedando solo relictos.

En cuanto a la muestra GR-FT-34 de textura porfirítica, presenta fenocristales de plagioclasas (82%) y moldes de anfíboles (totalmente alterados por biotita II, carbonatos, cloritas y óxidos de hierro), asimismo, presentaron cristales de magnetita I (2%) y apatito (traza). Los carbonatos (2%), cloritas (traza) y óxidos de hierro (traza) han alterado los agregados de biotita II (6%) y magnetita II (2%); también la sericita y arcillas (ambas en traza) han alterado a las plagioclasas (I y II) y finalmente los cristales de hematita han reemplazado a los cristales de magnetita I (2%) y magnetita II (2%) como se observa en la Figura 6.64b.

La Figura 6.64c presenta la fotomicrografía de la muestra GR-FT-39 que es una andesita con textura porfirítica y con fenocristales de plagioclasas I (37%), piroxenos (5%), y moldes de anfíboles que fueron alterados por biotita II (3%), cloritas (3%), carbonatos (0,5%) y óxidos de hierro (0,5%); además presenta cristales de magnetita I (2%) y apatito (traza). La matriz de la roca se encuentra constituida por pequeños cristales de plagioclasa II (35%) con agregados de sílice (10%) en sus intersticios. También hay presencia de pequeños cristales de biotita II (3%), magnetita II (0,5%), arcillas (1%), cloritas (3%), carbonatos (0,5%), óxidos de hierro (0,5%), rutilo (traza), pirriotita (traza), pirita (0,5%) y marcasita (traza) que ingresaron por intersticios de las plagioclasas II, se observa que la magnetita I (2%) ha sido reemplazada por pirrotita, pirita y marcasita y seguidamente la pirrotita ha sido reemplazada por calcopirita (traza).

La fotomicrografía presentada en la Figura 6.64d corresponde a una andesita porfirítica (muestra GR-FT-41), donde se observa fenocristales de plagioclasas I en un 30% (fueron alterados por sericita y arcillas), piroxenos en trazas (alterados intensamente por biotita II, cloritas y óxidos de hierro) y la biotita I en un 3% (alterados por biotita II, cloritas, arcillas y óxidos de hierro) con cristales de magnetita diseminada. La matriz tiene una textura fluidal constituida formada por pequeños cristales de plagioclasa II (21%), vidrio (15%) alterado por sílice (12%) y arcillas (5%), y también invadido por biotita II (6%), cloritas (2%), goethita (traza) y óxidos de hierro (1%). En cuanto a los cristales de magnetita (3%) han sido reemplazados por hematita (traza).

En cuanto a la muestra GR-FT-16 presentado en la Figura 6.64e, corresponde a una andesita con textura porfirítica, donde se observan fenocristales de plagioclasas I presentes en un 35% (alterados por sericita y arcillas), piroxenos en un 4% (alterados por biotita II, goethita y óxidos de hierro) y moldes de fenocristales de posibles ferromagnesianos (alterados por arcillas y óxidos de hierro), además de cristales de magnetita I (1,5%) y zircón (traza) diseminados y como inclusiones. La matriz se conforma de pequeños cristales de plagioclasas II (55%) y en los intersticios han ingresado pequeños cristales de magnetita II (0,5%), biotita II (2%) y agregados de goethita (traza) y óxidos de hierro (1%); en cambio los pequeños cristales de pirita (traza) y calcopirita (traza) se presentan en algunas oquedades de algunos cristales de magnetita I. La magnetita I ha sido remplazada débilmente por hematita (traza) y a su vez la goethita ha reemplazado ligeramente a algunos cristales de magnetita I (1,5%) y magnetita II (0,5%).

La Figura 6.64f, presenta la fotomicrografía de la muestra GR-FT-44 correspondiente a una lava andesítica con textura porfirítica en una matriz fluidal compuesta por fenocristales de

plagioclasas I en un 20% (alterados débilmente por arcillas), biotita (traza) y moldes de ferromagnesianos (alterados completamente por goethita, jarosita, arcillas, rutilo, y leucoxeno). La matriz se encuentra constituida por cristales pequeños de plagioclasas II (57%) con agregados de cuarzo II (5%) y diseminaciones de rutilo (traza) y leucoxeno (traza). En cuanto a la pirita (traza) es escasa y su ocurrencia se da en la matriz y en oquedades de la plagioclasa I; en este último mineral se presenta puntualmente un cristal de pirrotita (traza) reemplazada por calcopirita (traza) en oquedades. Finalmente, la roca ha sido cortada por venillas rellenas por zeolitas (2%) y cuarzo II con goethita (7%), jarosita (4%) y arcillas (4%) entre sus intersticios.

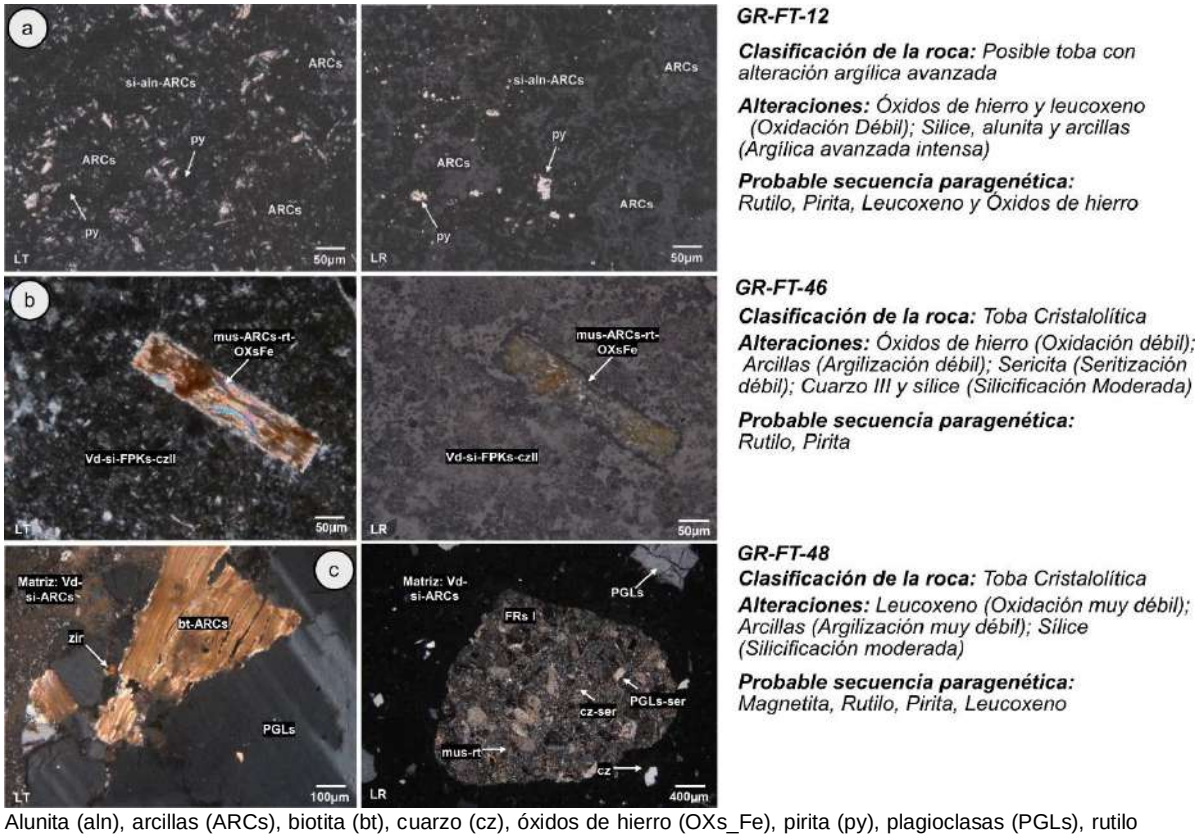
Se presenta en la Tabla 6.12 la distribución de minerales reportados en porcentajes de las muestras de andesitas porfiríticas descritas anteriormente.

Tabla 6.12. Distribución de minerales primarios, minerales que conforman la matriz de la roca y minerales secundarios de muestras de andesitas porfiríticas

Minerales	Unidad	GR-FT-25	GR-FT-34	GR-FT-39	GR-FT-41	GR-FT-16	GR-FT-44
Minerales primarios							
Plagioclasas I	%	19	30	37	30	35	20
Piroxenos	%	3	5	5	Traza	4	-
Magnetita	%	3	-	-	3	-	-
Apatito	%	-	Traza	Traza	-	-	-
Moldes	%	-	Presencia	Presencia	-	Presencia	Presencia
Magnetita I	%	-	2	2	-	1,5	-
Biotita I	%	-	-	-	3	-	-
Fragmento de roca	%	-	-	2	-	-	-
Cuarzo I	%	-	-	-	-	-	-
Zircón	%	-	-	-	-	Traza	-
Biotita	%	-	-	-	-	-	Traza
Minerales que conforman la matriz de la roca							
Plagioclasas II	%	70	52	35	21	55	57
Vidrio	%	-	-	-	15	-	Presencia
Minerales secundarios							
Arcillas	%	2	Traza	1	5	1	4
Óxidos de hierro	%	3	Traza	0,5	1	1	-
Hematita	%	Traza	1	-	Traza	Traza	-
Goethita	%	Traza	-	-	Traza	Traza	7
Magnetita II	%	-	2	0,5	-	0,5	-
Sericita	%	-	Traza	Traza	Traza	Traza	-
Carbonatos	%	-	2	0,5	-	-	-
Cloritas	%	-	Traza	3	2	-	-
Sílice	%	-	-	10	12	-	-
Biotita II	%	-	6	3	6	2	-
Rutilo	%	-	-	Traza	-	-	Traza
Pirrotita	%	-	-	Traza	-	-	Traza
Pirita	%	-	-	0,5	-	Traza	Traza
Calcopirita	%	-	-	Traza	-	Traza	Traza
Marcasita	%	-	-	Traza	-	-	-
Cuarzo II	%	-	-	-	2	-	5
Cuarzo III	%	-	-	-	-	-	1
Zeolitas	%	-	-	-	-	-	2
Leucoxeno	%	-	-	-	-	-	Traza
Jarosita	%	-	-	-	-	-	4

Presencia: Se refiere al molde o vidrio presentes en las muestras y no se reporta en porcentaje.

En la Figura 6.65, se presentan las fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas de estudios de microscopía óptica correspondientes a 2 muestras de tobas y 1 posible toba con alteración argílica avanzada.



GR-FT-12

Clasificación de la roca: *Posible toba con alteración argílica avanzada*

Alteraciones: *Óxidos de hierro y leucoxeno (Oxidación Débil); Silice, alunita y arcillas (Argílica avanzada intensa)*

Probable secuencia paragenética: *Rutilo, Pirita, Leucoxeno y Óxidos de hierro*

GR-FT-46

Clasificación de la roca: *Toba Cristalolítica*

Alteraciones: *Óxidos de hierro (Oxidación débil); Arcillas (Argilización débil); Sericita (Seritización débil); Cuarzo III y sílice (Silicificación Moderada)*

Probable secuencia paragenética: *Rutilo, Pirita*

GR-FT-48

Clasificación de la roca: *Toba Cristalolítica*

Alteraciones: *Leucoxeno (Oxidación muy débil); Arcillas (Argilización muy débil); Sílice (Silicificación moderada)*

Probable secuencia paragenética: *Magnetita, Rutilo, Pirita, Leucoxeno*

Alunita (aln), arcillas (ARCs), biotita (bt), cuarzo (cz), óxidos de hierro (OXs_Fe), pirita (py), plagioclasas (PGLs), rutilo (rt), sericita (ser), sílice (si), vidrio (vd). Luz transmitida (LT) y luz reflejada (LR).

Figura 6.65. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca **a), b)** Toba cristalolítica y **c)** Posible toba con alteración argílica avanzada.

La muestra GR-FT-12 corresponde a una posible toba intensamente alterada (Figura 6.65a), donde se aprecian moldes de cristales que han sido totalmente alterados por arcillas (28%), y escasamente por sílice y alunita; además, hay presencia de escasos fragmentos de roca silicificada y fragmentos de cristales de cuarzo (1%); los moldes de posiblemente ferromagnesianos fueron alterados completamente por agregados de leucoxeno (traza), rutilo (traza) y óxidos de hierro (2%). En cuanto a la matriz, fue reemplazada totalmente por agregados criptocristalinos de sílice (55%) junto con agregados de pequeños cristales de alunita (12%) y arcillas con ligeras impregnaciones de óxidos de hierro, finalmente se encontró pequeños cristales de pirita (1%) y escaso rutilo (traza) diseminados en la matriz.

Por otra parte, las muestras GR-FT-46 y GR-FT-48 corresponden a tobas, las cuales fueron clasificadas como tobas cristalolíticas. En cuanto a la muestra GR-FT-46 (Figura 6.65b) presenta una textura fragmental, con fragmentos de cristales de cuarzo I (4%), moldes de posibles feldespatos, que fueron alterados por sericita (4%) y arcillas (2%), y también moldes de minerales ferromagnesianos (alterados por muscovita, arcillas, rutilo y óxidos de hierro), además, de fragmentos de roca con textura fragmental (Intensamente alterada por sericita); su matriz es de composición vítrea fue parcialmente alterada por agregados de sílice (19%) y sericita (4%), por sectores devitrificado a feldespatos potásicos y cuarzo II (ambos con 37%) con impregnaciones de óxidos de hierro. A su vez, el zircón (traza) se presenta diseminado en la matriz como inclusiones en los moldes de posibles feldespatos y ferromagnesianos. Los minerales rutilo (traza) y pirita (traza) se encuentran diseminados en la matriz en trazas y ocasionalmente en los fragmentos de roca; y finalmente el cuarzo III

(7%) se presenta como relleno de moldes de feldespatos, vesículas y finas venillas que cortan la roca.

De igual modo, la muestra GR-FT-48 (Figura 6.65c) corresponde a una toba con textura fragmental, presentando fragmentos de cristales de cuarzo (5%), biotita (traza) y plagioclasas en un 16% (alterados por arcillas), además de fragmentos de rocas con texturas porfiriticas. Con referencia a la matriz vítrea (49%), se encontró parcialmente alterada por agregados de sílice (18%) y arcillas terrosas (4%), con cristales de zircón (traza) diseminados, a su vez el rutilo y leucoxeno (ambos en traza) se encuentran diseminados en la matriz y ocasionalmente en fragmentos de roca V (traza). Finalmente, la magnetita y pirita son escasas (ambos en traza) y ocurren en oquedades de algunos fragmentos de cristales de plagioclasas.

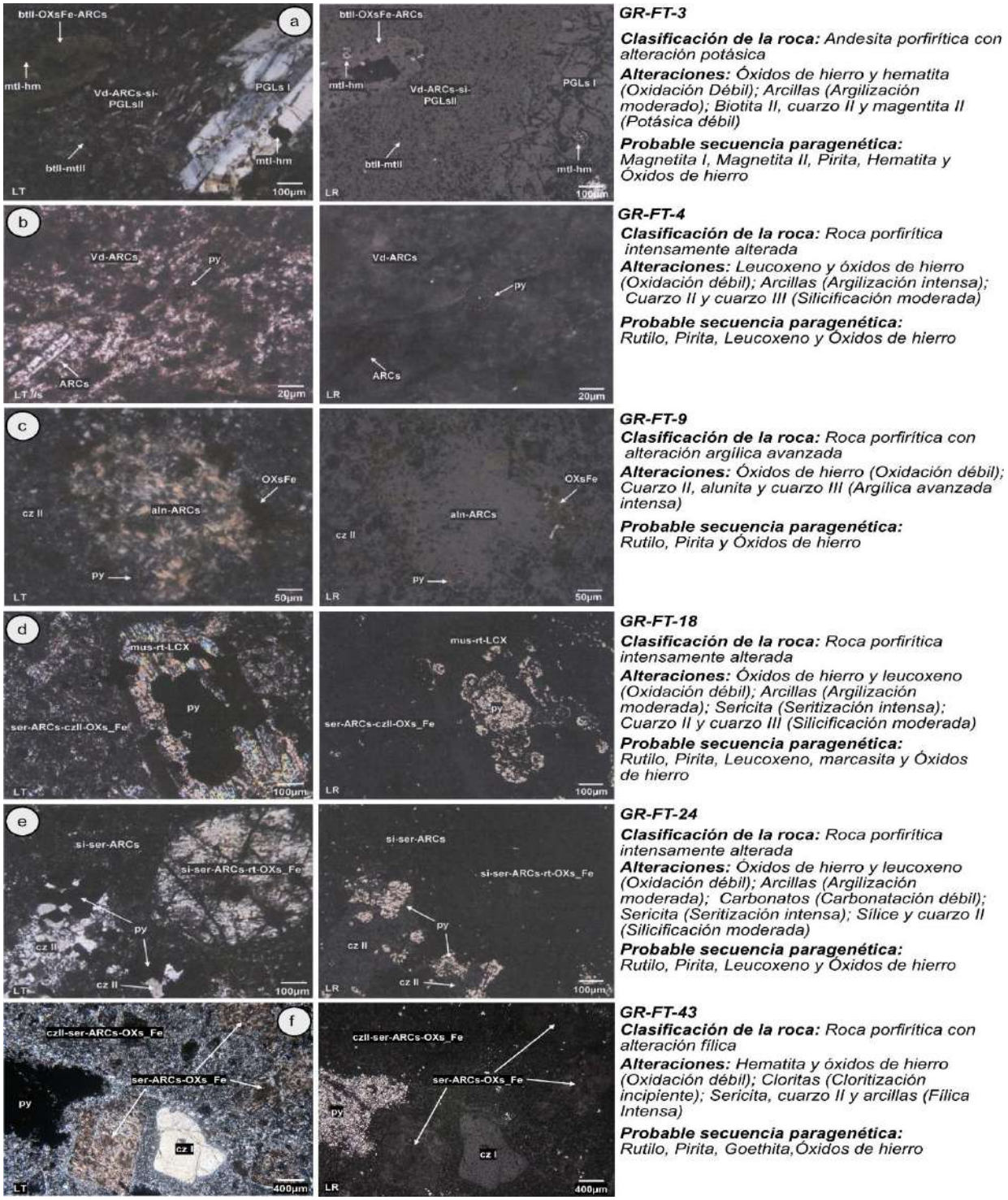
Se presenta en la Tabla 6.13 la distribución de minerales reportados en porcentajes de las muestras de las tobas descritas anteriormente.

Tabla 6.13. Distribución de minerales primarios, matriz, fragmentos de roca y minerales secundarios de muestras de tobas

Minerales	Unidad	GR-FT-12	GR-FT-46	GR-FT-48
Minerales primarios				
Magnetita	%	-	-	Traza
Moldes	%	Presencia	Presencia	-
Cuarzo I	%	-	4	-
Zircón	%	-	Traza	Traza
Biotita	%	-	-	Traza
Plagioclasas	%	-		16
Cuarzo	%	1	-	5
Matriz				
Vidrio	%	-	18	49
Fragmentos de roca				
Fragmentos de roca silicificada	%	1		
Con formas irregulares y bordes subredondeados.	%	-	6	-
Fragmentos de roca I	%	-	-	2
Fragmentos de roca II	%	-	-	5
Fragmentos de roca III	%	-	-	1
Fragmentos de roca IV	%	-	-	Traza
Fragmentos de roca V	%	-	-	Traza
Minerales secundarios				
Arcillas	%	28	2	4
Óxidos de hierro		2	2	-
Sericita		-	4	-
Sílice		55	19	18
Biotita II	%	-	-	-
Rutilo	%	Traza	Traza	Traza
Pirrotita	%	-	-	-
Pirita	%	1	Traza	Traza
Cuarzo III	%	-	7	-
Leucoxeno	%	Traza	-	Traza
Feldespatos potásicos + cuarzo II	%	-	37	-
Alunita	%	12	-	-
Muscovita	%	-	1	-

Presencia: Se refiere a los moldes presentes en las muestras y no se reporta en porcentaje.

La Figura 6.66 presentan las fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas de las rocas con presencia de alteración, donde se indica las alteraciones presentes y posible secuencia paragenética (formación de minerales).



Arcillas (ARCs), biotita (bt), calcopirita (cp), cuarzo (cz), goethita (goe), jarosita (jar), leucoxeno (LCX), magnetita (mt), óxidos de hierro (OXs_Fe), pirita (py), pirrotita (po), plagioclasas (PGLs), rutilo (rt), sericita (ser), sílice (si), vidrio (vd), zeolitas (ZEs). Nicoles paralelos (//s), luz transmitida (LT) y luz reflejada (LR).

Figura 6.66. Fotomicrografías de secciones delgadas-pulidas (izquierda luz transmitida y derecha luz reflejada) de muestras de roca **a), b), c), d), e)** Andesitas porfiríticas y **f)** Lava andesítica porfirítica.

La muestra GR-FT-3 (Figura 6.66a) corresponde a una roca volcánica de textura porfirítica (andesita porfirítica con alteración potásica), y presenta fenocristales de plagioclasas I en 25% (alteradas a arcillas), cuarzo I (traza) y moldes de ferromagnesianos (alterados completamente por biotita II, óxidos de hierro y arcillas). La matriz se compone de agregados

de arcillas (12%) y sílice (40%) con diseminación de microlitos pequeños de plagioclasas II (10%). En cuanto a agregados de biotita II (7%), cuarzo II (traza) y magnetita II (traza) estos minerales ingresaron entre los intersticios de la matriz; con respecto a la magnetita I presentes en traza (alterada fuertemente por hematita-2%) se encuentra incluida en las plagioclasas I y moldes de ferromagnesianos (cristales de pirita en traza).

La muestra GR-FT-4 corresponde a una posible roca porfirítica intensamente alterada (Figura 6.66b), donde se aprecian fenocristales de posibles feldespatos (alterados completamente por arcillas) en una matriz vítrea fuertemenmte alterada por agregados terrosos de arcillas (82%); en ocasiones agregados por cuarzo II (11%). De la misma manera el rutilo (1%) se encuentra diseminado en la matriz y asociado a leucoxeno (1%), además, los agregados de cuarzo III (4%) se presentan como relleno de moldes de feldespatos y cavidades. En cuanto a la pirita (traza) ha ingresado entre los intersticios de la matriz y oquedades de los moldes de feldespatos; y los óxidos de hierro (1%) han reemplazado completamente a cristales de hábito cúbico en la matriz.

La fotomicrografía presentada en la Figura 6.66c corresponde a una roca porfirítica con alteración argílica avanzada (muestra GR-FT-9), donde se observa cavidades dejadas por fenocristales de feldespatos lixiviados que han sido rellenados por agregados de pequeños cristales de alunita y en ocasiones con impregnaciones de arcillas (5%). Se aprecian también moldes de posibles ferromagnesianos completamente alterados por rutilo, arcillas u óxidos de hierro. En cuanto a la matriz ha sido completamente reemplazada por agregados de pequeños cristales de cuarzo II (81%), con alunita (5%), rutilo (traza), pirita (traza), cuarzo III (2%) y óxidos de hierro (7%) en sus intersticios; finalmente las arcillas se encuentran como impregnaciones en la matriz.

En cuanto a la muestra GR-FT-18 (Figura 6.66d) de textura porfirítica, clasificada como roca porfirítica intensamente alterada, presentó fenocristales de posibles plagioclasas que fueron alteradas totalmente por sericita en un 40% y arcillas en un 26% (en algunos casos por reemplazados por cuarzo III); además moldes de ferromagnesianos que fueron alterados por muscovita (1%), rutilo (traza), leucoxeno (1%) y óxidos de hierro (1%), seguidamente de moldes de cristales de ferromagnesianos (alterados por leucoxeno, rutilo y óxidos de hierro). Su matriz constituida por material vitreo que ha sido desvitrificada totalmente a agregados de arcillas, cuarzo II (23%) y sericita; presentando además impregnaciones de óxidos de hierro. Finalmente se presentan venillas y cavidades rellenas por cuarzo III (3%) y pirita (5%) los cuales han invadido la matriz.

La Figura 6.66f, presenta la fotomicrografía de la muestra GR-FT-24 correspondiente a roca porfirítica intensamente alterada donde se observa fenocristales de posibles plagioclasas alteradas por sericita (38%) y arcillas (14%), en algunos casos reemplazados por cuarzo II (4%); moldes de fenocristales de ferromagnesianos alterados por sílice, sericita, arcillas, leucoxeno (1%), rutilo (traza), muscovita (traza) y óxidos de hierro (traza); también presencia de fragmentos de roca (3%) alterada. En una matriz de material vítreo que ha sido desvitrificada totalmente a agregados de sílice (30%), sericita y arcillas con impregnaciones de óxidos de hierro. Finalmente se hallan cavidades rellenas por cristales de cuarzo II, carbonatos (4%), pirita (6%) y arcillas con agregados de sericita en los bordes.

Por otra parte, la muestra GR-FT-43 corresponde a una roca porfirítica con alteración fílica (intensa); se presentan moldes de fenocristales de posibles plagioclasas que fueron total mente alteradas por agregados de sericita (50%) y arcillas (7%) con impregnaciones de óxidos de hierro (1%); además de presentar escasos pequeños cristales de zircón (traza). Su matriz ha sido completamente alterada por agregados de sericita, cuarzo ll (30%) y arcillas, con impregnaciones de óxidos de hierro. A su vez, se aprecian agregados de cristales de cuarzo lll (2,5%) y cristales de pirita (7%) como relleno de venillas y cavidades.

Se precisa que algunos cristales de pirita presentan inclusiones de rutilo y han sido reemplazados por goethita (traza).

Se presenta en la Tabla 6.14 la distribución de minerales reportados en porcentajes de las muestras de roca con presencia de alteración descritas anteriormente.

Tabla 6.14. Distribución de minerales primarios, matriz, fragmentos de roca y minerales secundarios de muestras de rocas con presencia de alteración

Minerales	Unidad	GR-FT-3	GR-FT-4	GR-FT-9	GR-FT-18	GR-FT-24	GR-FT-43
Minerales Primarios							
Plagioclasas I	%	25	-	-	-	-	-
Moldes	%	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
Magnetita I	%	Traza	-	-	-	-	-
Cuarzo I	%	Traza	-	-	-	-	2,5
Zircón	%	-	-	-	-	-	Traza
Matriz							
Plagioclasas II	%	10	-	-	-	-	-
Vidrio	%	Traza	-	-	-	-	-
Completamente alterada	%	-	-	-	-	-	Completamente alterada
Fragmentos de roca							
Fragmentos de roca completamente alterada por agregados de cuarzo secundario, carbonatos, arcillas y sericita.	%	-	-	-	-	3	-
Minerales Secundarios							
Arcillas	%	12	82	5	26	14	7
Óxidos de hierro	%	4	1	7	1	Traza	1
Hematita	%	2	-	-	-	-	
Magnetita II	%	Traza	-	-	-	-	-
Sericita	%	-	-	-	40	38	50
Carbonatos	%	-	-	-	-	4	-
Cloritas	%	-	-	-	-	-	Traza
Sílice	%	40	-	-	-	30	-
Biotita II	%	7	-	-	-	-	-
Rutilo	%	-	1	Traza	Traza	Traza	Traza
Pirita	%	Traza	Traza	Traza	5	6	7
Marcasita	%	-	-	-	Traza	-	-
Cuarzo II	%	Traza	11	81	23	4	30
Cuarzo III	%	-	4	2	3	-	2,5
Leucoxeno	%	-	1	-	1	1	-
Alunita	%	-	-	5	-	-	-
Muscovita	%	-	-		1	Traza	-

Presencia: Se refiere a los moldes presentes en las muestras y no se reporta en porcentaje.

En cuanto a los resultados del análisis mineralógico por difracción de rayos X que consiste en la determinación semicuantitativa de las fases cristalina de las muestras de depósitos cuaternarios (GR-FT-40 y GR-FT-42), la distribución de minerales de ambas muestras se presenta en la Figura 6.67, donde se aprecia que los minerales de cuarzo, feldespato potásico (ortoclasa) y plagioclasa (andesina) se presentan en mayor porcentaje (mayores al 50%) que las micas (muscovita) y caolinita (arcillas). Los minerales que reportan valores por debajo del límite de detección son el anfíbol (actinolita), jarosita y pirita, sin embargo, indica la presencia de los minerales mencionados.

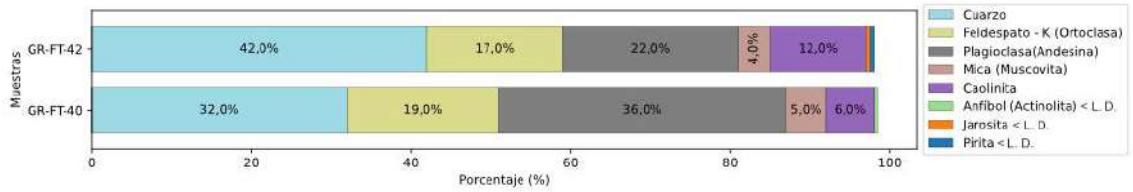


Figura 6.67. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras depósitos cuaternarios.

Con respecto al análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido de las muestras de material cuaternario (GR-FT-40 y GR-FT-42); se detalla en la Tabla 6.15 los resultados de minerales identificados, donde se presenta la goethita (oxihidróxido de hierro III), hematita (óxido de hierro), ilmenita (óxido de hierro y titanio), galena (sulfuro de plomo) y fosfato de cerio y lantano en ambas muestras. En cuanto a la cerusita (carbonato de plomo) solo se encuentra en la muestra GR-FT-40 y la magnetita (óxido de hierro) solo se presenta en la muestra GR-FT-42.

Tabla 6.15. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en las muestras de depósitos cuaternarios

Minerales identificados	Puntos de muestreo	
	GR-FT-40	GR-FT-42
Goethita (FeO.OH)	x	x
Hematita (Fe_2O_3)	x	x
Ilmenita ($FeTiO_3$)	x	x
Cerusita ($PbCO_3$)	x	-
Galena (PbS)	x	x
Molibdenita (MoS_2)	x	-
Fosfato de cerio y lantano	x	x
Magnetita (Fe_3O_4)	-	x

(-): No aplica.

De igual manera se puede apreciar en la Figura 6.68 la distribución de los elementos que conforman los minerales (ocurrencia). Es decir, los minerales que presentan mayor porcentaje de hierro en su composición son principalmente la goethita, hematita, ilmenita y magnetita; en cambio el plomo se presenta en la cerusita y galena.

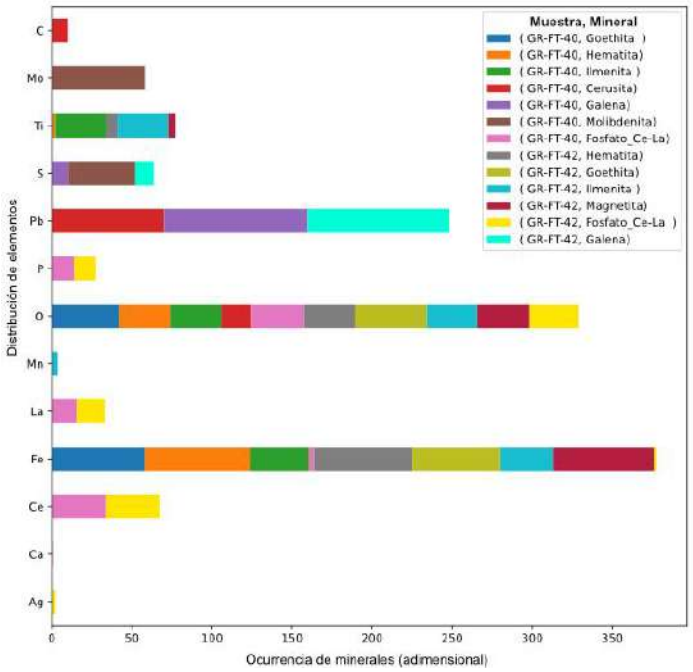


Figura 6.68. Distribución de elementos de acuerdo con la ocurrencia de minerales de las dos muestras de depósitos cuaternarios (GR-FT-40 y GR-FT-42), mediante el análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido.

6.2.2.2. Caracterización geoquímica de sedimentos de quebrada

En el presente ítem se presentan los resultados de la caracterización geoquímica de sedimentos de quebrada - depósitos cuaternarios fluviales. En la Figura 6.70, se observa la ubicación de las muestras y su clasificación entre puntos que se ubican en el río principal y quebradas aportantes. En la Figura 6.69 se presentan los resultados de metales totales de 31 muestras de sedimento comparados con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014), se observa que hay 2 grupos marcados, según su firma de distribución de elementos.

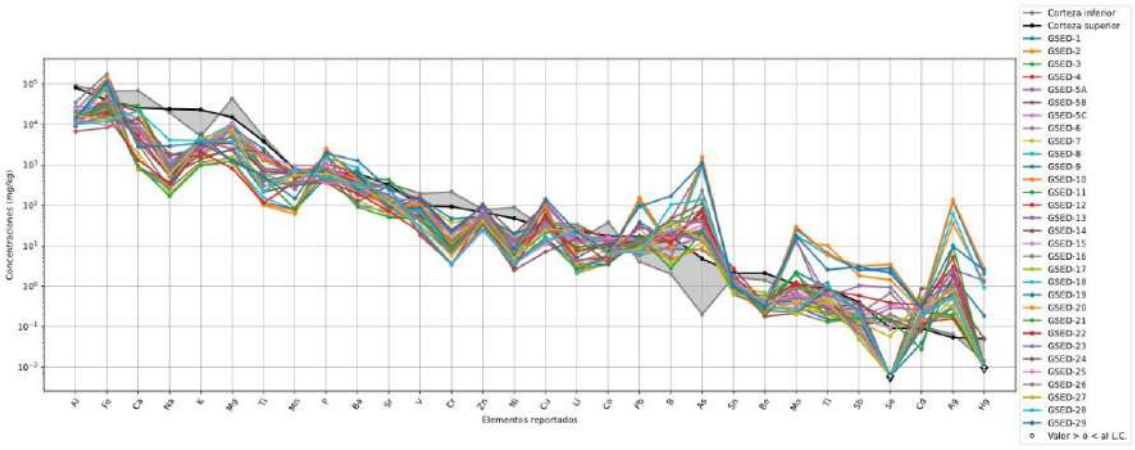


Figura 6.69. Concentraciones de metales de 31 muestras de sedimento de quebrada en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014)

Un grupo formado por los ríos principales y otro por los tributarios (Figura 6.70). Se observa que el grupo de los ríos principales presenta una anomalía de hierro en las muestras GSED-2, GSED-18, GSED-19, GSED-20, GSED-5A, GSED-29 y GSED-14 que superan el rango de concentraciones de la corteza; sin embargo, las muestras GSED-5B y GSED-5C presentaron concentraciones menor al rango establecido; es importante precisar que, las muestras de sedimentos del grupo GSED-5 (GSED-5A, GSED-5B y GSED-5C) fueron muestreadas por capas de sedimentos, siendo el material de la muestra GSED-5A la que presentó mayor porcentaje de partículas finas (limos y arcillas) y coloración anaranjado amarillento (Figura 6.72) en comparación con las muestras GSED-5B y GSED-5C.

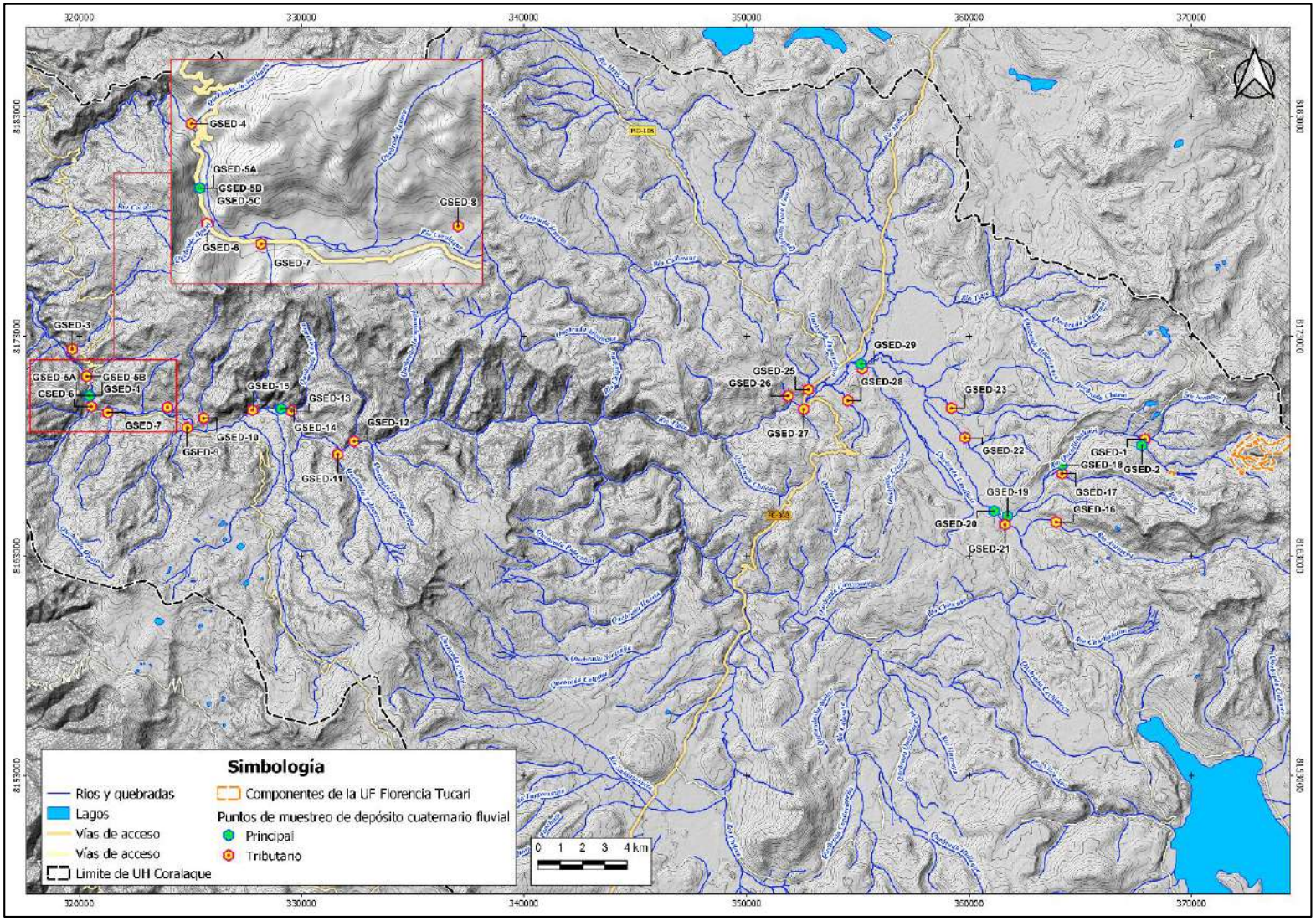


Figura 6.70. Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos de quebrada – Depósitos cuaternarios fluviales

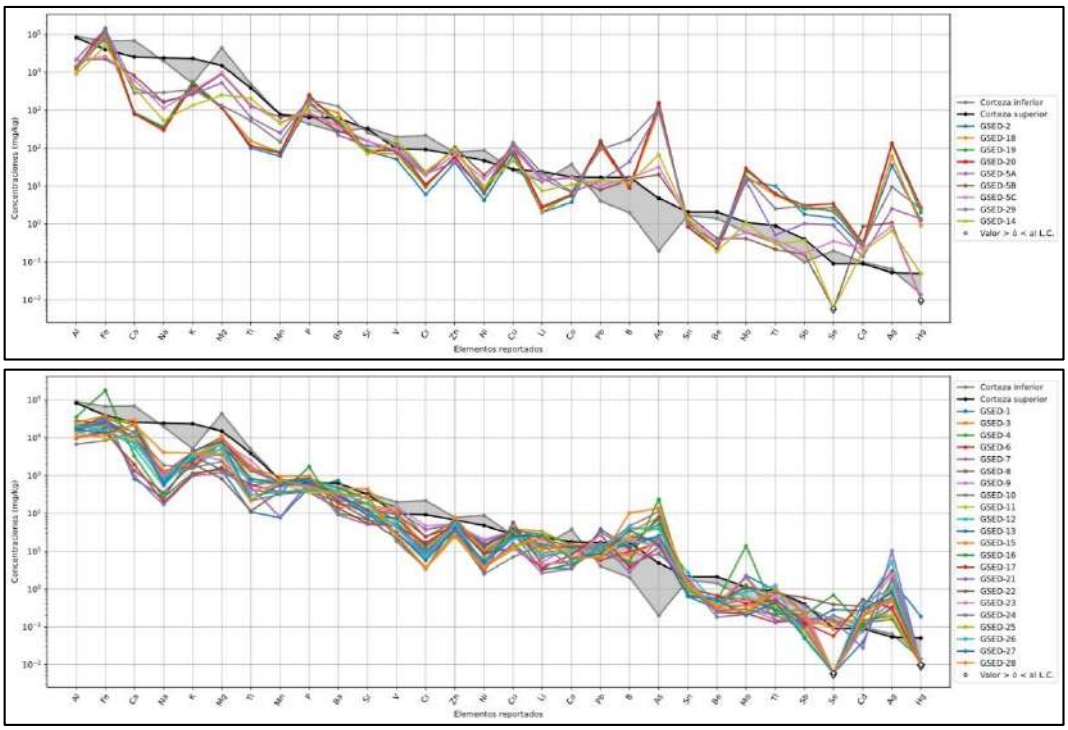


Figura 6.71. Concentraciones de metales en muestras de **a)** sedimento de quebrada del río principal y **b)** sedimentos de quebradas o ríos tributarios en comparación con el rango de concentraciones de la corteza (Rudnick, 2014)

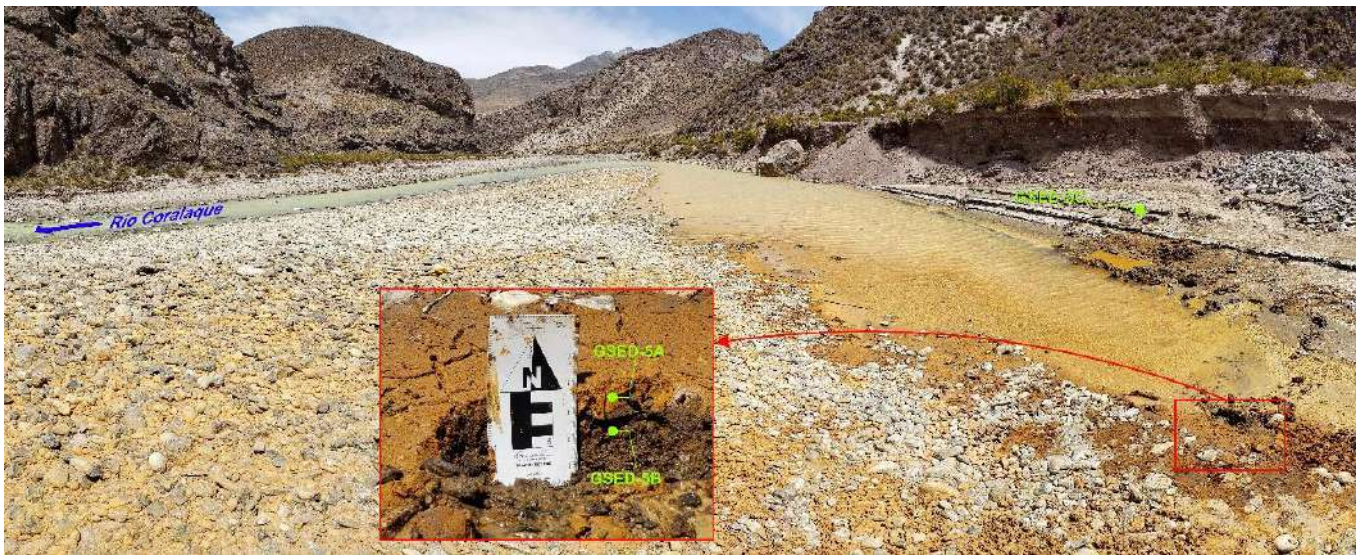


Figura 6.72. Muestra de sedimento GSED-5A de coloración anaranjado amarillento junto a las muestras GSED-5B y GSED-5C ubicadas en la llanura de inundación del río Coralaque.

6.3. Objetivo específico 3: Establecer la influencia del drenaje ácido (roca o mina), y el aporte de lodos del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia – Tucari sobre el agua, sedimento y comunidades hidrobiológicas de la unidad hidrográfica Coralaque.

Los resultados de las matrices de agua superficial, agua subterránea, sedimento y comunidades hidrobiológicas, son presentados de acuerdo con la división del área de estudio en zonas y sectores, tal como detalló en la Tabla 5.19 y Figura 5.9.

6.3.1. Zona Queullirijahuiri

Esta zona está conformada por ríos y manantiales que tienen como cuerpo principal al río Queullirijahuiri. En la Figura 5.10 se representan los puntos de muestreo por cada componente ambiental evaluado; la descripción y ubicación geográfica de cada punto de muestreo se presenta en el RC N.° 044-2020-STEC (Anexo 2).

En esta zona se evaluó 10 puntos de muestreo de agua superficial, 3 de sedimento y 8 de comunidades hidrobiológicas. Los resultados por componente ambiental de esta sección se presentan en el RRE N.° 046-2020-STEC (Anexo 3).

6.3.1.1. Agua superficial

I. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

Los resultados se exponen mediante Tablas en este ítem, de aquellos parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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. En el Anexo 3 (RRE N.° 046-2020-STEC) se encuentra el detalle de los resultados.

En esta zona se evaluó diez puntos de muestreo de los cuales cinco son manantiales (MT-33, MT-34, MT-31, MT-32 y MT-35) que aportan a la formación del río Queullirijahuiri a igual que los flujos de agua TU-16 (margen derecho) y AG-13 (margen izquierdo).

Los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y bebida de animales) en los puntos de muestreo de la naciente del río Queullirijahuiri, se presentan en la Tabla 6.16; asimismo, en la Tabla 6.17. se detallan sus valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

En las tablas referidas resaltan las características ácidas de la zona evaluada, cuyos valores pH oscilaron entre 2,70 y 5,53 unidades de pH siendo el manantial (MT-35) el más ácido. Además, se observó que el punto AG-13 presentó las mayores concentraciones de aluminio, hierro, cobalto y níquel.

Tabla 6.16. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 en la zona Queullirijahuiri

N.°	Zona	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
				D.S. N.° 002-2008-MINAM - Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
1	Queullirijahuiri	Naciente Queullirijahuiri	TU-16	pH, cloruros, B y Mn	pH y Mn
2		Manantiales	MT-33	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, sulfatos, Al, B, Fe, Mn y Ni
3			MT-34	pH, cloruros, sulfatos, Al, Co, Fe y Mn	pH, sulfatos, Al, Fe y Mn
4			MT-31	pH, OD, cloruros, sulfatos, Al, As, B, Co, Fe y Mn	pH, OD, sulfatos, Al, Fe y Mn
5		Río Queullirijahuiri	AG-13	pH, CE, cloruros, fluoruros, sulfatos, Al, B, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, sulfatos, Al, Fe, Mn y Ni
6		Manantiales	MT-32	pH, OD, cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, Al, Fe y Mn
7			MT-35	pH, OD, cloruros, sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Fe, Mn y Pb	pH, OD, sulfatos, Al, As, Fe, Mn y Pb
8		Río Queullirijahuiri	AG-14	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, sulfatos, Al, Fe y Mn
9			MA-15*	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, sulfatos, Al, Fe y Mn
10			AG-17	pH, cloruros, sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, sulfatos, Al, Fe y Mn

pH: Potencial de hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, OD: oxígeno disuelto, Al: Aluminio, B: Boro, Cd: Cadmio, Co: Cobalto, Fe: Hierro, Mn: Manganeso y Ni: Níquel.
*: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C,

Cabe precisar que, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en manantiales es una característica natural, al ser punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, aflora en superficie una cantidad apreciable de agua, procedente de un acuífero o acuíferos, presentan bajas concentraciones debido a su baja interacción con la atmósfera y acción fotosintética. En cuanto a los cloruros y boro se reportaron bajas concentraciones, muy por debajo del rango establecido en los ECA para agua categoría 3, riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.

Tabla 6.17. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3.

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	*In situ*			Fisicoquímicos			Metales totales								
		pH	CE	OD	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Al	As	B	Cd	Co	Fe	Mn	Ni	Pb
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Naciente Queullirijahuiri	TU-16	5,53	443	5,92	0,51	0,14	188	0,327	0,00016	0,008	0,00066	0,00048	0,07	0,41003	0,0393	0,00025
Manantiales	MT-33	3,58	1218	5,70	0,78	0,64	717	128	0,00234	0,010	0,00907	0,17952	1,7	4,7323	0,2423	0,00065
	MT-34	3,21	1070	6,55	0,73	0,73	708	49,2	0,00998	< 0,002	0,00136	0,05882	45	3,7406	0,0493	< 0,00006
	MT-31	3,34	1655	3,42	0,87	0,98	1524	193	0,07281	0,009	0,00068	0,1763	55	3,0898	0,1529	0,00103
Río Queullirijahuiri	AG-13	2,87	2150	6,09	1,75	1,30	1404	265	0,03362	0,014	0,0075	0,30756	95	4,4007	0,3155	0,00326
Manantiales	MT-32	3,21	925	4,98	0,81	0,49	380	58	0,00278	0,015	0,00096	0,05256	31	1,497	0,062	0,00062
	MT-35	2,70	1591	1,36	0,77	0,45	501	58,2	0,57093	0,012	0,00995	0,1943	82	1,2102	0,1946	0,07143
Río Queullirijahuiri	AG-14	3,11	1320	6,21	0,94	1,00	846	112	0,04047	0,015	0,00232	0,13078	53	2,0452	0,1473	0,00041
	MA-15*	3,21	1000	6,70	0,90	0,80	663	64,4	0,00504	0,013	0,00148	0,07492	19	1,5689	0,0875	0,00029
	AG-17	3,39	792	6,90	0,85	0,67	531	36,2	0,00536	0,012	0,00122	0,05299	9,6	1,2921	0,0582	0,0012
ECA para agua 2008[1]	RV	**6,5 - 8,5**	**< 2000**	**≥ 4**	**100 - 700**	**1**	**300**	**5**	**0,05**	**0,5 - 6**	**0,005**	**0,05**	**1**	**0,2**	**0,2**	**0,05**
	BA	**6,5 - 8,4**	**≤ 5000**	**> 5**	******	**2**	**500**	**5**	**0,1**	**5**	**0,01**	**1**	**1**	**0,2**	**0,2**	**0,05**

Fuente: Informes de ensayo N° SAA-20/00656, SAA-20/00655 (MT y MD) y SAA-20/00628 (TSS, TDS y aniones) de Laboratorio AGQ PERÚ SAC.

Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.

Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.

«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales.

«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado por D.S. N.° 002-2008- MINAM

«*»: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C

«**»: El parámetro No aplica en esta subcategoría

<: Menor al límite de detección del método de análisis.

II. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

En los siguientes párrafos se presenta aquellos parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido los valores de los ECA para agua 2017 Cat.3-D1 y D2, en la zona Queullirijahuiri. En el Anexo 3 (RRE N.° 046-2020-STEC) se encuentra el detalle de los resultados.

- **Potencial de hidrógeno – pH:** El potencial de hidrógeno reportado en la naciente del río Queullirijahuiri (TU-16), en los manantiales MT-33, MT-34, MT-31, MT-32 y MT-35 (aportantes) y en el cuerpo principal fueron registraron fuera del rango establecido (valor mínimo) en los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2, sugiriendo que el agua de esta zona es ácida desde la naciente hasta la confluencia con el río Margaritani - AG-17 (Figura 6.73a)

- **Fluoruros:** La concentración de fluoruros en el punto AG-13 ubicado en naciente del río Queullirijahuiri (margen izquierdo), fue el único que excedió el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (1 mg/l), este valor estaría relacionado al entorno geológico, rocas volcánicas (grupo Barroso), que mediante procesos de disolución pueden liberar fluoruros y otros iones (Trejo-Vázquez *et al.*, 1997), Figura 6.73b.

- **Sulfatos:** Las concentraciones de sulfatos en manantial MT 31 (aportante) y en el flujo AG-13 (aportante por el margen izquierdo al río Queullirijahuiri), excedieron los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 (Figura 6.73c).

- **Aluminio – Al:** Las concentraciones de aluminio en esta zona de evaluación excedieron los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 en todos los puntos evaluados en esta zona, a excepción del flujo de agua TU-16 adyacente al nevado Quihuiri (Figura 6.73d).

- **Arsénico – As:** Las concentraciones de arsénico en zona de evaluación, excedieron los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (0,1 mg/L) y D2 (0,2 mg/L), únicamente en el manantial MT-35, manantial surgente en una roca fracturada (Figura 6.74a).

- **Cobalto – Co:** Las concentraciones de cobalto excedieron únicamente el valor del ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (0,05 mg/L) en todos los puntos evaluados, a excepción del flujo de agua TU-16 (naciente), Figura 6.74b.

- **Hierro – Fe: L**as concentraciones de hierro en esta zona de evaluación excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (5 mg/L) en todos los puntos evaluados, a excepción del manantial (MT-33) y flujo de agua (TU-16), Figura 6.74c

- **Manganeso – Mn: L**as concentraciones de manganeso excedieron los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 (0,2 mg/l) en todos los cuerpos de agua, a excepción del flujo de agua (TU-16), Figura 6.74d.

- **Níquel – Ni:** Las concentraciones de níquel excedieron únicamente el valor del ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (0,2 mg/L) en el manantial MT-33 y en el flujo de agua AG-13 naciente del río Queullirijahuiri (Figura 6.75a).

- **Plomo – Pb:** Las concentraciones de plomo excedieron los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 (0,05 mg/L) únicamente en el manantial MT-35, manantial surgente en una roca fracturada (Figura 6.75b).

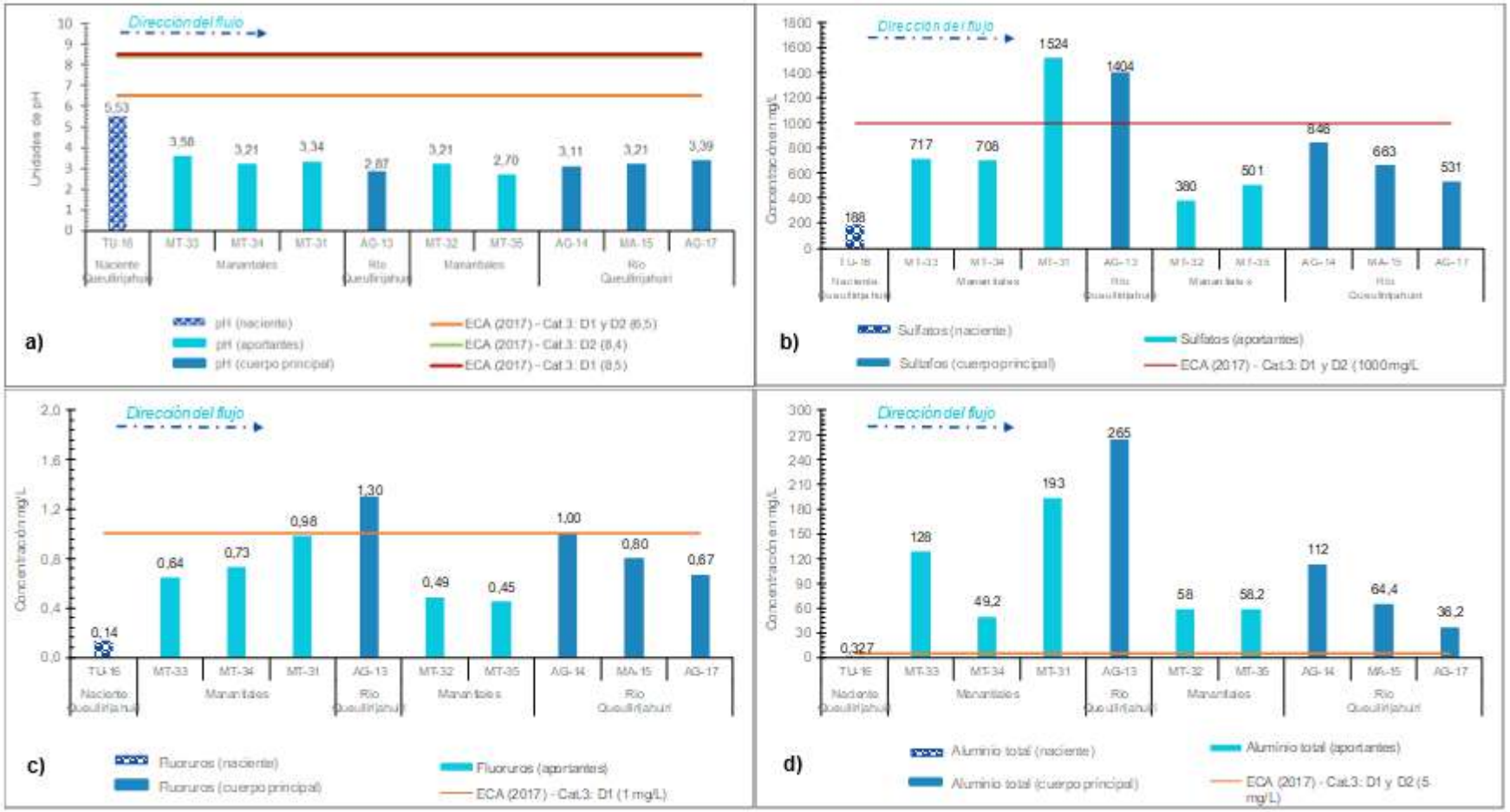


Figura 6.73. Valores y concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Queullirijahuiri comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrógeno, b) fluoruros, c) sulfatos y d) aluminio

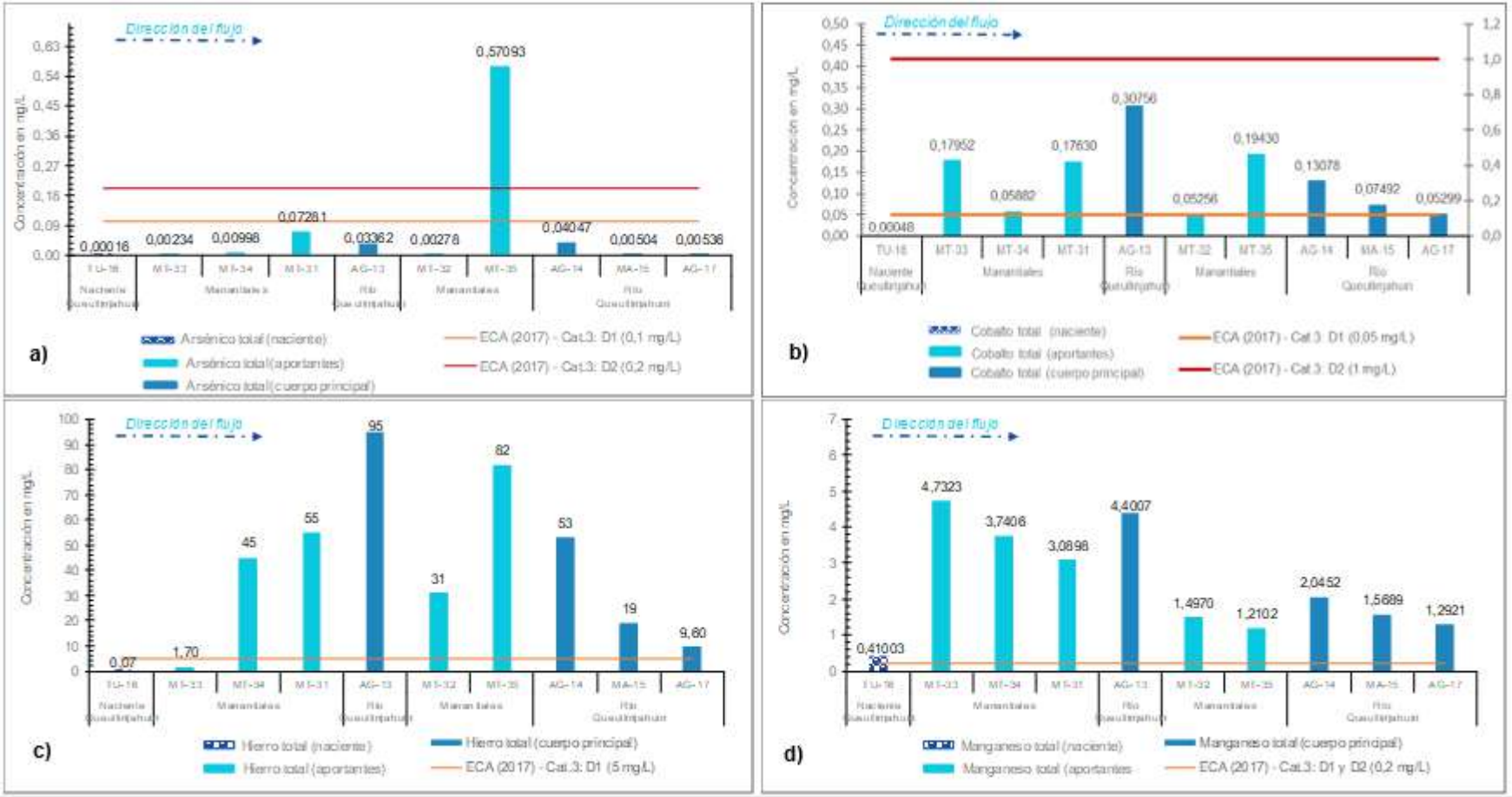


Figura 6.74. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Queullirijahuiri comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) arsénico, b) cobalto, c) hierro y d) manganeso.

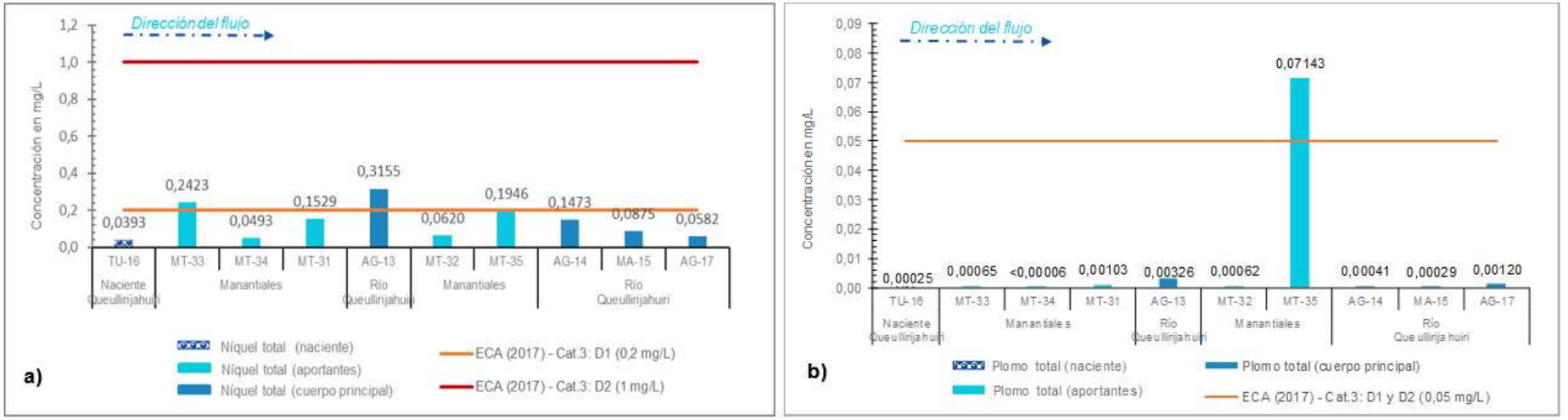


Figura 6.75. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Queullirijahuiri comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Níquel y b) Plomo

6.3.1.2. Sedimento

La zona Queullirijahuiri, comprendió los puntos de muestreo ubicados en el río Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17). Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en esta zona se presentan en la Tabla 6.18 y Figura 6.76. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo 3 (RRE-046-2020-STEC).

Tabla 6.18. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo Río Queullirijahuiri		
		AG-14	MA-15	AG-17
pH	Unidades de pH	2,83	3,11	3,10
Sulfatos	mg/kg S	9882	6529	3608
Materia orgánica	%	0,3	1	<0,3
Grava	%	0	16,65	0
Arcilla	%	4,24	3,17	8,17
Limo	%	14,64	10,91	29,53
Arena	%	81,16	69,22	62,28
Clase textural	-	Arena arcillosa	Arena gravosa arcillosa	Franco arenoso
Fe	mg/kg PS	104509	83775	39038
Cu	mg/kg PS	22	18	19
Pb	mg/kg PS	61	60,6	33
Zn	mg/kg PS	16	15	30
Cd	mg/kg PS	0,02208	0,04333	0,03094
Co	mg/kg PS	1,826	1,615	3,534
Cr	mg/kg PS	12,2	6,887	3,114
Ni	mg/kg PS	2,1	1,76	3,28
Hg	mg/kg PS	0,028	0,026	0,078
As	mg/kg PS	301	210	84
Sb	mg/kg PS	0,3942	0,4756	0,0737
Al	mg/kg PS	15413	12020	17359
Mn	mg/kg PS	63,9	56,3	90,2
Ca	mg/kg PS	490	432,5	694,3
Na	mg/kg PS	107	103	142
K	mg/kg PS	1425	1300	2817
Mg	mg/kg PS	1523	1396	1394
Ba	mg/kg PS	349,5	286,2	377,7

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C, ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C.

De acuerdo con la Tabla 6.18 y Figura 6.76, se obtuvieron valores de pH desde 2,83 hasta 3,11, lo que evidencia sedimentos de características ácidas en el río Queullirijahuiri desde la naciente (AG-14) hasta antes de la confluencia con el río Margaritani (AG-17).

Se encontró un bajo contenido de materia orgánica en esta zona del río Queullirijahuiri con valores desde <0,3 hasta 1%; asimismo, el contenido de partículas finas (siendo uno de los factores naturales más importantes capaz de variar la concentración de metales pesados en el sedimento) fue menor al 20 % entre limo y arcilla, en los puntos AG-14 y MA-15, y se duplica aproximadamente (8,17 y 29,53 % de arcilla y limo respectivamente), en el punto AG-17.

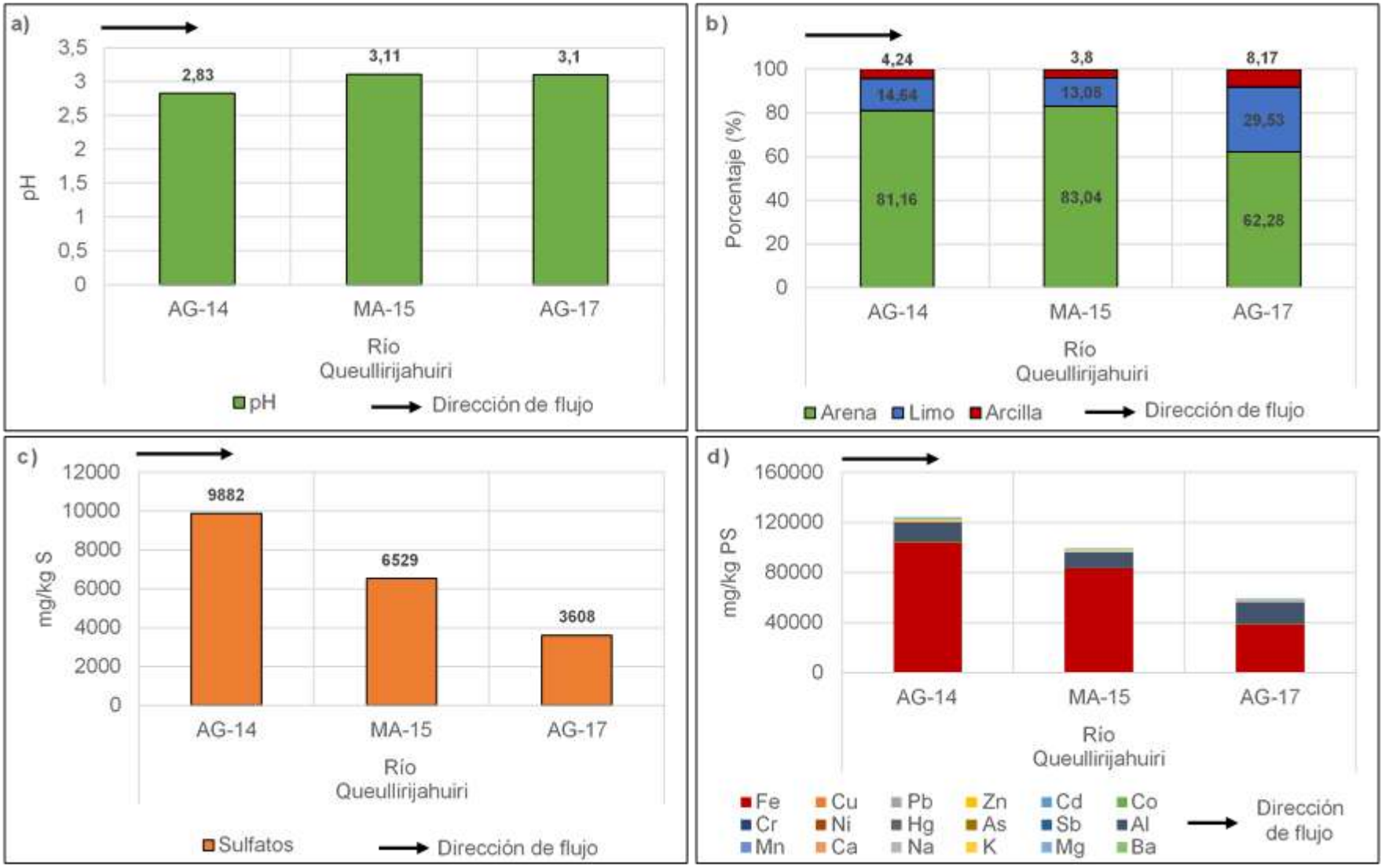


Figura 6.76. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico, **c)** sulfatos y **d)** concentraciones de metales y otros elementos en la zona Queullirijahuiri

En cuanto a las concentraciones de sulfatos (9882 – 3608 mg/kg S), hierro (104509 – 39038 mg/kg PS), plomo (61 – 33 mg/kg PS), cromo (12,2 - 3,114 mg/kg PS), arsénico (301 – 84 mg/kg PS), se evidencia una disminución de los valores en los sedimentos del río Queullirijahuiri, desde la naciente (punto AG-14) hacia la confluencia con el río Margaritani (punto AG-17). Además, se obtuvieron concentraciones bajas de cobre (19 -22 mg/kg PS), zinc (15-30 mg/kg PS), cadmio (0,02208 - 0,04333 mg/kg PS), cobalto (1,615 - 3,534 mg/kg PS), cromo (3,114 - 12,2 mg/kg PS), níquel (1,76 - 3,28 mg/kg PS), mercurio (0,026 - 0,078 mg/kg PS) y manganeso (56,3 - 90,2 mg/kg PS).

Las características de pH ácido, sulfatos, hierro y otros metales encontrados en los sedimentos de la parte alta del río Queullirijahuiri (punto AG-14), estarían relacionados a flujos de agua en contacto con sulfuros oxidados (Schiermund y Drozd, 1997), y son las condiciones naturales establecidas en la zona; teniendo en consideración que este tramo del río Queullirijahuiri no tiene influencia de actividades mineras, y fue considerado en la presente evaluación como un sitio de referencia (blanco).

Concentraciones de metales que excedieron los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.19, se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en la zona Queullirijahuiri, comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Tabla 6.19. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
AG-14	Río Queullirijahuiri	301	0,02208	22	12,2	0,028	61	16
MA-15		210	0,04333	18	6,887	0,026	60,6	15
AG-17		84	0,03094	19	3,114	0,078	33	30
CEQG[a]	ISQG [b]	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL[c]	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*
(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos
(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

De acuerdo con la Tabla 6.19, sólo las concentraciones de arsénico obtenidas en la zona Queullirijahuiri (puntos AG-14, MA-15 y AG-17) excedieron los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG, y las concentraciones de plomo en los puntos AG-14 y MA-15 (61 y 60,6 mg/kg PS respectivamente) superaron el valor ISQG; mientras que las concentraciones de cadmio, cobre, cromo, mercurio y zinc no excedieron los valores ISQG y PEL de la mencionada guía de comparación.

Extracción secuencial de metales en sedimento

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en la Tabla 6.20 y las Figura 6.77 y 6.78. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo de la zona Queullirijahuiri.

Se aprecia que las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual) representan desde el 30 % hasta 86,16 % para los metales cobalto, cobre, níquel, zinc, hierro y manganeso en los 3 puntos de muestreo (AG-14, MA-15 y AG-17) del río Queullirijahuiri; mientras que para el plomo estas fracciones representan más del 90 %. La cantidad encontrada de estos metales en el sedimento del río Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) para la fracción 5, se liberaría al medio en condiciones oxidantes, donde la materia orgánica se degrada; mientras que las proporciones de metales obtenidas en la fracción 6 (enlazado a minerales primarios y secundarios), no se liberarían en solución durante un periodo de tiempo amplio en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza (sin influencia de actividades antropogénicas).

Tabla 6.20. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Queullirijahuiri

Fracciones	Cd (mg/kg)			Co (mg/kg)			Cu (mg/kg)			Ni (mg/kg)			Pb (mg/kg)			Zn (mg/kg)			Fe (mg/kg)			Mn (mg/kg)		
	AG-14	MA-15	AG-17	AG-14	MA-15	AG-17	AG-14	MA-15	AG-17	AG-14	MA-15	AG-17	AG-14	MA-15	AG-17	AG-14	MA-15	AG-17	AG-14	MA-15	AG-17	AG-14	MA-15	AG-17
F1	<0,05	<0,05	<0,05	0,25	0,18	0,53	0,97	1,29	2,69	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,74	0,57	<5,0	<5,0	5,9	14621	8798	6649	11,46	6,13	32,03
F2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	<0,05	<0,05	0,24	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5,0	<5,0	<5,0	4915	4045	5286	1,7	1,3	8,6
F3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,097	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5,0	<5,0	<5,0	2130	1801	670,5	0,56	<0,5	2,15
F4	<0,05	<0,05	<0,05	0,194	0,122	0,284	0,536	0,202	1,323	<0,5	<0,5	<0,5	1,29	0,82	1,16	<5,0	<5,0	6,42	14874	16593	4250	12,31	5,48	9,1
F5	<0,05	<0,05	<0,05	0,203	0,313	0,833	3,517	3,969	8,04	<0,5	<0,5	0,83	9,56	16,05	18,43	<5,0	5,42	9,97	17325	17234	11130	5,83	9,31	15,31
F6	<0,05	<0,05	<0,05	0,524	0,394	1,026	6,17	3,01	3,1	0,92	0,65	1,32	17,55	8,53	7,22	6,65	<5,0	8,02	11192	5892	4793	11,6	8,3	9,6
Suma de fracciones	*	*	*	1,171	1,009	2,773	11,193	8,471	15,490	0,920	0,650	2,150	28,400	26,140	27,380	6,650	5,420	30,310	65057	54363	32778	43,460	30,520	76,790

Fuente: Anexo 3 (Reporte de resultados).

F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.

<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.

(*): No aplica, puesto que los resultados de las 6 fracciones se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio (< 0,05 mg/kg).

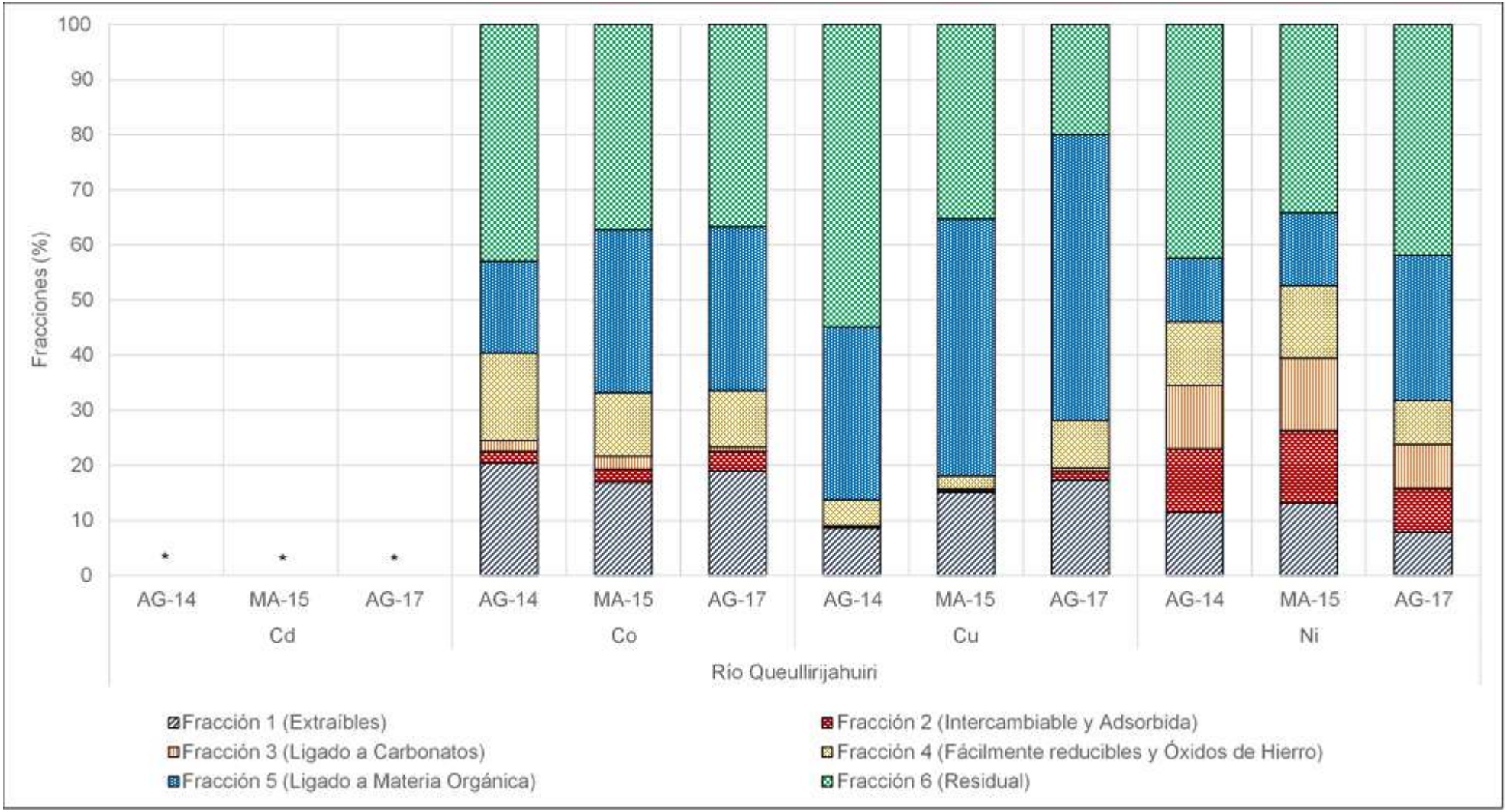


Figura 6.77. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri

(*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos de los puntos AG-14, MA-15 y AG-17.

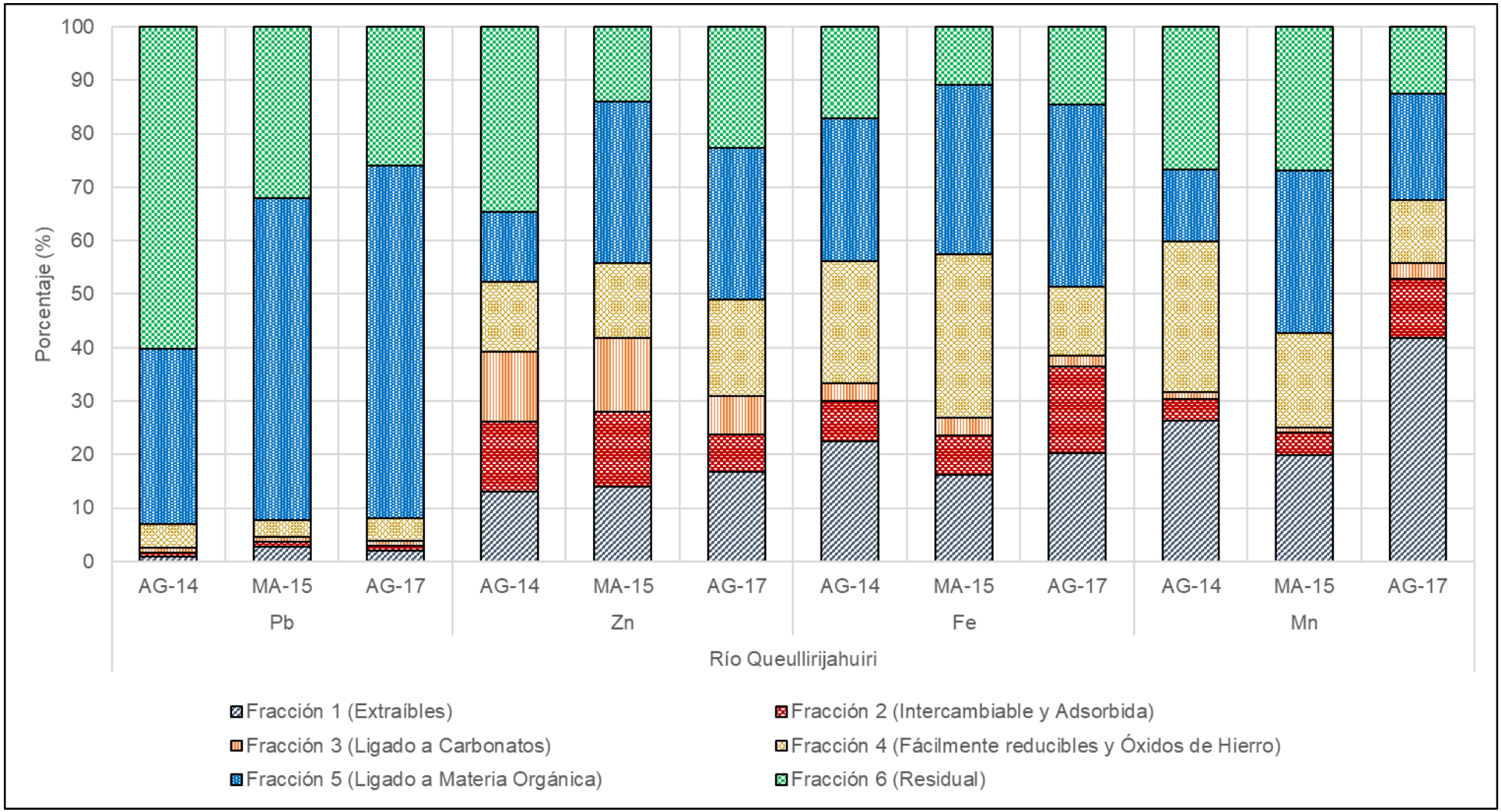


Figura 6.78. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri

Asimismo, las proporciones de los metales cobalto, cobre, plomo, zinc, hierro y manganeso para los sedimentos de la zona Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) en la fracción 1 (extraíbles), van desde 2,77 % a 41,71 %; el contenido de metales representado en esta fracción puede liberarse desde los sedimentos hacia la columna de agua, por cambios en la composición iónica del agua que afectan los procesos de sorción – desorción.

En la fracción 4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) se obtuvieron porcentajes de cobalto cobre, plomo, zinc, hierro y manganeso desde 2,37 % a 30,52 %. La generación de condiciones anóxicas en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de metales de la fracción 4, puesto que los óxidos de hierro y manganeso son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

Por último, sólo se registraron cantidades significativas de hierro y manganeso en los sedimentos del río Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) para la fracción 3 (ligado a carbonatos), con porcentajes bajos desde 0,81 % a 3,31 %. Los metales unidos a esta fracción pueden ser susceptibles a cambios de pH en el sistema, que ocasionaría que el contenido de metales en el sedimento sea liberado.

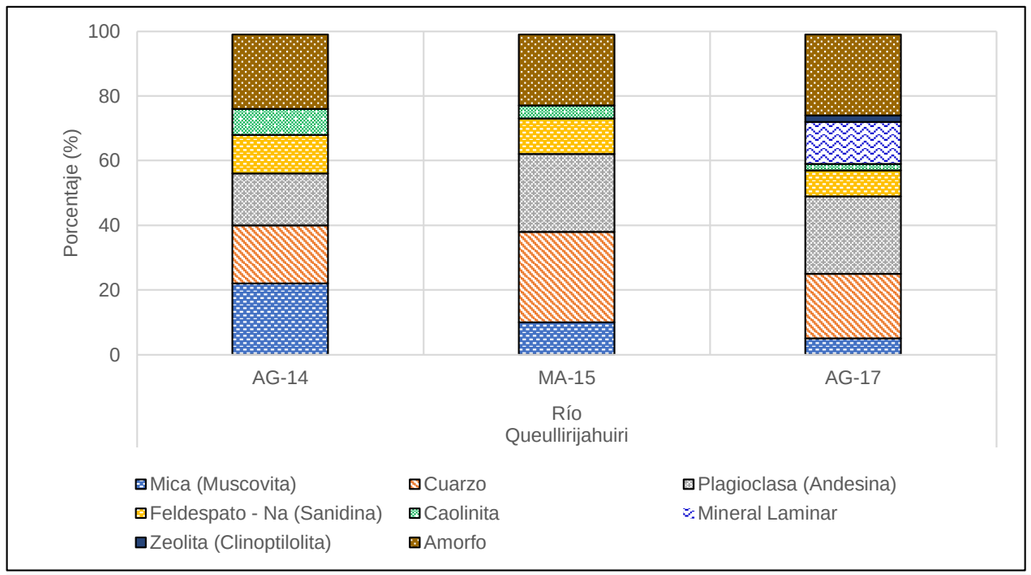
Análisis mineralógico

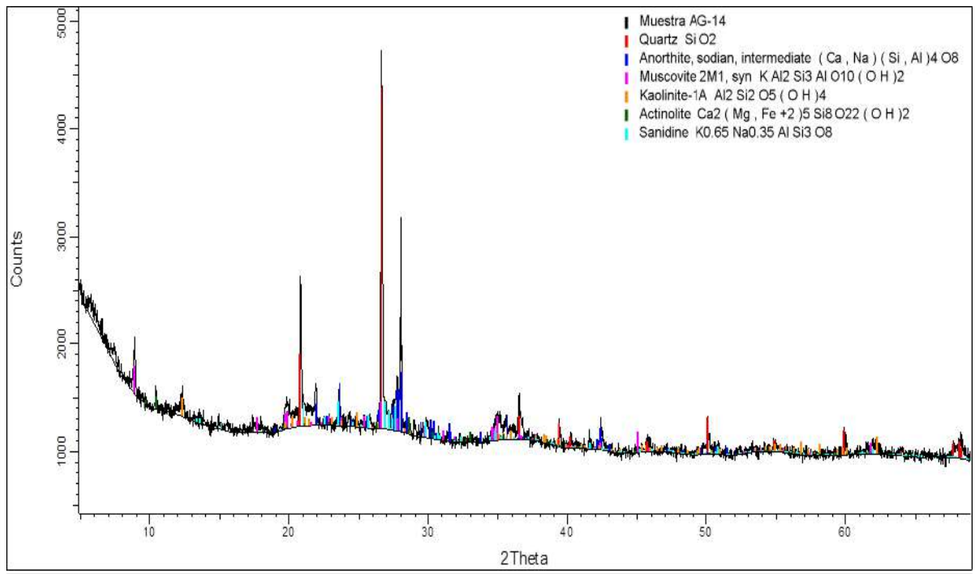
Difracción de rayos X

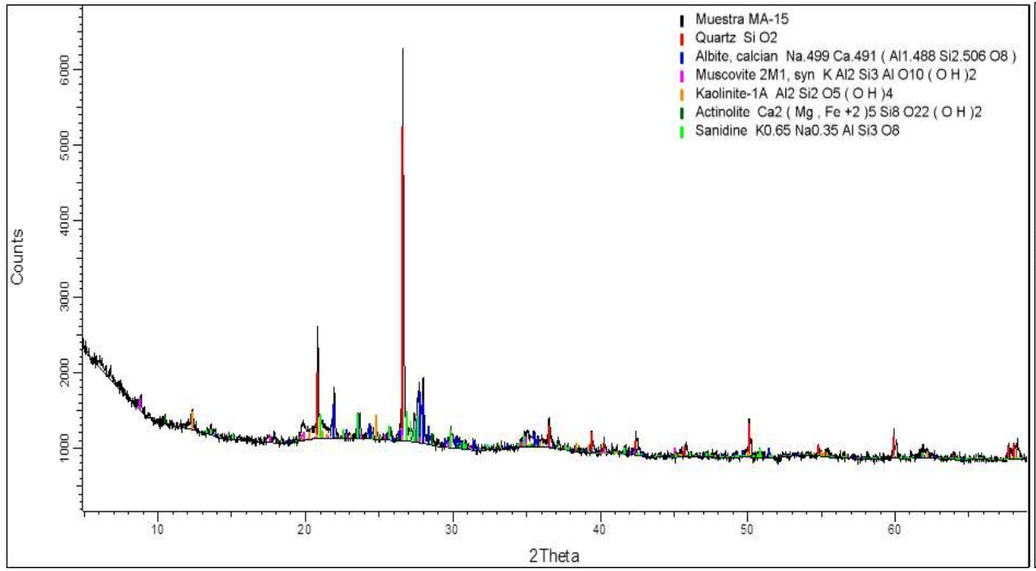
El análisis mineralógico (difracción de rayos X) del sedimento de la zona Queullirijahuiri se presenta en la Figura 6.79.

La composición mineralógica de los sedimentos del río Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) consistió principalmente de minerales como micas (muscovita), cuarzo, plagioclasa (andesina) y feldespato, que en conjunto representa más del 50% para cada punto de muestreo.

La presencia de otros minerales como caolinita (8%, 4% y 2%) en los tres puntos de muestreo (AG-14, MA-15 y AG-17), así como mineral laminar (13%) y zeolita (2%) en el punto AG-17, encontrados en menores proporciones, refleja la heterogeneidad de los materiales presentes (minerales) debido a los procesos de alteración que ocurren en la zona Queullirijahuiri, considerando que esta parte del río no tiene influencia de actividades mineras. Por otra parte, en esta zona del río Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) no se identificaron minerales como schwertmannita, goethita o jarosita, los cuales están relacionados con un alto contenido de hierro (total y disuelto) en el sedimento o la columna de agua asociada.







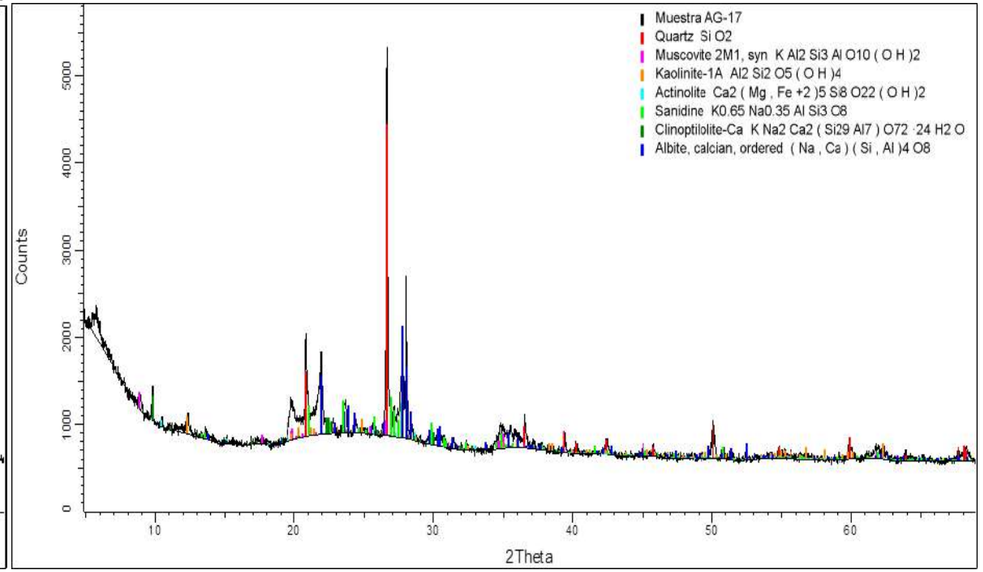


Figura 6.79. Composición mineralógica (%) obtenida en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido de los sedimentos de la zona Queullirijahuiri se presentan en la Tabla 6.21.

Tabla 6.21. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri

Minerales identificados	Puntos de muestreo		
	Río Queullirijahuiri	Río Queullirijahuiri	Río Queullirijahuiri
	AG-14	MA-15	AG-17
Ilmenita ($FeTiO_3$)	x	-	-
Goethita (FeO.OH)	x	x	x
Magnetita (Fe_3O_4)	x	x	-
Baritina ($BaSO_4$)	x	x	x
Cerusita ($PbCO_3$)	x	x	x
Molibdenita (MoS_2)	-	x	-
Fosfato de cerio y lantano	-	x	-
Pirolusita (MnO_2)	-	-	x
Galena (PbS)	-	-	x

(-): No aplica.

Se identificaron minerales basados en hierro en los sedimentos del río Queullirijahuiri tales como ilmenita (AG-14), goethita (AG-14, MA-15 y AG-17) y magnetita (AG-14 y MA-15). La formación de este mineral depende del pH y las concentraciones de sulfatos, como los identificados en los puntos AG-14, MA-15 y AG-17. Además, se identificaron minerales de sulfuros de molibdeno (molibdenita) y plomo (galena) en los sedimentos de los puntos MA-15 y AG-17.

6.3.1.3.Comunidades hidrobiológicas

Se evaluaron 4 puntos en la naciente del río Queullirijahuiri, sin evidenciarse alguna influencia de la actividad minera en el mismo.

Perifiton

Composición, riqueza y abundancia de especies

Se registraron 21 especies en la comunidad del perifiton, de las cuales 20 fueron microalgas y están distribuidos en 4 phyla. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza con 11 especies (55 %), seguido de Cyanobacteria con 5 especies (25 %), Chlorophyta con 3 especies (15 %) y Charophyta con 1 especie (5 %), en adelante los resultados se mostrarán para la parte de microalgas que fue la dominante sobre los microorganismos.

En lo referente al acumulado total para la zona Queullirijahuiri el género *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta representó la mayor riqueza con 6 especies. El punto HB-AG-17 fue el de mayor riqueza de especies; en general en el río Queullirijahuiri se presentó bajo número de riqueza, de las 12 muestras evaluadas en 4 puntos de muestreo 5 tuvieron más de 4 especies 6 muestras presentaron 2 o 1 especie y una réplica en el punto HB-AG-13 resultó con 0 especies reportadas. (Figura 6.80).

De los 6 manantiales evaluados en esta zona, la composición de especies en 5 de ellos estuvo restringidas a un solo phylum, pudiendo ser especies solo de Bacillariophyta o Cyanobacteria; sin embargo, en ninguno de ellos se registró el phylum Charophyta

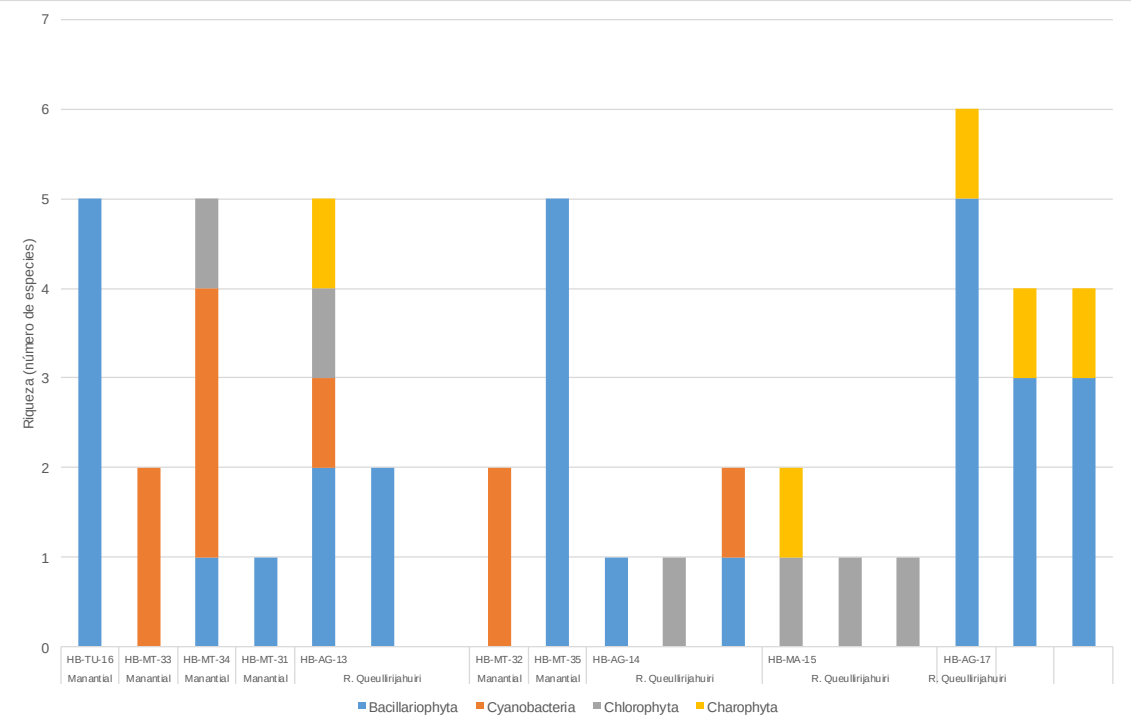


Figura 6.80. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

La abundancia total en la temporada de muestreo fue de 2 877 731 organismos/cm^2 de microalgas, los cuales pertenecen a los phyla Bacillariophyta (2 112 582 organismos/cm^2), Cyanobacteria (376 049 organismos/cm^2), Chlorophyta (27 142 organismos/cm^2) y Charophyta (361 958 organismos/cm^2), Figura 6.80.

La abundancia de Charophyta se debe al género *Klebsormidium* sp. el cual corresponde a la única especie registrada para este phylum, y se presentó solo en en el río Queullirijahuiri, este género es conocido por una gran cantidad de especies acidófilas (afines a ambientes de pH ácido) y su tolerancia a metales (*Nixdorf et al., 2001; Verb and Vis, 2001; Sabater et al., 2003).*

El punto de mayor abundancia fue HB-AG-17 donde se registró una predominancia del género *Pinnularia* sp. conocido por presentar especies acidófilas (Krammer, 2000)., Figura 6.81

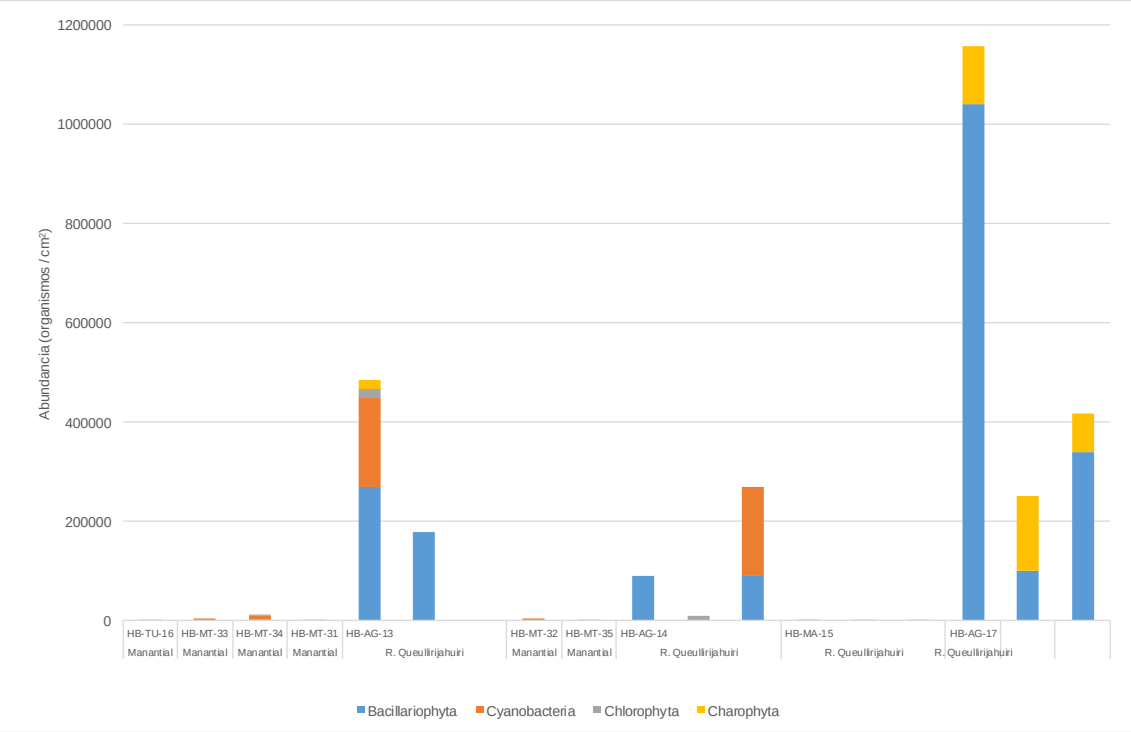


Figura 6.81. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

El ensamble del macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 12 especies, 6 familias, 4 órdenes, 2 clases y 1 phylum, según su categoría taxonómica. El orden con mayor número de especies fue Diptera con 9 especies, mientras que los órdenes Coleoptera, Plecoptera y Sarcopteriformes presentaron 1 especie cada uno (Anexo 3).

El punto de muestreo con mayor número de especies fue HB-AG-14 con 9 especies, mientras que el punto de muestreo con menor número de especies fue HB-AG-13 con 2 especies. El orden Diptera fue el de mayor riqueza en todos los puntos del río Queullirijahuiri, presentando una alta riqueza (>5 especies) en los puntos HB-AG-14, HB-MA-15 y HB-AG-17. Este orden fue el único colectado en común respecto al total de puntos evaluados (Figura 6.82).

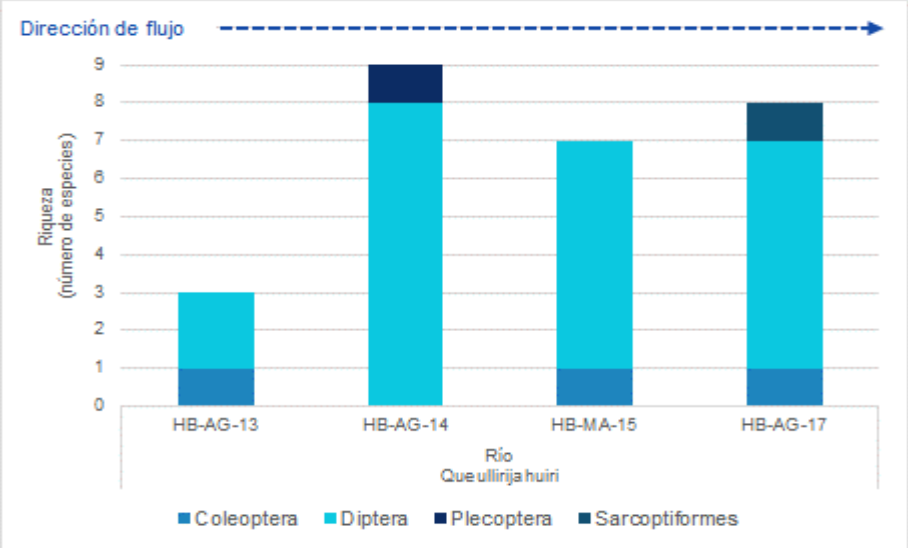


Figura 6.82. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 128,83 ± 41,10 organismos/0,09m^2. El punto de muestreo con mayor densidad fue HB-AG-17 con 213,00 ± 67,35 organismos/0,09m^2, mientras que el punto de muestreo con menor densidad fue HB-AG-13 con 29,33 ± 17,80 organismos/0,09m^2. Como ya se indicó, el orden Diptera se colectó en todos los puntos de muestreo, siendo el de mayor densidad en todos ellos, en comparación al resto de órdenes (Figura 6.83).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥33,3%) y abundancia relativa (>1,50%) fueron *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp. y *Podonomus* sp. pertenecientes al orden Diptera, familia Chironomidae (Anexo 3). Estas especies serán seleccionadas para el análisis de correlación canónica (ACC).

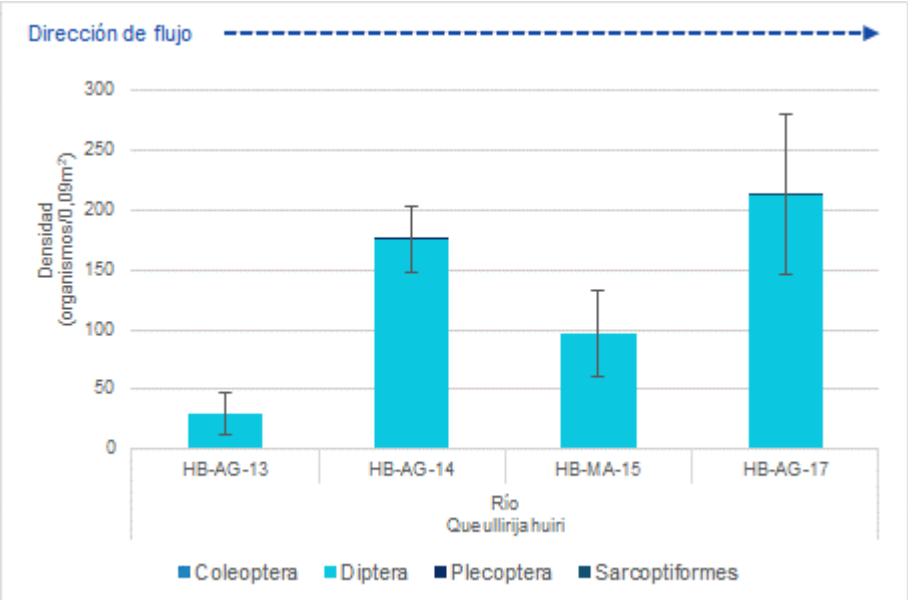


Figura 6.83. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

Diversidad alfa y beta

De acuerdo con la Figura 6.84, el índice de dominancia de Simpson varió desde 0,83 ± 0,08 (HB-MA-15) hasta 0,90 ± 0,06 (HB-AG-13). El índice de equidad de Pielou varió desde 0,19 ± 0,05 (HB-AG-14) hasta 0,34 ± 0,04 (HB-AG-13). La diversidad de Shannon-Wiener varió desde 0,30 ± 0,14 bits/individuo (HB-AG-13) hasta 0,62 ± 0,15 bits/individuo (HB-MA-15). Se observaron valores reducidos de diversidad (<1,00 bit/individuo) relacionados a una alta dominancia de una o pocas especies (>0,80), dada principalmente por *Podonomus* sp. en cada uno de los puntos (>25 organismos/0,09m^2).

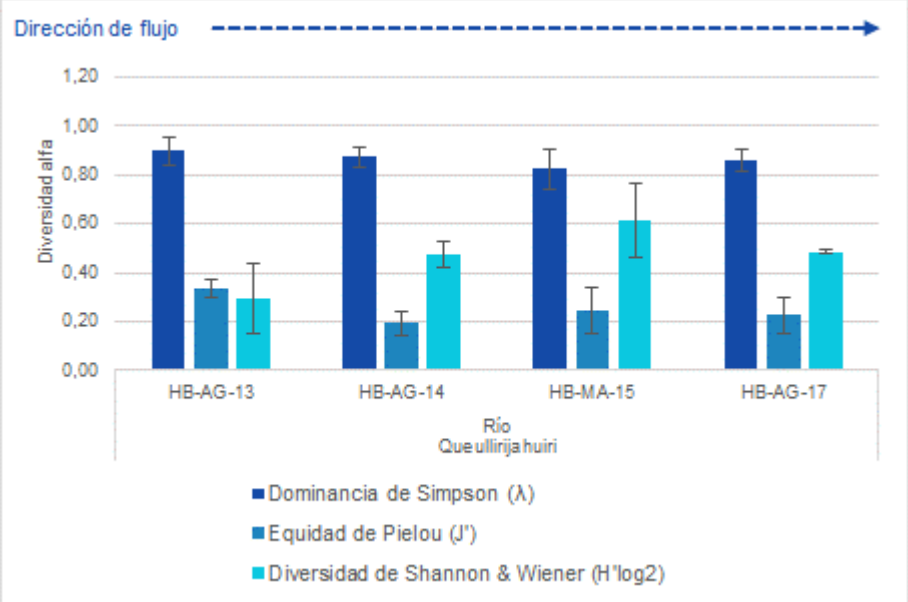


Figura 6.84. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

En relación con el análisis de diversidad beta, la prueba de permutación SIMPROF (p=0,05) resultó en la discriminación de un agrupamiento (A) que abarca todos los puntos evaluados, resultando estadísticamente semejante su estructura (p=0,089). De acuerdo a la Figura 6.85, los puntos HB-MA-15, HB-AG-14 y HB-AG-17 presentaron un agrupamiento (A.1) con una similitud de 74,89% (>50%), dado por las especies *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp., Orthocladiinae ND 1 y *Paraphaenocladius* sp., todas ellas pertenecientes a la familia Chironomidae (orden Diptera).

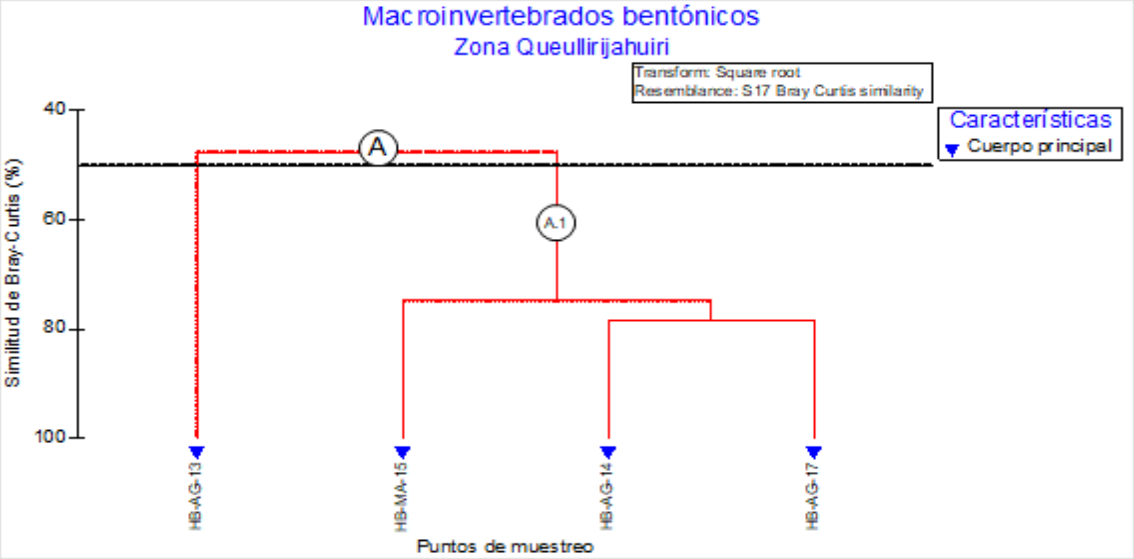


Figura 6.85. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

Calidad biológica

En la Figura 6.86 se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo al índice ABI. Se observó que los puntos evaluados en el río Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani) presentaron una «mala calidad biológica», siendo el punto HB-AG-14 el que presentó una mayor valoración, asociado a la presencia de una especie sensible (*Claudioperla* sp.).

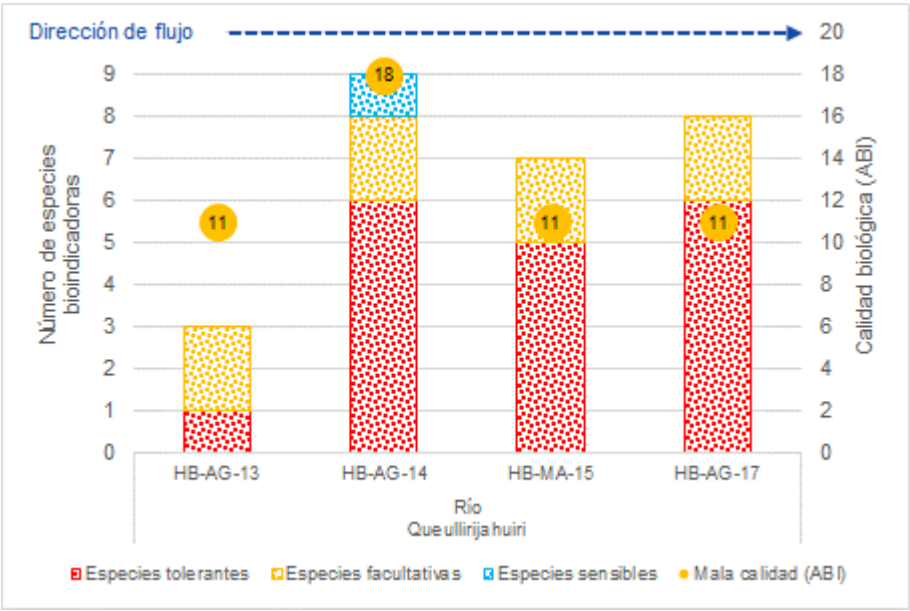


Figura 6.86. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

Calidad ecológica

Los resultados de calidad hidromorfológica (Anexo B) indicaron una «mala calidad» en los puntos HB-AG-13 y HB-AG-14, mientras que los puntos HB-MA-15 y HB-AG-17 presentaron una «buena calidad». Sin embargo, al combinar los resultados de calidad hidromorfológica

con los resultados de calidad biológica (ABI), los resultados de calidad ecológica señalaron una «mala calidad ecológica» en los puntos evaluados (Tabla 6.22).

Tabla 6.22. Calidad ecológica obtenida para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

Ecosistema acuático	Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Río Queullirijahuiri	HB-AG-13	Mala	Mala	Mala
	HB-AG-14	Mala	Mala	Mala
	HB-MA-15	Mala	Buena	Mala
	HB-AG-17	Mala	Buena	Mala

Análisis multivariados

Con la finalidad de reducir el universo de variables no biológicas para el desarrollo del análisis de correspondencia canónica (ACC), se realizó el análisis de componentes principales (ACP) de las variables de agua y sedimentos de acuerdo con lo señalado en la metodología, removiéndose previamente del análisis aquellas variables con datos repetitivos; así como puntos de muestreo que no presentaron muestras de sedimentos. De esta forma, se extrajeron 2 componentes de acuerdo con la Tabla 6.23.

Tabla 6.23. Análisis de componentes principales para las variables no biológicas correspondientes en la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

	Componentes rotados	
Variables	1	2
Cu_S	0,993	0,116
Be_A	0,989	0,145
Cd_S	-0,966	0,257
Li_A	0,949	-0,315
pH_S	-0,947	-0,322
Se_A	0,942	0,335
As_A	0,939	0,344
Fe_A	0,844	0,537
Cd_A	0,833	0,554
Zn_A	0,826	0,564
Co_A	0,805	0,594
OD_A	-0,799	-0,601
Ni_A	0,773	0,635
Bo_A	0,770	0,638
Cr_A	0,770	0,638
Mn_A	0,745	0,667
Al_A	0,741	0,671
CE_A	0,724	0,689
F^-_A	0,724	0,689
T_A	0,716	0,698
Cr_S	0,707	0,707
Cu_A		-1,000
Pb_A		-0,999
Zn_S	-0,105	-0,994
Hg_S	-0,130	-0,991
Pb_S	0,176	0,984
pH_A	-0,501	-0,865
Mg_A	0,552	0,834
As_S	0,561	0,828

	Componentes rotados	
Variables	1	2
Cl^-_A	0,584	0,811
Ba_A	-0,616	-0,788
MO_S	-0,657	0,754
SO_4^{-2}_S	0,665	0,747
SO_4^{-2}_A	0,704	0,710
Varianza explicada (%)	52,382	47,618
Varianza acumulada (%)	52,382	100,000

Coeficientes de correlación que explican mejor cada componente (>0,70).
A=agua superficial, S=sedimentos.

La varianza total explicada a partir de la extracción de 2 componentes fue de 100%, donde el primer componente aportó un 52,382% y el segundo componente aportó 47,618%.

Para determinar la relación entre las variables biológicas (especies) con las variables no biológicas, se aplicó el análisis de correspondencia canónica (ACC). En la Tabla 6.24 se observa que el primer eje explicó el 74,90% de la varianza de las variables analizadas, mientras que el segundo eje explicó una varianza del 19,82 %. Por lo tanto, ambos ejes juntos explicaron el 100% de la varianza acumulada, interpretándose los resultados en ambos ejes. Asimismo, se observan las variables biológicas y no biológicas que se relacionaron al primer y segundo eje, considerando los mayores valores de las coordenadas principales (variables biológicas) y de los coeficientes de regresión (variables no biológicas).

Tabla 6.24. Resumen de análisis de variables extraídas de especies de macroinvertebrados bentónicos y variables ambientales no biológicas por el ACC para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).

Análisis de variables		**Eje 1**	**Eje 2**
Valor propio (*eigenvalue*)		0,024	0,008
Varianza	Varianza explicada (%)	74,90	25,10
	Varianza acumulada explicada (%)	74,90	100
Variables ambientales biológicas (coordenadas principales)	Hydrozetidae ND (Hyd_ND)	-7,346	-7,346
	Claudioperla sp. (Cla_sp)	-2,935	-2,935
	Ochthebius sp. (Och_sp)	2,283	2,283
	Cricotopus sp. (Cri_sp)	-1,036	-1,036
	Limnophyes sp. (Lim_sp)	-1,842	-1,842
	Orthocladiinae ND 1 (Ort_ND)	2,798	2,798
	Paraphaenocladius sp. (Par_sp4)	11,260	11,260
	Podonomus sp. (Pod_sp2)	-0,003	-0,003
	Tanytarsus sp. (Tan_sp)	-7,346	-7,346
	Neoplasta sp. (Neo_sp)	-2,935	-2,935
	Roederoides sp. (Roe_sp)	0,328	0,328
	Limnophora sp. (Lim_sp2)	-2,935	-2,935
Puntos de muestreo (coordenadas estándares)	HB-AG-14	0,203	-0,024
	HB-MA-15	-0,057	0,181
	HB-AG-17	-0,142	-0,062
Variables ambientales no biológicas (coeficientes de regresión)	As_S	0,863	0,380
	Cd_S	-0,722	0,785
	Cu_S	0,875	-0,600
	Cr_S	0,930	0,235
	Hg_S	-0,647	-0,665
	Pb_S	0,699	0,611
	Zn_S	-0,629	-0,683
	pH_S	-0,963	0,399
	SO_4^{-2}_S	0,927	0,243

Análisis de variables		Eje 1	Eje 2
	MO_S	0,087	0,975
	pH_A	-0,907	-0,291
	CE_A	0,973	0,093
	OD_A	-0,999	0,106
	T_A	0,971	0,103
	Cl^-_A	0,936	0,220
	F^-_A	0,977	0,077
	SO_4^{-2}_A	0,967	0,116
	Al_A	0,957	0,154
	As_A	0,965	-0,395
	Ba_As	-0,983	-0,046
	Be_As	0,879	-0,594
	Bo_A	0,993	-0,018
	Cd_As	0,998	-0,083
	Co_A	0,989	0,010
	Cu_A	-0,536	-0,762
	Cr_A	0,960	0,143
	Fe_A	0,986	0,028
	Li_A	0,570	-0,893
	Mg_A	0,903	0,301
	Mn_A	0,981	0,054
	Ni_A	0,978	0,073
	Pb_A	-0,504	-0,785
	Se_A	0,966	-0,391
	Zn_A	0,997	-0,067

A=agua superficial, S=sedimentos.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 6.87), se encontraron asociaciones entre:

- Especies como *Cricotopus* sp. Orthocladiinae ND 1, *Claudioperla* sp., *Neoplasta* sp., *Roederoides* sp. y *Limnophora* sp., principalmente los dos primeros, con concentraciones de metales totales en agua (Al, As, Be, Bo, Cd, Co, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Se y Zn), en sedimentos (As, Cu y Cr), así como a algunas variables fisicoquímicas de agua (CE, SO_4^{-2}, Cl^-, F^-) y de sedimentos (SO_4^{-2}), asociados principalmente al punto HB-AG-14.
- Especies como *Podonomus* sp. *Limnophyes* sp., *Hydrozetidae ND* y *Tanytarsus sp.*, principalmente los dos primeros, con concentraciones de metales totales en agua (Cu y Pb), y en sedimentos, asociados principalmente al punto HB-AG-17.
- Especies como *Ochthebius* sp. con concentraciones de metales totales en agua (Ba), en sedimentos (Cd), así como a algunas variables fisicoquímicas de agua (OD y pH) y de sedimentos (pH), asociado principalmente al punto HB-AG-17.

Especies como *Paraphaenocladius* sp. con variables fisicoquímicas de sedimentos (materia orgánica), asociado principalmente al punto HB-MA-15.

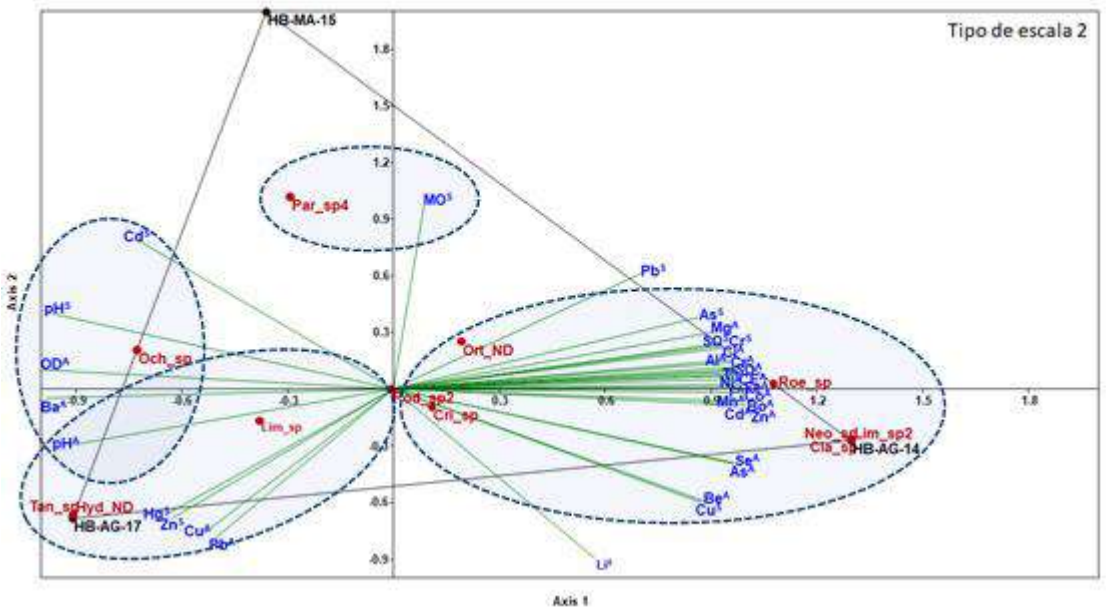


Figura 6.87. ACC de las especies de macroinvertebrados bentónicos con las variables no biológicas de agua superficial y sedimentos seleccionadas del ACP para la zona Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani).
Abreviatura de especies de macroinvertebrados bentónicos: Hydrozetidae ND=Hyd_ND, *Claudioperla* sp.=Cla_sp, *Ochthebius* sp.=Och_sp, *Cricotopus* sp.=Cri_sp, *Limnophyes* sp.=Lim_sp, Orthocladiinae ND 1=Ort_ND, *Paraphaenocladius* sp.=Par_sp4, *Podonomus* sp.=Pod_sp2, *Tanytarsus* sp.=Tan_sp, *Neoplasta* sp.=Neo_sp, *Roederoides* sp.=Roe_sp, *Limnophora* sp.=Lim_sp2. Superíndices: A=agua superficial, S=sedimentos.

6.3.2. Zona: Margaritani

La zona Margaritani está conformada por la quebrada Margaritani y la quebrada Apostoloni que al confluir forman el río Margaritani hasta la confluencia con el río Queullirijahuiri, para una mejor compresión e interpretación de los resultados de agua superficial se ha dividido en tres sectores: Sector quebrada Margaritani, sector quebrada Apostoloni y sector río Margaritani.

En esta zona se evaluó en el sector Quebrada Margaritani: 21 puntos de muestreo de agua superficial, 7 de sedimento y 20 de comunidades hidrobiológicas; en el sector Quebrada Apostoloni: 16 puntos de muestreo de agua superficial, 5 de sedimento y 13 de comunidades hidrobiológicas; y en el sector Río Margaritani: 7 puntos de muestreo de agua superficial, 4 de sedimento y 7 de comunidades hidrobiológicas (Figura 5.11). Los resultados por componente ambiental de esta sección se presentan en el RRE N.° 046-2020-STEC (Anexo 3).

6.3.2.1. Sector: Quebrada Margaritani

6.3.2.1.1. Agua superficial

I. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

En este sector de la quebrada Margaritani se evaluaron 21 puntos de agua superficial, distribuidos en 11 manantiales (aportantes), 2 puntos ubicados en las quebradas sin nombre 1 y 2 (tributarios), 1 en agua de deshielo (poza de sedimentación, TU-02) y 7 puntos ubicados en el cuerpo principal, quebrada Margaritani.

Este sector de evaluación está conformado por la quebrada Margaritani que nace en la parte baja del depósito de desmonte zona Norte y al noreste del tajo Tucari**,** con los aportes de los manantial MT-42; Por el margen derecho la quebrada recibe los aportes del agua de deshielo del nevado Quihuiri (agua almacenada en una poza de sedimentación TU-02) y de los manantiales MT-43A, MT-47, MT-44, FTuca4, MT-50 y MT-51 y por el margen izquierdo, adyacente al depósito de desmonte, recibe los aportes de la quebrada sin nombre 1 (TU-21), quebrada sin nombre 2 (TU-24) y de los manantiales MT-01, MT-BO4 y MT-BO5, y el flujo de agua superficial (FTU).

Los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y bebida de animales) en los puntos de muestreo de agua superficial del sector Quebrada Margaritani, se presentan en la Tabla 6.25; además, en la Tabla 6.26. se detallan sus valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

Tabla 6.25. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector Quebrada Margaritani

N.°	Zona / Sector	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
				D.S. N°002-2008-MINAM - Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
1	Zona 2: Margaritani – sector Quebrada Margaritani	Manantiales	MT-42	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Fe, Mn y Ni
2			MT-43A	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Ca, Co, Fe, Mn, Ni, Se y Zn,	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Fe, Mn, Ni, Se y Zn
3		Q. Margaritani	TU-20	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Zn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, Zn
4		Manantial	MT-47	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Ca, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Fe, Mn y Ni
5		Poza de sedimentación (agua de deshielo)	TU-02	pH, Cloruros Al, B y Mn	pH, Al y Mn
6		Manantial	MT-44	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Co, Fe, Mn y Zn	pH, OD, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Fe y Mn
7		Q. Margaritani	M-2*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn
8		Q. Sin nombre 1	TU -21	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni
9		Manantial	FTuca4	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, OD, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Fe, Mn y Ni
10		Q. Margaritani	AG-21*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
11		Manantial	MT-01	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni
12		Q. Margaritani	E-7*	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
13		Manantiales	MT-50	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn
14			MT-51	pH, OD, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Fe, Mn y Ni	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Fe, Mn y Ni

N.°	Zona / Sector	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
				D.S. N°002-2008-MINAM - Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
15		Q. Margaritani	TU-25	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni
16		Manantial	MT-BO5	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, CE, OD, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn
17		Q. Sin nombre 2	TU-24	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, OD, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn
18		Manantial	MT-BO4	OD, Cloruros, Sulfatos, As, B, Ca, Fe, Mn	OD, Sulfatos, Fe y Mn
19		Q. Margaritani	TU-26	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As,Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb
20		Manantial	FTU	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Co, Fe, Mn y Zn	pH, Sulfatos, Al, Fe y Mn
21		Q. Margaritani	E-3*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni

pH: Potencial de hidrógeno; CE: Conductividad eléctrica; OD: Oxígeno disuelto; Al: Aluminio; As: Arsénico; B: Boro; Cd: Cadmio; Ca: Calcio; Co: Cobalto; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Mn: Manganeso; Ni: Níquel; Pb: Plomo; Se: Selenio y Zn: Zinc.
*: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C.

En las Tablas 6.25 y 6.26 destacan las características ácidas del sector evaluado, cuyos valores variaron entre 2,07 y 5,55 unidades de pH, siendo los puntos MT-BO5 y TU-24 los más ácidos y los que presentaron las mayores concentraciones de arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro y zinc, estos puntos ubicados en el entorno a la quebrada sin nombre 2,

Tabla 6.26. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector Quebrada Margaritani

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros *In Situ*			Fisicoquímicos			Metales totales												
		pH	CE	OD	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Al	As	B	Cd	Ca	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Manantial	MT-42	3,45	2430	4,55	3,54	3,6	2517	248	0,02243	0,011	0,09286	256	0,92657	0,2062	113	33,724	0,7011	0,00007	0,02401	9,75
	MT-43A	3,91	6620	5,24	3,62	5,3	8820	1 096	0,18825	0,005	0,43237	305	2,8764	0,0679	620	53,426	2,086	0,00206	0,05573	47,1
Q. Margaritani	TU-20	3,05	6150	5,79	4,03	5,4	7959	912	0,40381	< 0,002	0,54537	285	3,1017	12,04	395	50,361	2,388	0,00026	0,05771	40,20
Manantial	MT-47	3,06	3910	5,35	3,93	4,6	4181	434	0,01514	0,007	0,04639	286	0,78383	0,0176	275	27,292	0,5258	< 0,00006	0,02143	11,6
Poza de sedimentation	TU-02	3,35	264	6,26	1,09	0,36	94	6,4	0,00032	0,004	0,00057	3,9	0,01862	0,0496	0,370	0,31109	0,0113	0,00037	0,00047	0,04
Manantial	MT-44	3,62	2180	1,95	2,61	3,0	2244	208	0,15077	0,014	0,00425	113	0,23195	0,0044	234	10,230	0,089	0,00030	0,00560	2,12
Q. Margaritani	M-2*	2,93	5100	5,25	4,01	5,4	6640	759	0,11668	0,004	0,2041	242	1,9251	5,028	284	36,505	1,430	0,00064	0,04059	25,3
Q. Sin nombre 1	TU -21	2,68	6200	5,03	3,66	9,4	8104	835	0,20018	< 0,002	0,24894	372	2,0326	24,74	551	43,786	1,655	< 0,00006	0,03467	22,9
Manantial	FTuca4	3,22	2790	2,54	2,25	2,9	2954	299	0,24196	0,017	0,00495	111	0,41775	0,0054	269	14,974	0,2358	0,00037	0,00667	3,99
Q. Margaritani	AG-21*	2,94	3700	5,84	3,63	4,1	4083	458	0,04585	0,004	0,07967	172	0,91952	4,367	182	22,194	0,6682	0,00057	0,01793	11,3
Manantial	MT-01	2,73	4370	5,62	3,56	4,3	4736	517	0,04587	< 0,002	0,12214	147	1,2203	14,47	195	21,546	0,9783	0,00033	0,01828	13,4
Q. Margaritani	E-7	2,81	3480	4,99	3,48	3,6	3525	376	0,03274	0,008	0,07267	137	0,80268	6,200	130	17,974	0,6033	0,00032	0,01634	8,49
Manantial	MT-50	2,62	4820	5,66	3,74	2,6	5330	344	5,35750	0,012	1,1954	29	5,5903	11,28	1 019	7,3341	3,224	0,00055	0,00693	25,8
	MT-51	2,87	1866	4,79	2,00	1,1	1361	91,8	0,77244	0,018	0,04584	9,6	0,42355	0,0036	194	0,54241	0,3547	0,01259	0,00088	1,48
Q. Margaritani	TU-25	2,81	3230	5,32	3,52	3,0	2998	269	2,79850	0,014	0,22897	79	1,2000	3,325	251	10,479	0,773	0,03135	0,00969	9,83
Flujo de agua	MT-BO5	2,07	8560	3,32	3,63	4,3	8493	532	49,199	0,010	2,8247	45	3,4712	49,720	1698	15,282	2,167	0,87670	0,01306	72
Q. Sin nombre 2	TU-24	2,59	6980	3,88	3,97	6,7	9956	680	9,5267	0,004	2,4538	103	3,5895	61,570	1511	26,961	2,334	0,00277	0,01983	78,8
Manantial	MT-BO4	6,55	1577	3,92	2,14	1,1	854	0,013	0,05588	0,062	0,00004	335	0,00018	0,0004	2,1	2,0309	< 0,0009	0,00006	< 0,00004	0,003

Q. Margaritani	TU-26	2,62	4310	6,14	3,64	3,5	4134	321	8,66700	0,015	0,76427	78	1,64100	14,080	482	11,508	1,058	0,12563	0,01041	23,
Manantial	FTU	2,91	1518	6,51	1,94	1,3	983	51,4	0,00252	0,027	0,00165	103	0,11640	0,0973	30	5,030	0,090	0,00040	0,00187	3,31
Q. Margaritani	E-3*	2,62	3490	5,30	3,53	3,1	3691	277	6,04960	0,012	0,63262	79	1,37720	12,060	381	10,947	0,892	0,03410	0,01078	19,4
ECA para agua 2008[1]	RV	**6,5-8,5**	**< 2000**	**≥ 4**	**100 - 700**	**1**	**300**	**5**	**0,05**	**0,5 - 6**	**0,005**	**200**	**0,05**	**0,2**	**1**	**0,2**	**0,20**	**0,05**	**0,05**	**2**
	BA	**6,5-8,4**	**≤ 5000**	**> 5**	******	**2**	**500**	**5**	**0,1**	**5**	**0,01**	******	**1**	**0,5**	**1**	**0,2**	**0,2**	**0,05**	**0,05**	**24**

Fuente: Informes de ensayo N° SAA-20/00651, SAA-20/00652, SAA-20/00653, SAA-20/00560, SAA-20/00563, SAA-20/00562, SAA-20/00574 de Laboratorio AGQ PERÚ SAC.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.
«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales,
«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado por D.S. N.° 002-2008- MINAM
«*»: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C
«**»: El parámetro NO aplica en esta subcategoría
<: Menor al límite de detección del método de análisis.

II. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

En los siguientes párrafos se presenta aquellos parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido los valores de los ECA para agua 2017 Cat.3-D1 y D2, en los puntos muestreo evaluados en la zona Margaritani, sector Quebrada Margaritani. En el Anexo 3 (RRE N.° 046-2020-STEC) se encuentra el detalle de los resultados.

- **Potencial de hidrógeno – pH:** El potencial de hidrógeno en todos los puntos de muestreo del sector quebrada Margaritani fueron registrados fuera el rango establecido (valor mínimo) en los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2, indicando que las aguas de los cuerpos evaluados en este sector son ácidas, a excepción del manantial MT-BO4 que presentó un pH cercano a la neutralidad (6,55 unidades de pH), Figura 6.88a.

- **Conductividad Eléctrica – CE:** La conductividad eléctrica registrada en los manantiales (MT-43A y MT-BO5), en cuerpo principal de la quebrada Margaritani (TU-20 y M-2) y en las quebradas sin nombre (TU-21 y TU-24), excedieron los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (2500 µS/Cm) y D2 (5000 µS/cm); En cambio, en los manantiales (MT-47, FTuca4, MT-01 y MT-50) y en los puntos AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3 del cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron únicamente el valor de la subcategoría D1 (Figura 6.88b).

- **Fluoruros:** La concentración de fluoruros en los manantiales, en las quebradas sin nombre 1 y 2, y en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (1 mg/L). En cambio, en la poza de sedimentación (TU-02), agua proveniente deshielo del nevado Quihuiri, las concentraciones fueron bajas y no excedieron el ECA referido (Figura 6.89a).

- **Sulfatos:** La concentración de sulfatos en los manantiales, en las quebradas sin nombre 1 y 2, y en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 (1000 mg/L), a excepción de los manantiales MT-BO4 y FTU, y la poza de sedimentación (TU-02), Figura 6.89b.

- **Aluminio – Al:** La concentración de aluminio en los manantiales, en las quebradas sin nombre 1 y 2, y en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 (5 mg/L), a excepción del manantial MT-BO4 (Figura 6.90a).

- **Arsénico – As:** Las concentraciones de arsénico en los manantiales FTuca4, MT-50, MT-51 y MT-BO5, en las quebradas sin nombre 1 y 2 (TU-21 y TU-24) y en los puntos del cuerpo principal TU-20, TU-25 TU-26 y E-3 de la quebrada Margaritani, excedieron los valores del ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (0,1 mg/L) y D2 (0,2 mg/L); En cambio, en los manantiales (MT-43A y MT-44) y en el punto M-2 del cuerpo principal, excedieron únicamente la subcategoría D1 (Figura 6.90b).

- **Cadmio – Cd:** Las concentraciones de cadmio en los manantiales (MT-42, MT-43A, MT-01, MT-50 y MT-BO5), en las quebradas sin nombre (TU-21 y TU-24) y en los puntos TU-20 y M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3, del cuerpo principal, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,01 mg/L) D2 (0,05 mg/L); En cambio, en los manantiales MT-47 y MT-51, excedieron únicamente la subcategoría D1 (Figura 6.91a).

- **Cobalto – Co:** Las concentraciones de cobalto en los manantiales (MT-43A, MT-01 y MT-50 y MT-BO5), en las quebradas sin nombre 1 y 2 (TU-21 y TU-24) y en los puntos (TU-20, M-2, TU- 25, TU-26 y E-3) del cuerpo principal, excedieron los valores ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,05 mg/L) y D2 (1 mg/L); En cambio, en los manantiales (MT-42, MT-47, MT-44, FTuca4 y FTU) y en los puntos (AG-21 y E-7) del cuerpo principal excedieron únicamente la subcategoría D1 (Figura 6.91b).

- **Cobre – Cu:** Las concentraciones de cobre en los manantiales (MT-01, MT-50 y MT-BO5), en las quebradas sin nombre 1 y 2 (TU-21 y TU-24), y en el cuerpo principal (TU-20 y M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3 de la quebrada Margaritani, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,2 mg/L) y D2 (0,5 mg/L); En cambio, en el manantial MT-42 excedió únicamente la subcategoría D1 (Figura 6.92a).

- **Cromo- Cr:** Las concentraciones de cromo en los manantiales MT-50 y MT-BO5 y en la quebrada sin nombre 2 (TU-24), excedieron únicamente los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (Figura 6.92b).

- **Hierro – Fe:** Las concentraciones de hierro en los manantiales, en las quebradas sin nombre 1 y 2, y en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (5 mg/L), a excepción del manantial MT-BO4 y la poza de sedimentación (TU-02) que colecta el agua de deshielo del nevado Quihuiri, que presentaron bajas concentraciones de hierro en comparación con los demás cuerpos de agua (Figura 6.93a).

- **Manganeso –Mn:** Las concentraciones de manganeso en la poza de sedimentación (TU-02), en los manantiales, en las quebradas sin nombre y en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (Figura 6.93b).

- **Níquel – Ni:** Las concentraciones de níquel en los manantiales (MT-43A, MT-50 y MT-BO5), en las quebradas sin nombre 1 y 2 (TU-21 y TU-24) y en los puntos TU-20, M-2 y TU-26 del cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,2 mg/L) y D2 (1 mg/L); En cambio, en los manantiales (MT-42, MT-47, FTuca4 y MT-51) y en los puntos AG-21, E-7, TU-25 y E-3 ubicados en el cuerpo principal excedieron únicamente la subcategoría D1 (Figura 6.94a).

- **Plomo total – Pb:** Las concentraciones de plomo en el manantial (MT-BO5) y en el punto (TU-26) ubicado en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (Figura 6.94b).

- **Selenio – Se:** Las concentraciones de selenio en el manantial (MT-43A) y en el cuerpo principal (TU-20) de la quebrada Margaritani, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,02 mg/l) y D2 (0,05 mg/L); En cambio los manantiales (MT-42 y MT-47), en la quebrada sin nombre (TU-21) y en el punto M-2 del cuerpo principal, excedieron únicamente el valor de la subcategoría D1 (Figura 6.95a).

- **Zinc – Zn:** Las concentraciones de zinc en los manantiales (MT-43A, MT-50 y MT-BO5), en la quebrada sin nombre 2 (TU-24) y en los puntos TU-20 y M-2 ubicados en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (2 mg/L) y D2 (24 mg/L); En cambio, en los manantiales (MT-42, MT-47, MT-44, FTuca4, MT-01 y FTU), en la quebrada sin nombre1 (TU-21) y en los puntos AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3 del cuerpo principal, excedieron únicamente el valor de la subcategoría D1.(Figura 6.95b).

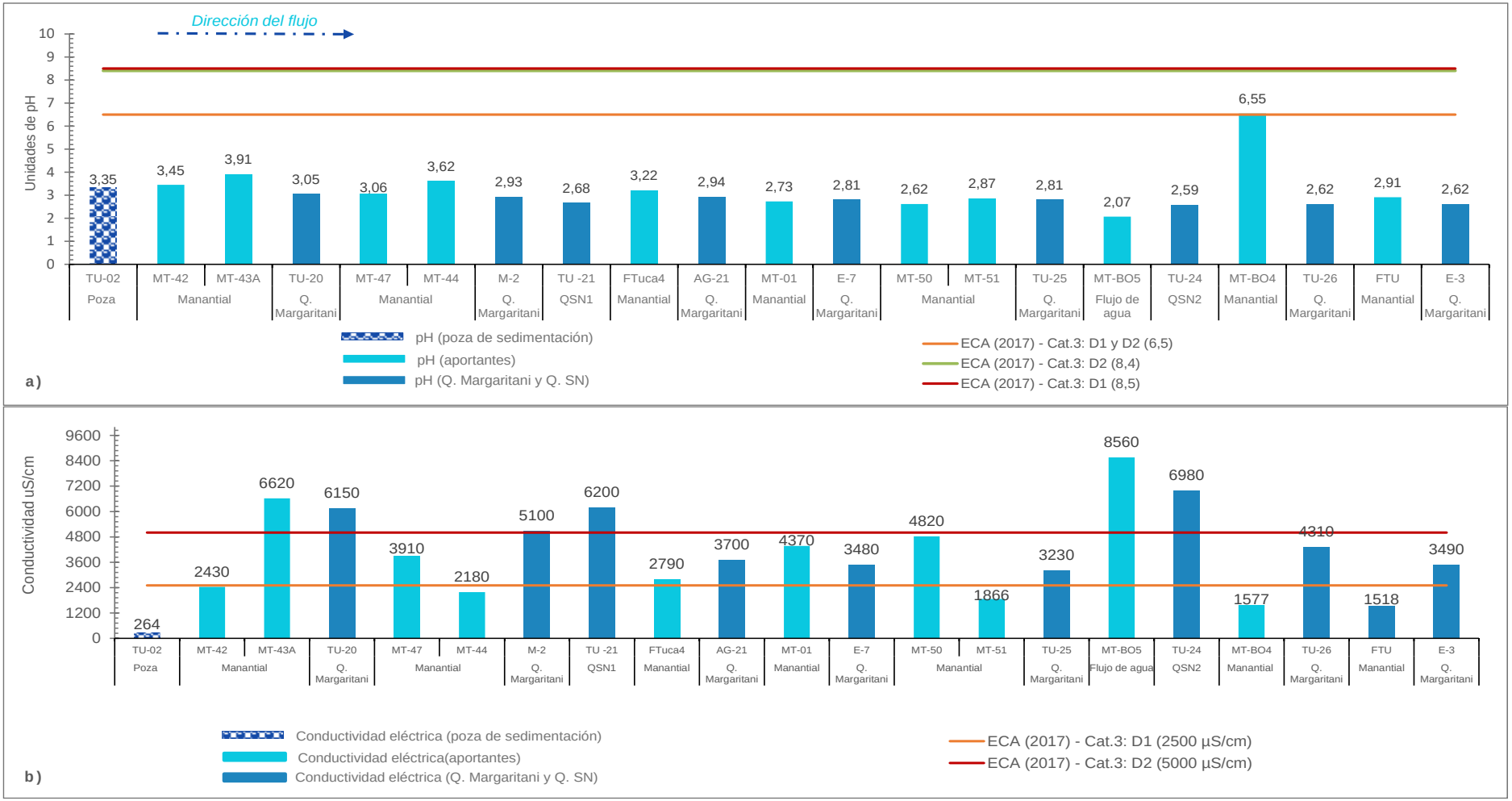


Figura 6.88. Valores reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrógeno y b) Conductividad eléctrica

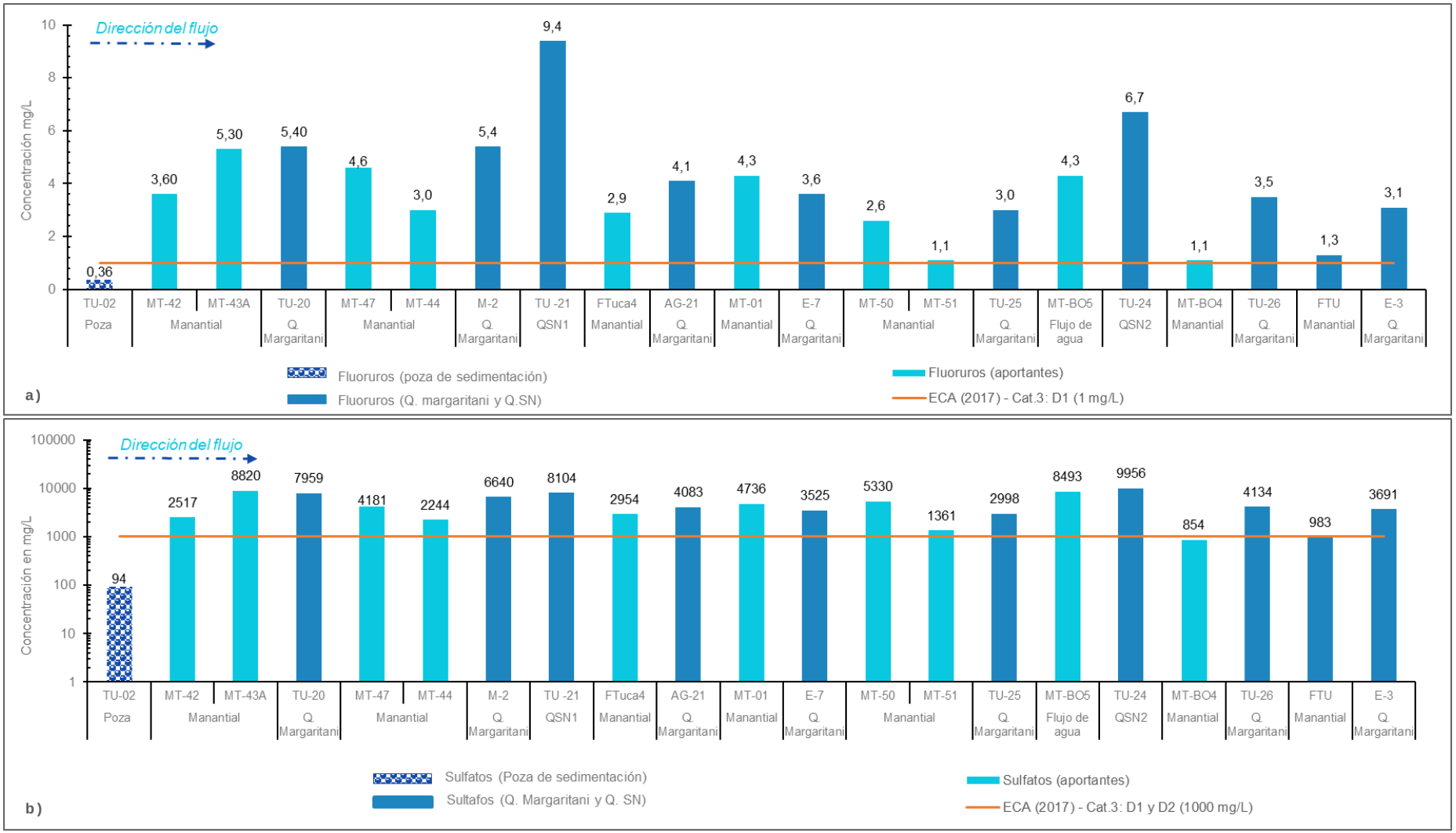


Figura 6.89. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Fluoruros y b) Sulfatos

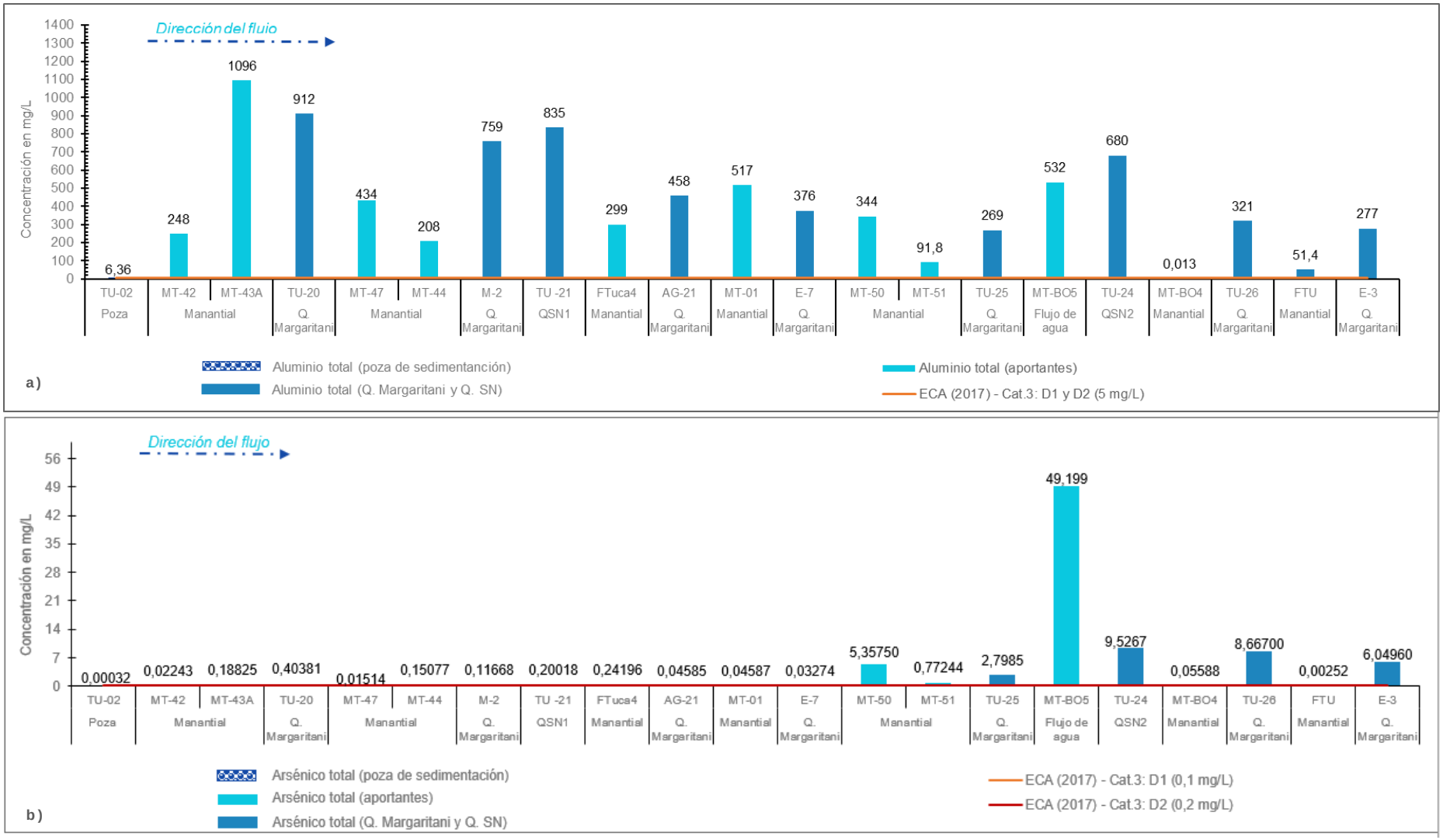


Figura 6.90. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) aluminio y b) arsénico

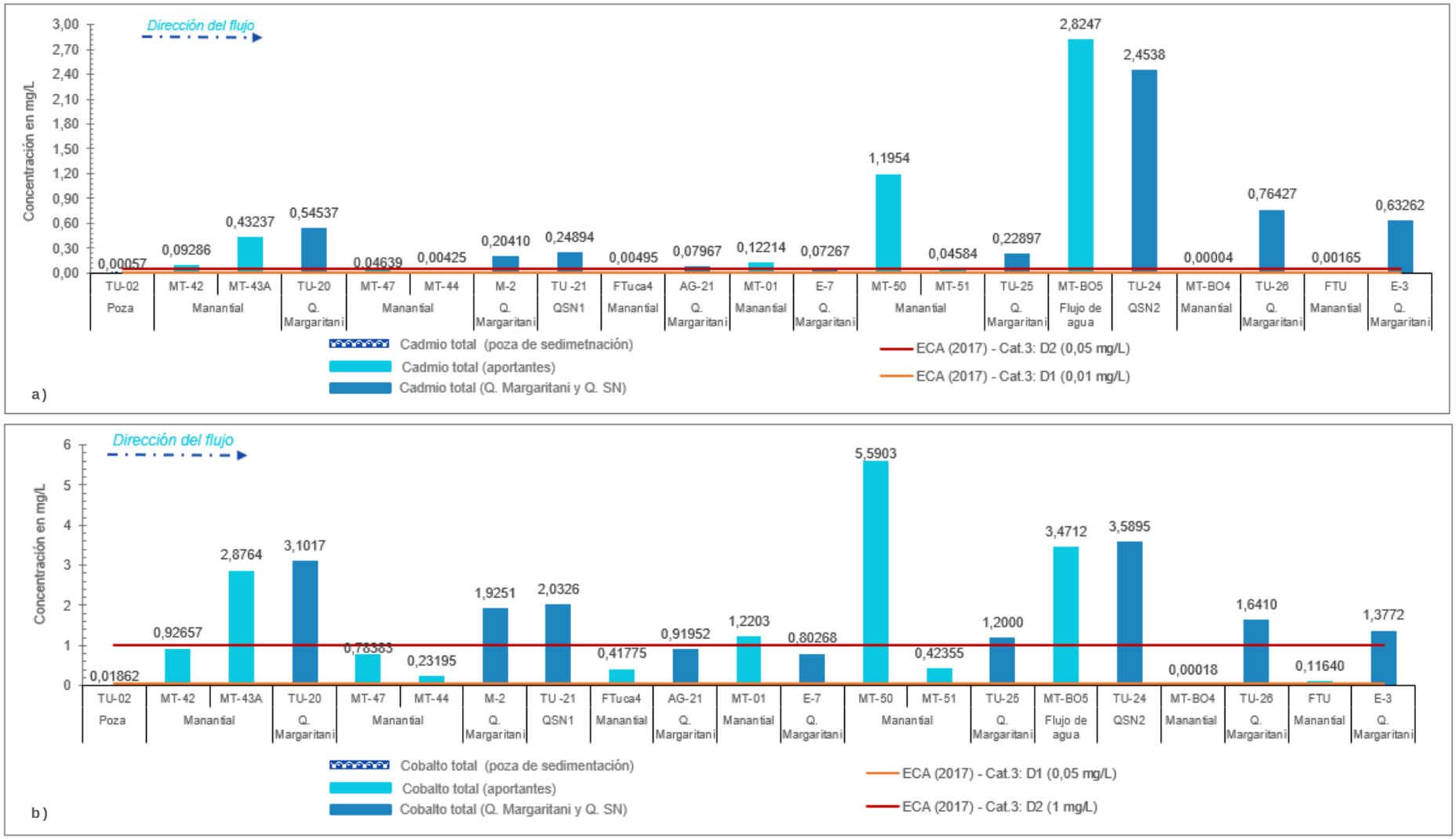


Figura 6.91. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cadmio y b) cobalto

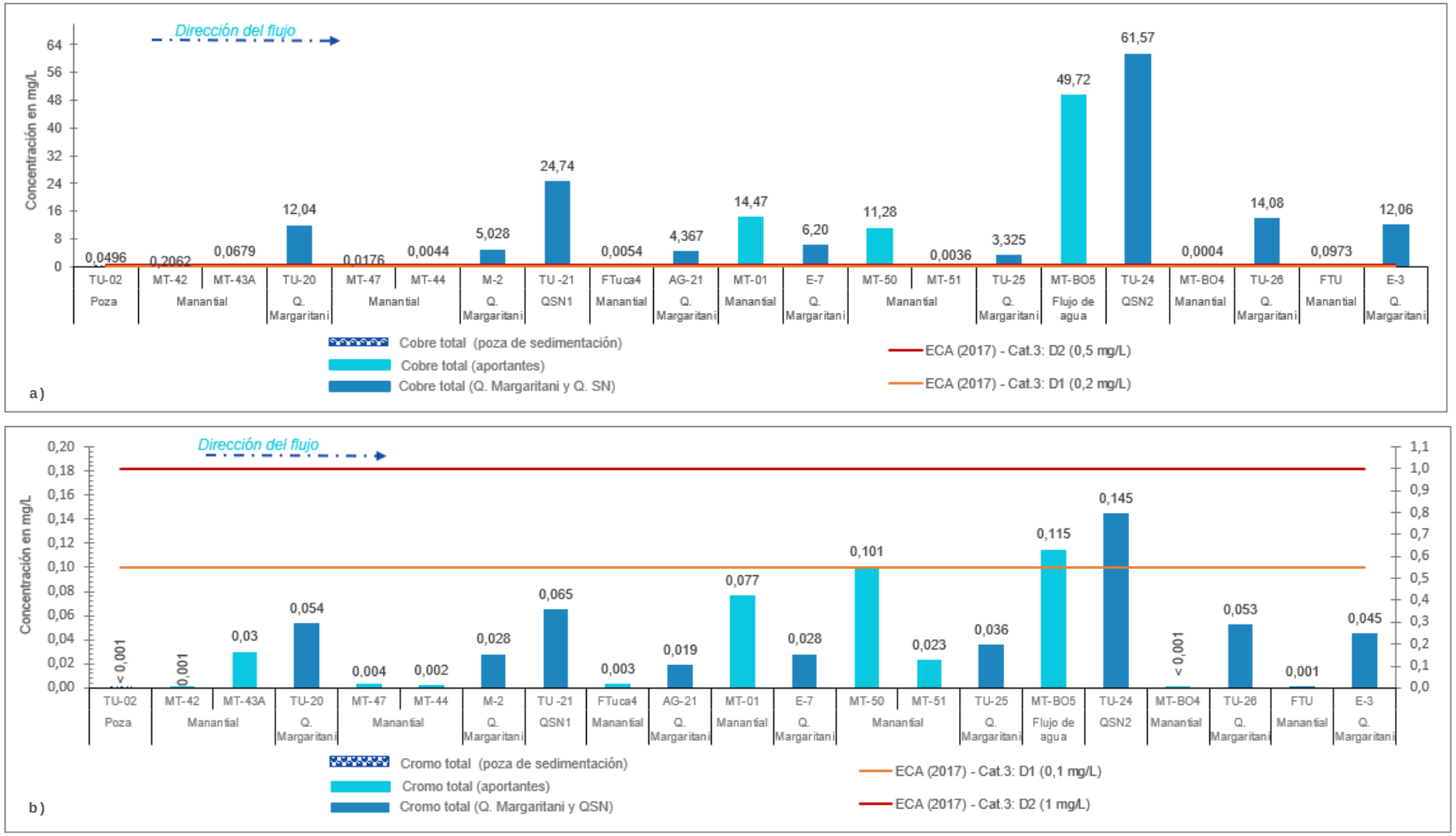


Figura 6.92. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobre y b) cromo

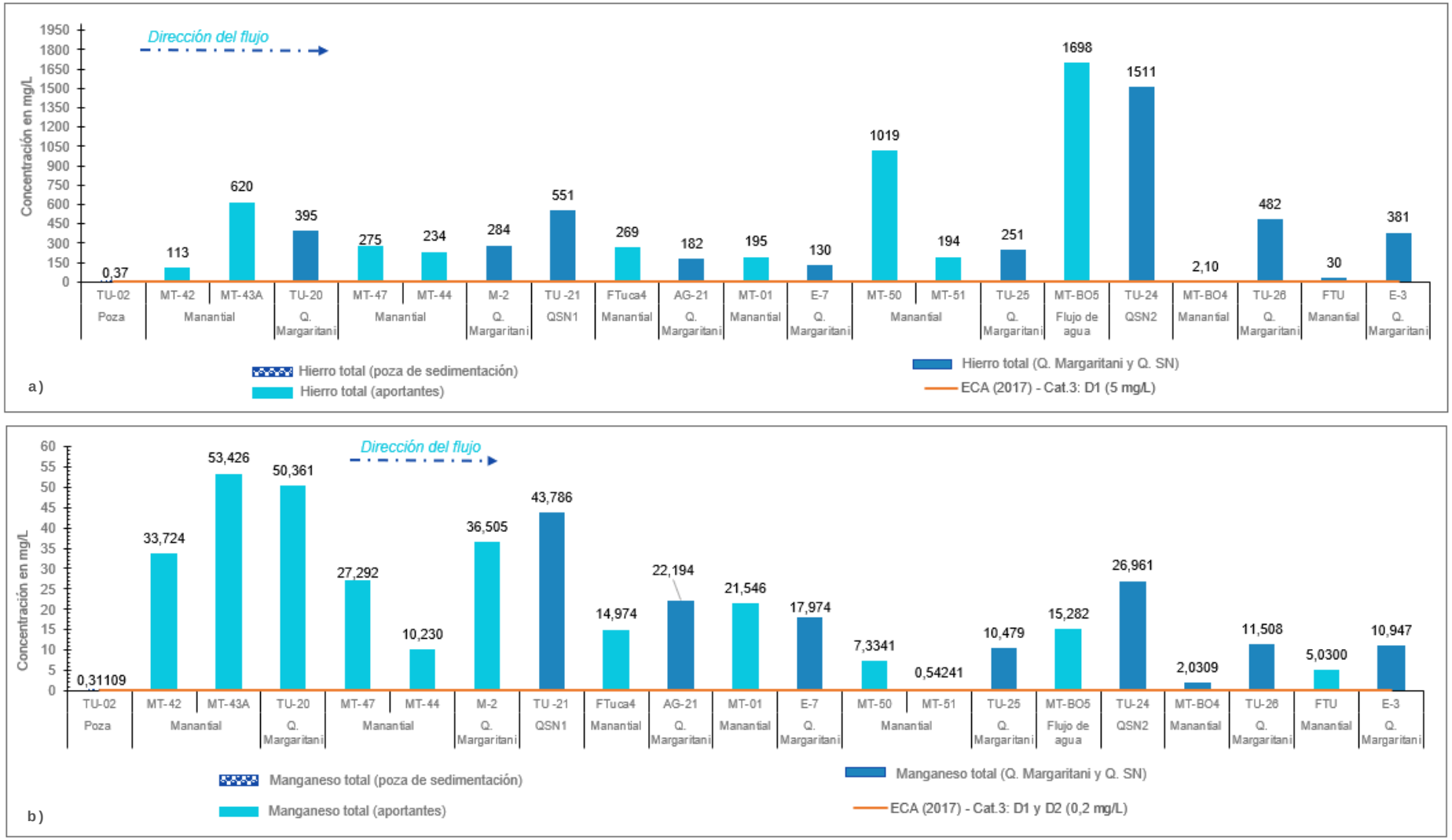


Figura 6.93. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) hierro y b) manganeso

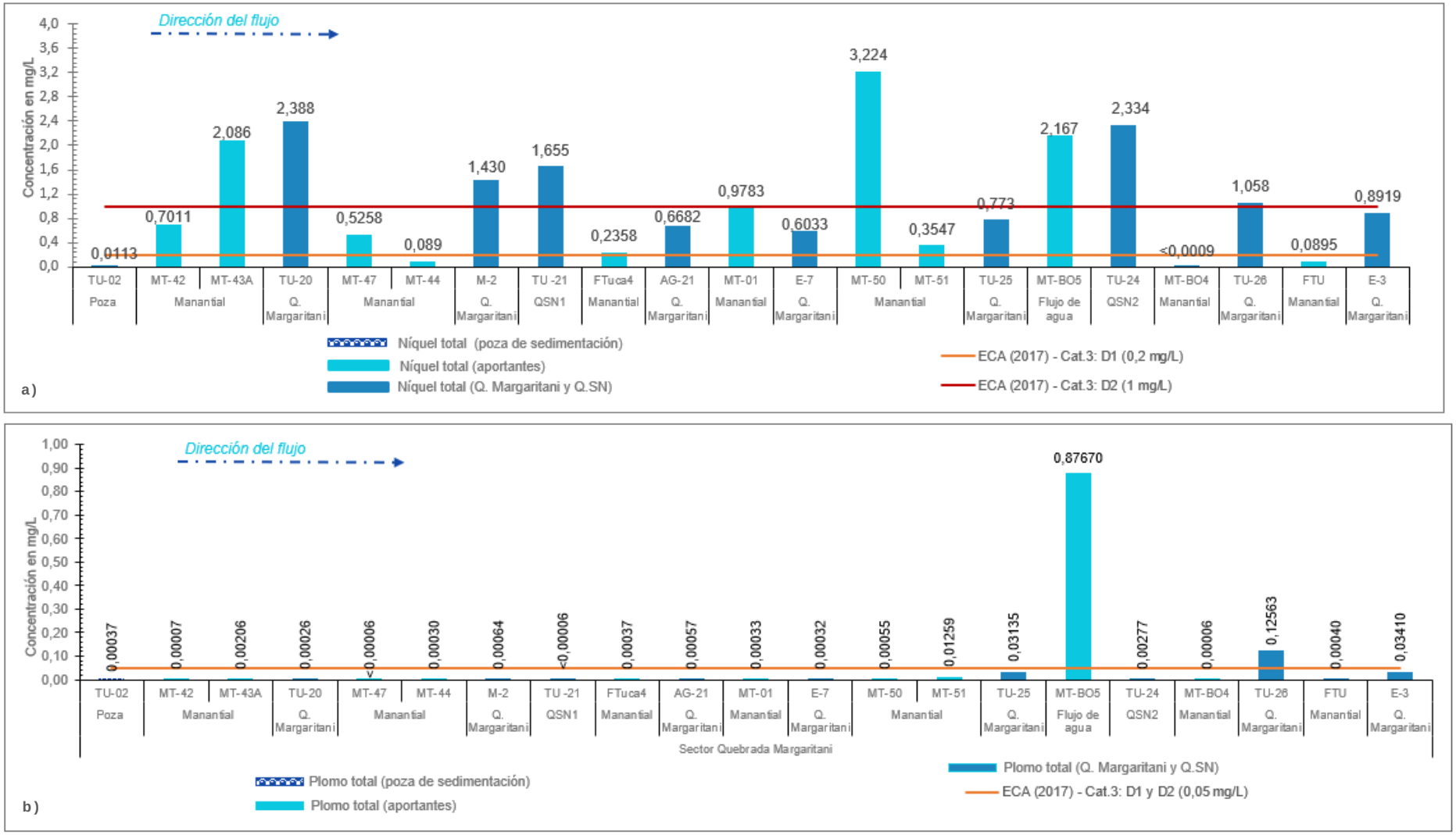


Figura 6.94. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) níquel y b) plomo

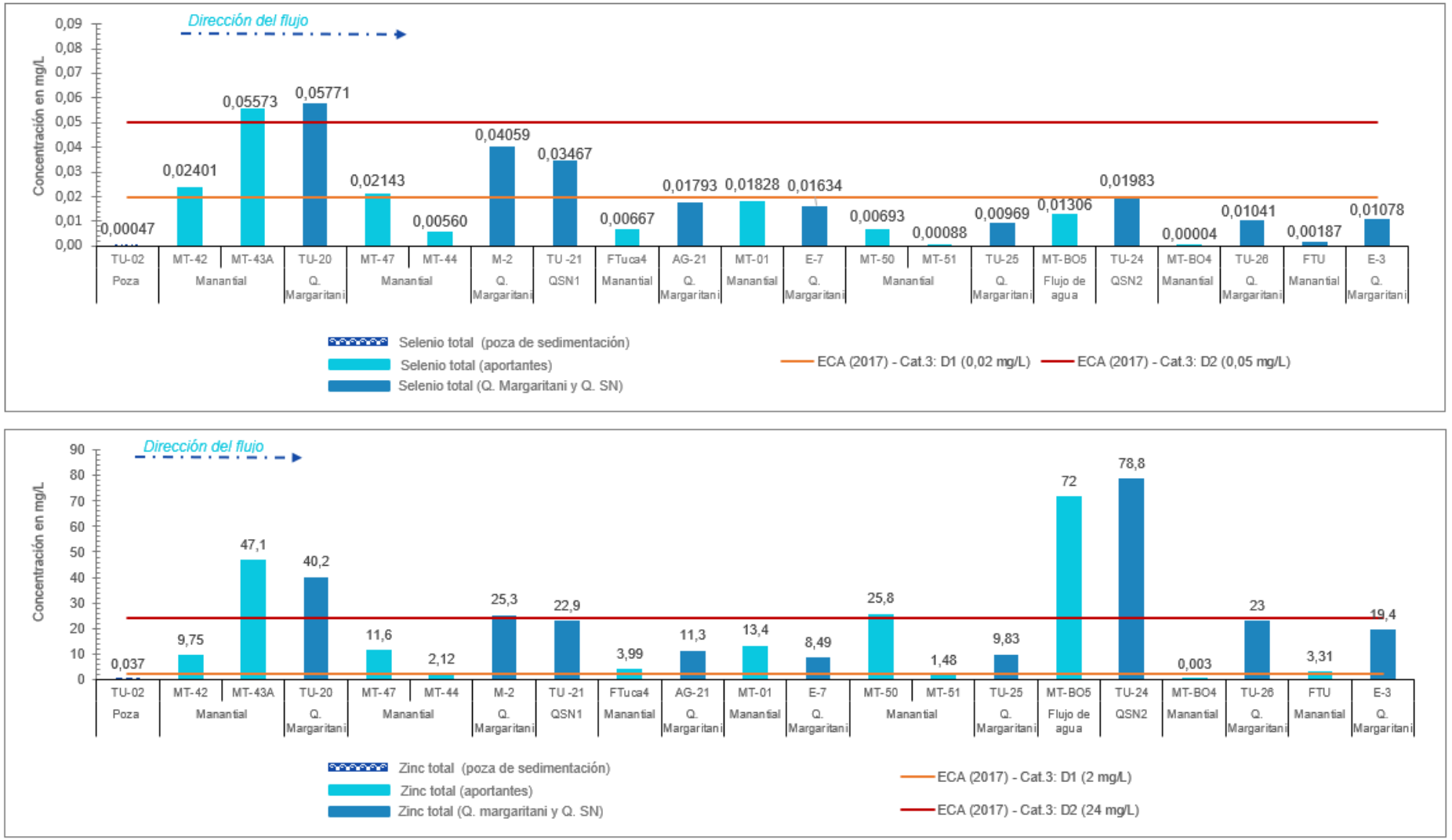


Figura 6.95. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Selenio y b) Zinc

6.3.2.1.2. Sedimento

La zona Margaritani en sector Quebrada Margaritani, comprendió los puntos de muestreo ubicados en la quebrada Margaritani (M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) y la quebrada sin nombre 1 (TU-21). Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en esta zona se presentan en la Tabla 6.27 y las Figuras 6.96 y 6.97. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo 3.

Tabla 6.27. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani)

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo						
		Quebrada Margaritani	Quebrada sin nombre 1	Quebrada Margaritani	Quebrada Margaritani	Quebrada Margaritani	Quebrada Margaritani	Quebrada Margaritani
		M-2	TU-21	AG-21	E-7	TU-25	TU-26	E-3
pH	Unidades de pH	3,01	2,53	2,84	2,71	2,58	3,63	2,51
Sulfatos	mg/kg S	2810	9980	5400	4910	6500	9190	6400
Materia orgánica	%	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Grava	%	6,08	6,93	3,46	0	7,49	5,14	0
Arcilla	%	1,65	6,03	3,19	10,98	4,87	5,4	11,98
Limo	%	5,63	21,93	11,67	38,76	16,66	17,69	42,04
Arena	%	86,65	65,12	81,7	50,26	70,99	71,76	45,98
Clase textural	-	Arena	Franco arenoso	Arena arcillosa	Marga	Arena arcillosa	Franco arenoso	Marga
Fe	mg/kg PS	32314	81357	57861	53212	76803	96517	57250
Cu	mg/kg PS	18	57	28	28	37	44	53
Pb	mg/kg PS	17,8	84,6	55,2	72,8	92,2	163	142
Zn	mg/kg PS	38	36	23	23	19	31	51
Cd	mg/kg PS	0,13144	0,17452	0,07699	0,08257	0,14612	0,38849	0,668
Co	mg/kg PS	3,02	2,553	1,939	1,721	1,501	1,944	4,285
Cr	mg/kg PS	5,057	9,627	5,272	3,819	5,712	5,304	6,179
Ni	mg/kg PS	3,29	3,42	2,23	1,98	1,76	2,22	4,92
Hg	mg/kg PS	0,034	0,133	0,078	0,383	0,122	0,172	0,333
As	mg/kg PS	66,8	139	135	139	638	1005	601
Sb	mg/kg PS	0,3861	0,4524	0,9113	0,4179	0,4828	3,059	0,6148
Al	mg/kg PS	9136	11407	10488	9227	7939	7810	9748
Mn	mg/kg PS	192	86,1	106	36,7	28,9	48,3	48,1
Ca	mg/kg PS	2443	880,8	1048	607,7	342,5	545,3	765
Na	mg/kg PS	493	382	337	265	295	316	277
K	mg/kg PS	2397	2410	2233	2541	2719	3347	2651
Mg	mg/kg PS	2063	1554	1269	787	799	846	995
Ba	mg/kg PS	236,8	300,9	236,2	347,4	322,2	368,6	480,5

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C, ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C.

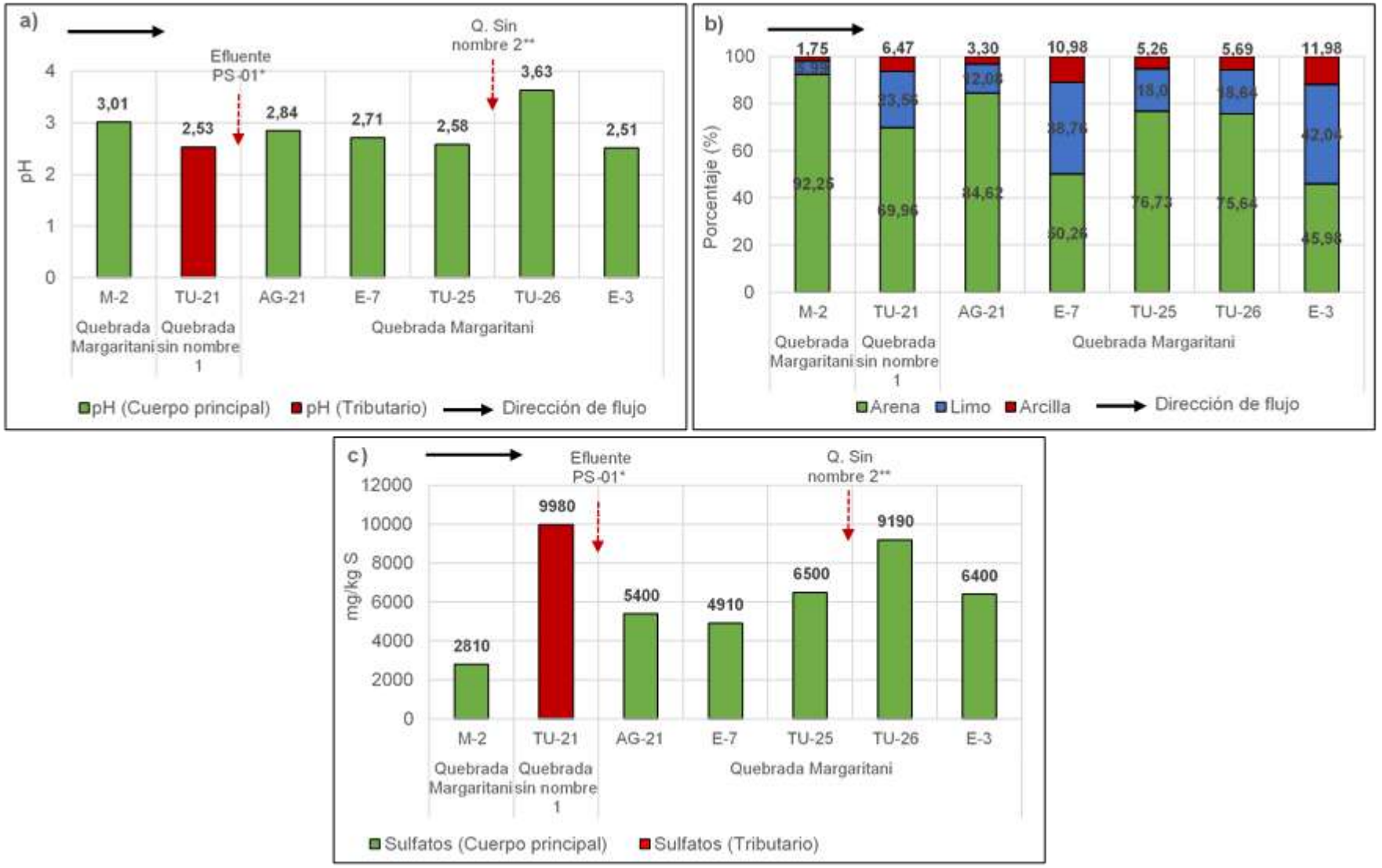


Figura 6.96. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Margaritani (sector Margaritani)

(*) El efluente PS-01 descarga a la quebrada Margaritani entre los puntos M-2 y AG-21.

(**) La quebrada sin nombre 2 tributa a la quebrada Margaritani entre los puntos TU-25 y TU-26.

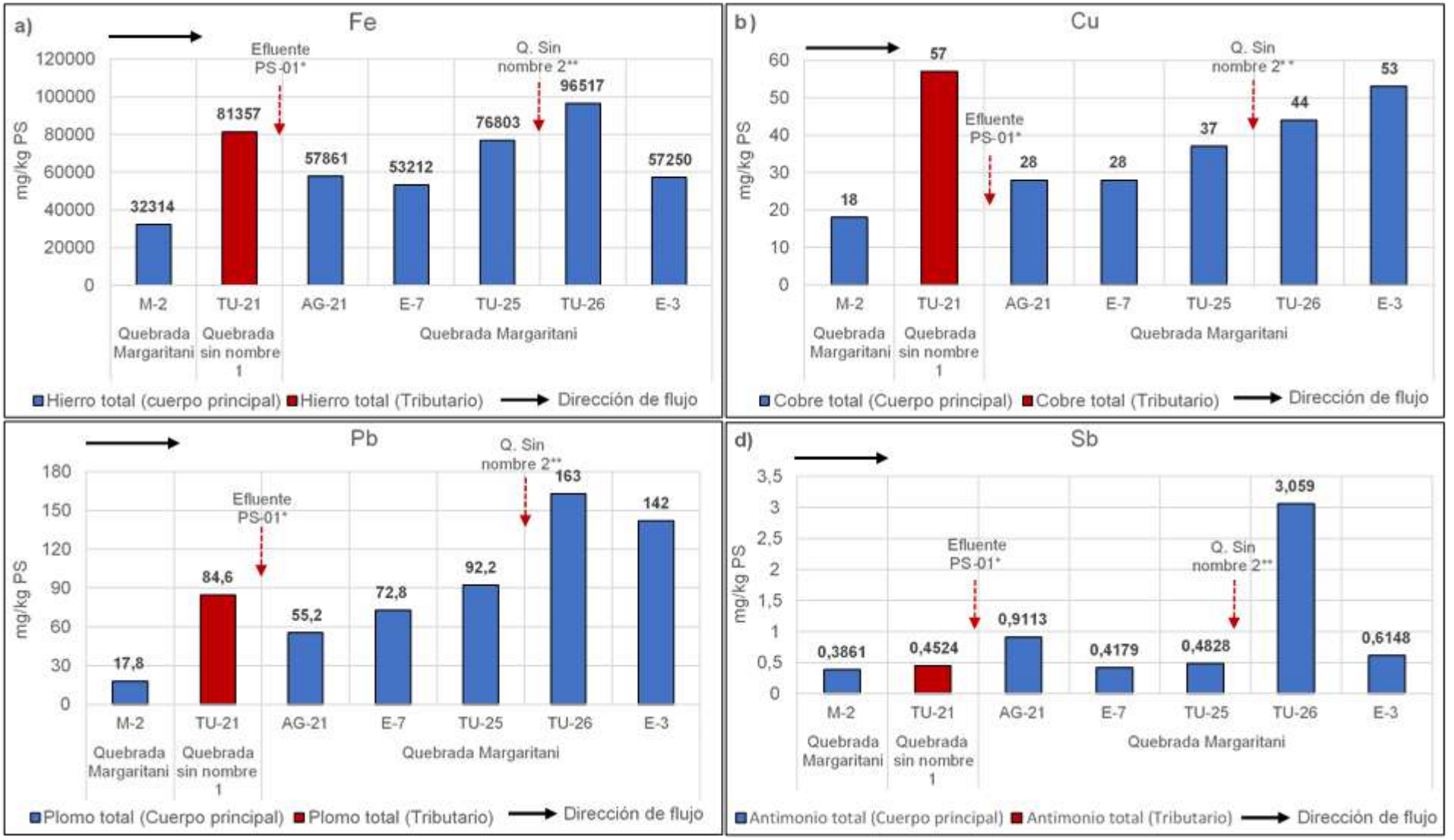


Figura 6.97. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** antimonio en la zona Margaritani (sector Margaritani)

(*) El efluente PS-01 descarga a la quebrada Margaritani entre los puntos M-2 y AG-21.

(**) La quebrada sin nombre 2 tributa a la quebrada Margaritani entre los puntos TU-25 y TU-26.

Como se aprecia en la Tabla 6.27 y las Figuras 6.96 y 6.97, los valores de pH obtenidos en los sedimentos de la quebrada Margaritani (M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) y la quebrada sin nombre 1 (TU-21), variaron desde 2,51 hasta 3,63; lo que evidencia sedimentos de características ácidas en la quebrada Margaritani, desde aguas arriba de la descarga del efluente minero PS-01 (M-2), hasta antes de la confluencia con la quebrada Apostoloni (E-3); así como del tributario quebrada sin nombre 1 (TU-21).

Se obtuvieron bajos contenidos de materia orgánica en la quebrada Margaritani y tributario, con valores por debajo de 0,3 %. Además, se observó una baja proporción de partículas finas entre limo y arcilla (menor al 30 %) en todos los puntos de muestreo del cuerpo de agua principal y tributario; a excepción de los puntos E-7 y E-3, que muestran porcentajes de 50 % y 54% en conjunto de limo y arcilla, respectivamente.

En relación con las concentraciones de sulfatos en el sedimento, se observa un incremento entre los puntos M-2 y AG-21, pasando de 2810 mg/kg S a 5400 mg/kg S, luego de la descarga del efluente minero PS-01 y el tributario quebrada sin nombre 1; es este último se registró una elevada concentración de sulfatos (9980 mg/kg). Este mismo comportamiento se observa entre los puntos TU-25 y TU-26 de la quebrada Margaritani, luego del aporte de la quebrada sin nombre 2, donde las concentraciones de sulfato incrementan desde 6500 mg/kg S hasta 9190 mg/kg S.

De manera similar, las concentraciones de hierro, cobre, plomo y antimonio se incrementaron entre los puntos M-2 y AG-21, desde 32314 a 57861 mg/kg PS; 18 a 28 mg/kg PS; 17,8 a 55,2 mg/kg PS; y de 0,3861 a 0,9113 mg/kg PS, respectivamente, luego de la descarga del efluente minero PS-01 y el aporte de la quebrada sin nombre 1 (TU-21), donde también se obtuvieron valores altos de hierro, cobre, plomo y antimonio (81357; 57; 84,6; y 0,4524 mg/kg PS). También se registró un aumento en las concentraciones de los elementos mencionados en los sedimentos de la quebrada Margaritani, entre los puntos TU-25 y TU-26, luego del aporte de la quebrada sin nombre 2, pasando de 76803 a 96517 mg/kg PS; 37 a 44 mg/kg PS; 92,2 a 163 mg/kg PS; y desde 0,4828 a 3,059 mg/kg PS, para el hierro, cobre, plomo y antimonio respectivamente.

Concentraciones de metales que excedieron los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.28, se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani), comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Tabla 6.28. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Margaritani) comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
M-2	Quebrada Margarita-ni	66,8	0,13144	18	5,057	0,034	17,8	38
TU-21	Quebrada sin nombre 1	139	0,17452	57	9,627	0,133	84,6	36

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
AG-21	Quebrada Margarita-ni	135	0,07699	28	5,272	0,078	55,2	23
E-7	Quebrada Margarita-ni	139	0,08257	28	3,819	0,383	72,8	23
TU-25	Quebrada Margarita-ni	638	0,14612	37	5,712	0,122	92,2	19
TU-26	Quebrada Margarita-ni	1005	0,38849	44	5,304	0,172	163	31
E-3	Quebrada Margarita-ni	601	0,668	53	6,179	0,333	142	51
CEQG[a]	ISQG [b]	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL[c]	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*
(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos
(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

De acuerdo con la Tabla 6.28, las concentraciones de arsénico en todos los puntos de muestreo de la quebrada Margaritani (M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) y los valores de plomo en los puntos TU-25, TU-26 y E-3 (92,2; 163 y 142 mg/kg PS) excedieron los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá - CEQG. Asimismo, las concentraciones de cadmio en el punto E-3 (0,668 mg/kg PS); cobre en los puntos TU-25 (37 mg/kg PS), TU-26 (44 mg/kg PS) y E-3 (53 mg/kg PS); mercurio en los puntos E-7 (0,383 mg/kg PS),TU-26 (0,172 mg/kg) y E-3 (0,333 mg/kg PS); así como plomo en los puntos AG-21 (55,2 mg/kg PS) y E-7 (72,8 mg/kg PS) de la quebrada Margaritani, superaron sólo el valor ISQG de la mencionada guía de comparación.

En relación con el tributario quebrada sin nombre 1 (TU-21), la concentración de arsénico (139 mg/kg PS) excedió los valores ISQG y PEL; mientras que los valores de cobre (57 mg/kg PS) y plomo (84,6 mg/kg PS) sólo superaron el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Extracción secuencial de metales en sedimento

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en la Tabla 6.29 y las Figura 6.98 y 6.99. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo del sector Quebrada Margaritani.

Tabla 6.29. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani)

Fracciones	Cd (mg/kg)			Co (mg/kg)			Cu (mg/kg)			Ni (mg/kg)			Pb (mg/kg)			Zn (mg/kg)			Fe (mg/kg)			Mn (mg/kg)		
	AG-21	TU-26	E-3	AG-21	TU-26	E-3	AG-21	TU-26	E-3	AG-21	TU-26	E-3	AG-21	TU-26	E-3	AG-21	TU-26	E-3	AG-21	TU-26	E-3	AG-21	TU-26	E-3
F1	<0,05	0,196	0,397	0,52	0,56	1,22	4,08	6,05	12,83	<0,5	<0,5	0,91	<0,5	<0,5	<0,5	<5	8,2	18,3	79,7	103,1	445,4	29,08	7,07	12,53
F2	<0,05	0,103	0,199	0,192	0,259	0,544	2,19	3,44	7,22	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	7,8	123	133,2	340,8	11,9	3,5	6
F3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,223	0,516	0,864	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<5	464,1	416,6	445,5	0,92	0,62	0,68
F4	<0,05	<0,05	<0,05	0,078	0,124	0,12	1,226	3,446	2,578	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,4	1,28	<5	<5	<5	11132	10374	7541	10,43	10,99	4,46
F5	<0,05	<0,05	<0,05	0,213	0,344	1,252	3,546	5,23	6,812	<0,5	<0,5	1,17	3,27	28,98	9,74	<5	<5	5,16	4893	7115	6740	7,58	7,3	6,48
F6	<0,05	<0,05	<0,05	0,57	0,621	0,557	12,36	20,64	12,88	0,63	0,85	0,77	42,91	126,6	93,47	11,17	14,58	18,27	30242	62335	28963	18,7	19,1	13,2
Suma de fracciones	*	0,299	0,596	1,573	1,908	3,693	23,625	39,322	43,184	0,63	0,85	2,85	46,18	157,98	104,49	11,17	22,78	49,53	46933,8	80476,9	44475,7	78,61	48,58	43,35

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).

F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.

<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.

(*): No aplica, puesto que los resultados de las 6 fracciones se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio (< 0,05 mg/kg).

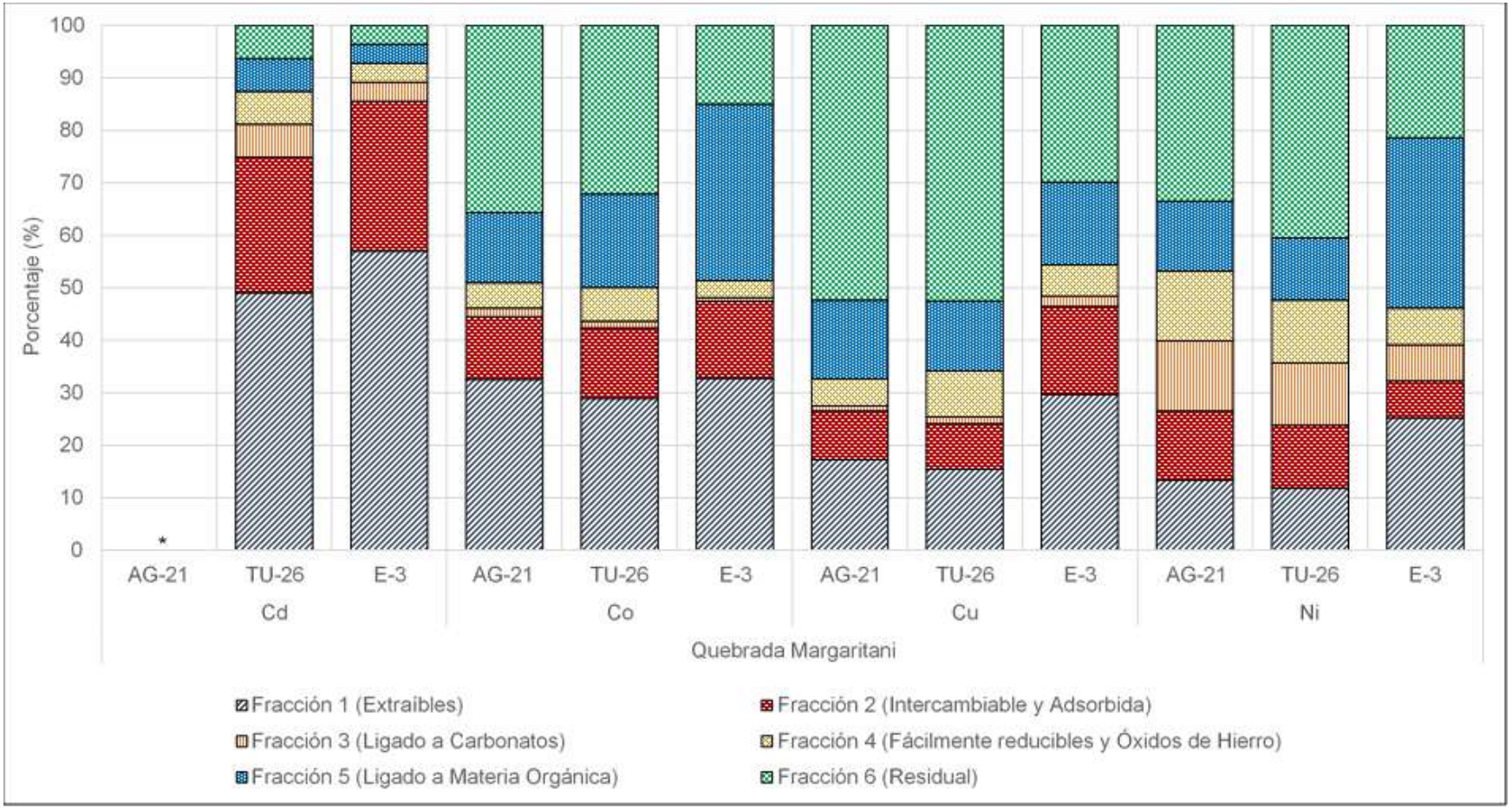


Figura 6.98. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Margaritani)

(*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos del punto AG-21.

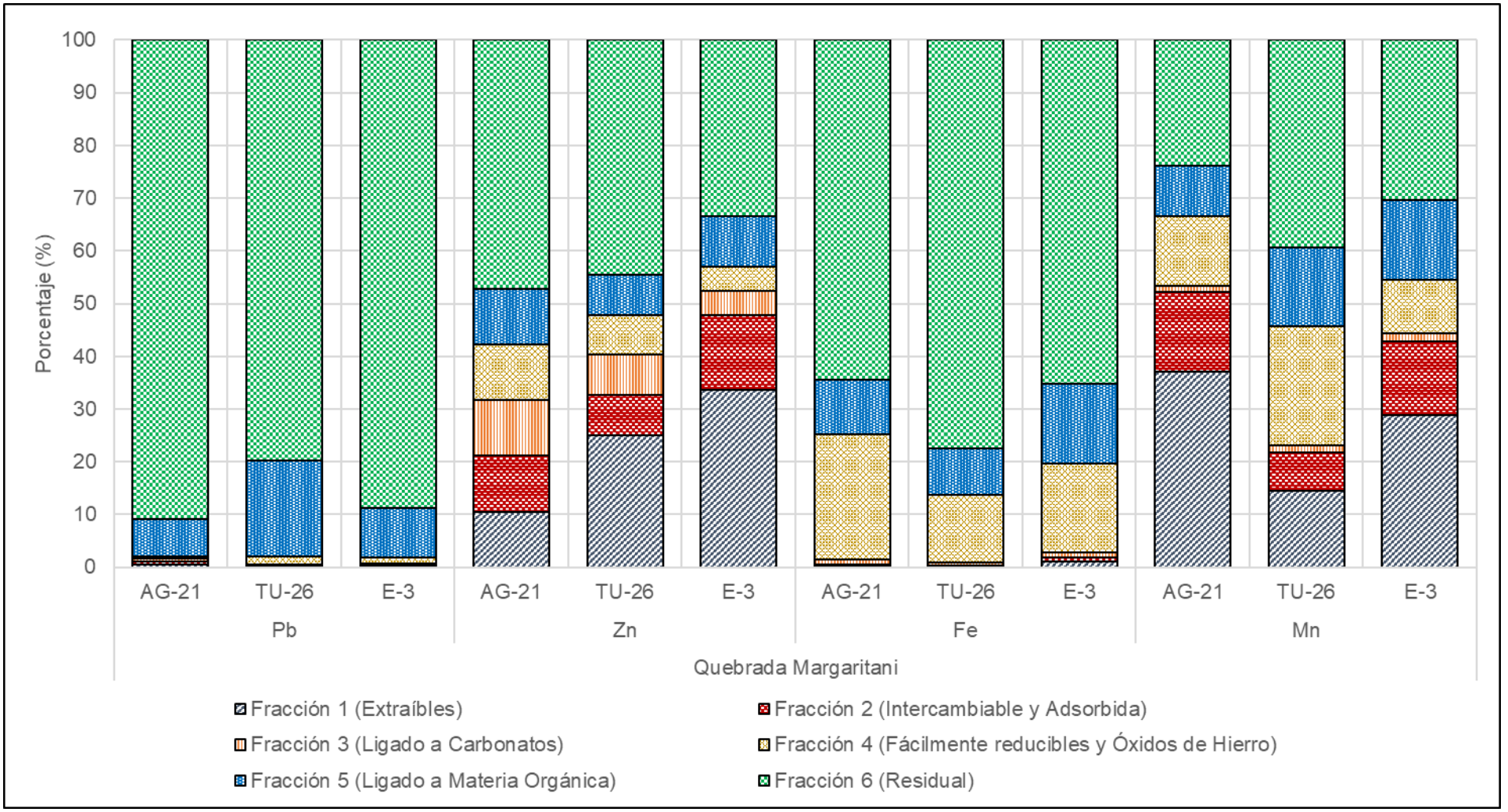


Figura 6.99. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector Margaritani)

En las Figuras 6.98 y 6.99, se observa que las proporciones encontradas en las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual) representan desde el 33,4 % hasta 67% para los metales cobalto, cobre, zinc y manganeso en la quebrada Margaritani (puntos AG-21, TU-26 y E-3). Asimismo, se encontraron altas proporciones en la fracción 6 para el plomo y hierro en los 3 puntos de muestreo de la quebrada Margaritani, con porcentajes en el rango de 64,4% a 90,9 %, lo que indica la presencia de estos metales enlazados a minerales primarios y secundarios; los cuales no se liberarían en solución durante un periodo de tiempo amplio en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza. Por otra parte, el contenido de metales en los sedimentos de la quebrada Margaritani representados en la fracción 5, se liberaría hacia la columna de agua en condiciones oxidantes, donde la materia orgánica tiende a degradarse.

En la fracción 4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) se obtuvieron porcentajes de cobalto, cobre, hierro y manganeso en la quebrada Margaritani (puntos AG-21, TU-26 y E-3) y plomo sólo en los puntos TU-26 y E-3, variaron desde 1,2 % hasta 23,7 %. La generación de condiciones anóxicas en los sedimentos de este sector (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de metales, puesto que los óxidos de hierro y manganeso son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

Asimismo, se encontraron bajas proporciones en la fracción 3 (ligados a carbonatos) para los metales cobre, hierro y manganeso en los 3 puntos evaluados de la quebrada Margaritani (AG-21, TU-23 y E-3), con porcentajes desde 0,51 % a 2,0 %. Los metales unidos a esta fracción son susceptibles a cambios de pH en el sistema, lo que ocasionaría que el contenido de metales en el sedimento sea liberado; considerando que se encontraron pH ácidos en los sedimentos de la quebrada Margaritani, y altas concentraciones de metales como hierro representadas en esta fracción para los 3 puntos de muestreo (464,1; 416,6 y 445,5 mg/kg PS).

Por último, se encontraron en conjunto altas proporciones de cadmio para la fracción 1 y 2 (extraíbles, intercambiable y adsorbida) para los puntos TU-26 y E-3, con porcentajes de 74,93 % y 85,63 %. Asimismo, se obtuvieron valores de cobalto, cobre, hierro y manganeso, en los 3 puntos de la quebrada Margaritani (AG-21, TU-26 y E-3), con porcentajes desde 0,29 % a 52,13 %; y un porcentaje de zinc de 47,86 % para estas fracciones en el punto E-3. El contenido de metales representado en estas fracciones puede liberarse desde los sedimentos hacia la columna de agua, por cambios en la composición iónica del agua que afectan los procesos de sorción – desorción.

Índice de geoacumulación

En esta sección se presentan los resultados de los índices de geoacumulación calculados para la zona Margaritani (sector Margaritani). Los niveles de fondo geoquímico (Tabla 6.30) calculados a partir de las concentraciones de metales evaluados en los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4), Vizcachas (VIZ-4), Titire (AG-09), así como de las quebradas sin nombre 3 (QSnom3) y Chilota (QChil-1), en tramos de los mencionados cuerpos de agua que no tienen influencia de actividades mineras.

En las Figuras 6.100 y 6.101 se presentan los índices de geoacumulación para los metales hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico, antimonio y aluminio, calculados para las muestras de sedimento de la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani).

Tabla 6.30. Valor de fondo geoquímico en los sedimentos evaluados para el área de estudio

Punto de muestreo	Nombre	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Hg (mg/kg)	As (mg/kg)	Sb (mg/kg)	Al (mg/kg)
AG-14	Río Queullirijahuiri	104509	22	61	16	0,02208	1,826	12,2	2,1	0,028	301	0,3942	15413
MA-15		83775	18	60,6	15	0,04333	1,615	6,887	1,76	0,026	210	0,4756	12020
AG-17		39038	19	33	30	0,03094	3,534	3,114	3,28	0,078	84	0,0737	17359
RArun1	Río Aruntaya	57389	26	16,7	7,1	0,0147	1,775	6,874	1,94	0,02	36,1	< 0,0030	11685
M-4		106339	29	15,8	27	0,07357	3,62	10,6	4,97	0,035	52	0,1239	25261
QSnom3	Quebrada sin nombre 3	11360	11	10,3	28	0,11124	4,794	4,897	3,1	0,062	142	0,249	7031
AG-09	Río Titire	13093	13	11,2	34	0,15796	4,47	6,808	4,23	0,045	26,4	0,0576	9735
QChil-1	Quebrada Chilota	14391	23	7,191	32	0,16356	6,124	4,358	3,62	0,021	7,63	0,2279	10785
VIZ-4	Río Vizcachas	14631	17	7,014	30	0,0685	6,927	1,174	4,57	0,016	63,6	0,0249	11570
Valor de fondo geoquímico*		49391,667	19,778	24,756	24,344	0,076	3,854	6,324	3,286	0,037	102,526	0,203	13428,778

(*): El valor de fondo geoquímico corresponde a la media aritmética de las concentraciones de los metales hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico, antimonio y aluminio de los puntos de muestreo AG-14, MA-15, AG-17, RArun1, M-4, QSnom3, AG-09, QChil-1 y VIZ-4.

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).

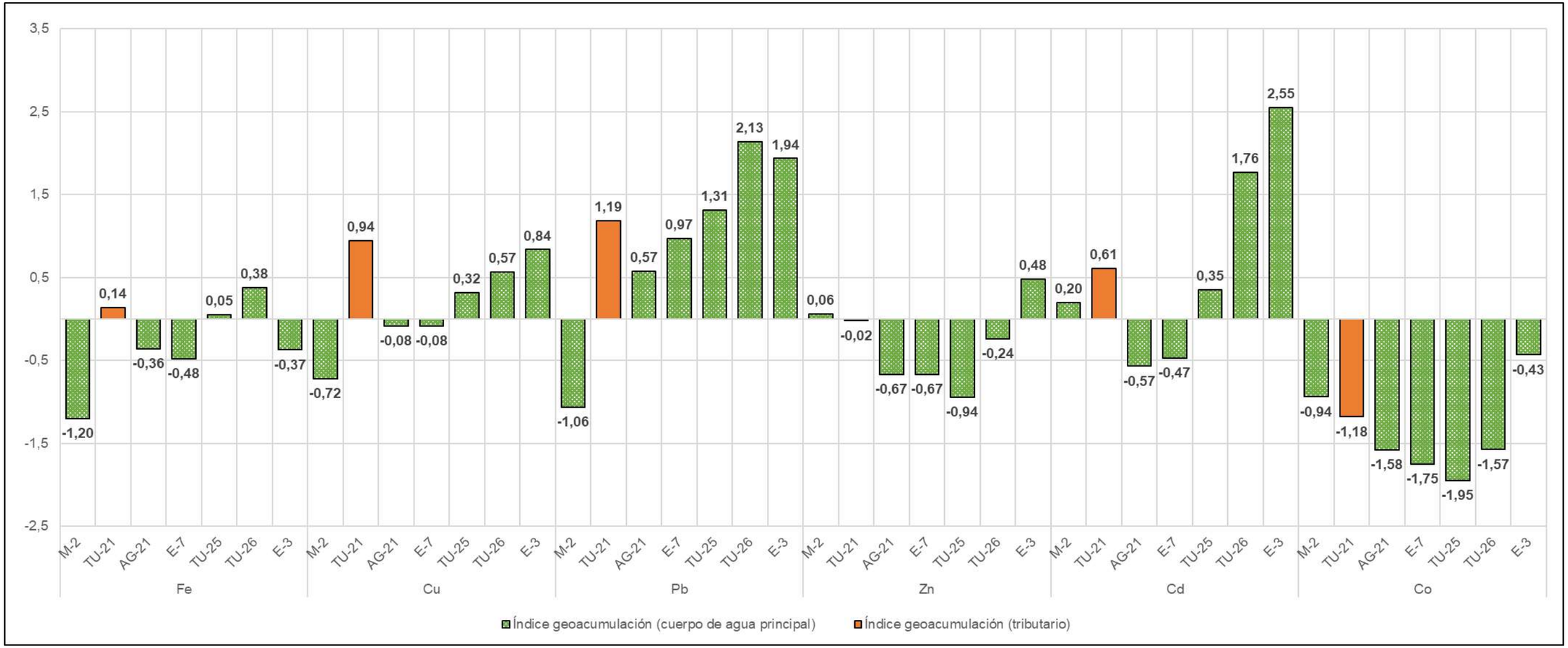


Figura 6.100. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb, Zn, Cd y Co en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani)

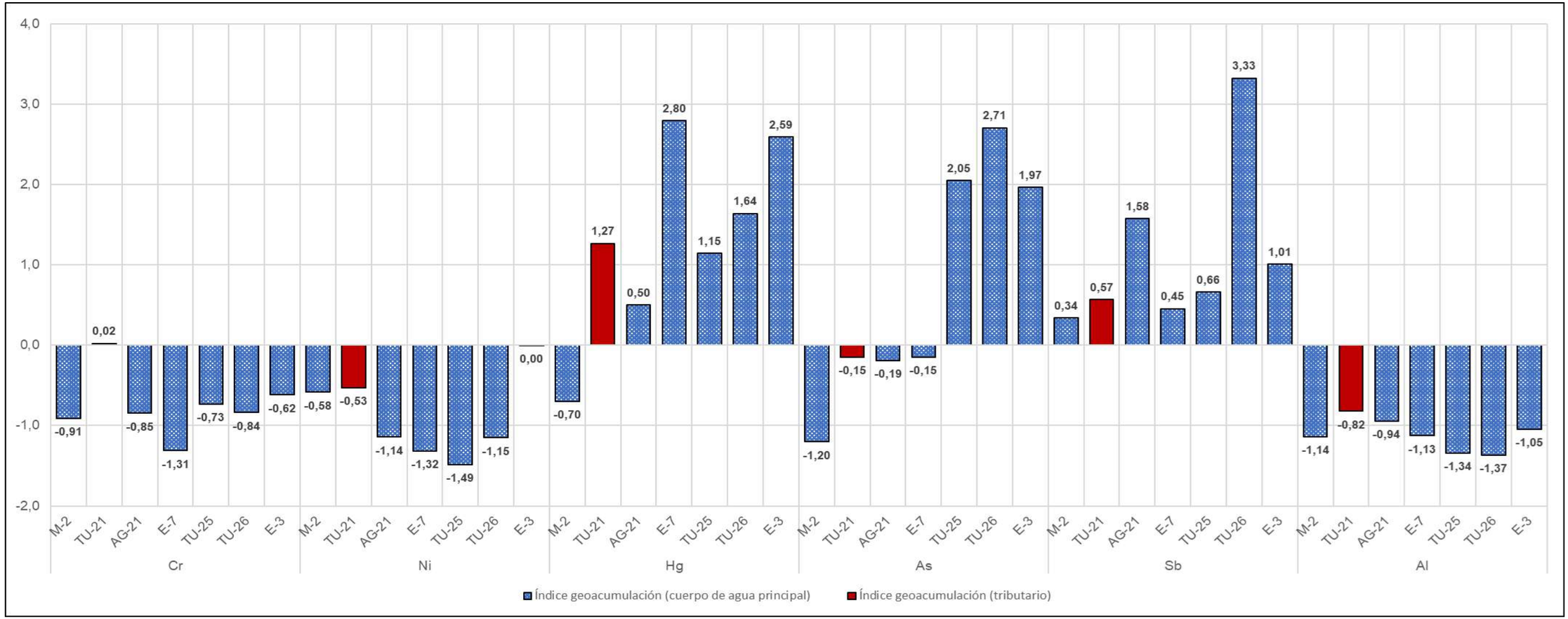


Figura 6.101. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cr, Ni, Hg, As, Sb y Al en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani)

De acuerdo con las figuras, los valores de los índices variaron desde -1,95 hasta 3,33 para los 12 metales evaluados; clasificando (de acuerdo con Müller, 1969) a la quebrada Margaritani con una calidad de sedimento «no contaminado a moderadamente contaminado» para hierro (punto TU-26), cobre (TU-26, TU-26 y E-3) y zinc (E-3).

Asimismo, la calidad del sedimento fue clasificado desde «no contaminado a moderadamente contaminado» hasta «moderadamente a fuertemente contaminado» para los metales plomo (AG-21, E-7, TU-25, E-3 y TU-26), cadmio (M-2, TU-25, TU-26 y E-3) y mercurio (AG-21, TU-25, TU-26, E-7 y E-3). Además, sólo la quebrada Margaritani en el punto TU-26, fue catalogado como «fuertemente contaminado».

En relación con el tributario quebrada sin nombre 1 (TU-21), la calidad de los sedimentos fue clasificada como «no contaminado a moderadamente contaminado» para el hierro, cobre, cadmio y antimonio; y «moderadamente contaminado» en base al contenido de plomo y mercurio.

Análisis mineralógico

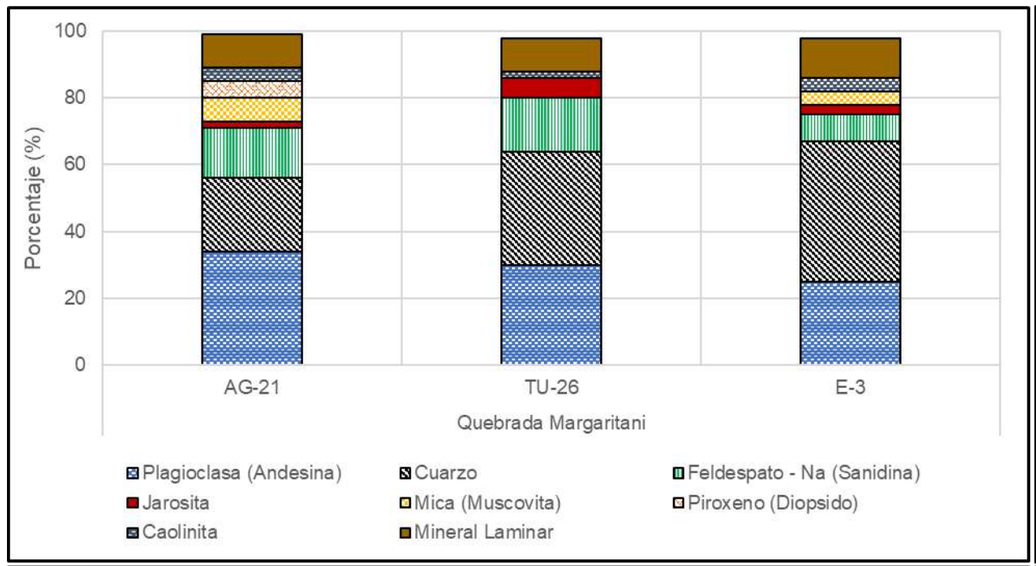
Difracción de rayos X

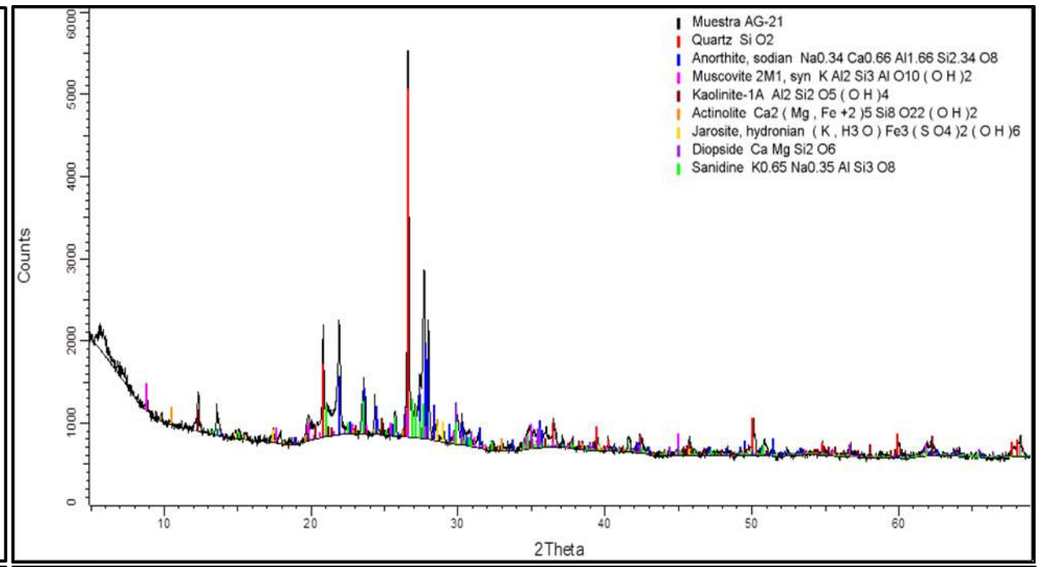
El análisis mineralógico por difracción de rayos X del sedimento de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani) se presentan en la Figura 6.102. La composición mineralógica de los sedimentos de la quebrada Margaritani (puntos AG-21, TU-26 y E-3) consistió principalmente de minerales como plagioclasa, cuarzo y feldespato, que representan en conjunto 71 %, 80 % y 75 % para los puntos AG-21, TU-26 y E-3, respectivamente.

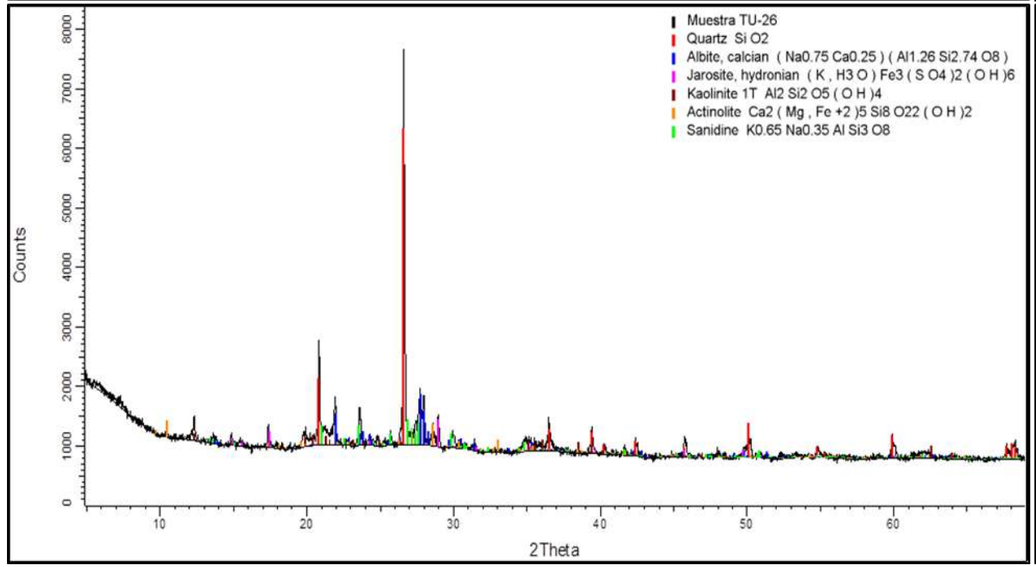
Asimismo, se identificaron proporciones de jarosita (fase de sulfatos) de 2 %, 6% y 3 % para los puntos mencionados respectivamente. La jarosita es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH <3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards et al., 1999; Smith et al., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos de la quebrada Margaritani.

La jarosita tiene relevancia en la presente evaluación ambiental, porque incorpora en su estructura, adsorbe y coprecipita cantidades considerables de elementos potencialmente tóxicos como arsénico, cromo, cadmio y plomo, como ha sido reportado en numerosos estudios (Domenech *et al*., 2002; Dutrizac *et al*., 1980; Dutrizac *et al*., 1996; Dutrizac *et al*., 1987; Gonzalez-Ibarra *et al*., 2016; Gunneriusson *et al.,* 2009; Smith *et al*., 2006).

Otros minerales como mica (puntos AG-21 y E-3), piroxeno (AG-21), caolinita y minerales laminares (AG-21, TU-26 y E-3), se encontraron en la quebrada Margaritani en menores proporciones, lo que refleja la heterogeneidad de los materiales presentes (minerales) debido a los procesos de alteración que ocurren en la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani).







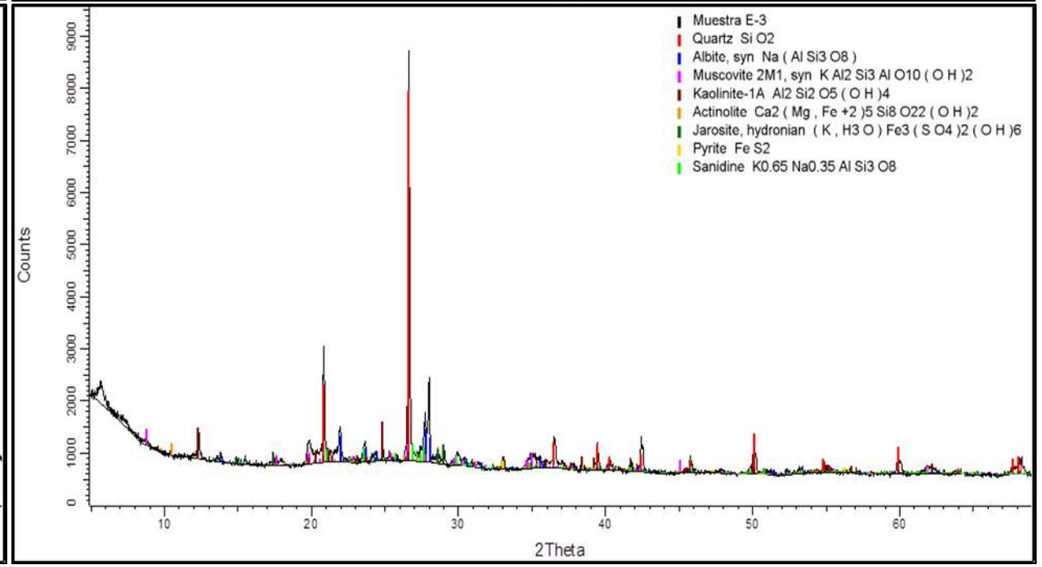


Figura 6.102. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani)

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido de los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani) se presenta en la Tabla 6.31 y la Figura 6.103.

Tabla 6.31. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani)

Minerales identificados	Puntos de muestreo		
	Quebrada Margaritani	Quebrada Margaritani	Quebrada Margaritani
	AG-21	TU-26	E-3
Hematita (Fe_2O_3)	x	-	-
Goethita (FeO.OH)	x	-	-
Pirita (FeS_2)	x	x	x
Calcopirita ($CuFeS_2$)	x	-	-
Enargita (Cu_3AsS_4)	x	x	-
Baritina ($BaSO_4$)	x	x	x
Aleación de Sn-Fe-Ni	x	-	-
Goethita (FeO.OH) con titanio (Ti)	x	-	-
Hematita (FeO_3) con titanio	x	x	-
Rutilo (TiO_2)	-	x	-
Goethita (FeO.OH) con azufre (S)	-	x	x
Magnetita (Fe_2O_3.FeO)	-	x	-
Ilmenita ($FeTiO_3$)	-	x	x
Zircón ($ZrSiO_4$)	-	x	-
Hematita (Fe_2O_3) con titanio (Ti) y magnesio (Mg)	-	x	-
Magnetita (Fe_2O_3.FeO) con titanio (Ti)	-	x	x
Magnetita (Fe_2O_3.FeO) con titanio (Ti) y magnesio (Mg)	-	x	-
Baritina ($BaSO_4$) con estroncio (Sr)	-	-	x

(-): No aplica.

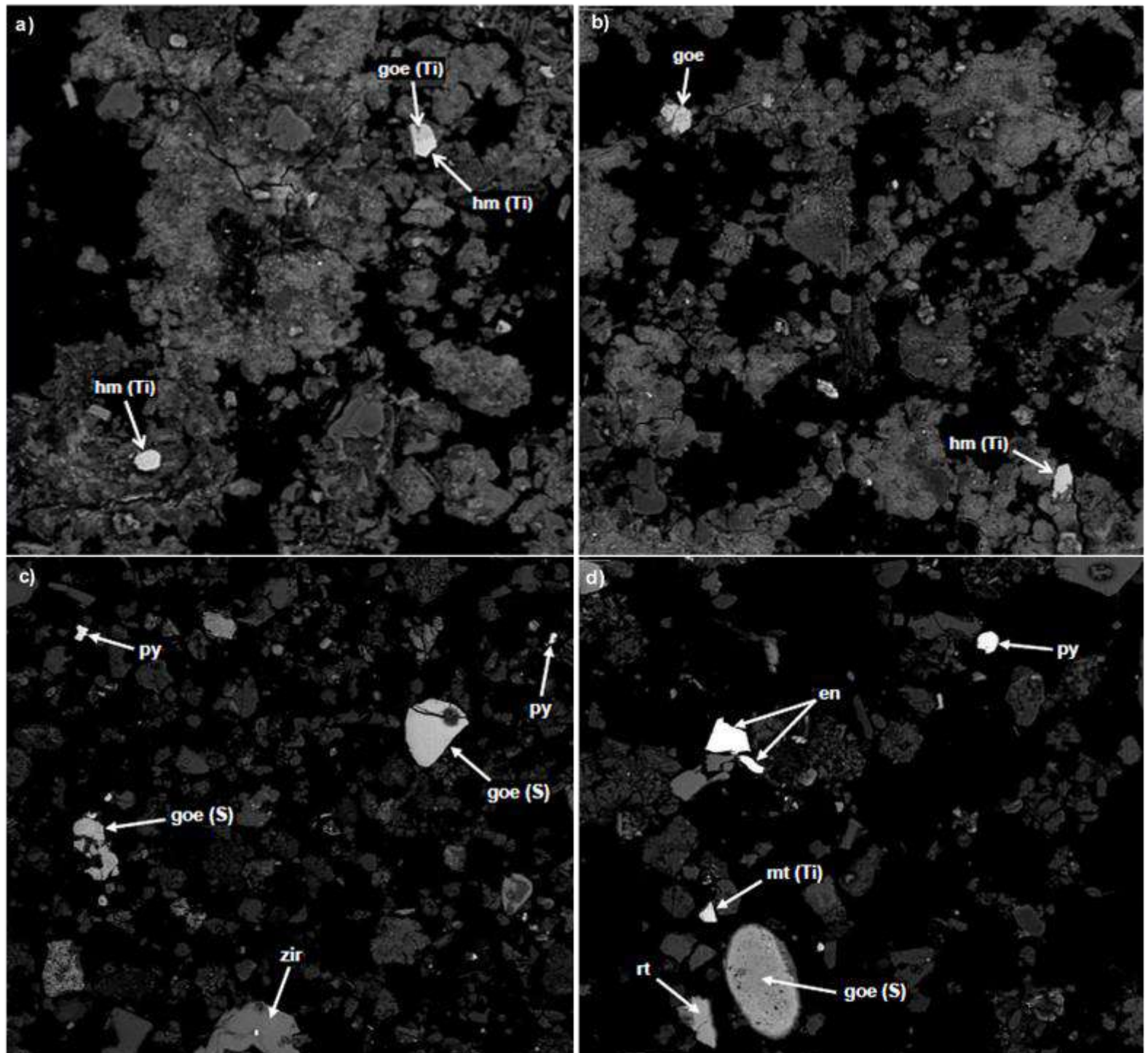


Figura 6.103. Minerales en los sedimentos de la quebrada Margaritani; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-21 (a y b), TU-26 (c y d) y E-3 (e y f). Partícula libre hematita con titanio (hm (Ti)); partícula mixta de goethita con titanio (goe (Ti)) y hematita con titanio (hm (Ti)), goethita (goe), pirita (py), zircón (zir) y goethita con azufre (goe (S)), rutilo (rt), enargita (en), magnetita con titanio (mt (Ti)).

Se identificaron minerales basados en hierro en los sedimentos de la quebrada Margaritani (AG-21, TU-26 y E-3) tales como hematita, goethita, aleación de Sn-Fe-Ni, magnetita, ilmenita. La formación de minerales como la goethita, están relacionados con un alto contenido de hierro (precipitado) en el sistema. La formación de este mineral depende del pH y las concentraciones de sulfatos en sistemas afectados por drenajes ácidos de mina (Silva et al., 2013), como los identificados en los puntos AG-21, TU-26 y E-3. En cuerpos de agua contaminados por drenajes ácidos de mina, como la quebrada Margaritani, los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos.

Asimismo, minerales como la goethita pueden ser formados desde la schwertmannita y otros como ferrihidrita y jarosita (Kim *et al*., 2020); este último fue identificado en los sedimentos de los puntos AG-21, TU-26 y E-3 de la quebrada Margaritani (por difracción de rayos X), probablemente a partir del cual se ha derivado. Además, se identificaron minerales de sulfuros de hierro (pirita), cobre (calcopirita), y arsénico con cobre (enargita) en cantidades traza en los sedimentos de la quebrada Margaritani.

Análisis multivariados

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP), empleando los resultados de un total de 22 parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector Margaritani), permitió reducir el número de variables e investigar el origen y distribución de metales, sulfatos, entre otras variables en la quebrada Margaritani y el tributario sin nombre 1. Las variables se agruparon en 2 componentes principales (PC1 y PC2) que explicaron el 66,44 % de la varianza total del conjunto de datos (Tabla 6.32).

Tabla 6.32. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector Quebrada Margaritani)

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
pH	0,05180	**-0,61594**
Sulfatos	**0,62409**	-0,07547
Arcilla	**0,70991**	0,47529
Arena	**-0,72554**	-0,48691
Fe	**0,67284**	-0,42119
Cu	**0,70294**	0,39336
Pb	**0,94633**	-0,03354
Zn	0,14816	**0,82147**
Cd	**0,67157**	0,49367
Co	0,06839	**0,88338**
Cr	0,06418	0,42115
Ni	0,10560	**0,92307**

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
Hg	**0,67127**	0,31968
As	**0,77041**	-0,34381
Sb	0,46193	**-0,54558**
Al	-0,30160	**0,62281**
Mn	**-0,88935**	0,18124
Ca	**-0,83945**	0,26213
Na	**-0,82053**	0,10797
K	**0,69988**	-0,44687
Mg	**-0,82894**	0,34554
Ba	**0,87056**	0,39969
Valores propios (Eigenvalues)	9,21	5,40
Porcentaje de la varianza explicada (%)	41,86	24,58
Varianza acumulada (%)	41,86	66,4

Los valores significativos (> +/- 0,5) se encuentran resaltados.

El componente principal 1 (PC1) presentó una moderada a fuerte correlación (valores entre 0,5 a 1,0) con los siguientes parámetros evaluados en el sedimento de la quebrada Margaritani y tributario: sulfatos, arcilla, hierro, cobre, plomo, cadmio, mercurio, arsénico, potasio y bario; que pueden definir en conjunto una nueva varible, en base a sus concentraciones en el sedimento y similar comportamiento geoquímico (metales).

Asimismo, el componente principal 2 (PC2) mostró una fuerte correlación (valores entre 0,8 a 1,0) con las variables zinc, cobalto y níquel; así como una correlación moderada (+/- 0,5 a 1) con el pH, antimonio y aluminio.

La Figura 6.104, muestra la ordenación bidimensional del análisis de componentes principales (ACP) de las variables ambientales evaluadas en la quebrada Margaritani (M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) y el tributario sin nombre 1 (TU-21).

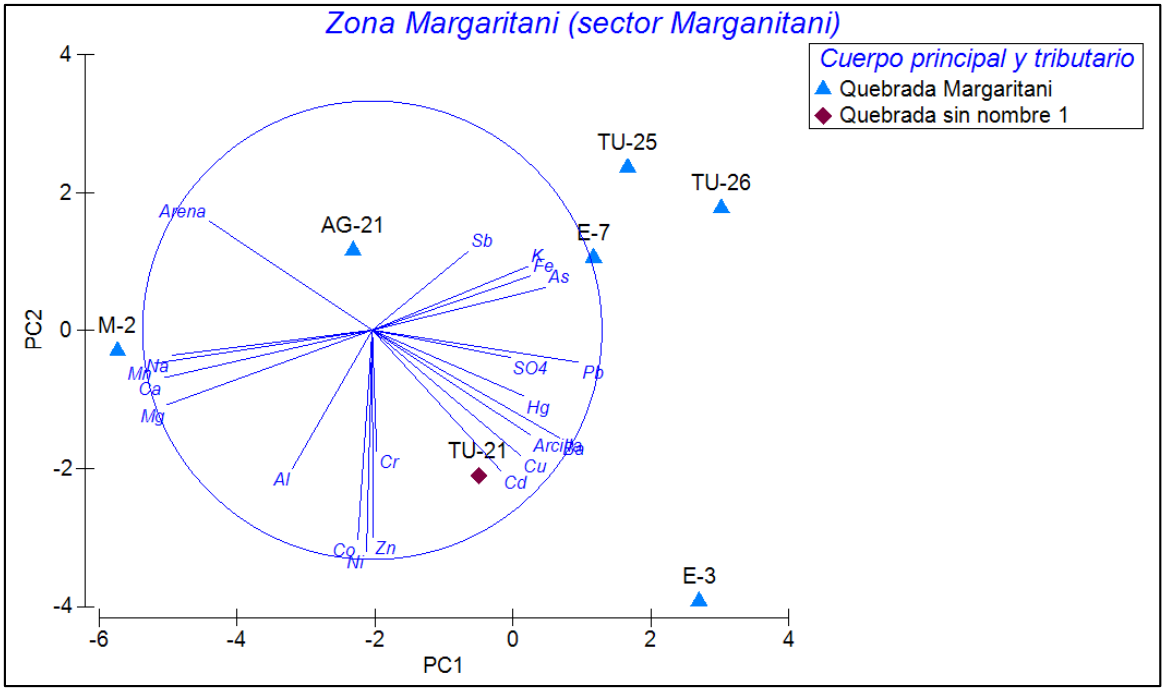


Figura 6.104. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Margaritani (sector Margaritani)

La ordenación exhibe una separación entre los puntos de muestreo de la quebrada Margaritani, donde el punto M-2 se encuentra distante de los demás puntos, asociado a variables como el contenido de arena; mientras que los demás puntos (AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) del cuerpo principal, ubicados aguas abajo de la descarga del efluente minero PS-01 y del tributario TU-21, forman un grupo debido a mayor contenido de arcilla, y concentraciones de sulfatos, hierro, cobre, plomo, mercurio, arsénico, antimonio y bario.

Análisis de conglomerados (cluster) y escalamiento multidimensional no métrico (nMDS)

El análisis de conglomerados (agrupamiento jerárquico) y la ordenación mediante el escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), se utilizaron para identificar las relaciones y gradientes entre los puntos de muestreo de la quebrada Margaritani y su tributario. Estos análisis se usan a menudo con el ACP en la identificación de las fuentes de contaminación en muestras ambientales (Zhou *et al*., 2008); y emplean una medida de disimilitud como la distancia euclidiana (recomendada para variables ambientales).

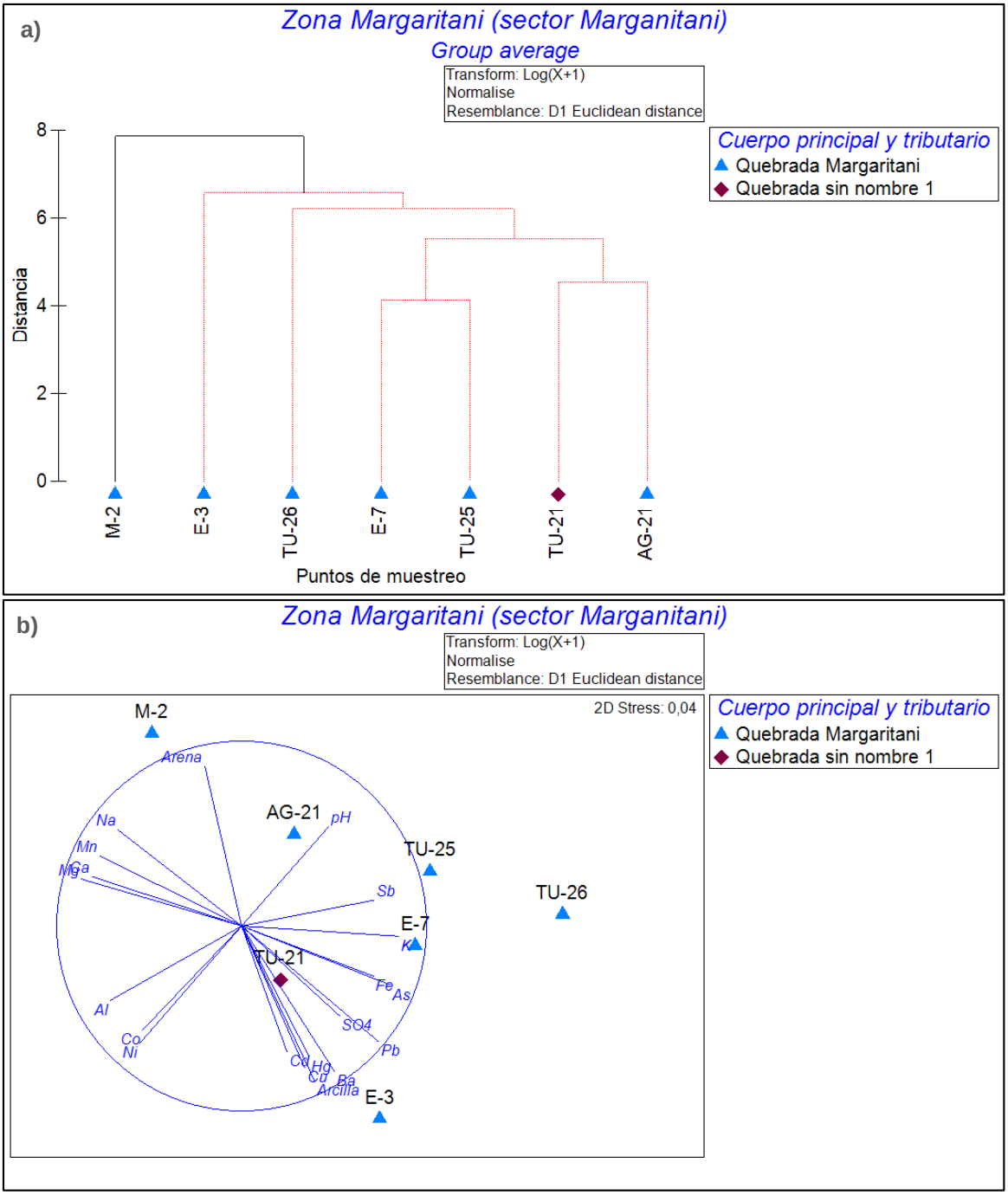


Figura 6.105. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Margaritani; y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana)

El dendograma del análisis de conglomerados (Figura 6.105a), agrupó los puntos de muestreo de la zona Margaritani en 2 grupos definidos. El primer grupo formado por el punto M-2, ubicado aguas arriba de la descarga del efluente minero PS-01 y del tributario quebrada sin nombre 1 (TU-21), y el segundo grupo por los puntos E-3, TU-26, E-7, TU-25, AG-21 (quebrada Margaritani) y TU-21 (quebrada sin nombre 1).

La distribución de los puntos de muestreo de los sedimentos de la zona Margaritani, mostró un patrón similar al del análisis de conglomerados y al ACP cuando los datos fueron

sometidos a ordenaciones mediante el nMDS (Figura 6.105b). Se aprecia un gradiente desde el punto M-2 hacia los puntos AG-21, TU-25, TU-26, E-7 y E-3 de la quebrada Margaritani, ubicados aguas debajo de la descarga del efluente minero PS-01 y del tributario quebrada sin nombre 1; y muestran una asociación con variables como el contenido de arcilla, sulfatos, hierro, cobre, plomo, mercurio, arsénico, antimonio y bario.

6.3.2.1.3. Comunidades hidrobiológicas

Se evaluaron 6 puntos ubicados en la quebrada Margaritani y 1 punto ubicado en la quebrada sin nombre 1, cuya descarga a la quebrada Margaritani se encontró próximo a la descarga del efluente PS-01.

Perifiton

Composición, riqueza y abundancia de especies

Se registraron 33 especies en la comunidad del perifiton, de las cuales 31 fueron microalgas y están distribuidos en 4 phyla. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza con 23 especies (74 %), seguido de Chlorophyta con 6 especies (20 %), Cyanobacteria con 1 especie (3 %) y Charophyta con 1 especie (3 %), en adelante los resultados se mostrarán para las microalgas del perifiton que fueron dominantes sobre los microorganismos.

En lo referente al acumulado total para el sector Quebrada Margaritani los géneros *Eunotia* y *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta tuvieron la mayor riqueza con 8 y 7 especies respectivamente. Los manantiales HB-MT-47 y HB-MT-01 presentaron los mayores valores de riqueza de especies con la presencia de especies de 2 phyla (Bacillariophyta y Cyanobacteria); mientras que, los puntos en los manantiales HB-MT-43A, HB-MT-B04 y HB-MT-B05 presentaron el menor número de riqueza con 1 especie.

De las muestras evaluadas en la quebrada Margaritani la riqueza en el acumulado total fue disminuyendo de 8 especies en el punto HB-TU-20 aguas arriba hasta 4 especies en el punto HB-E-3 se observa la disminución gradual de las especies en el curso de la quebrada después de la descarga PS-01; además la presencia de no sólo *Klebsormidium* sp.(Charophyta) sino también la asociación de esta con especies de los géneros *Microspora* y *Stigeoclonium* sp. (Chlorophyta) cuyas asociaciones están identificadas en la literatura como indicadoras de drenaje acido de mina (Verb and Vis, 2001y Sabater et al., 2003). (Figura 6.106).

La abundancia total en la temporada de muestreo fue de 1 365 194 organismos/cm^2 de microalgas, los cuales pertenecen a los phyla Bacillariophyta (1 347 523 organismos/cm^2), Cyanobacteria (200 organismos/cm^2), Chlorophyta (6 551 organismos/cm^2) y Charophyta (10 920 organismos/cm^2), Figura 6.107

La abundancia en el phylum Charophyta se debe al género *Klebsormidium* sp. y en las chlorophytas a especies pertenecientes a los géneros *Microspora* sp. y *Stigeoclonium* sp. asociadas, como ya se mencionó, a drenajes ácidos de mina, Figura 6.107

Los puntos de mayor abundancia fueron HB-TU-20 y HB-M-7 donde se registro una predominancia del género *Pinnularia* sp. conocido por presentar especies acidófilas (Krammer, 2000).

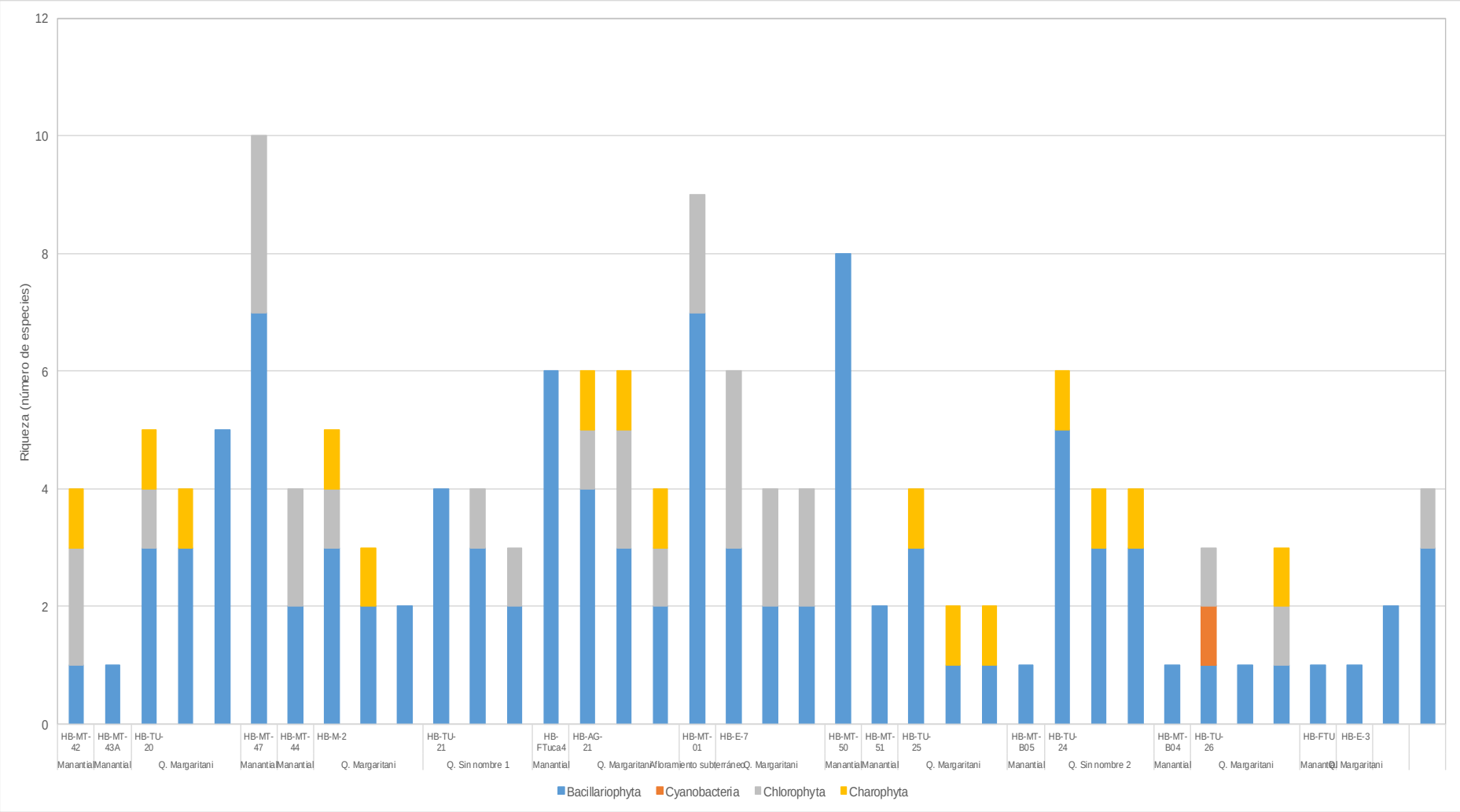


Figura 6.106. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani

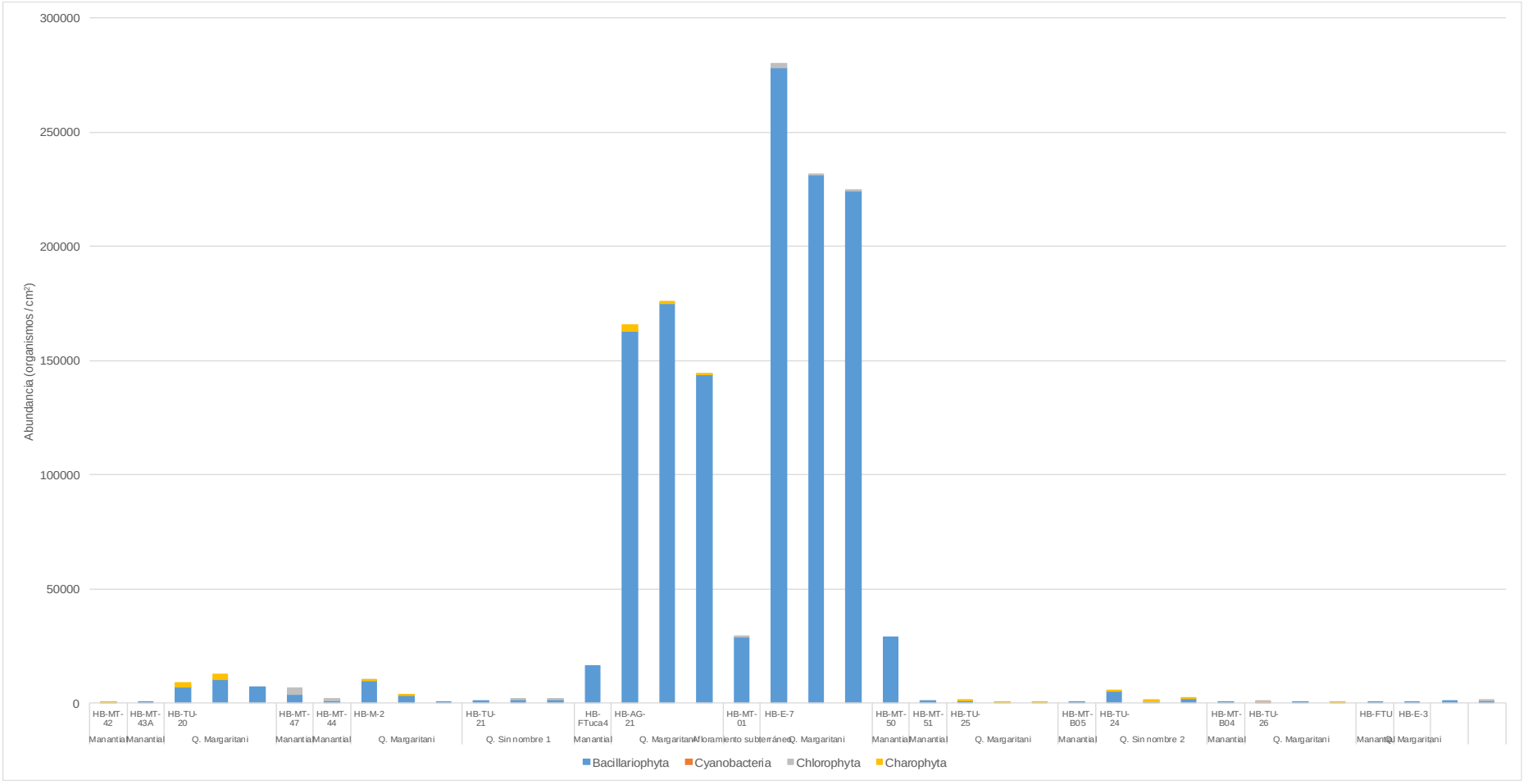


Figura 6.107. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.

Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

El ensamble del macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 3 especies, 3 familias, 3 órdenes, 2 clases y 2 phylum, según su categoría taxonómica (Anexo 3). El punto de muestreo con mayor número de especies fueron HB-TU-25 y HB-TU-26 con 2 especies, mientras que el punto de muestreo con menor número de especies fue HB-AG-21 con 1 especie. En el resto de los puntos no se colectaron organismos. Cabe señalar que el orden Diptera fue el único colectado en común respecto al total de puntos con colecta de organismos (Figura 6.108).

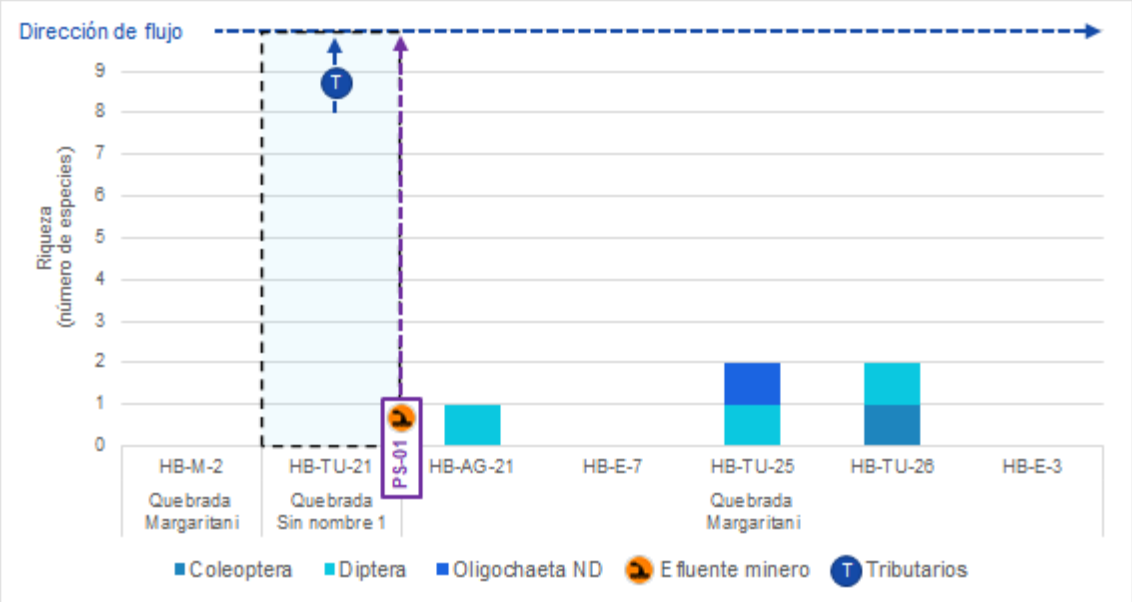


Figura 6.108. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 1,38 ± 0,92 organismos/0,09m^2 (considerando los puntos con ausencia de organismos). El punto de muestreo con mayor densidad fue HB-TU-25 con 6,67 ± 6,17 organismos/0,09m^2, mientras que el punto de muestreo con menor densidad fue HB-AG-21 con 1,33 ± 0,33 organismos/0,09m^2. Como ya se indicó, el orden Diptera se colectó en todos los puntos de muestreo; sin embargo, la clase Clitellata (subclase Oligochaeta ND) fue el más abundante en el punto HB-TU-25 (Figura 6.109).

Cabe indicar que la especie de mayor frecuencia relativa (≥33,3%) y abundancia relativa (>1,50%) fue *Podonomus* sp. perteneciente al orden Diptera, familia Chironomidae (Anexo 3), la cual será seleccionada para el análisis de correlación canónica (ACC).

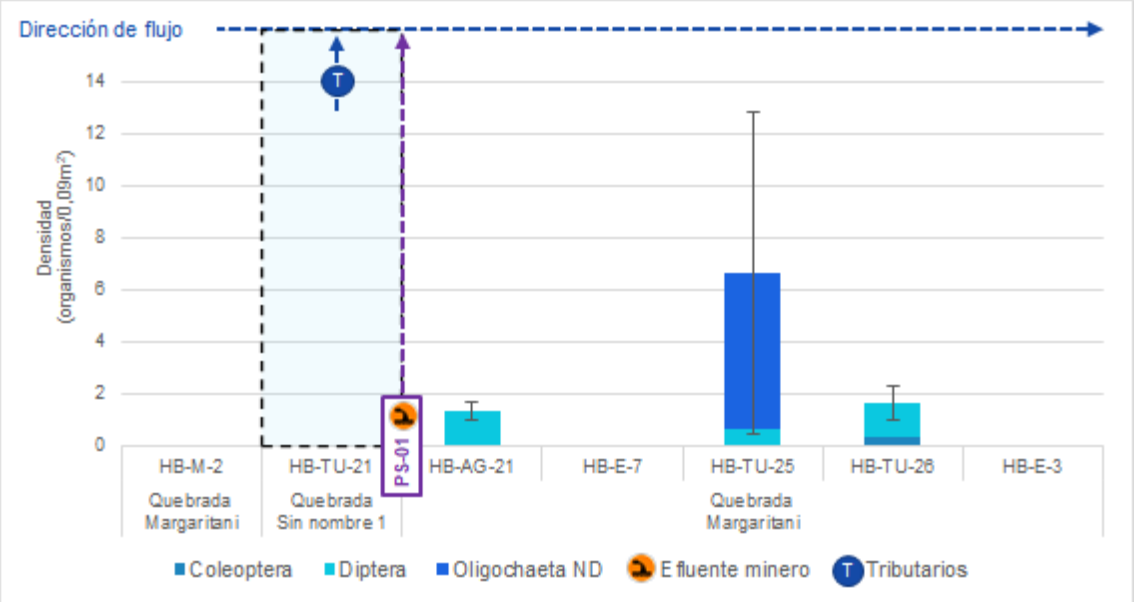


Figura 6.109. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.

Diversidad alfa

De acuerdo con la Figura 6.110, el índice de dominancia de Simpson varió desde 0,95 ± 0,05 (HB-TU-25) hasta 1,00 (HB-AG-21 y HB-TU-26). El índice de equidad de Pielou y la diversidad de Shannon-Wiener únicamente se determinó en el punto HB-TU-25, con valores iguales a 0,10 bits/individuo y 0,30 respectivamente.

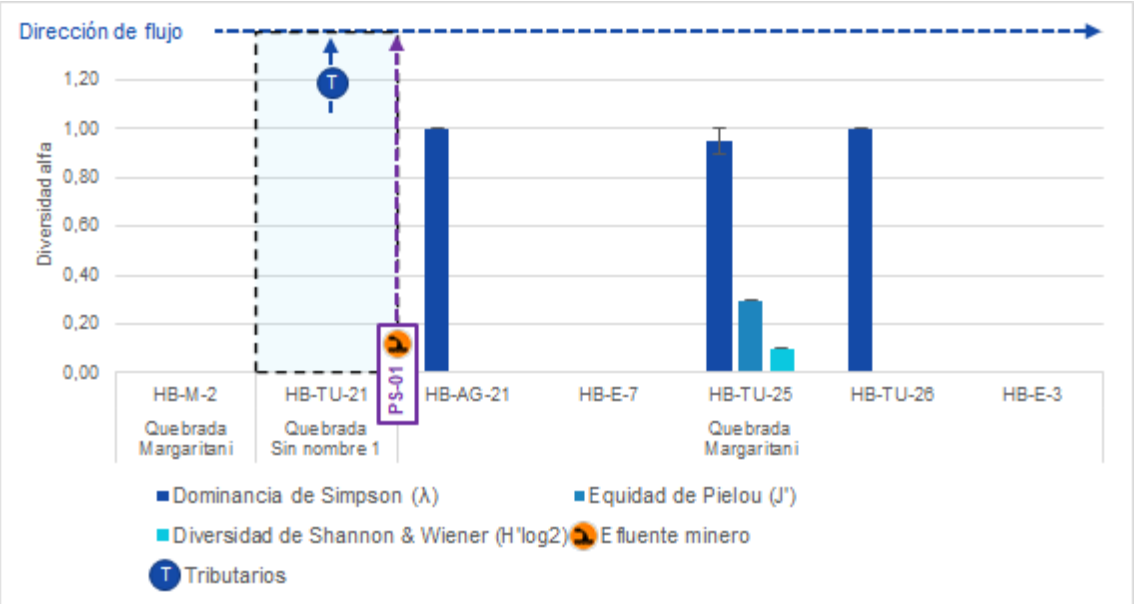


Figura 6.110. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.

Calidad biológica

En la Figura 6.111 se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo con el índice ABI. Se observó que los puntos evaluados en el sector quebrada Margaritani (antes

de la confluencia con la quebrada Apostoloni) presentaron una «pésima calidad biológica», siendo el punto HB-TU-26 el que presentó una mayor valoración, asociado a la presencia de una especie facultativa (*Ochthebius* sp.).

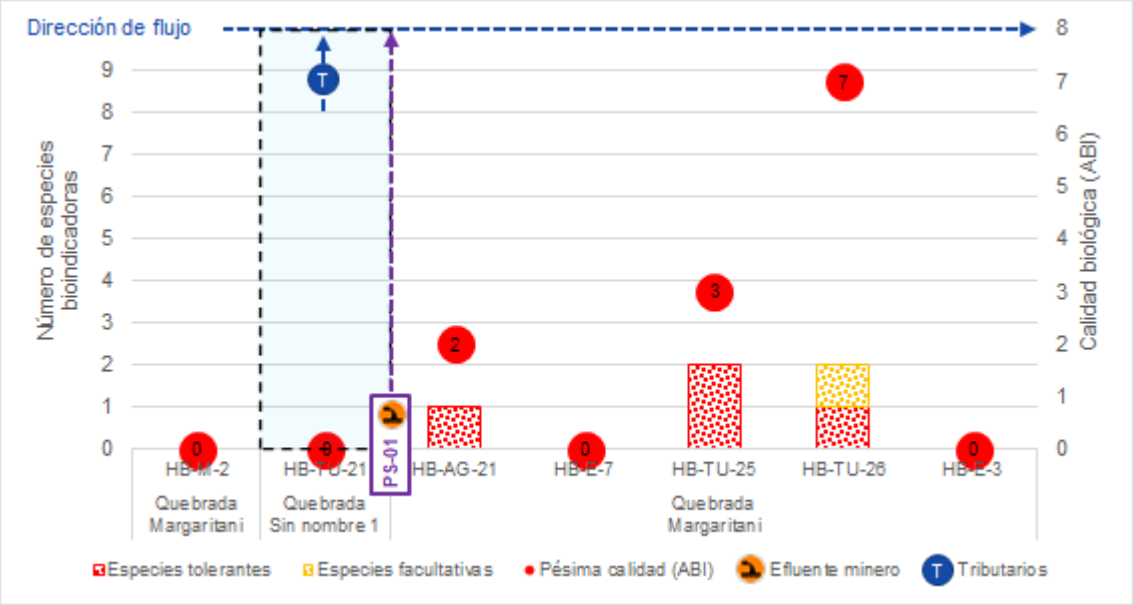


Figura 6.111. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.

Calidad ecológica

Los resultados de calidad hidromorfológica (Anexo 2) indicaron una «mala calidad» en los puntos HB-M-2, HB-TU-21, HB-AG-21, HB-E-7 y HB-TU-25, mientras que los puntos HB-TU-26 y HB-E-3 presentaron una «moderada calidad». Sin embargo, al combinar los resultados de calidad hidromorfológica con los resultados de calidad biológica (ABI), los resultados de calidad ecológica señalaron una «pésima calidad ecológica» en los puntos evaluados.

Es importante señalar que, no se evaluó la calidad biológica de los puntos HB-TU-20 y HB-TU-24, los cuales presentaron una «mala calidad hidromorfológica»; esto debido a que en estos puntos no pudo realizarse el muestreo de macroinvertebrados bentónicos debido al escaso flujo de agua (Tabla 6.33).

Tabla 6.33. Calidad ecológica obtenida para la zona Margaritani - sector quebrada Margaritani.

Ecosistema acuático	Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Quebrada Margaritani	HB-TU-20	-	Mala	-
	HB-M-2	Pésima	Mala	Pésima
Quebrada Sin nombre 1	HB-TU-21	Pésima	Mala	Pésima
Quebrada Margaritani	HB-AG-21	Pésima	Mala	Pésima
	HB-E-7	Pésima	Mala	Pésima
	HB-TU-25	Pésima	Mala	Pésima
Quebrada Sin nombre 2	HB-TU-24	-	Mala	-
Quebrada Margaritani	HB-TU-26	Pésima	Moderada	Pésima
	HB-E-3	Pésima	Moderada	Pésima

6.3.2.2. Sector: Quebrada Apostoloni

6.3.2.2.1. Agua superficial

I. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

El sector Quebrada Apostoloni está conformado por la contribución de dos flujos de agua, Apostoloni Sur y Norte; Apostoloni Sur, está conformado por los puntos (AG-26, AG-27, P-5, P-6 y TU-05) y los aportes de los manantiales (MT-36, MT-25, MT-26 y MT-27), mientras que Apostoloni Norte por los puntos TU-12 (naciente), AG-25 y TU-04 (aguas de no contacto) y los manantiales MT-38 y MT-37.

Los flujos de agua Apostoloni Sur y Norte confluyen aproximadamente 20 m aguas arriba del vertimiento PS-02, y después de su confluencia se ubican los puntos AG-30 y E-2 respectivamente, continuando hasta la confluencia con la quebrada Margaritani. Los parámetros de los puntos de muestreo de agua superficial evaluados en este sector que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y Bebida de animales) se presentan en la Tabla 6.34. Además, en la Tabla 6.35. se detallan sus valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

Tabla 6.34. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector Quebrada Apostoloni

N.°	Zona / Sector	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
				D.S. N° 002-2008-MINAM Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
1	Margaritani – sector Quebrada Apostoloni	Manantiales – Sur	MT-36	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni
2			MT-25	pH, Cloruros y B	pH
3			MT-26	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Fe y Mn	pH, Al, Fe y Mn
4			MT-27	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Fe y Mn	pH, Al, Fe y Mn
5		Q. Apostoloni – Sur	AG-26*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Fe, Mn y Ni
6			AG-27	pH, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
7			P-5*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
8			P-6*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
9			TU-5	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni	pH, Sulfatos, Al, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
10		Q. Apostoloni – Norte	E-2	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
11			AG-30	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg y Ni
12			TU-04	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg y Ni

N.°	Zona / Sector	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
				D.S. N° 002-2008-MINAM Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
13			AG-25	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, Cd, Fe, Mn y Ni
14		Manantiales -Norte	MT-37	pH, CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni
15			MT-38	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Ni
16		Q. Apostoloni – Norte	TU-12	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Cd, Co, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, Cd, Co, Fe, Mn y Ni

pH: Potencial de hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, OD: oxígeno disuelto, Al: Aluminio, B: Boro, Cd: Cadmio, Co: Cobalto, Cu: Cobre, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Ni: Níquel, Se: Selenio, Pb: Plomo y Zn: Zinc.
*: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C.

En las Tablas 6.34 y 6.35 resalta las características ácidas del sector evaluado, cuyos valores fluctuaron entre 2,52 y 5,54 unidades de pH, siendo el más ácido el punto TU-04 y el que presentó las mayores concentraciones de arsénico, cadmio, cobalto, cobre, manganeso y zinc.

Tabla 6.35. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3, en el sector Quebrada Apostoloni

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros In Situ			Fisicoquímicos			Metales totales										
		pH	CE	OD	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Al	As	B	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Manantial – Sur	MT-36	2,79	5840	5,25	4,32	6	6838	765	0,02390	< 0,002	0,03367	1,5943	1,991	490	4,5678	< 0,000070	1,326	3,46
	MT-25	5,54	77,80	5,92	< 0,50	0,12	49	0,04	0,00026	0,002	0,00001	0,00009	< 0,0003	0,09	0,00742	< 0,000070	< 0,0009	< 0,002
	MT-26	3,45	573	5,25	0,64	0,43	324	14,6	0,00030	0,003	0,00024	0,03702	0,0006	8,4	0,34491	< 0,000070	0,04640	0,11
	MT-27	3,04	777	7,12	0,59	0,48	351	17,2	0,00036	0,004	0,00032	0,04003	0,0033	1,6	0,35889	< 0,000070	0,04890	0,12
Q. Apostoloni – Sur	AG-26*	3,12	2330	5,68	2,08	2,1	2214	193	0,00457	0,006	0,00823	0,40624	0,2632	126	1,9619	< 0,000070	0,36320	0,97
	AG-27	2,99	1982	5	2,05	2,1	1888	169	0,01396	0,008	0,01265	0,36985	0,7605	110	3,638	< 0,000070	0,3226	1,46
	P-5*	2,91	2165	6,01	3,77	2,6	2189	175	0,00258	0,006	0,01607	0,41680	1,064	74	5,607	< 0,000070	0,35340	1,87
	P-6*	3,12	2138	5,72	2,16	2,1	1965	170	0,01223	0,008	0,0134	0,38280	0,8914	103	5,2483	< 0,000070	0,326	1,61
	TU-05	2,98	1864	5,52	2,06	1,9	1611	145	0,01023	0,009	0,01223	0,32630	0,8505	83	4,7446	< 0,000070	0,2805	1,46
	E-2	2,97	2640	5,34	3,93	2,80	2802	243	0,14091	0,010	0,04089	0,63458	4,958	174	7,0713	0,000502	0,5191	4,19
	AG-30	2,98	2460	5,69	4,18	0,27	2538	226	0,18052	0,011	0,04315	0,59544	5,245	173	6,8465	0,031034	0,4932	4,39

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros In Situ			Fisicoquímicos			Metales totales										
		pH	CE	OD	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Al	As	B	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Q. Apostoloni – Norte	TU-04	2,52	4420	4,84	4,62	5	5768	577	0,98481	0,014	0,15713	1,7299	20,97	541	16,475	0,013335	1,376	14,70
	AG-25	2,76	3810	6,86	4,56	0,39	4731	432	0,00947	0,012	0,01395	0,93192	0,4101	264	5,4967	0,003617	0,6807	2,11
Manantiales - Norte	MT-37	2,96	6340	4,71	5,0	7,1	7726	774	0,13015	< 0,002	0,04085	1,68260	1,802	700	5,046	< 0,000070	1,39	3,85
	MT-38	2,98	6240	5,45	4,41	8,1	7325	820	0,00446	0,007	0,03798	1,719	1,334	620	6,4472	< 0,000070	1,39	3,99
Q. Apostoloni – Norte	TU-12	2,83	3870	6,15	4,70	0,39	4918	541	0,00957	0,019	0,01274	1,0316	0,1993	314	5,72780	< 0,000070	0,7265	2,18
ECA para Agua 2008[1]	**RV**	**6,5 - 8,5**	**< 2000**	**≥ 4**	**100 - 700**	**1**	**300**	**5**	**0,05**	**0,5 - 6**	**0,005**	**0,05**	**0,20**	**1**	**0,20**	**0,001**	**0,20**	**2**
	BA	**6,5 - 8,4**	**≤ 5000**	**> 5**	******	**2**	**500**	**5**	**0,10**	**5**	**0,01**	**1**	**0,50**	**1**	**0,20**	**0,001**	**0,20**	**24**

Fuente: Informes de ensayo N° SAA-20/00654SAA-20/00653SAA-20/00585, SAA-20/00591, SAA-20/00573, SAA-20/00574, SAA-20/00574 y SAA-20/00592 de Laboratorio AGQ PERÚ SAC
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.
«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales,
«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado por D.S. N.° 002-2008- MINAM
«*»: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C
«**»: El parámetro NO aplica en esta subcategoría
<: Menor al límite de detección del método de análisis

II. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

En los siguientes párrafos se presenta los parámetros que han excedido los valores de los ECA para agua 2017 Cat.3, subcategoría D1 (riego de vegetales) y D2 (Bebida de animales).

- **Potencial de hidrógeno – pH:** El potencial de hidrógeno registrado en el sector Quebrada Apostoloni fue registrado fuera del rango establecido (valor mínimo) en los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2, indicando que las aguas de los cuerpos de agua evaluados en este sector son ácidas (Figura 6.112a)

- **Conductividad Eléctrica – CE:** La conductividad eléctrica registrada en los manantiales (MT-37 y MT-38) de Apostoloni Norte y en el manantial (MT-36) de Apostoloni Sur, excedieron los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (2500 µS/Cm) y D2 (5000 µS/cm). En cambio, los puntos TU-12 (naciente), AG-25 y TU-04 (quebrada canalizada, agua de no contacto) de Apostoloni Norte, y E-2 de la quebrada Apostoloni excedieron únicamente el valor de la subcategoría D1 de los ECA para agua 2017 (Figura 6.112b),

- **Fluoruros:** La concentración de fluoruros en los manantiales MT-37 y MT-38, y la quebrada canalizada TU-04 (agua de no contacto) de Apostoloni Norte; y en manantial MT-36 y los puntos (AG-26, AG-27, P-5, P-6 y TU-05 de Apostoloni Sur, así como, el punto E-2 ubicado en la quebrada Apostoloni antes de la confluencia con la quebrada Margaritani, excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (Figura 6.112c),

- **Sulfatos:** Las concentraciones de sulfatos excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (1000 mg/L) en todos los puntos evaluados en este sector, a excepción de los manantiales MT-25, MT-26 y MT-27, ubicados en la naciente de Apostoloni Sur (Figura 7-Xd).

- **Aluminio – Al:** Las concentraciones de Aluminio excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (5 mg/L) en todos los puntos evaluados en el sector, a excepción del manantial MT-25, el mismo que presentó bajas concentraciones de aluminio en comparación con los demás cuerpos de agua. (Figura 6.113a).

- **Arsénico – As:** Las concentraciones de arsénico en el manantial MT-37 (aportante a Apostoloni Norte) y los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,1 mg/L); en cambio, en punto TU-04 (agua de no contacto) de la quebrada canalizada Apostoloni Norte excedió los valores de las dos subcategorías D1 y D2. La excedencia de arsénico en los puntos AG-30 y E-2 estaría relacionada a los aportes del agua de la quebrada canalizada (TU-04), Figura 6.113b.

- **Cadmio – Cd:** Las concentraciones de cadmio en los tributarios de Apostoloni Norte, manantiales (MT-37 y MT-38) y quebrada canalizada (AG-25), y en los tributarios de Apostoloni Sur, manantial (MT-36) y los puntos de quebrada AG-26, AG-27, P-5 y P-6, así como en los puntos del cuerpo principal AG -30 y E-2 (después de la confluencia) excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,01 mg/L). En cambio, la quebrada canalizada TU-04 (agua de no contacto) excedió los valores de las dos subcategorías D1 y D2. La excedencia de cadmio en los puntos AG-30 y E-2 estaría relacionado a los aportes del flujo TU-04 (Figura 6.113c).

- **Cobalto – Co:** Las concentraciones de cobalto en los manantiales MT-37 y MT-38 y en los puntos TU-12 y TU-04 (agua de no contacto) de Apostoloni Norte; así como en el manantial MT-36 aportante de Apostoloni Sur, excedieron los valores ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,05 mg/L) y D2 (0,1 mg/L); en cambio, en la quebrada canalizada AG-25 de Apostoloni Norte y en los puntos AG-26, AG-27, P-5, P-6 y TU-05 de Apostoloni Sur, así como en quebrada Apostoloni (cuerpo principal) AG-30 y E-2 excedieron únicamente la subcategoría D1 (Figura 6.113d).

- **Cobre – Cu:** Las concentraciones de cobre en los manantiales MT-37 y MT-38, y el punto TU-04 (quebrada canalizada, agua de no contacto) en Apostoloni Norte; además del manantial MT-36 y los puntos AG-27, P-5, P-6 y TU-05 de Apostoloni Sur, y en el cuerpo principal de la quebrada (AG-30 y E-2), excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,2 mg/L) y D2 (0,5 mg/L); En cambio, en las nacientes de Apostoloni Norte (AG-25) y Sur (AG-26) excedieron únicamente la subcategoría D1. Las concentraciones de cobre en el cuerpo principal de la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2) estarían relacionadas principalmente a los aportes de Apostoloni Norte (Figura 6.114a).

- **Hierro – Fe:** Las concentraciones de hierro en la quebrada Apostoloni y sus tributarios Norte y Sur excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (5 mg/L) a excepción de los manantiales MT-25 y MT-27 ubicados en la naciente de Apostoloni Sur (Figura 6.114b).

- **Manganeso –Mn:** Las concentraciones de manganeso en la quebrada Apostoloni y sus tributarios Norte y Sur excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (0,2 mg/L), a excepción del manantial MT-25 ubicado en la naciente de Apostoloni Sur, (Figura 6.114c).

- **Mercurio – Hg:** Las concentraciones de mercurio en la parte alta quebrada canalizada de Apostoloni Norte AG-25 excedió únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,001 mg/), en cambio en el punto TU-04, parte baja de la quebrada canalizada, así como en el cuerpo principal de la quebrada AG-30, excedieron las dos subcategorías D1 y D2. Se precisa que en la mayoría de puntos evaluados en este sector la concentración de mercurio fue menor al límite de detección del método del laboratorio (Figura 6.114d).

- **Níquel – Ni:** Las concentraciones de níquel en los manantiales MT-38 y MT-37, y en la quebrada canalizada TU-04 (agua de no contacto) de Apostoloni Norte, y en el manantial MT-36 de Apostoloni Sur, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (1 mg/L) y D2 (0,2 mg/L); En cambio los puntos TU-12 y AG-25 de Apostoloni Norte , y AG-26, AG -27, P-5, P-6 y TU-05 de Apostoloni Sur, así como, en el cuerpo principal AG-30 y E-2 excedieron únicamente la subcategoría D1 (Figura 6.115a).

- **Selenio – Se:** Las concentraciones de selenio en los manantiales MT-38 y MT-37 en Apostoloni Norte y el manantial MT-36 en Apostoloni Sur, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,02 mg/L), Figura 6.115b.

- **Zinc – Zn:** Las concentraciones de zinc en los manantiales MT-38 y MT-37 y en los puntos TU-12, AG-25 y TU-04 de Apostoloni Norte y el manantial MT-36 aportante a Apostoloni Sur, así como los puntos del cuerpo principal AG-30 y E-2, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (Figura 6.115c).

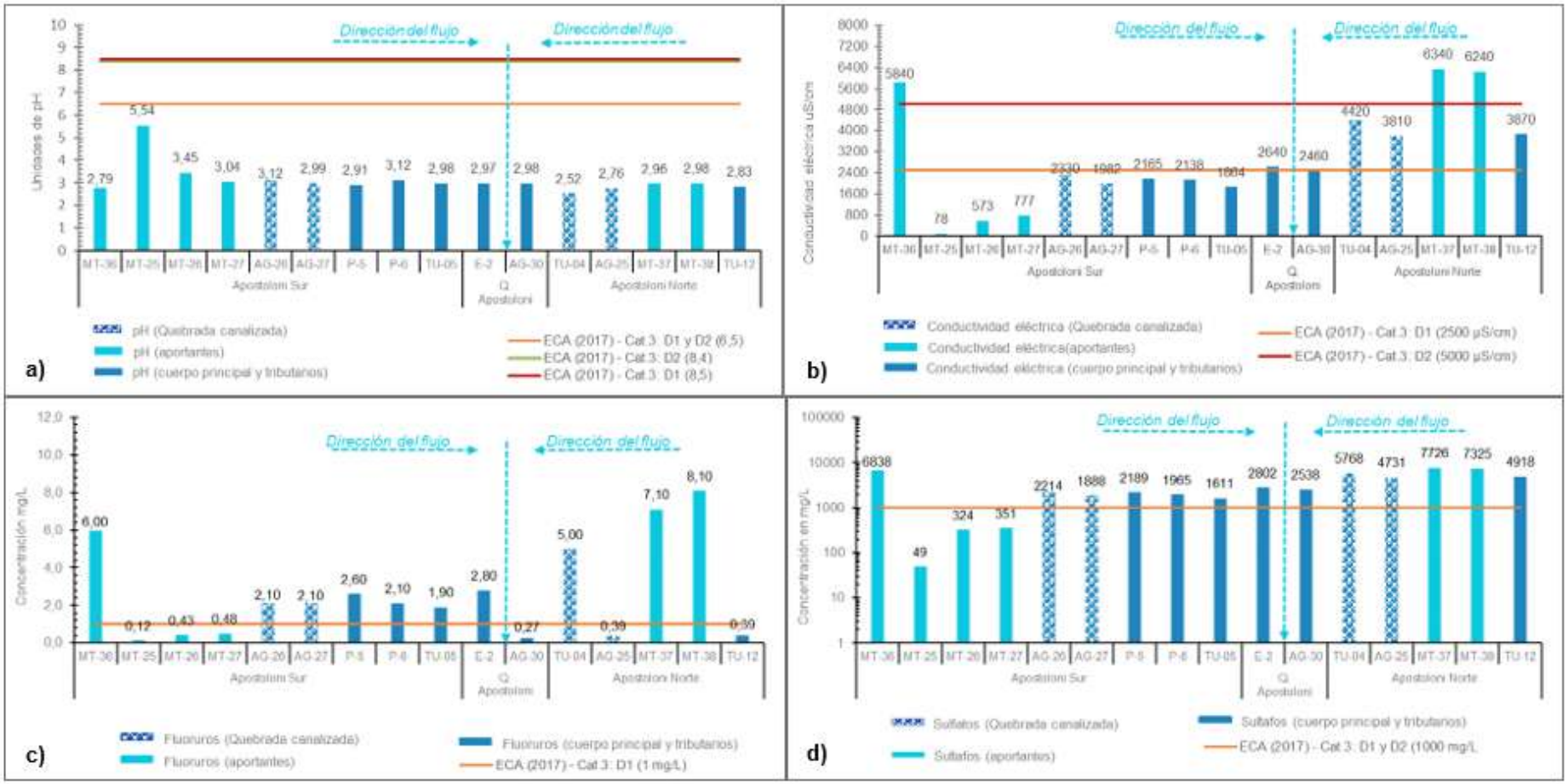


Figura 6.112. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrógeno, b) conductividad eléctrica, c) fluoruros y d) sulfatos

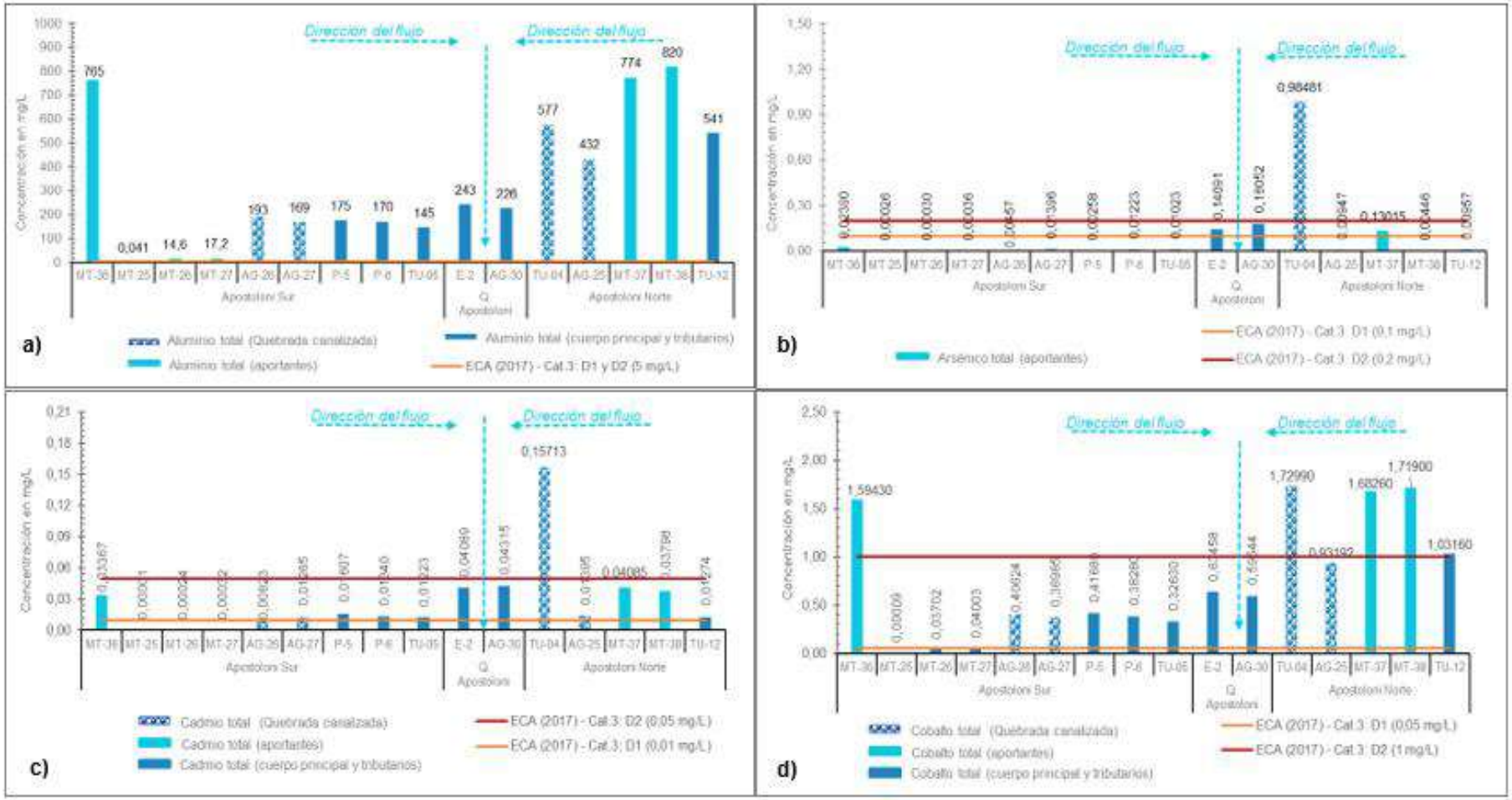


Figura 6.113. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Aluminio, b) arsénico, c) cadmio y d) cobalto.

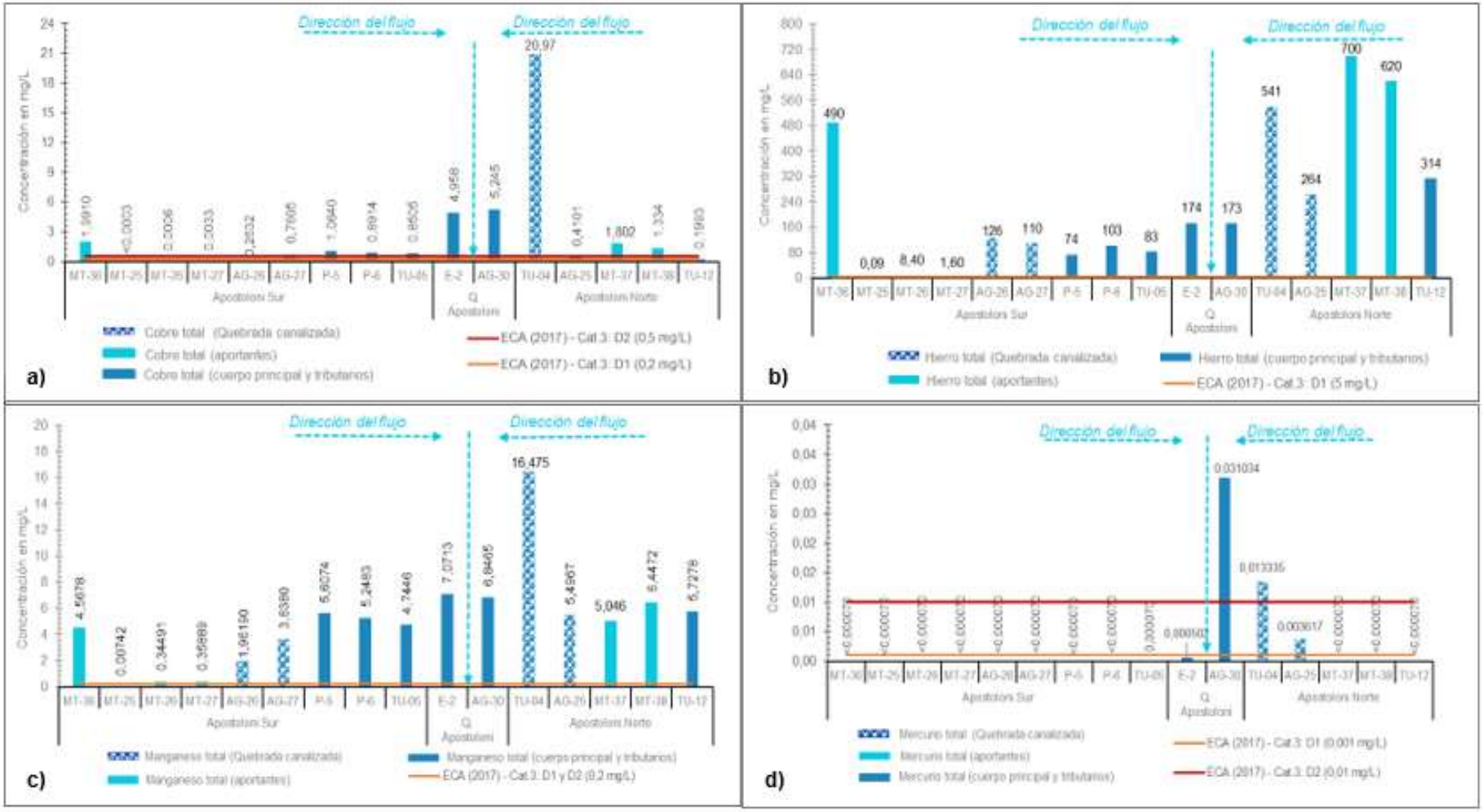


Figura 6.114. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobre, b) Hierro, c) Manganeso y d) Mercurio

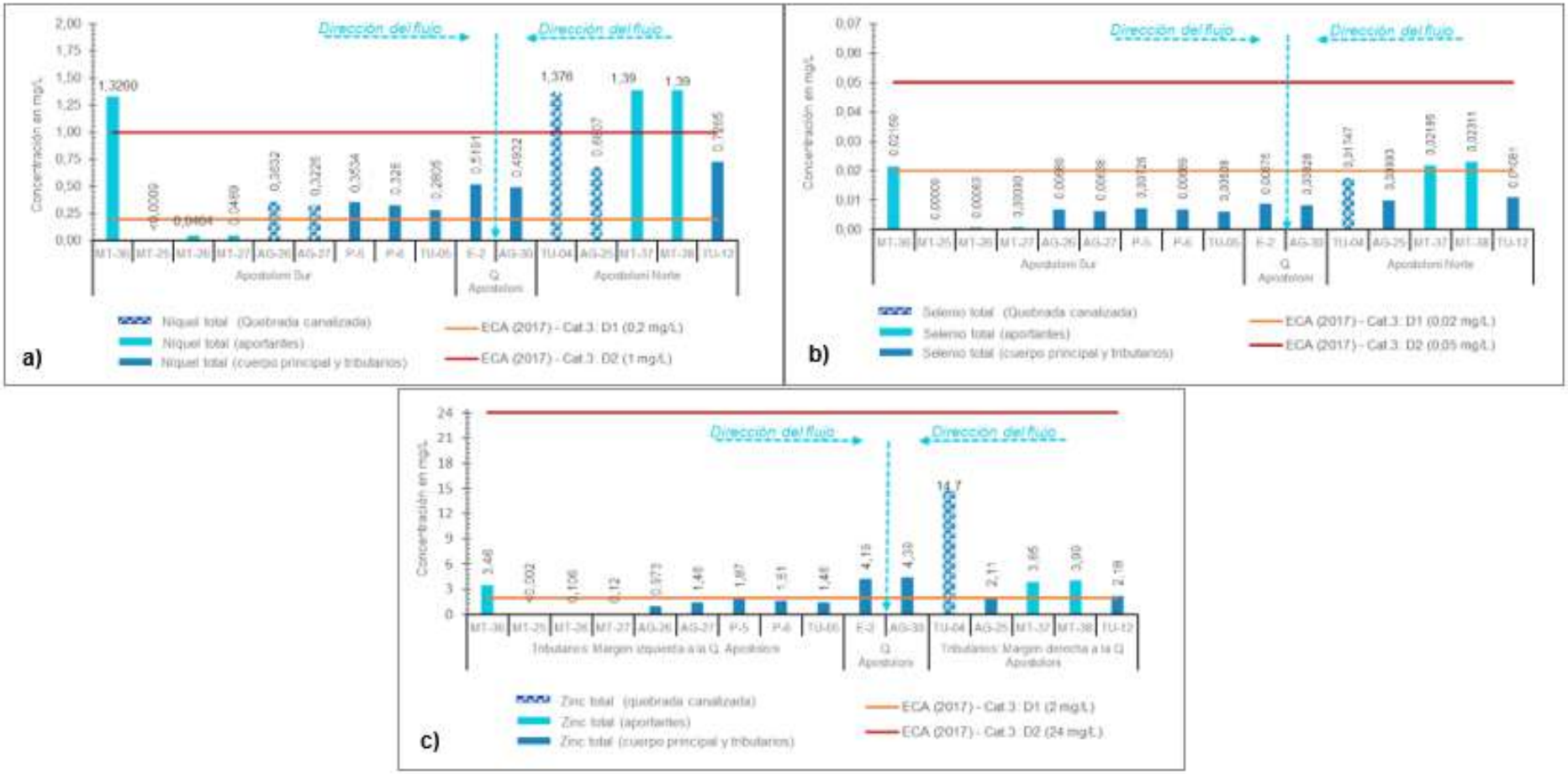


Figura 6.115. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Quebrada Apostoloni comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) níquel, b) selenio y c) zinc

6.3.2.2.2. Sedimento

La evaluación ambiental de sedimento en el sector quebrada Apostoloni, abarcó los puntos de muestreo ubicados en la quebraba Apostoloni Sur (P-5, P-6, TU-05) y en el cuerpo principal (AG-30, E-2). Cabe indicar que, la quebrada Apostoloni Norte se encuentra canalizada con geomembrana, por tal motivo no fue posible la colecta de sedimento. Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en esta zona se presentan en la Tabla 6.36 y las Figuras 6.116 al 6.119. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo 3 (reporte de resultados).

En la Figura 6.14 se observa valores de pH bajos en los sedimentos de la quebrada Apostoloni Sur (P-5, P-6, TU-05) y cuerpo principal (AG-30 y E-2), estuvieron en el rango desde 2,87 a 5,07, lo que evidencia características ácidas en la mayoría de los puntos; resalta el valor de pH (5,07) obtenido en el punto AG-30 de la quebrada Apostoloni, aguas abajo de la descarga del efluente minero PS-02.

Se obtuvieron bajos contenidos de materia orgánica en esta zona, por debajo del límite de detección del laboratorio (<0,3) hasta 0,6 % en el punto P-6 de la quebrada Apostoloni.

En relación con el contenido de arena, limo y arcilla, se registró una predominancia de arena en los puntos P-5, P-6 y TU-05 de la quebrada Apostoloni Sur, con porcentajes de 81,19 %, 76,20 % y 80,80 %, respectivamente; mientras que en los puntos AG-30 y E-2 la proporción de partículas finas entre limo y arcilla incrementa, a 43,97 % y 40,64 % respectivamente; siendo uno de los factores más importantes capaz de variar la concentración de metales pesados en el sedimento.

En cuanto a las concentraciones de sulfatos, se observa un incremento entre los puntos TU-05 y AG-30 de la quebrada Apostoloni, luego de la descarga del efluente minero PS-02, pasando de 2790 mg/kg S a 16980 mg/kg S. Seguidamente, en el punto E-2 se encontró una elevada concentración de sulfatos de 8460 mg/kg S.

Tabla 6.36. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo				
		Quebrada Apostoloni Sur			Quebrada Apostoloni	
		P-5	P-6	TU-05	AG-30	E-2
pH	Unidades de pH	3,13	2,87	3,17	5,07	3,12
Sulfatos	mg/kg S	4940	7330	2790	16980	8460
Materia orgánica	%	<0,3	0,6	<0,3	<0,3	<0,3
Grava	%	18,18	0	0	3,81	0
Arcilla	%	3,51	5,2	4,45	9,45	9,13
Limo	%	11,87	18,6	14,81	32,84	31,51
Arena	%	66,43	76,2	80,8	53,9	59,35
Clase textural	-	Arena arcillosa	Arena arcillosa	Arena arcillosa	Franco arenoso	Franco arenoso
Fe	mg/kg PS	69555	74901	31297	71506	68268

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo				
		Quebrada Apostoloni Sur			Quebrada Apostoloni	
		P-5	P-6	TU-05	AG-30	E-2
Cu	mg/kg PS	31	37	46	259	65
Pb	mg/kg PS	60,6	74,2	64,6	128	135
Zn	mg/kg PS	21	18	39	153	40
Cd	mg/kg PS	0,04422	0,04274	0,11221	1,5432	0,1614
Co	mg/kg PS	3,013	3,633	4,224	12,7	3,581
Cr	mg/kg PS	7,076	7,907	6,876	10,3	8,016
Ni	mg/kg PS	3,78	4,23	4,74	17,4	5,71
Hg	mg/kg PS	0,408	0,424	0,121	1,87	0,797
As	mg/kg PS	47	60,2	46	169	203
Sb	mg/kg PS	0,1171	0,1623	0,4567	0,3504	0,6121
Al	mg/kg PS	12139	12849	10993	17180	11679
Mn	mg/kg PS	67,7	57,8	155	148	64,4
Ca	mg/kg PS	906,7	639,7	3258	15500	1995
Na	mg/kg PS	236	234	627	575	328
K	mg/kg PS	1704	1748	2347	2489	2689
Mg	mg/kg PS	1410	1437	3547	2599	1381
Ba	mg/kg PS	219,1	165,9	259,7	341,4	323,9

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C, ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C.

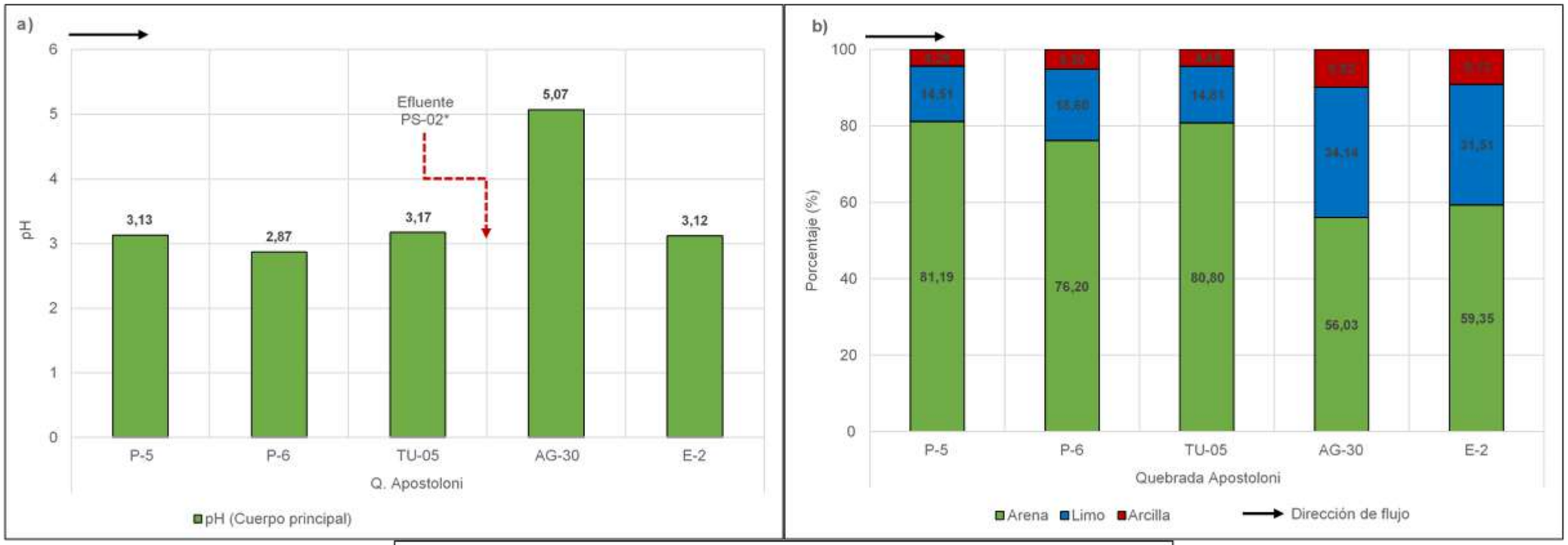


Figura 6.116. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)
(*) El efluente PS-02 descarga a la quebrada Apostoloni entre los puntos TU-05 y AG-30.

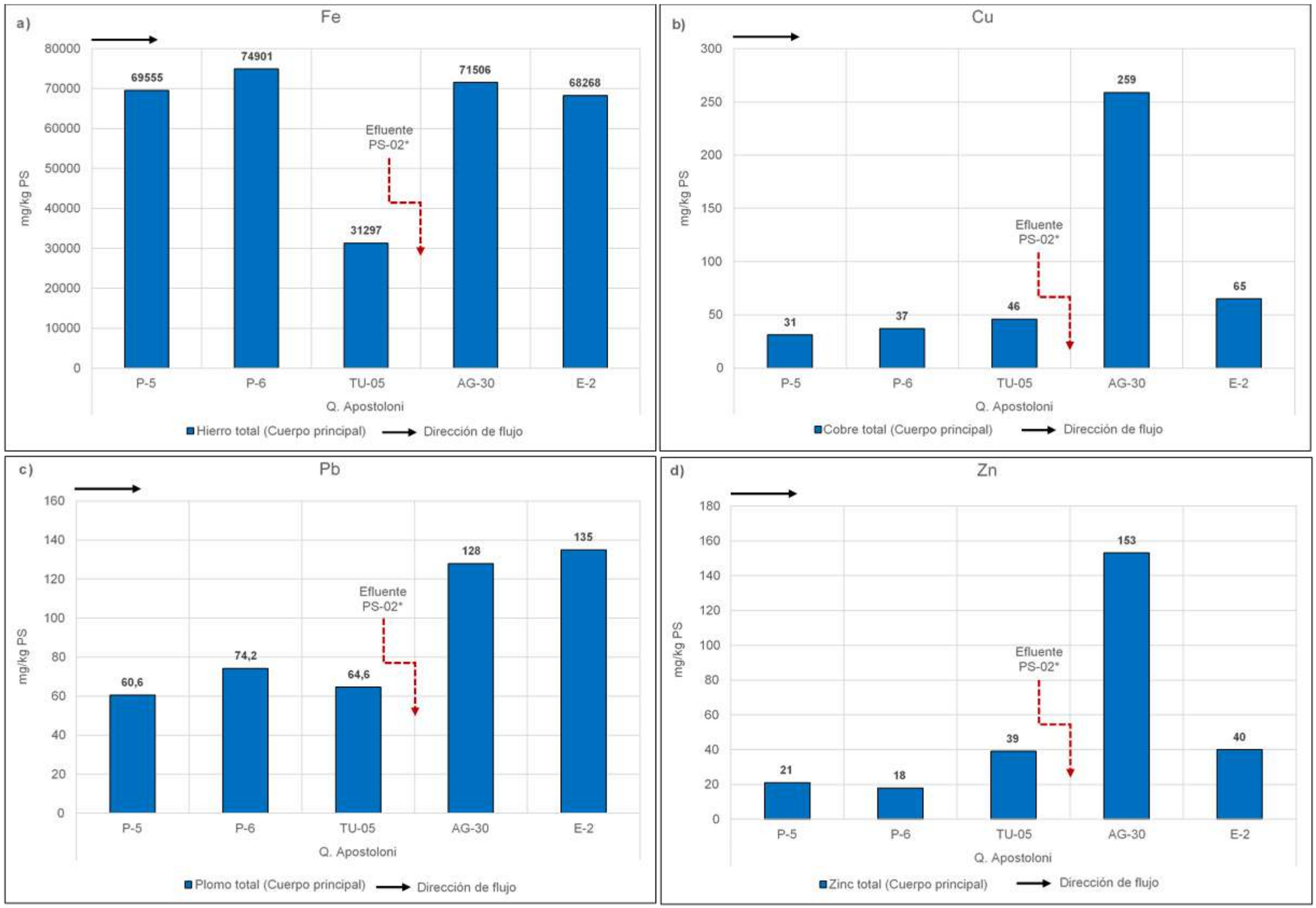


Figura 6.117. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** zinc en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)
(*) El efluente PS-02 descarga a la quebrada Apostoloni entre los puntos TU-05 y AG-30.

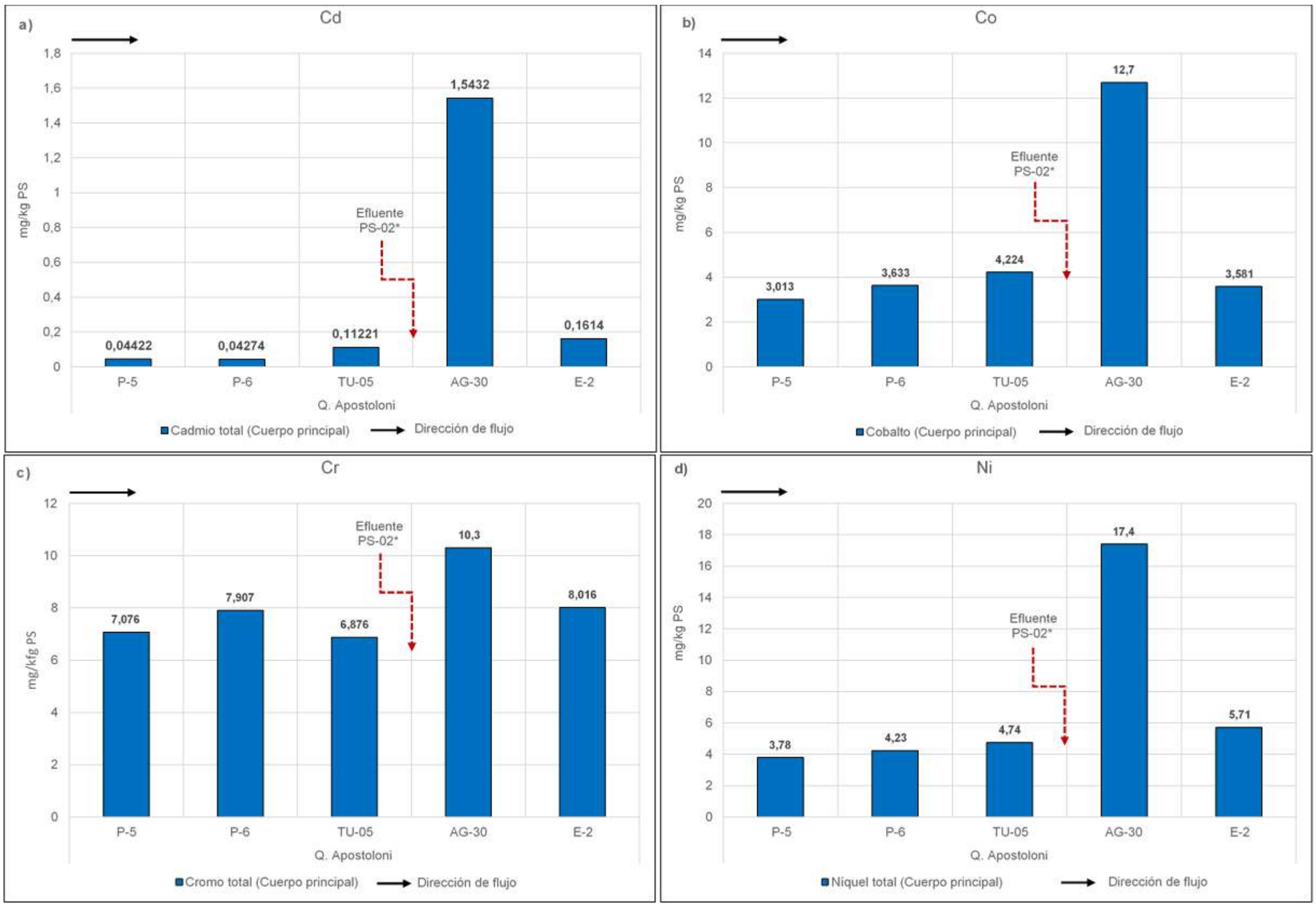


Figura 6.118. Concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobalto, **c)** cromo y **d)** níquel en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)
(*) El efluente PS-02 descarga a la quebrada Apostoloni entre los puntos TU-05 y AG-30.

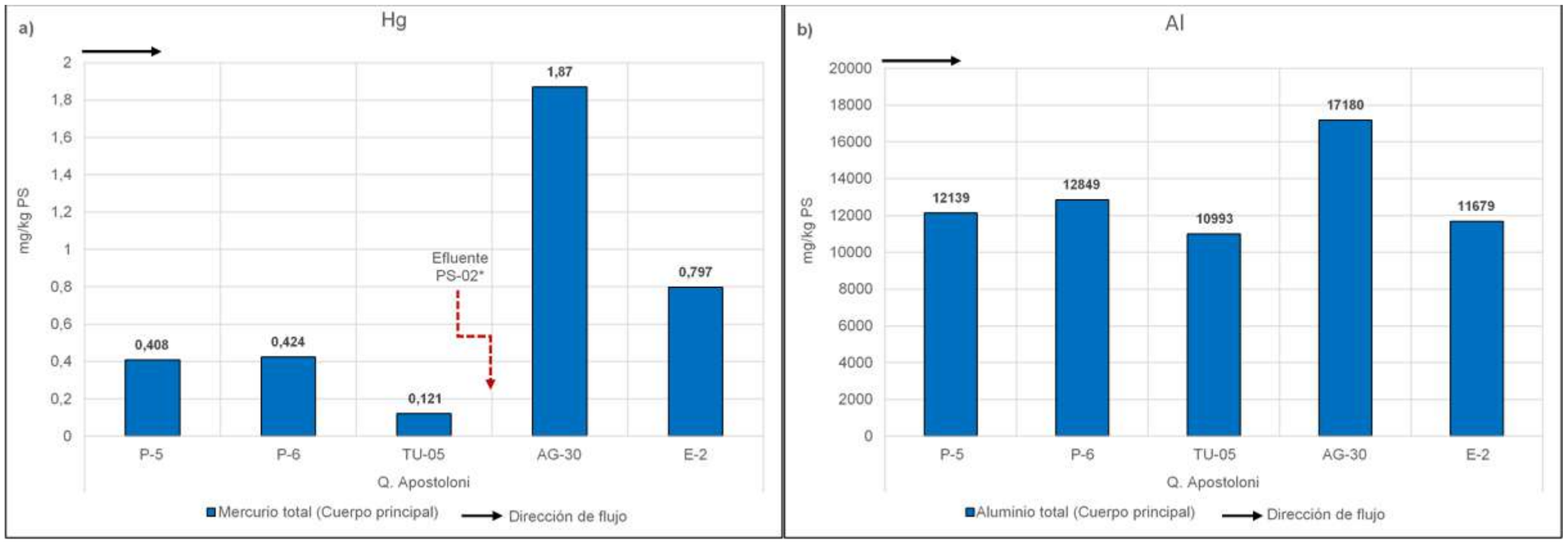


Figura 6.119. Concentraciones de **a)** mercurio, **b)** aluminio, **c)** arsénico y **d)** calcio en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)
(*) El efluente PS-02 descarga a la quebrada Apostoloni entre los puntos TU-05 y AG-30.

Asimismo, se identificó un incremento en las concentraciones de hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, aluminio, calcio y arsénico entre los puntos TU-05 y AG-30 de la quebrada Apostoloni, luego de la descarga del efluente minero PS-02, pasando de 31297 a 71506 mg/kg PS; 46 a 259 mg/kg PS; 64,6 a 128 mg/kg PS; 39 a 153 mg/kg PS; 0,11221 a 1,5432 mg/kg PS; 4,224 a 12,7 mg/kg PS; 6,876 a 10,3 mg/kg PS; 4,74 a 17,4 mg/kg; 0,121 a 1,87 mg/kg PS; 10993 a 17180 mg/kg PS; y de 3258 mg/kg a 15500 mg/kg PS; 46 a 169 mg/kg PS, respectivamente para los metales y elementos mencionados.

Seguidamente las concentraciones de cobre, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio y calcio en los sedimentos disminuyen en el cuerpo de agua principal en el punto E-2 (quebrada Apostoloni), con valores de 65 mg/kg PS; 40 mg/kg PS; 0,1614 mg/kg PS; 3,581 mg/kg PS; 8,016 mg/kg PS; 5,71 mg/kg PS; 0,797 mg/kg PS y 1995 mg/kg PS para los metales respectivamente. Mientras, que las concentraciones de hierro, plomo y aluminio se mantuvieron con valores de 68268 mg/kg PS; 135 mg/kg PS y 11679 mg/kg PS respectivamente, en la quebrada Apostoloni (punto E-2).

Concentraciones de metales que excedieron los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.37, se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni), comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá –CEQG.

Tabla 6.37. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
P-5	Quebrada Apostoloni	47	0,04422	31	7,076	0,408	60,6	21
P-6		60,2	0,04274	37	7,907	0,424	74,2	18
TU-05		46	0,11221	46	6,876	0,121	64,6	39
AG-30		169	1,5432	259	10,3	1,87	128	153
E-2		203	0,1614	65	8,016	0,797	135	40
CEQG[a]	ISQG [b]	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL[c]	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*
(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos
(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

Como se observa en la Tabla 6.37, las concentraciones de arsénico en todos los puntos de muestreo de la quebrada Apostoloni superaron el valor PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá –CEQG. Asimismo, las concentraciones de mercurio y plomo excedieron el valor

ISQG en los puntos P-5, P-6 y TU-05 de la quebrada Apostoloni, y el valor PEL en los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni.

Asimismo, las concentraciones de cobre en todos los puntos de muestreo de la quebrada Apostoloni, superaron el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG, a excepción del punto P-5 (donde se registró una baja concentración de cobre); además en el punto AG-30 el valor de cobre también excedió el valor PEL. Por último, en el punto AG-30 de la quebrada Apostoloni las concentraciones de cadmio y zinc también excedieron el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Extracción secuencial de metales en sedimento

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en la Tabla 6.38 y las Figura 6.120 y 6.121. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni).

En las Figuras 6.120 y 6.121, se observa que los porcentajes encontrados en las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual) representan desde el 33,79 % hasta 60,61 %, para los metales cobalto, cobre, níquel, zinc, hierro y manganeso en la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2). Además, se encontraron altas proporciones para el plomo con porcentajes de 98,11 % y 99,25 % en conjunto para las fracciones 5 y 6, lo que indica la presencia de estos metales enlazados a minerales primarios y secundarios; los cuales no se liberarían en solución durante un periodo de tiempo amplio en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza. Asimismo, el contenido de metales en los sedimentos de la quebrada Apostoloni representados en la fracción 5, se liberaría hacia la columna de agua en condiciones oxidantes, donde la materia orgánica tiende a degradarse.

En relación la fracción 4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) se encontraron proporciones de cobalto, cobre, hierro y manganeso en la quebrada Apostoloni, que variaron desde 10,40 % hasta 45,62 %; así como porcentajes de níquel de 50,11 % y 13,48 % (puntos AG-30 y E-2). La generación de condiciones anóxicas en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de estos metales, puesto que los óxidos de hierro y manganeso a los cuales están unidos, son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

Tabla 6.38. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

Fracciones	Cd (mg/kg)		Co (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)		Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)	
	AG-30	E-2	AG-30	E-2	AG-30	E-2	AG-30	E-2	AG-30	E-2	AG-30	E-2	AG-30	E-2	AG-30	E-2
F1	0,351	0,079	1,01	0,9	3,94	14,77	0,61	1,22	<0,5	<0,5	13,7	9,4	23,9	135,2	29,21	12,94
F2	0,273	<0,05	0,587	0,289	8,24	6,31	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	11,4	<5	22,6	112	10,5	4,1
F3	<0,05	<0,05	0,392	<0,05	19,09	1,079	0,62	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	368,5	817,7	1,93	0,63
F4	0,384	<0,05	4,409	0,409	63,8	6,595	6,72	0,7	1,56	<0,5	50,77	<5	26480	21185	37,4	10,33
F5	<0,05	<0,05	1,79	1,039	35,04	13,21	2,13	1,15	13,84	11,19	15,13	7,02	8641	9867	16,96	13,23
F6	<0,05	<0,05	1,476	0,887	28,3	21,42	3,08	1,62	106,4	121,6	31,45	18,99	23256	24339	37,8	20,9
Suma de fracciones	1,008	0,079	9,664	3,524	158,41	63,384	13,16	4,69	121,8	132,79	122,45	35,41	58792	56455,9	133,8	62,13

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).
F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.
<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.

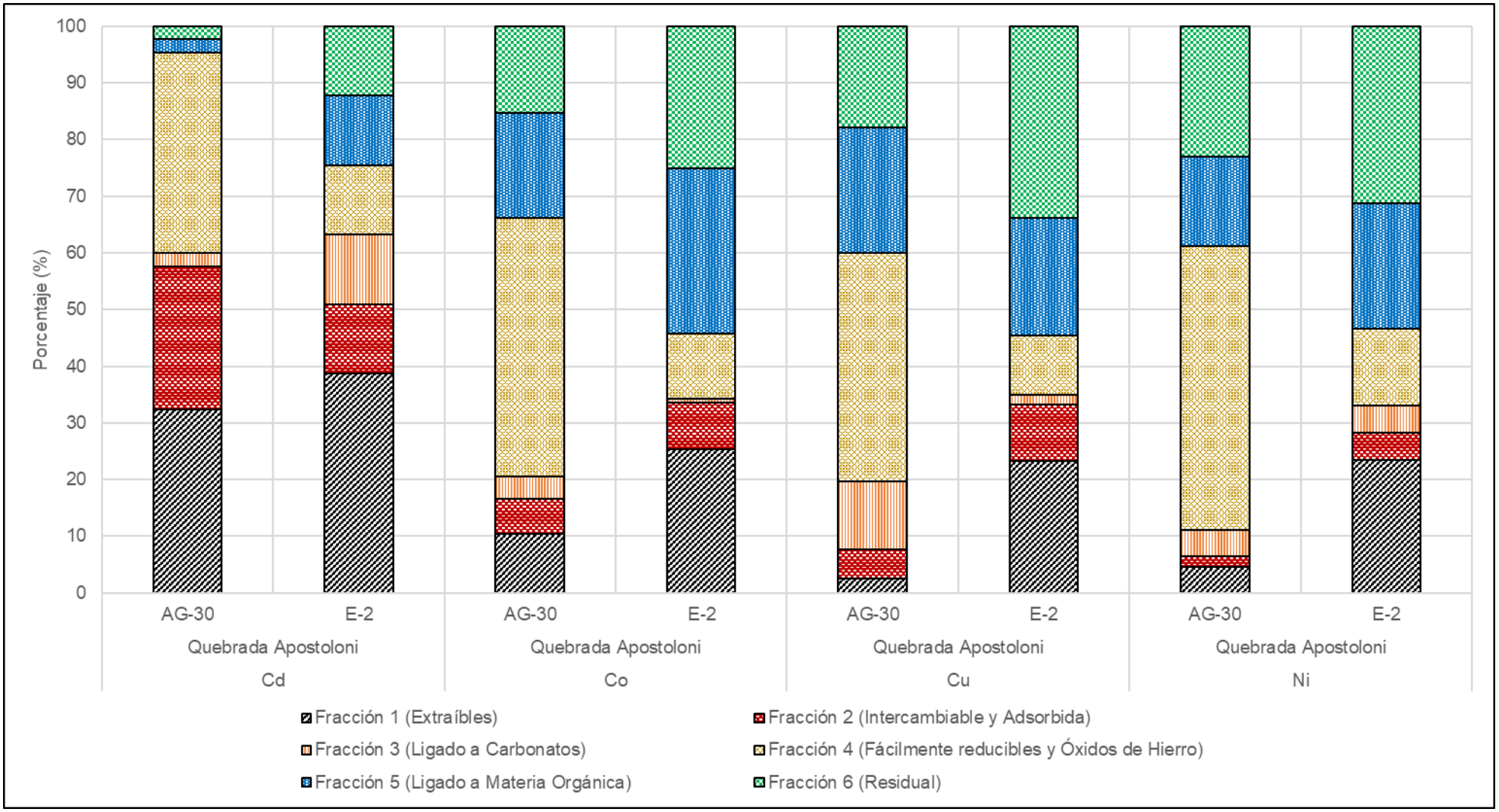


Figura 6.120. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

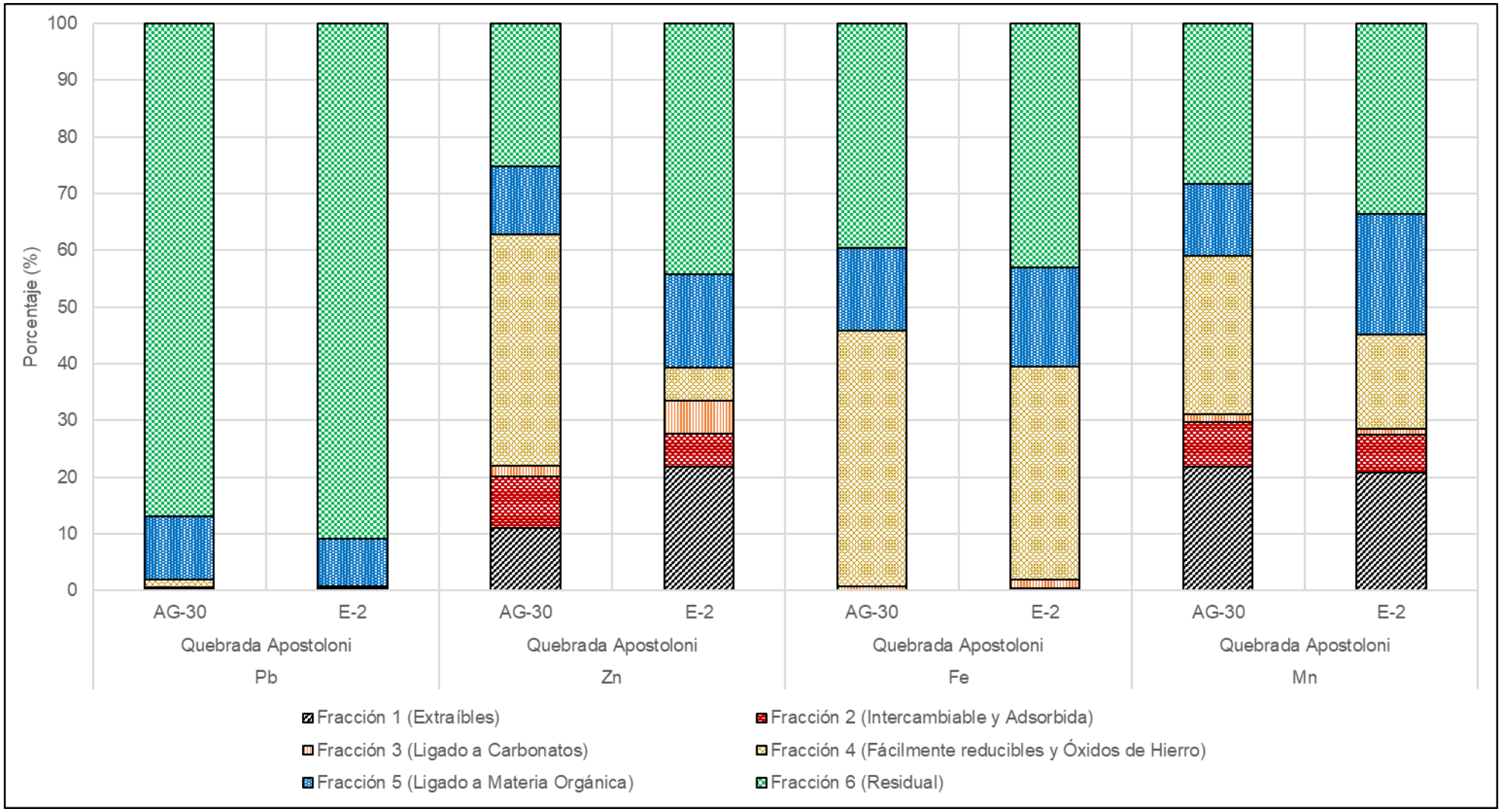


Figura 6.121. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

Además, se obtuvieron bajas proporciones en la fracción 3 (ligados a carbonatos) para el cobalto, cobre, hierro y manganeso, en la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2); con porcentajes desde 0,62 % a 12,05 %. Los metales unidos a esta fracción son susceptibles a cambios de pH en el sistema, lo que ocasionaría que el contenido de metales en el sedimento sea liberado; considerando que se encontraron pH ácidos en los sedimentos de la quebrada Apostoloni, y altas concentraciones de metales como hierro representadas en esta fracción (368,5 y 817,7 mg/kg PS).

Por último, se obtuvieron porcentajes variables en la fracción 1 para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, zinc, hierro y manganeso desde 0,04 % a 38,72 %, para los puntos evaluados (AG-30 y E-2). El contenido de metales representado en esta fracción puede liberarse desde los sedimentos hacia la columna de agua, por cambios en la composición iónica del agua que afectan los procesos de sorción – desorción.

Índice de geoacumulación

En las Figuras 6.122, 6.123 y 6.124 se presentan los índices de geoacumulación para los metales hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel mercurio, aluminio y calcio calculados para las muestras de sedimento de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni).

La calidad de sedimentos fue clasificada como «no contaminado a moderadamente contaminado» por hierro en el punto P-6 de la quebrada Apostoloni. Asimismo, se clasificó a los sedimentos de los puntos P-5, P-6 y TU-05 (ubicadas aguas arriba de la descarga del efluente minero PS-02) como «no contaminado a moderadamente contaminado» por cobre, mientras que los puntos E-2 y AG-30 (ubicadas aguas abajo de la descarga del efluente minero PS-02), se catalogaron como «moderadamente contaminado» y «fuertemente contaminado», respectivamente, en base al metal en mención.

Para los metales arsénico y cadmio, los sedimentos de los puntos P-5, P-6 y TU-05, tuvieron una calidad de «no contaminado» y seguidamente, los puntos AG-30 y E-2, ubicados luego de la descarga del efluente minero PS-02, se clasificaron desde «no contaminado a moderadamente contaminado» hasta «fuertemente contaminado» (sólo punto AG-30 en base a cadmio).

En cuanto a el plomo, la clasificación de la calidad de los sedimentos varió desde «no contaminado a moderadamente contaminado» hasta «moderadamente contaminado», en la quebrada Apostoloni (puntos P-5, P-6, TU-05, E-2 y AG-30); de manera similar la calidad fluctuó desde «moderadamente contaminado» hasta «extremadamente contaminado» en base al contenido de mercurio, a lo largo del cuerpo de agua principal (quebrada Apostoloni).

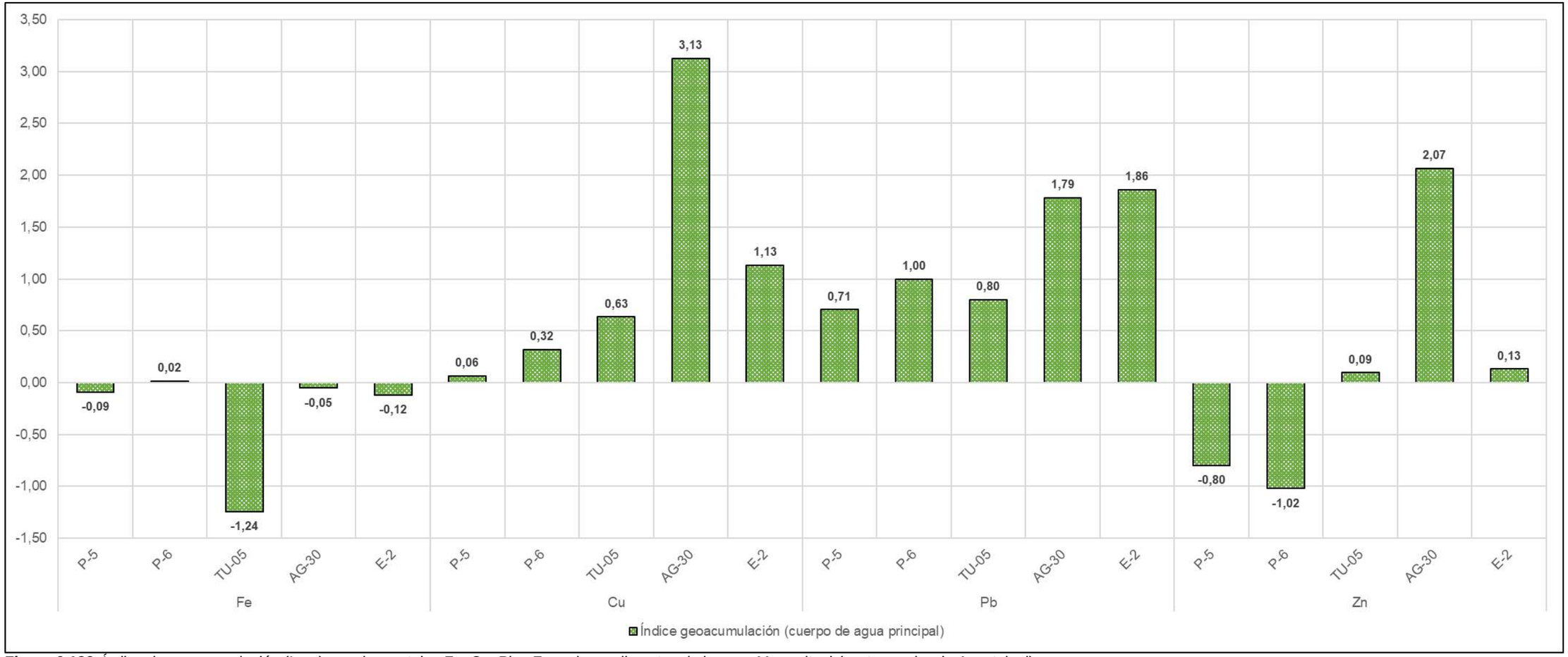


Figura 6.122. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

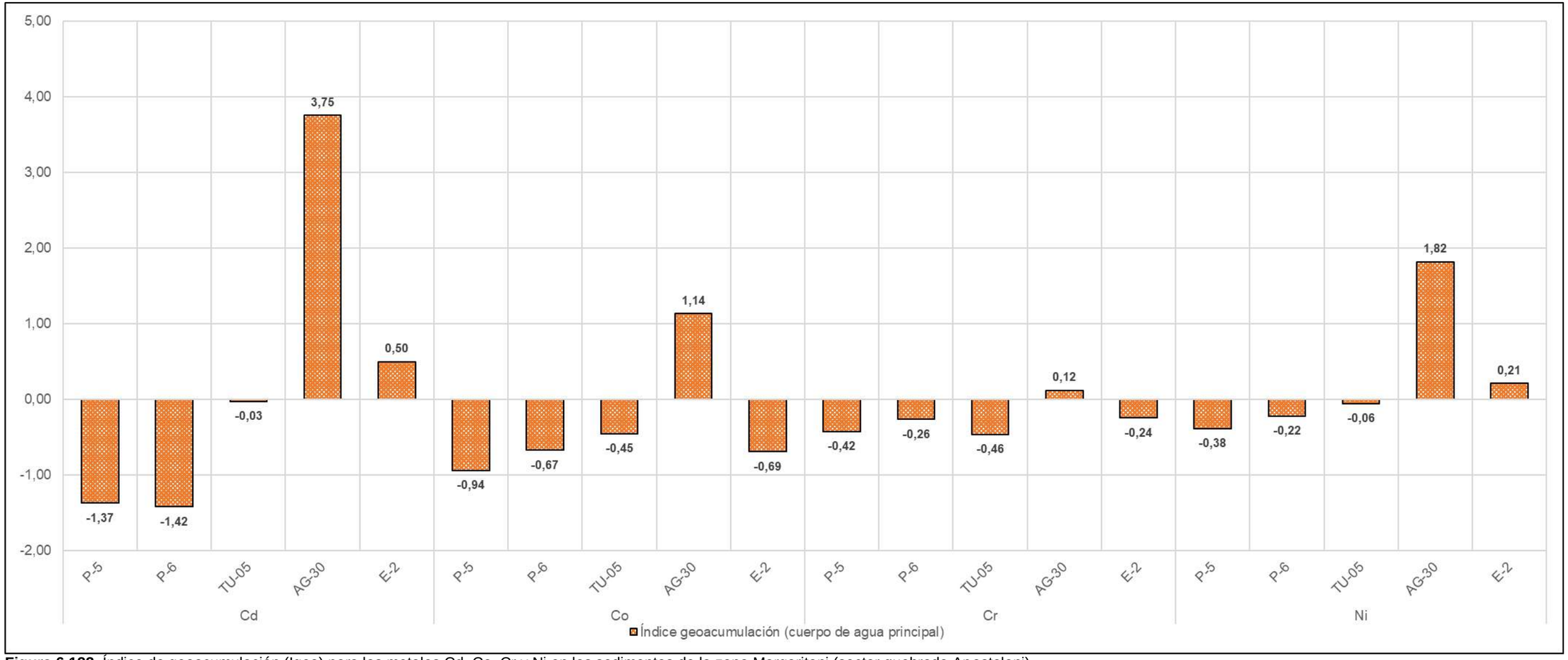


Figura 6.123. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

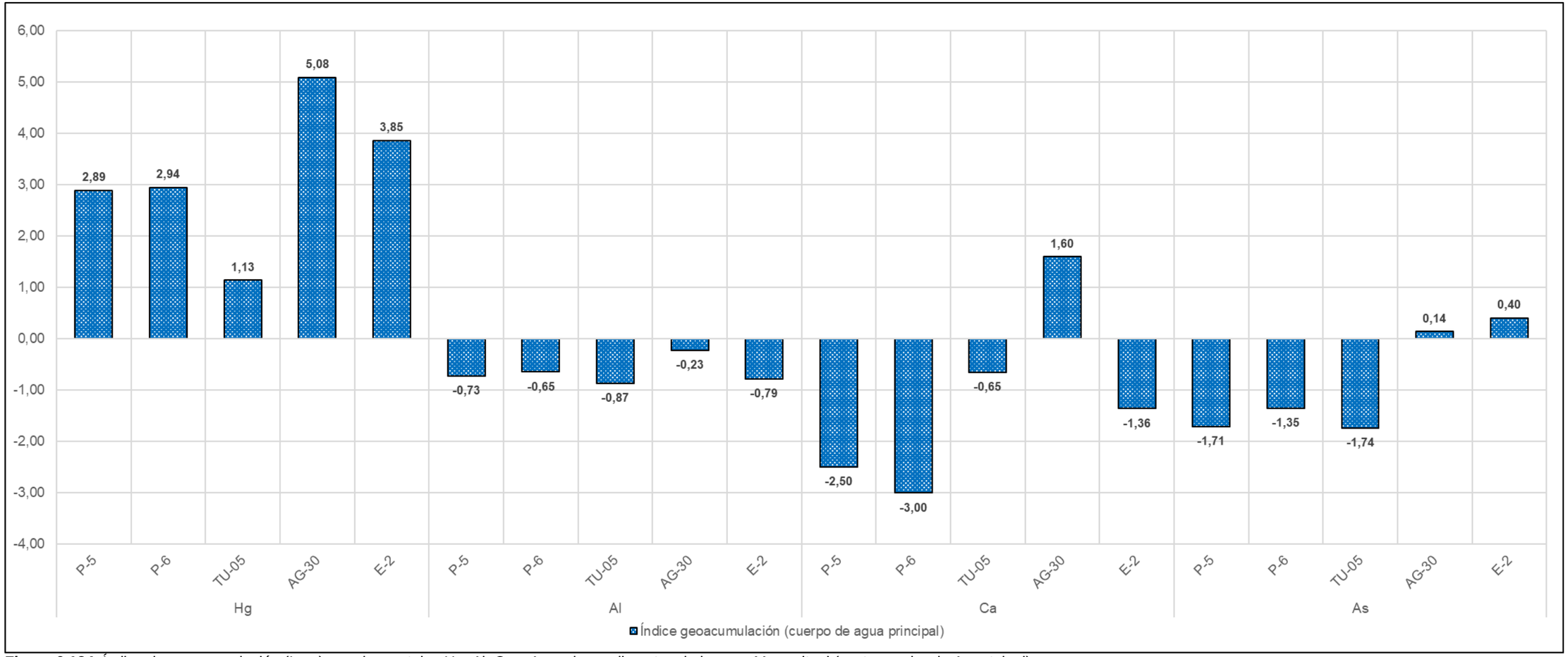


Figura 6.124. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, Al, Ca y As en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

En el caso del cobalto y calcio, el punto AG-30, fue clasificado como «moderadamente contaminado», mientras que los demás puntos de muestreo la calidad de sedimento fue de «no contaminado». De manera similar, sólo en el punto AG-30 se obtuvo una clasificación de «no contaminado a moderadamente contaminado», en base al contenido de cromo; y de «moderadamente a fuertemente contaminado» por zinc (punto AG-30).

De acuerdo con el índice de geoacumulación, los sedimentos de los puntos P-5, P-6 y TU-05, se catalogaron con una calidad de «no contaminado» por níquel; mientras que en los puntos AG-30 y E-2, ubicados luego de la descarga del efluente minero PS-02, varió desde «no contaminado a moderadamente contaminado» a «moderadamente contaminado» por el metal mencionado.

Análisis mineralógico

Difracción de rayos X

El análisis mineralógico por difracción de rayos X de los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) se presentan en la Figura 6.125. La composición mineralógica de los sedimentos de la quebrada Apostoloni (puntos AG-30 y E-2) consistió principalmente de minerales como cuarzo, plagioclasas y feldespatos que en conjunto representan 51 % y 76 %, para los puntos AG-30 y E-2, respectivamente.

Asimismo, se obtuvieron proporciones de jarosita (fase de sulfatos) de 3 % para el punto E-2, ubicado aguas abajo de la descarga del efluente minero PS-02. La jarosita es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH <3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards et al., 1999; Smith et al., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos de la quebrada Apostoloni.

La jarosita tiene relevancia en la presente evaluación ambiental, porque incorpora en su estructura, adsorbe y coprecipita cantidades considerables de elementos potencialmente tóxicos como arsénico, cromo, cadmio y plomo, como ha sido reportado en numerosos estudios (Domenech *et al.,* 2002; Dutrizac *et al*., 1980; Dutrizac *et al*., 1996; Dutrizac *et al*., 1987; Gonzalez-Ibarra *et al*., 2016; Gunneriusson *et a*l., 2009; Smith *et al*., 2006).

También se identificaron porcentajes de yeso ($CaSO_4$ 2.H_2O) de 3 % y 5 %, para los puntos AG-30 y E-2, respectivamente, ubicados aguas abajo de la descarga del efluente minero PS-02. La presencia de este mineral guarda relación con las altas concentraciones de calcio encontradas en los puntos AG-30 (15500 mg/kg PS) y E-2 (1995 mg/kg PS).

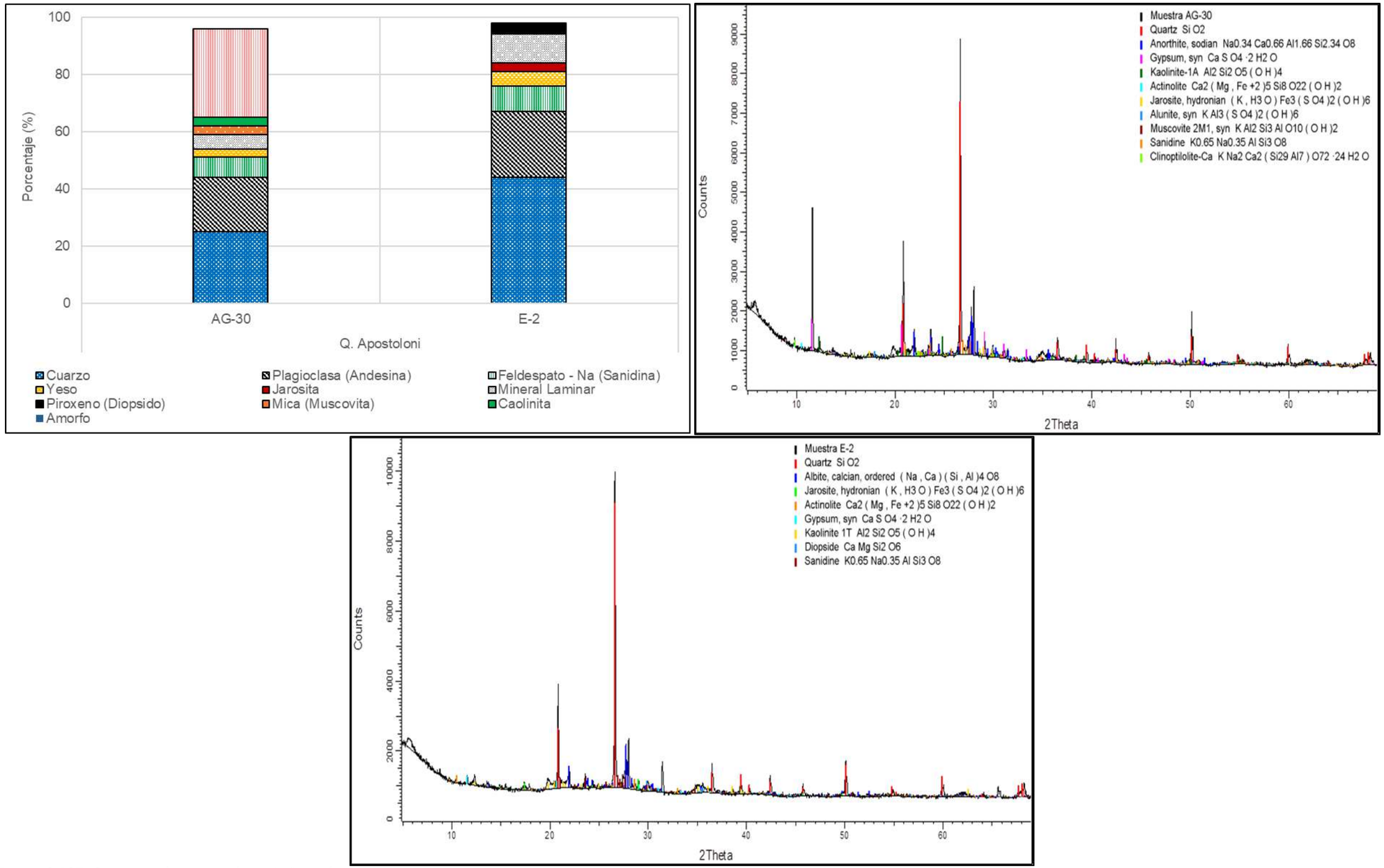


Figura 6.125. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

Otros minerales como micas y caolinita (AG-30), piroxeno (E-2) y minerales laminares (AG-30 y E-2), se encontraron en la quebrada Apostoloni en menores proporciones, lo que refleja la heterogeneidad de los materiales presentes (minerales) debido a los procesos de alteración que ocurren en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni).

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido de los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni) se presentan en la Tabla 6.39 y la Figura 6.126.

Tabla 6.39. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

Minerales identificados	Puntos de muestreo	
	Quebrada Apostoloni	Quebrada Apostoloni
	AG-30	E-2
Magnetita (Fe_2O_3.FeO) con titanio (Ti)	x	x
Magnetita (Fe_2O_3.FeO) con titanio (Ti) y magnesio (Mg)	x	x
Pirita (FeS_2)	x	x
Baritina ($BaSO_4$)	x	x
Rutilo (TiO_2)	x	-
Jordanita ($Pb_{14}(As,Sb)_6S_{23}$)	x	-
Goethita (FeO.OH) con titanio (Ti) y magnesio (Mg)	x	-
Goethita (FeO.OH) con arsénico (As) y azufre (S)	x	-
Goethita (FeO.OH) con azufre (S)	x	x
Ilmenita ($FeTiO_3$) con magnesio (Mg)	x	-
Hematita ($Fe2O_3$) con titanio (Ti)	x	x
Hematita (Fe_2O_3) con titanio (Ti) y magnesio(Mg)	x	-
Esfalerita con hierro ((Zn,Fe)S)	x	-
Enargita (Cu_3AsS_4) con plata (Ag)	x	-
Romarchita (SnO)	x	-
Hematita (Fe_2O_3)	-	x
Goethita (FeO.OH) con titanio (Ti)	-	x
Magnetita (Fe_2O_3.FeO)	-	x
Ilmenita ($FeTiO_3$)	-	x
Casiterita (SnO_2)	-	x

(-): No aplica.

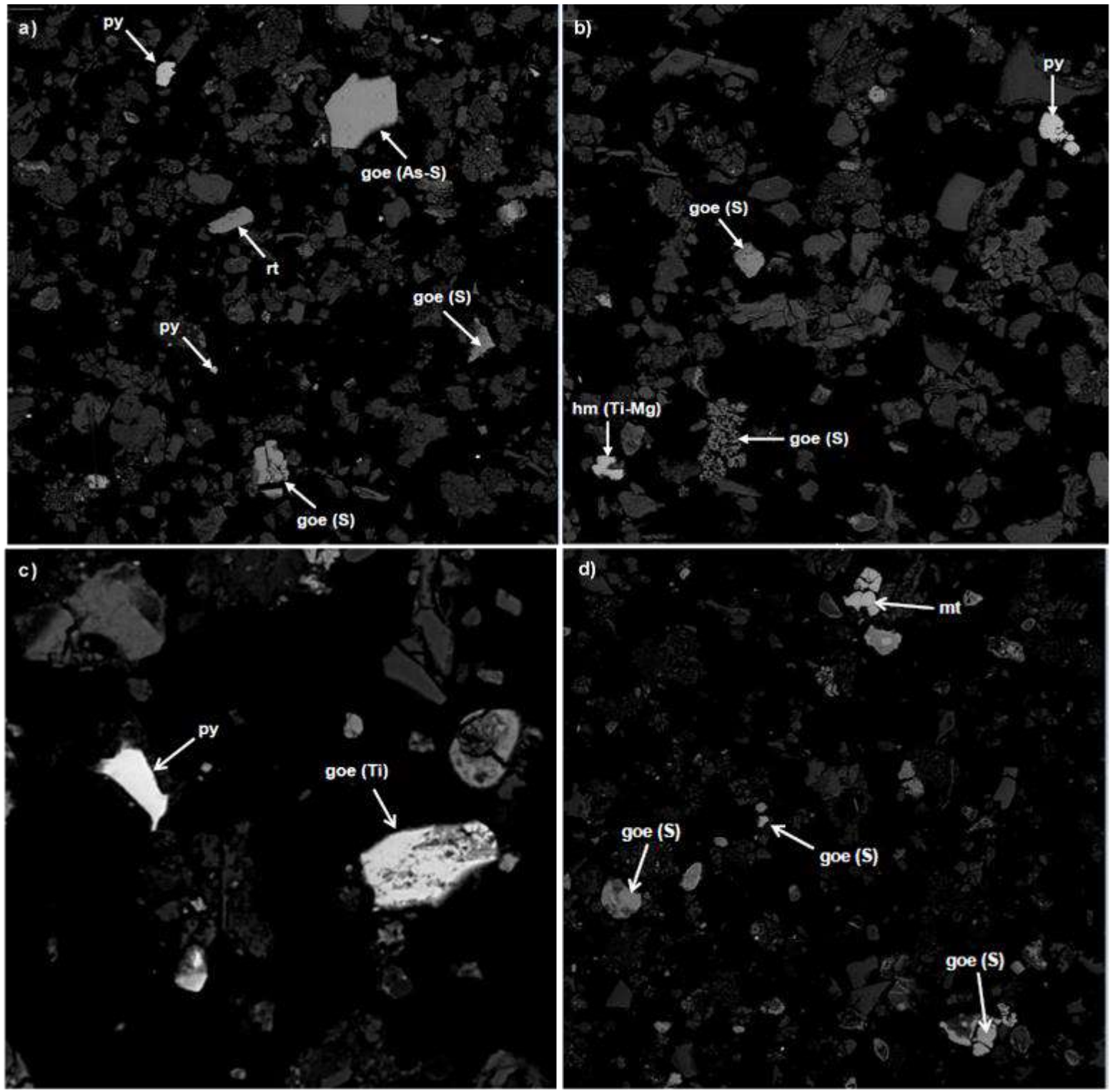


Figura 6.126. Minerales en los sedimentos de la quebrada Apostoloni; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-30 (a y b) y E-2 (c y d). Partículas libres de pirita (py), rutilo (rt), goethita con azufre (goe (S)) y goethita con arsénico y azufre (goe (As-S)); hematita con titanio y magnesio (hm (Ti-Mg); goethita con titanio (goe (Ti)); magnetita (mt).

Se identificaron minerales basados en hierro en los sedimentos de los puntos AG-30 y E-2, tales como magnetita, goethita, ilmenita y hematita. La formación de minerales como la goethita, están relacionados con un alto contenido de hierro (precipitado) en el sistema. La formación de este mineral depende del pH y las concentraciones de sulfatos en sistemas afectados por drenajes ácidos de mina (Silva *et al*., 2013), como los identificados en los puntos AG-30 y E-2. En cuerpos de agua contaminados por drenajes ácidos de mina, como la quebrada Apostoloni, los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos.

Asimismo, minerales como la goethita pueden ser formados desde la schwertmannita y otros como ferrihidrita y jarosita (Kim et al., 2020); este último fue identificado en los sedimentos del punto E-2 de la quebrada Apostoloni (por difracción de rayos X), probablemente a partir del cual se ha derivado. Además, se identificaron minerales de sulfuros de hierro (pirita), zinc (esfalerita), y arsénico con cobre (enargita) en cantidades traza en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2).

Análisis multivariados

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP), empleando los resultados de un total de 22 parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni), permitió reducir el número de variables e investigar el origen y distribución de metales, sulfatos, entre otras variables en la quebrada Apostoloni. Las variables se agruparon en 2 componentes principales (PC1 y PC2) que explicaron el 84,07 % de la varianza total del conjunto de datos (Tabla 6.40).

Tabla 6.40. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
pH	**0,94892**	0,089428
Sulfatos	**0,93308**	-0,31429
Arcilla	**0,83909**	-0,21543
Arena	**-0,78068**	0,47458
Fe	0,2447	**-0,95654**
Cu	**0,97838**	0,029365
Pb	**0,78370**	-0,27928
Zn	**0,97413**	0,12216
Cd	**0,96429**	0,041292
Co	**0,94546**	0,10334
Cr	**0,94113**	-0,24085
Ni	**0,97606**	0,033818
Hg	**0,96561**	-0,24215

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
As	**0,72773**	-0,30188
Sb	0,33028	0,35739
Al	**0,86984**	-0,20765
Mn	**0,51841**	**0,83263**
Ca	**0,95241**	0,16601
Na	**0,53461**	**0,84443**
K	**0,6319**	0,32059
Mg	0,25367	**0,95583**
Ba	**0,80842**	0,18660
Valores propios (Eigenvalues)	14,23	4,26
Porcentaje de la varianza explicada (%)	64,69	19,38
Varianza acumulada (%)	64,69	84,07

Los valores significativos (> +/- 0,5) se encuentran resaltados.

El componente principal 1 (PC1) presentó una moderada a fuerte correlación (valores entre 0,5 a 1,0) con las siguientes parámetros evaluados en los sedimentos de la quebrada Apostoloni: pH, sulfatos, arcilla, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico, aluminio, manganeso, calcio, sodio, potasio y bario; que pueden definir en conjunto una nueva variable, en base a sus concentraciones en el sedimento y similar comportamiento geqouímico (metales). El componente principal 2 (PC2) mostró una moderada a fuerte correlación (valores entre +/- 0,8 a 1,0) con el hierro; así como una correlación moderada (+/- 0,5 a 0,8) con los siguientes parámetros: manganeso, sodio y magnesio.

La Figura 6.127, muestra la ordenación bidimensional del análisis de componentes principales (ACP) de las variables ambientales evaluadas en la quebrada Apostoloni (P-5, P-6, TU-05, AG-30 y E-2).

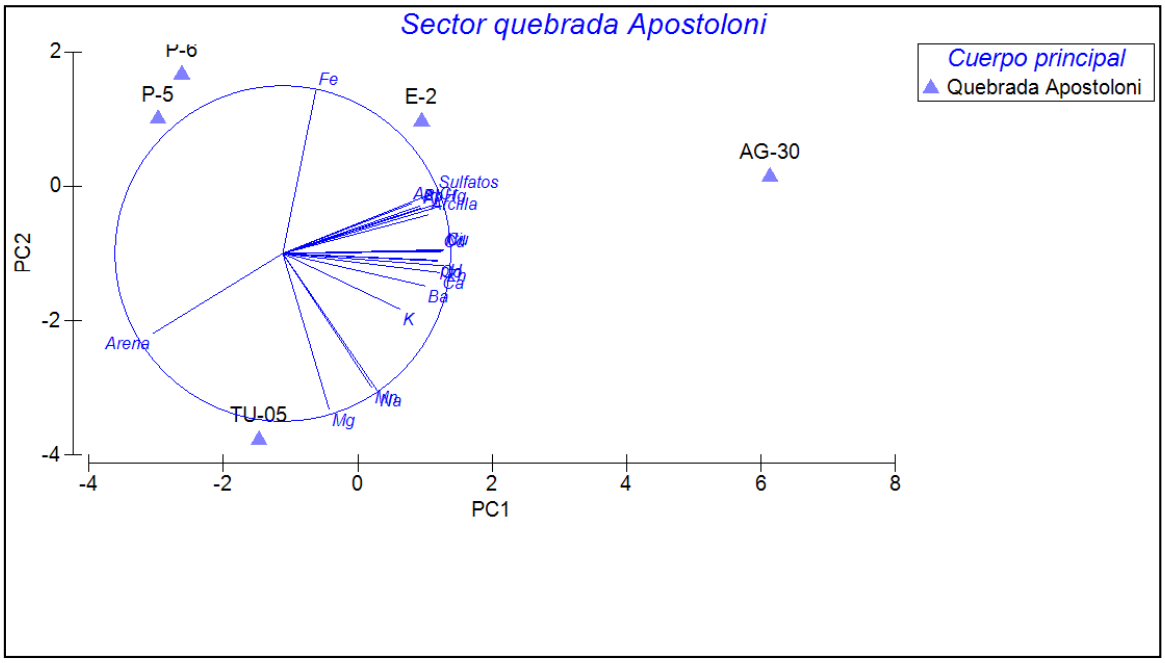


Figura 6.127. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni)

En la gráfica se aprecia una separación entre los puntos de muestreo de esta zona, donde los puntos P-5, P-6 y TU-05, ubicados aguas arriba de la descarga del efluente minero PS-02, se encuentran distante de los demás puntos, asociados a su mayor contenido de arena y menor concentración de metales; mientras que los puntos E-2 y AG-30, del cuerpo de agua principal, se distancian del resto asociado a un mayor contenido de arcilla y valores de pH, así como a las concentraciones de sulfatos, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico, aluminio, manganeso, calcio, sodio, potasio y bario.

Análisis de conglomerados (cluster) y escalamiento multidimensional no métrico (nMDS)

El análisis de conglomerados (agrupamiento jerárquico) y la ordenación mediante el escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), se utilizaron para identificar las relaciones y gradientes entre los puntos de muestreo de la quebrada Apostoloni.

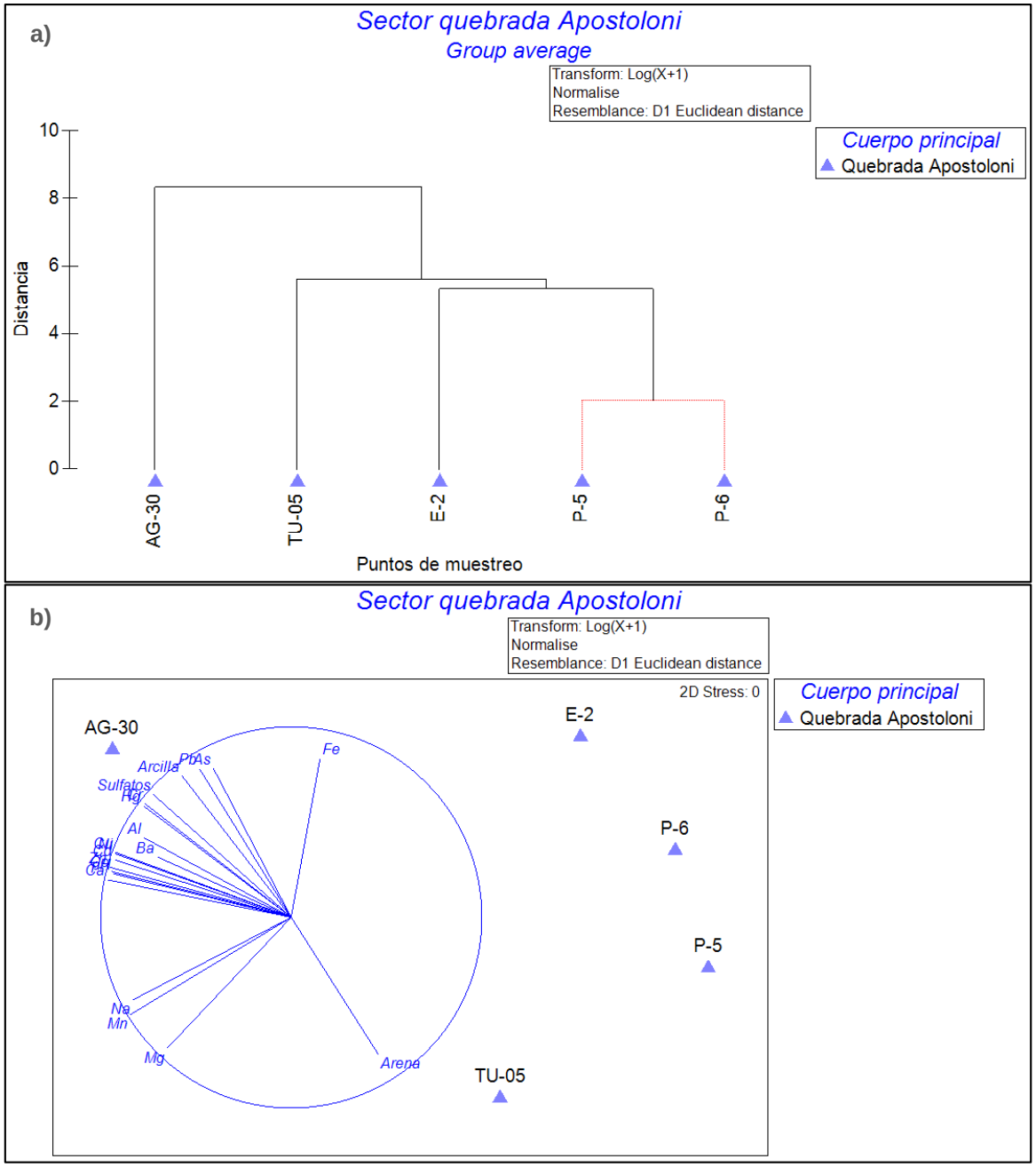


Figura 6.128. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni); y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana)

En el dendograma del análisis de conglomerados (Figura 6.128a), se observa 2 grupos definidos. El primer grupo formado por los puntos P-5, P-6, E-2 y TU-05 de la quebrada Apostoloni, ubicados aguas arriba de la descarga del efluente minero PS-02; y el segundo grupo formado por el punto AG-30, que no forma un grupo con otros puntos de muestreo, debido a sus características fisicoquímicas.

La distribución de los puntos de muestreo de los sedimentos de la zona Margaritani (sector Apostoloni – Margaritani), muestra un patrón similar al ACP cuando los datos fueron sometidos a ordenaciones mediante el nMDS (Figura 6.128b). Se evidencia un gradiente que va desde los puntos P-6, P-5 y TU-05 (quebrada Apostoloni) hacia el AG-30 y E-2,

debido a una creciente concentración de elementos en los sedimentos y contenido de arcilla; además se aprecia que el punto AG-30, ubicado inmediatamente después de la descarga del efluente minero, se encuentra separado del resto de puntos, debido a sus características fisicoquímicas como la alta concentración de cadmio, mercurio, cobre, zinc, cobalto, níquel, aluminio y calcio; y a un valor de pH (5,07) más elevado.

6.3.2.2.3. Comunidades hidrobiológicas

Se evaluaron 5 puntos ubicados en la quebrada Apostoloni. En el transcurso de la quebrada se identificaron 2 efluentes, PM-02 y PS-02. Es importante indicar que el efluente minero PM-02, ubicado aguas abajo del punto HB-P-5 y aguas arriba de HB-P-6, no presentó descarga, mientras que el efluente PS-02, ubicado aguas debajo de HB-TU-05, si presentó descarga a la quebrada Apostoloni.

Perifiton

Composición, riqueza y abundancia de especies

Se registraron 64 especies en la comunidad del perifiton, de las cuales 62 fueron microalgas y están distribuidos en 4 phyla. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza con 39 especies (63 %), seguido de Chlorophyta con 11 especies (18 %), Cyanobacteria con 5 especies (3 %) y Charophyta con 9 especies (14 %), en adelante los resultados se mostrarán para las microalgas del perifiton que fueron dominantes sobre los microorganismos.

En lo referente al acumulado total para el sector Quebrada Apostoloni los géneros *Eunotia* y *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta tuvieron la mayor riqueza con 13 y 7 especies respectivamente, sobresaliendo también en el phylum Chlorophyta el género *Microspora* sp. con 6 especies.

El manantial HB-MT-25 presentó la mayor riqueza de especies con la presencia de especies pertenecientes a los 4 phyla registrados; mientras que una réplica en el punto HB-TU-12 resultó con 0 especies reportadas, este punto se encuentra en la naciente de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 200 m al este del depósito de desmonte Zona Disal.

Se presenta una disminución de especies en el sector Apostoloni Sur; en los puntos ubicados en la quebrada Apostoloni se va desde 18 especies en HB-P-05 a 11 especies en HB-TU-05; teniendo en cuenta que aquí se encuentran dos descargas (PM-02 Y PS-02) en los puntos posteriores a las descargas se ha registrado la asociación de microalgas *Stigeoclonium* sp. y *Microspora* spp. las que son tolerantes a metales y encontradas asociadas a drenajes ácidos de mina (Verb and Vis, 2001y Sabater et al., 2003). (Figura 6.129).

En el sector Apostoloni Norte la mayor riqueza corresponde al punto HB-AG-30 y no a los manantiales como sucede en el sector Apostoloni Sur

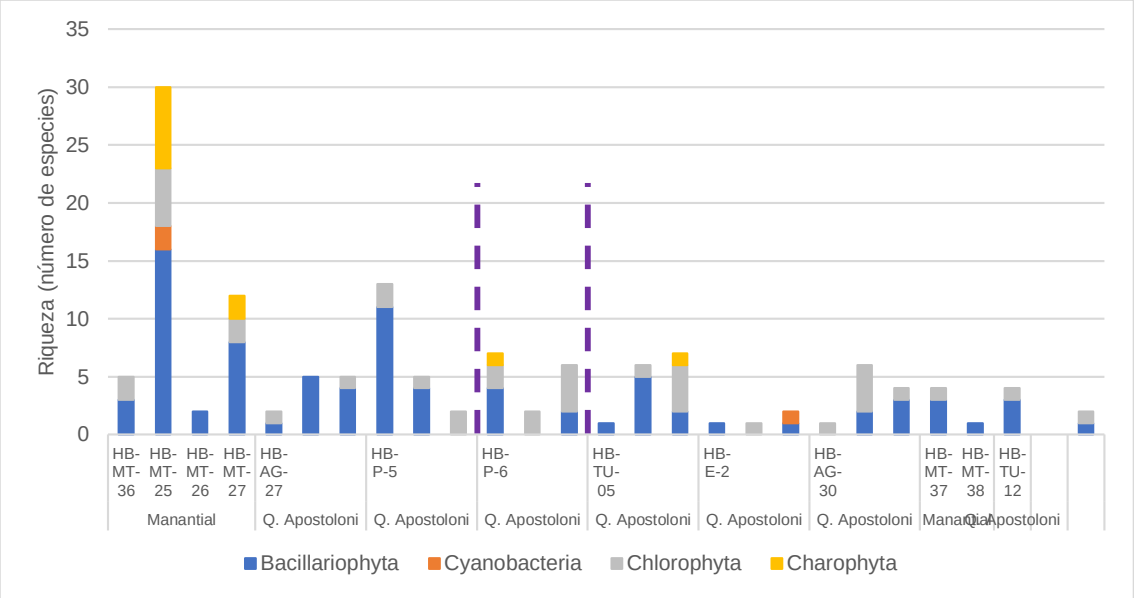


Figura 6.129. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. Vertimiento

La abundancia total en la temporada de muestreo fue de 1 573 575 organismos/cm^2 de microalgas, los cuales pertenecen a los phyla Bacillariophyta (1 433 500organismos/cm^2), Cyanobacteria (1 197 organismos/cm^2), Chlorophyta (120 384 organismos/cm^2) y Charophyta (18 494 organismos/cm^2), Figura 6.130

La abundancia en el phylum Chlorophyta esta principalmente influenciada por especies del género *Microspora* sp. asociadas, como ya se mencionó, a drenajes ácidos de mina.

Los puntos de mayor abundancia fueron los manantiales HB-MT-26 y HB-MT-37 donde se registro una predominancia del género *Pinnularia* sp. conocido por presentar especies acidófilas (Krammer, 2000)., Figura 6.130

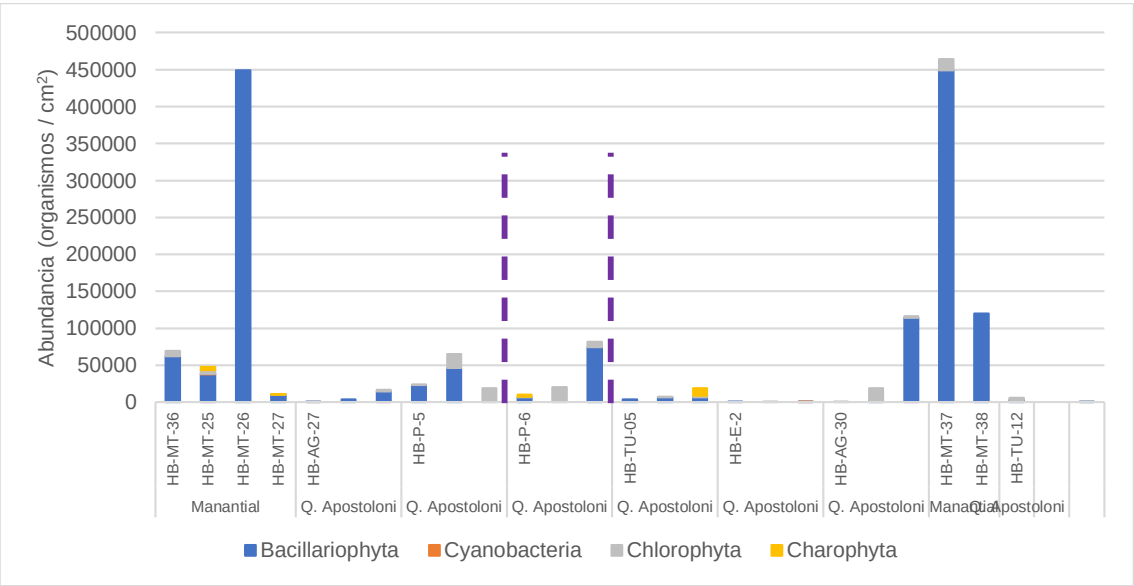


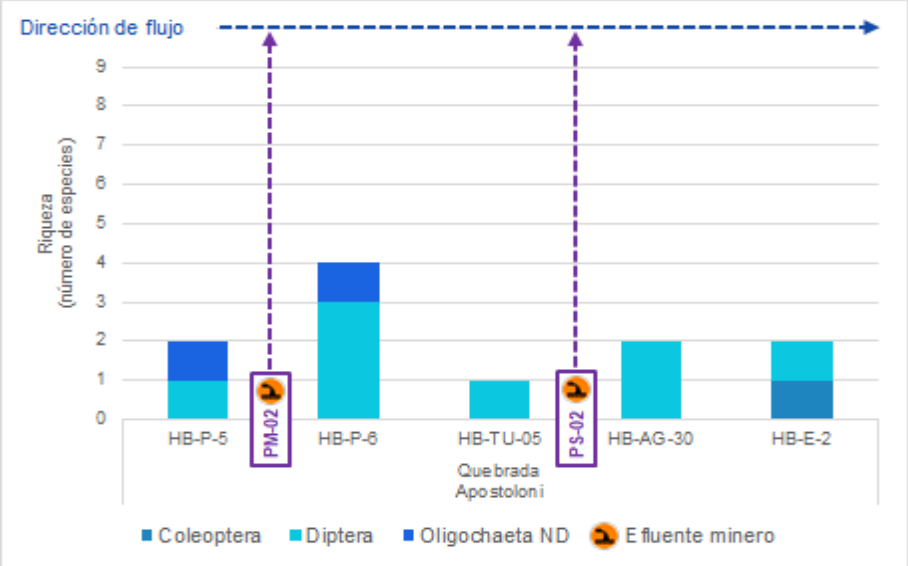
Figura 6.130. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni. . Vertimiento

Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

El ensamble del macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 6 especies, 3 familias, 3 órdenes, 2 clases y 2 phylum, según su categoría taxonómica. El orden con mayor número de especies fue Diptera con 4 especies, mientras que los órdenes Coleoptera y Oligochaeta ND (subclase Oligochaeta) presentaron 1 especie cada uno (Anexo 3).

El punto de muestreo con mayor número de especies fue HB-P-6 con 2 especies, mientras que el punto de muestreo con menor número de especies fue HB-TU-05 con 1 especie. El orden Diptera presentó más de 1 especie en los puntos HB-P-6, HB-TU-05 y HB-AG-30, presentando la mayor riqueza en HB-P-6 con 3 especies. Este orden fue el único colectado en común respecto al total de puntos evaluados (Figura 6.131).

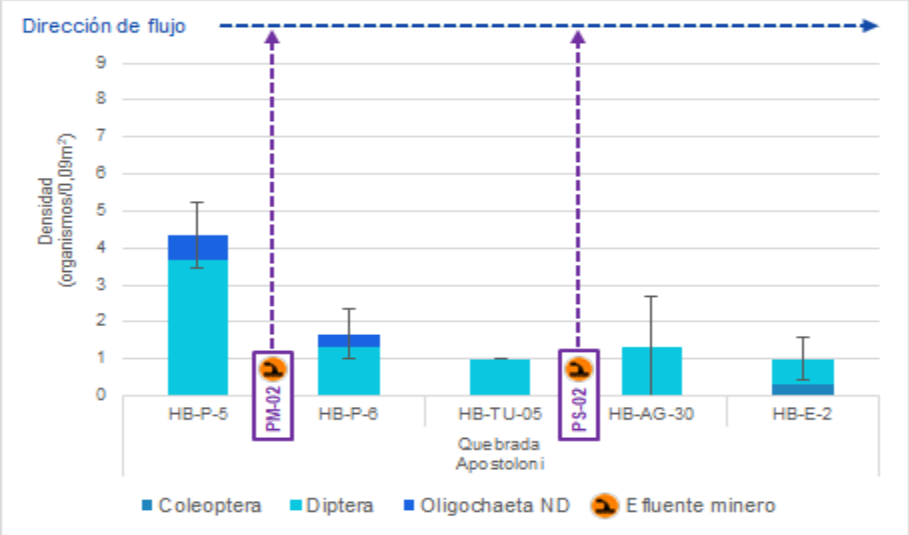


El efluente minero PM-02 no presentó descarga.
Los puntos HB-P-5 y HB-P-6 presentaron la influencia de un bofedal en la margen izquierda.

Figura 6.131. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni.

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 1,87 ± 0,63 organismos/0,09m^2. El punto de muestreo con mayor densidad fue HB-P-5 con 4,33 ± 0,88 organismos/0,09m^2, mientras que los puntos de muestreo con menor densidad fueron HB-TU-05 y HB-E-2 con 1,00 y 1,00 ± 0,58 organismos/0,09m^2. Como ya se indicó, el orden Diptera se colectó en todos los puntos de muestreo, presentando la mayor densidad en HB-P-5 con 4,33 ± 0,88 organismos/0,09m^2 (Figura 6.132).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥33,3%) y abundancia relativa (>1,50%) fueron *Podonomus* sp. perteneciente al orden Diptera, familia Chironomidae, así como Oligochaeta ND (subclase Oligochaeta) (Anexo 3). Estas especies serán seleccionadas para el análisis de correlación canónica (ACC).

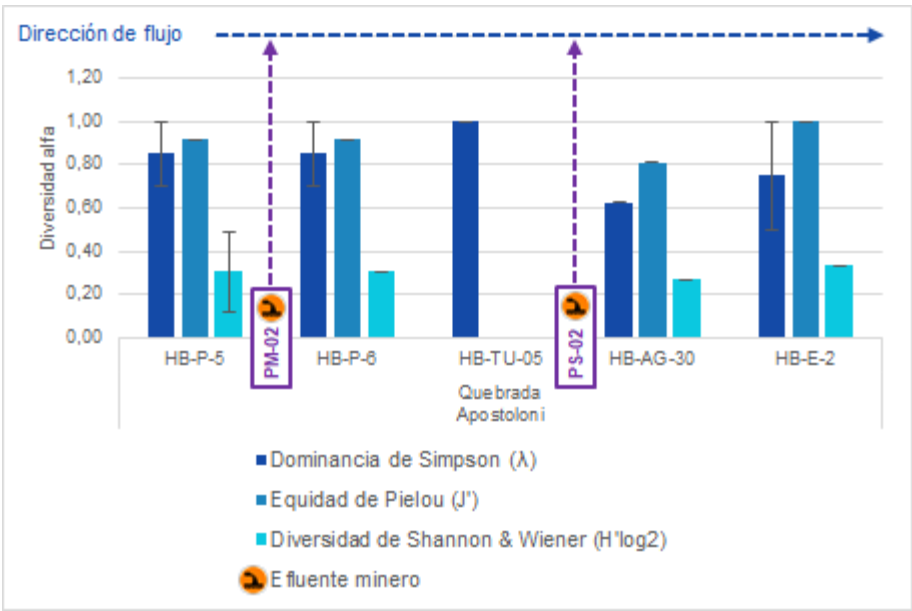


El efluente minero PM-02 no presentó descarga.
Los puntos HB-P-5 y HB-P-6 presentaron la influencia de un bofedal en la margen izquierda.

Figura 6.132. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni.

Diversidad alfa

De acuerdo a la Figura 6.133, el índice de dominancia de Simpson varió desde 0,63 (HB-AG-30) hasta 1,00 (HB-TU-05), punto en el que se colectó una única especie. El índice de equidad de Pielou varió desde 0,81 (HB-AG-30) hasta 1,00 (HB-E-2). La diversidad de Shannon-Wiener varió desde 0,00 bits/individuo (HB-TU-25, punto en el que colectó una sola especie) hasta 0,33 bits/individuo (HB-E-2). Se observaron valores reducidos de diversidad (<0,50 bit/individuo) relacionados a una alta dominancia de una o pocas especies (>0,50), dada principalmente por *Podonomus* sp. en cada uno de los puntos (>25 organismos/0,09m^2).



El efluente minero PM-02 no presentó descarga.
Los puntos HB-P-5 y HB-P-6 presentaron la influencia de un bofedal en la margen izquierda.

Figura 6.133. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni.

Calidad biológica

En la Figura 6.134 se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo al índice ABI. Se observó que los puntos evaluados en el sector quebrada Apostoloni (antes de la confluencia con la quebrada Margaritani) presentaron una «pésima calidad biológica», siendo el punto HB-E-2 el que presentó una mayor valoración. Todos los puntos presentaron especies tolerantes.

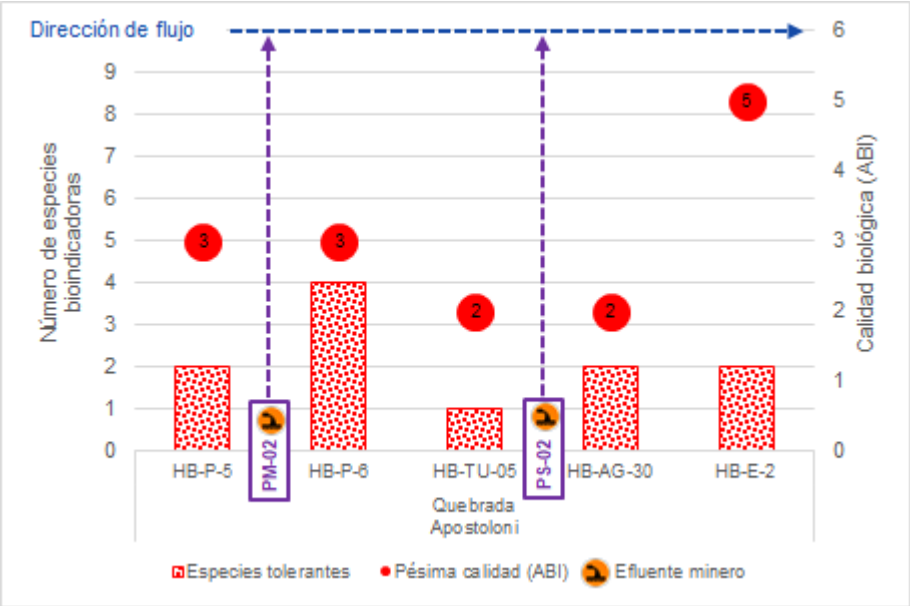


Figura 6.134. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni.
Nota: El efluente minero PM-02 no presentó descarga.
Los puntos HB-P-5 y HB-P-6 presentaron la influencia de un bofedal en la margen izquierda.

Calidad ecológica

Los resultados de calidad hidromorfológica (Anexo 2) indicaron una «mala calidad» en los puntos HB-AG-30 y HB-E-2, mientras que los puntos HB-P-5, HB-P-6 y HB-TU-05 presentaron una «moderada calidad». Sin embargo, al combinar los resultados de calidad hidromorfológica con los resultados de calidad biológica (ABI), los resultados de calidad ecológica señalaron una «pésima calidad ecológica» en los puntos evaluados (Tabla 6.41).

Es importante señalar que únicamente se evaluó la calidad hidromorfológica de los puntos HB-TU-12 y HB-AG-27, presentando una «mala calidad» y «pésima calidad» respectivamente; esto debido a que el primero de ellos presentó un escaso flujo de agua limitando el muestreo de macroinvertebrados bentónicos, mientras que el otro punto se encontró ubicado en una sección canalizada.

Tabla 6.41. Calidad ecológica obtenida para la zona Margaritani - sector quebrada Apostoloni.

Ecosistema acuático	Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Quebrada Apostoloni	HB-TU-12	-	Mala	-
	HB-AG-27	-	Pésima	-
	HB-P-5	Pésima	Moderada	Pésima
	HB-P-6	Pésima	Moderada	Pésima

Ecosistema acuático	Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
	HB-TU-05	Pésima	Moderada	Pésima
	HB-AG-30	Pésima	Mala	Pésima
	HB-E-2	Pésima	Mala	Pésima

Nota: Los puntos HB-P-5 y HB-P-6 presentaron la influencia de un bofedal en la margen izquierda.

6.3.2.3. Sector río Margaritani

6.3.2.3.1. Agua superficial

Este sector del río Margaritani está conformado por el cuerpo principal del mismo nombre que se forma luego de la confluencia entre las quebradas Apostoloni (E-2) y Margaritani (E-3). El río Margaritani recibe en su margen izquierda los aportes de la quebrada Planta (TU-14 y TU-38) y el flujo de agua de no contacto FTuca7.

I. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

Los parámetros de los puntos de muestreo de agua superficial evaluados en este sector que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y bebida de animales) se presentan en la Tabla 6.42. Además, en la Tabla 6.43. se detallan sus valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

Tabla 6.42. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Margaritani - sector río Margaritani

N.°	Zona / Sector	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
				D.S.N° 002-2008-MINAM - Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
1	Margaritani - sector río Margaritani	R. Margaritani	E-10*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
2		Q. Margaritani	P-8*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
3		Q. Planta	TU-14	Cloruros, B y Mn	-
4		Q. Planta	TU-38	pH, Cloruros, Sulfatos, B, Mn y Zn	pH y Mn
5		Q. Margaritani	P-9*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
6		Flujo de agua (quebrada Planta)	FTuca7	pH, Cloruros, B, Fe y Mn	pH, Fe y Mn
7		R. Margaritani	AG-18*	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni

pH: Potencial de hidrogeno, CE: Conductividad eléctrica, Al: Aluminio, As: Arsénico, B: Boro, CD: Cadmio, Co: Cobalto, Cu: Cobre, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Ni: Níquel, Zn: Zinc
*: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C.

Tabla 6.43. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3, en el sector río Margaritani

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros *In Situ*		Fisicoquímicos			Metales total									
		pH	CE	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Al	As	B	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Río Margaritani	E-10*	2,80	2920	3,82	3	3024	259	1,9785	0,010	0,18814	0,87359	6,890	241	8,1807	0,6367	8,74
	P-8*	2,78	3080	2,23	2,90	2870	229	1,6432	0,010	0,17795	0,77828	6,273	199	7,8368	0,5764	8,64
Quebrada Planta	TU-14	6,54	240	0,73	0,19	105	< 0,002	0,00148	0,229	0,00004	0,00088	0,0027	< 0,03	0,20786	0,0023	0,03
	TU-38	6,38	933	2,67	< 0,01	457	0,4	0,00251	0,211	0,00163	0,02881	0,0199	0,72	5,773	0,0229	2,74
Río Margaritani	P-9*	2,83	3050	2,19	2,8	2797	250	1,8213	0,012	0,19251	0,83900	6,648	219	8,3714	0,6132	9,35
Flujo de agua	FTuca7	3,93	264	0,65	0,30	139	1,8	0,00269	0,012	0,00023	0,01601	0,0055	1,1	0,57193	0,0144	0,07
Río Margaritani	AG-18*	2,81	3080	2,21	2,70	2636	248	1,4159	0,020	0,18283	0,79457	6,468	197	8,0774	0,5907	9,18
ECA para agua 2008[1]	RV	6,5 - 8,5	< 2000	100 - 700	1	300	5	0,05	0,5 - 6	0,005	0,05	0,20	1	0,20	0,20	2
	BA	6,5 - 8,4	≤ 5000	**	2	500	5	0,10	5	0,01	1	0,50	1	0,20	0,20	24

Fuente: Informes de ensayo N° SAA-20/00652, SAA-20/00655, SAA-20/00654, SAA-20/00574, SAA-20/00591 y SAA-20/00592 de Laboratorio AGQ PERÚ SAC.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.
«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales,
«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado por D.S. N.° 002-2008- MINAM
«*»: Estación de monitoreo de agua superficial de Aruntani S.A.C
«**»: El parámetro NO aplica en esta subcategoría
<: Menor al límite de detección del método de análisis

En las Tablas 6.42 y 6.43 resalta las características ácidas del sector evaluado, a excepción de la quebrada Planta. Los valores de pH (2,78 – 2,83) y las concentraciones de aluminio (229 – 259 mg/L), arsénico (1,4159 – 1,9785 mg/L), cadmio (0,17795 – 0,19251 mg/L), cobre (6,273 – 6,890 mg/L), hierro (197– 241 mg/L), manganeso (7,8368 – 8,3714 mg/L), níquel (0,5764 – 0,6367 mg/L) y zinc (8,64 – 9,35 mg/L) en el rio Margaritani no presentaron variaciones significativas, a lo largo de su recorrido, desde el punto E10 hasta el AG-18, antes de la confluencia con el rio Queullirijahuiri.

II. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

En los siguientes párrafos se presenta los parámetros que han excedido los valores de los ECA para agua 2017 Cat.3-D1 y D2. Cabe precisar que, para una mejor visualización de la contribución de las quebradas Apostoloni (E-3) y Margaritani (E-2) al río Margaritani (E-10) se incluyeron los resultados de estas quebradas en los gráficos correspondientes.

- **Potencial de hidrógeno – pH:** Los valores de potencial de hidrógeno en los puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18 del río Margaritani, en el punto TU-38 de la quebrada Planta, y en el flujo de agua de no contacto (FTuca7), se encontraron fuera del rango establecido (valor mínimo) en los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2, sugiriendo que las aguas de este sector son ácidas (Figura 6.135a)

- **Conductividad Eléctrica – CE:** La conductividad eléctrica registrada en los puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18 del río Margaritani, excedió únicamente el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (2500 µS/Cm); En cambio, en la quebrada planta y en el flujo de agua de no contacto, los valores registrados de conductividad eléctrica no excedieron la norma mencionada (Figura 6.135b),

- **Fluoruros:** La concentración de fluoruros en los puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18 del río Margaritani, excedió el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (1 mg/L). En cambio, en la quebrada planta y en el flujo de agua de no contacto, los valores registrados no excedieron la norma referida (Figura 6.135c).

- **Sulfatos:** Las concentraciones de sulfatos excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (1000 mg/L) solo en los puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18 del río Margaritani (Figura 6.135d).

- **Aluminio, arsénico, cadmio y cobre:** Las concentraciones de estos elementos en los puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18 del cuerpo principal, excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2. En cambio, en la quebrada planta y en el flujo de agua de no contacto, las concentraciones reportadas no excedieron la mencionada norma (Figura 6.136)

- **Cobalto, hierro, níquel y zinc:** Las concentraciones de estos elementos en los puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18 del cuerpo principal, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1. En cambio, en la quebrada planta y en el flujo de agua de no contacto, las concentraciones reportadas no excedieron la citada norma (Figura 6.137).

- **Manganeso –Mn:** Las concentraciones de manganeso en todos los puntos evaluados en este sector, excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (0,2 mg/L), reportándose las mayores concentraciones en el río Margaritani (Figura 6.138).

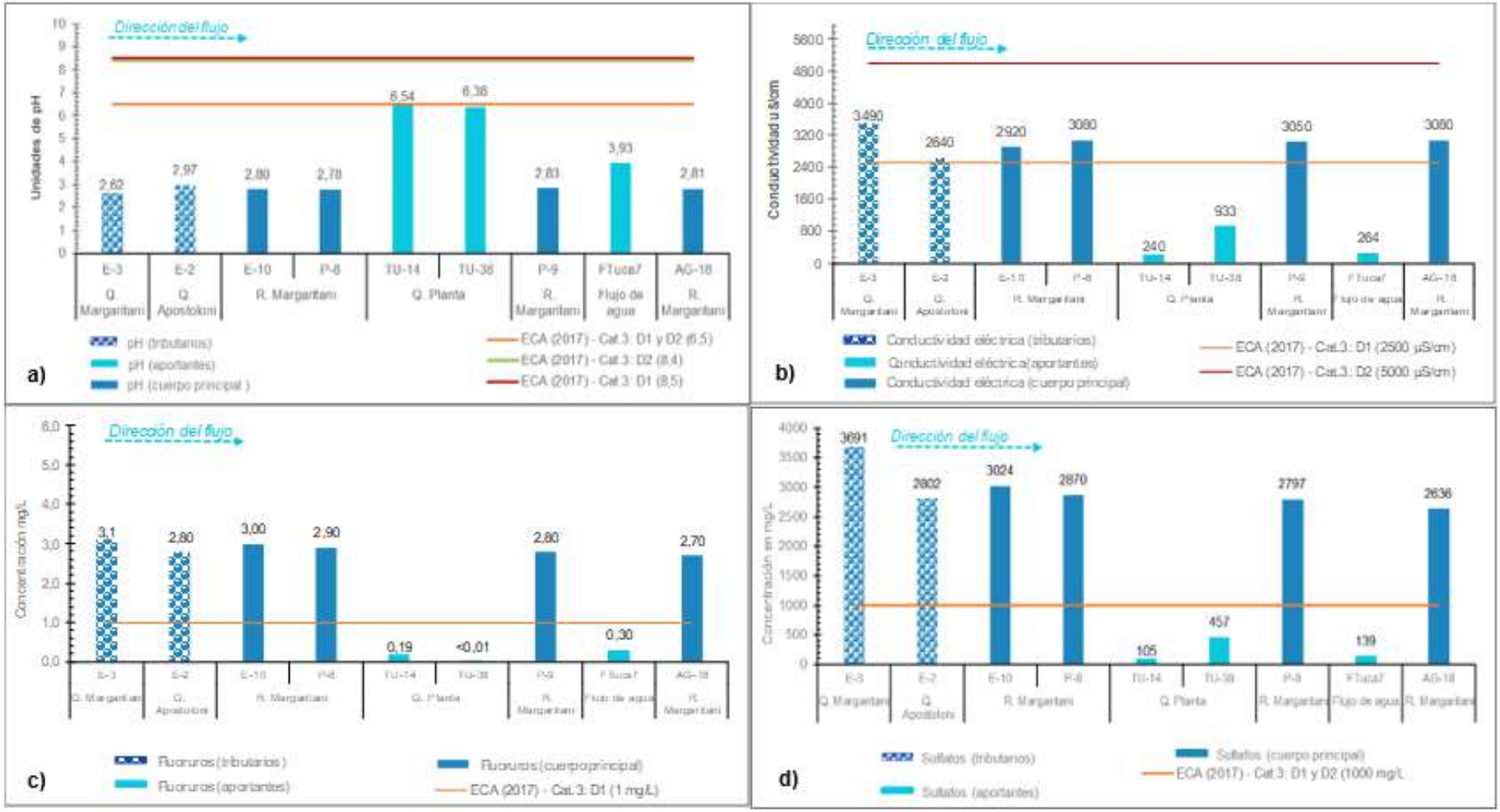


Figura 6.135. Valores y concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrogeno, b) conductividad eléctrica, d) fluoruros y d) sulfatos

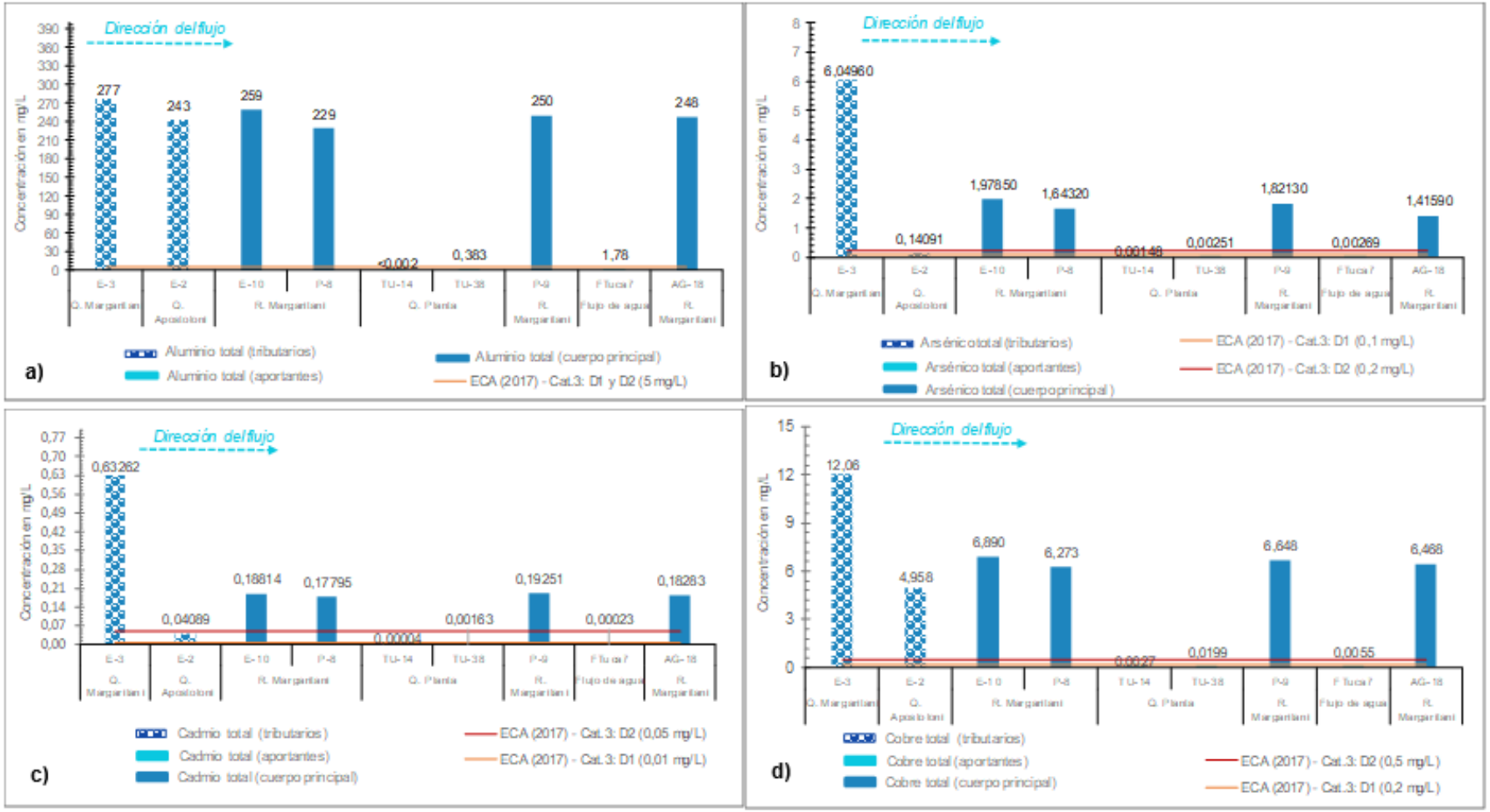


Figura 6.136. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) aluminio, b) arsénico, c) cadmio y d) cobre

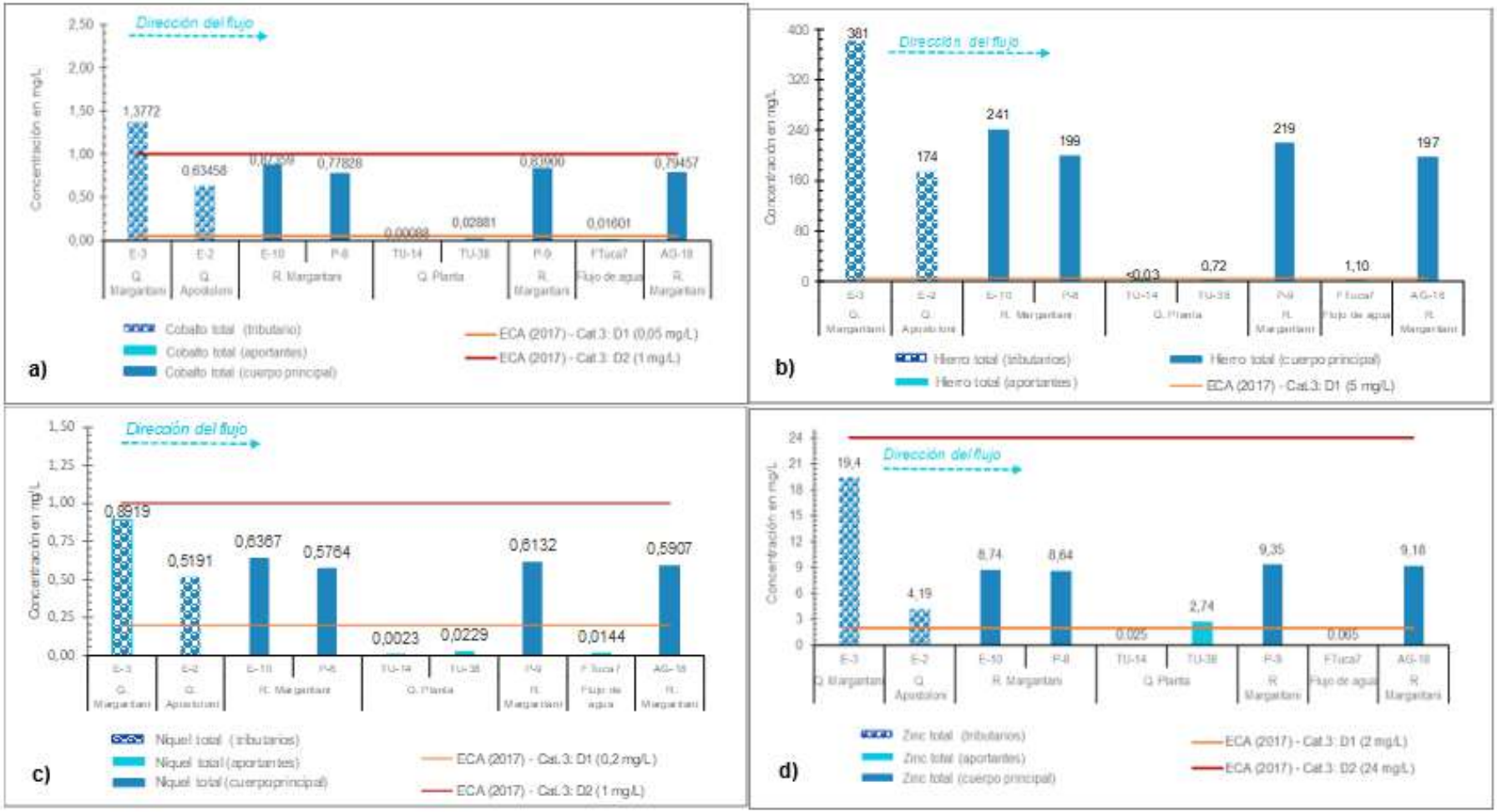


Figura 6.137. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobalto, b) hierro, c) níquel y d) zinc

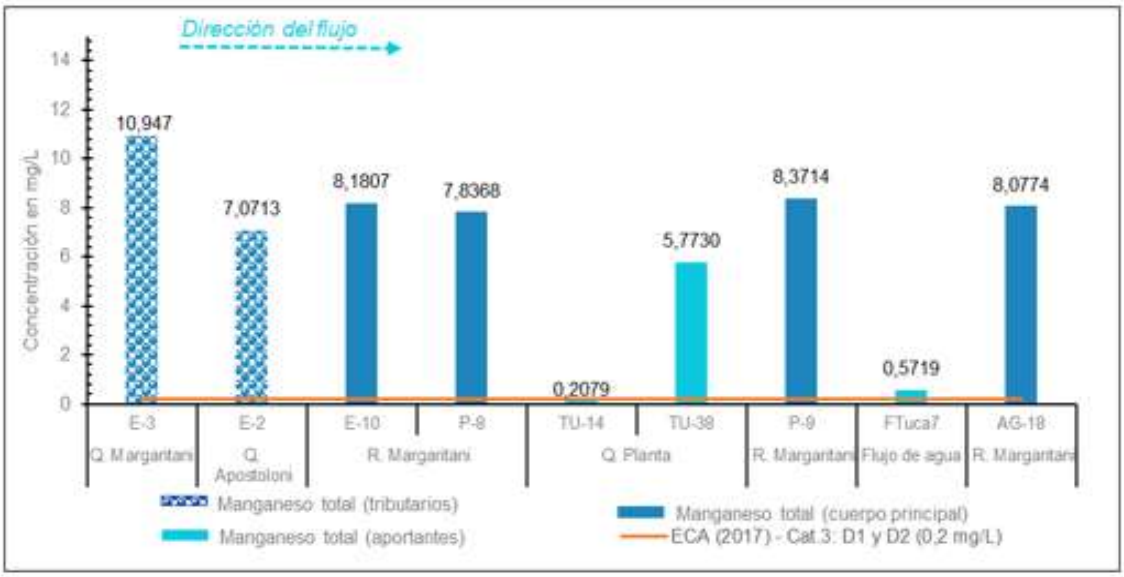


Figura 6.138. Concentraciones de manganeso reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2

Las elevadas concentraciones de arsénico, cadmio, cobalto, cobre, cobalto, hierro, níquel y zinc reportadas en el río Margaritani, estarían relacionadas principalmente al aporte de agua de proveniente de la quebrada Margaritani (E-2)

6.3.2.3.2. Sedimento

En el sector río Margaritani la evaluación ambiental de sedimento, abarca los puntos de muestreo ubicados en la quebraba Apostoloni (E-2), la quebrada Margaritani (E-3) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18) al que da origen. Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en esta zona se presentan en la Tabla 6.44 y las Figuras 6.139, 6.140, 6.141 y 6.142. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo C (RRE-046-2020-STEC).

En la Figura 6.139 se observa valores de pH bajos en los sedimentos de la quebrada Margaritani (E-3) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18) y en el tributario quebrada Apostoloni (E-2), que estuvieron en el rango desde 2,51 a 3,77, lo que evidencia características ácidas en los mencionados cuerpos de agua.

Se obtuvieron bajos contenidos de materia orgánica en esta zona, por debajo del límite de detección del laboratorio (<0,3) en todos los puntos de muestreo del cuerpo de agua principal (quebrada y río Margaritani) y tributario (quebrada Apostoloni).

En relación con el contenido de arena, limo y arcilla, se registró una predominancia entre limo y arcilla en la quebrada Margaritani (E-3) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18), así como la quebrada tributaria Apostoloni (E-2), que varió desde 40,37 % a 57,75 %; siendo en contenido de partículas finas uno de los factores más importantes capaz de variar la concentración de metales pesados en el sedimento.

En cuanto a las concentraciones de sulfatos, se observa un incremento entre los puntos E-3 y E-10 del cuerpo de agua principal (quebrada y río Margaritani), pasando de 6400 mg/kg S a 7680 mg/kg S, luego del aporte de la quebrada tributaria Apostoloni (E-2), en la cual también se registró una elevada concentración de este parámetro (8460 mg/kg S). Seguidamente en el río Margaritani se obtuvieron altas concentraciones de sulfatos desde 22510 mg/kg S a 15288 mg/kg S, entre los puntos P-8, P-9 y AG-18.

Tabla 6.44. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Margaritani - sector río Margaritani

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo					
		Quebrada Margaritani	Quebrada Apostoloni	Río Margaritani	Río Margaritani	Río Margaritani	Río Margaritani
		E-3	E-2	E-10	P-8	P-9	AG-18
pH	Unidades de pH	2,51	3,12	3,77	2,67	2,84	3,46
Sulfatos	mg/kg S	6400	8460	7680	22510	10513	15288
Materia orgánica	%	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Grava	%	0	0	0	0	0	0

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo					
		Quebrada Margaritani	Quebrada Apostoloni	Río Margaritani	Río Margaritani	Río Margaritani	Río Margaritani
		E-3	E-2	E-10	P-8	P-9	AG-18
Arcilla	%	11,98	9,13	12,83	11,31	8,95	11,79
Limo	%	42,04	31,51	44,92	39,62	31,42	41,57
Arena	%	45,98	59,35	42,28	49,06	59,63	46,66
Clase textural	-	Marga	Franco arenoso	Marga	Marga	Franco arenoso	Marga
Fe	mg/kg PS	57250	68268	69723	72754	64673	75691
Cu	mg/kg PS	53	65	85	82	67	123
Pb	mg/kg PS	142	135	165	136	151	151
Zn	mg/kg PS	51	40	67	46	29	50
Cd	mg/kg PS	0,668	0,1614	0,55396	0,45551	0,2244	0,4552
Co	mg/kg PS	4,285	3,581	6,953	5,16	3,106	5,199
Cr	mg/kg PS	6,179	8,016	7,798	4,399	1,982	2,939
Ni	mg/kg PS	4,92	5,71	7,85	7,7	3,04	6,67
Hg	mg/kg PS	0,333	0,797	0,72	0,625	0,335	1,05
As	mg/kg PS	601	203	437	647	672	928
Sb	mg/kg PS	0,6148	0,6121	0,467	1,782	1,026	1,746
Al	mg/kg PS	9748	11679	11422	13468	10141	13974
Mn	mg/kg PS	48,1	64,4	74,5	70,3	58,6	76,9
Ca	mg/kg PS	765	1995	4523	10078	596,9	1872
Na	mg/kg PS	277	328	296	244	300	405
K	mg/kg PS	2651	2689	2857	2803	3195	3975
Mg	mg/kg PS	995	1381	1322	1391	1001	1343
Ba	mg/kg PS	480,5	323,9	386,4	355	467,6	409,8

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C, ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C

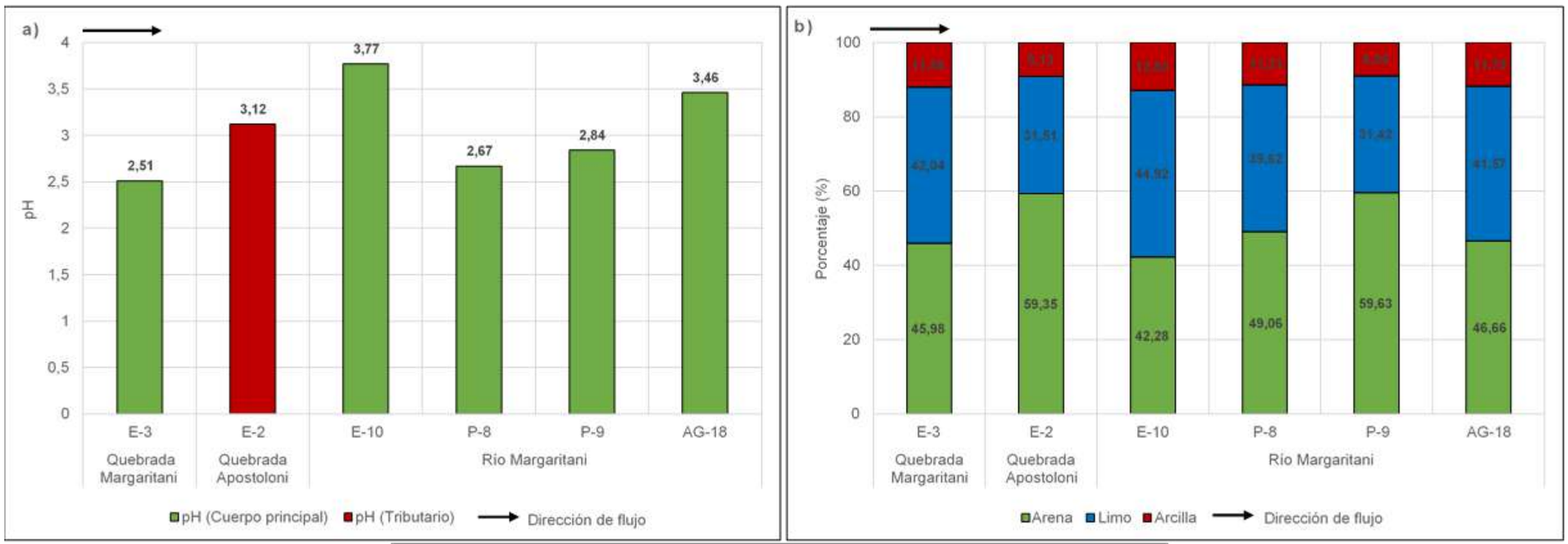


Figura 6.139. Valores de a) pH, b) análisis granulométrico y c) sulfatos en la zona Margaritani - sector río Margaritani

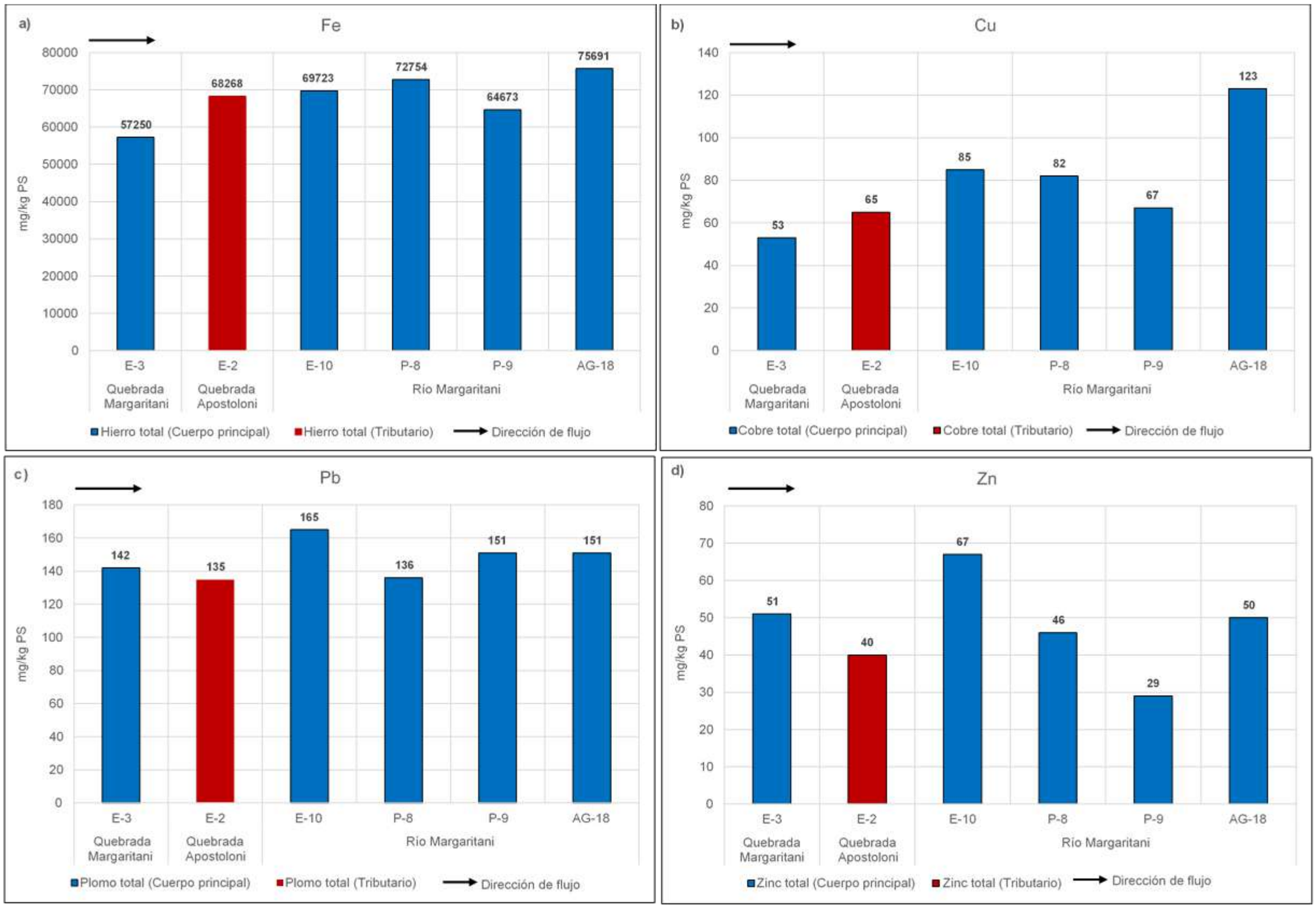


Figura 6.140. Concentraciones de a) hierro, b) cobre, c) plomo y d) zinc en la zona Margaritani - sector río Margaritani

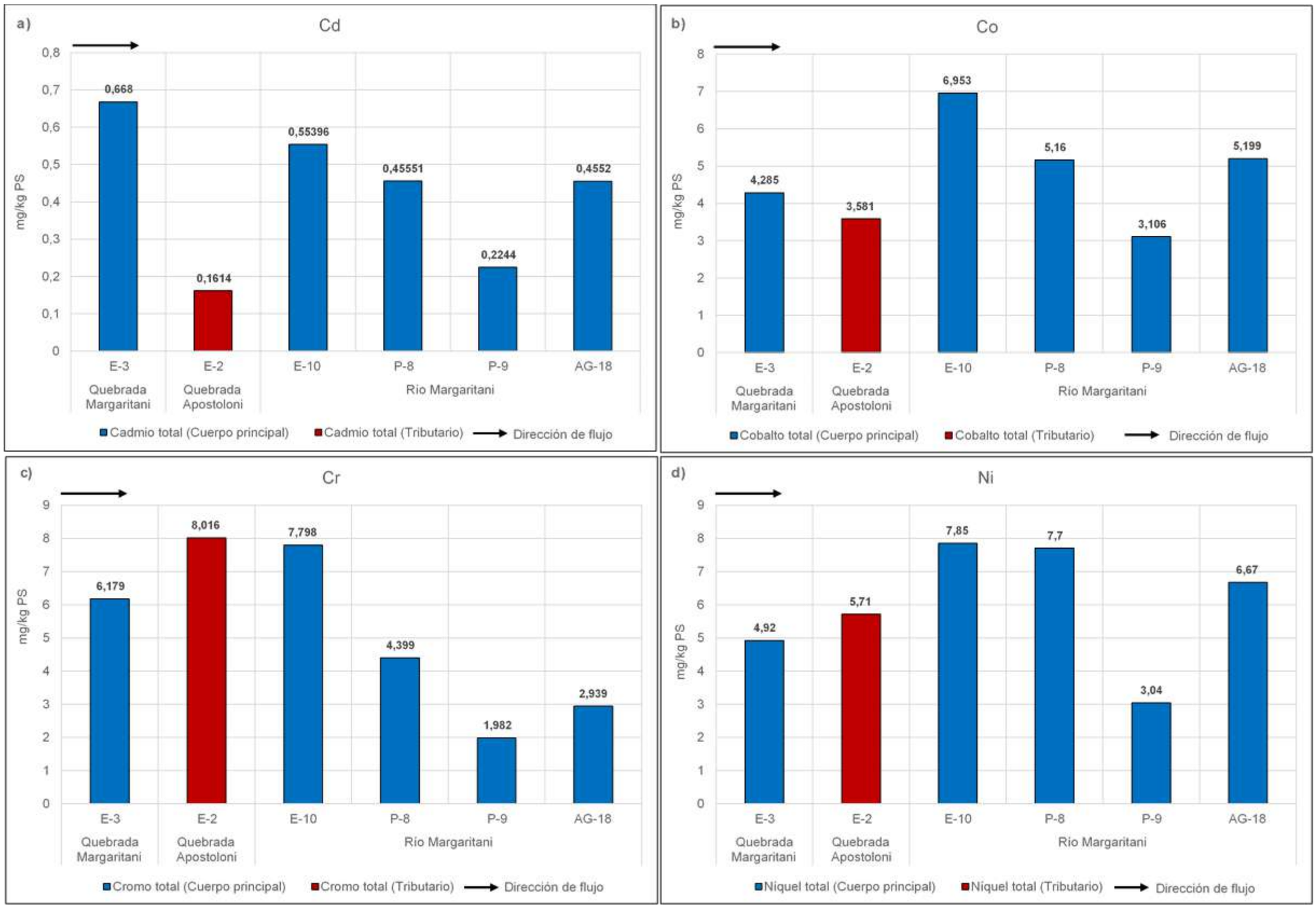


Figura 6.141. Concentraciones de a) cadmio, b) cobalto, c) cromo y d) níquel en la zona Margaritani - sector río Margaritani

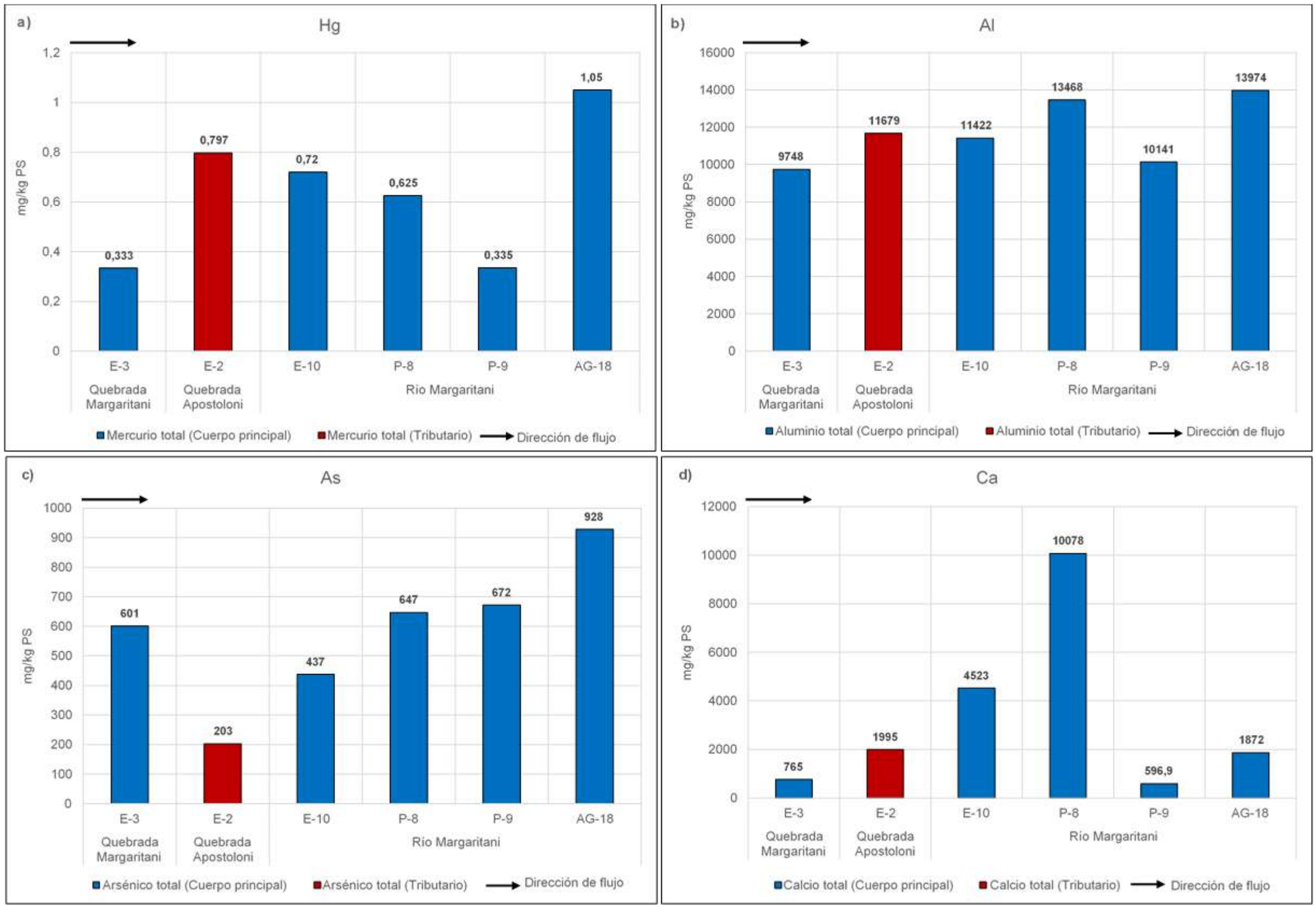


Figura 6.142. Concentraciones de a) mercurio, b) aluminio, c) arsénico y d) calcio en la zona Margaritani - sector río Margaritani

Asimismo, se identificó un incremento en las concentraciones de hierro, cobre, plomo, zinc, cobalto, cromo, níquel, mercurio, aluminio y calcio entre los puntos E-3 (quebrada Margaritani) y E-10 (río Margaritani) del cuerpo de agua principal; pasando de 57250 a 69723 mg/kg PS; 53 a 85 mg/kg PS; 142 a 165 mg/kg PS; 51 a 67 mg/kg PS; 4,285 a 6,953 mg/kg PS; 6,179 a 7,798 mg/kg PS; 4,92 a 7,85 mg/kg PS; 0,333 a 0,72 mg/kg PS; 9748 a 11422 mg/kg PS; y desde 765 a 4523 mg/kg PS, respectivamente, luego del aporte de la quebrada Apostoloni (E-3) en la cual se encontraron concentraciones de 68268 mg/kg PS; 65 mg/kg PS; 135 mg/kg PS; 40 mg/kg PS; 3,581 mg/kg PS; 8,016 mg/kg PS; 5,71 mg/kg PS; 0,797 mg/kg PS; 11679 mg/kg PS, y 1995 mg/kg PS para los metales y elementos mencionados.

Seguidamente se encontraron concentraciones variables de hierro, cobre, plomo, zinc, cobalto, cromo, níquel, mercurio, aluminio y calcio en el río Margaritani (puntos P-8, P-9 y AG-18) que estuvieron en el rango de 64673 a 75691 mg/kg PS; 67 a 123 mg/kg PS; 136 a 151 mg/kg PS; 29 a 50 mg/kg PS; 3,106 a 5,199 mg/kg PS; 1,982 a 4,399 mg/kg PS; 3,04 a 7,7 mg/kg PS; 0,335 a 1,05 mg/kg PS; 10141 a 13974 mg/kg PS; y desde 596,9 a 10078 mg/kg PS, respectivamente.

Se evidenció un comportamiento diferente para el arsénico y cadmio, para los cuales se obtuvieron concentraciones altas en el punto E-3 (quebrada Margaritani) de 601 mg/kg PS y 0,668 mg/kg PS, respectivamente, antes de la confluencia con el tributario quebrada Apostoloni (E-2). Seguidamente, las concentraciones de arsénico aumentan en el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18), con valores en el rango de 437 a 928 mg/kg PS; mientras que el cadmio disminuye y estuvieron en el rango desde 0,2244 a 0,55396 mg/kg PS (puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18).

Concentraciones de metales que excedieron los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.45, se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en la zona Margaritani (sector río Margaritani), comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Tabla 6.45. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani) comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
E-10	Río Margarita-ni	437	0,55396	85	7,798	0,72	165	67
P-8		647	0,45551	82	4,399	0,625	136	46
P-9		672	0,2244	67	1,982	0,335	151	29

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
AG-18		928	0,4552	123	2,939	1,05	151	50
CEQG[a]	ISQG [b]	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL [c]	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*
(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos
(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

Como se observa en la Tabla 6.45, las concentraciones de arsénico y plomo en todos los puntos de muestreo del río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18) superaron el valor PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá –CEQG. Asimismo, las concentraciones de mercurio en los puntos E-10 y P-8 superaron el valor PEL; y en los puntos P-9 y AG-18 sólo excedieron el valor ISQG de la mencionada guía de comparación.

Asimismo, las concentraciones de cobre en todos los puntos de muestreo del río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18), superaron el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá –CEQG, mientras que las concentraciones de cadmio, cromo y zinc, no excedieron los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá –CEQG.

Extracción secuencial de metales en sedimento

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en la Tabla 6.46 y las Figuras 6.143 y 6.144. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo del sector río Margaritani.

En las Figuras 6.143 y 6.144, se observa que los porcentajes encontrados en las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual) representan en conjunto desde el 30,57 % hasta 72,24 %, para los metales cobalto, cobre, níquel, zinc, hierro y manganeso en el río Margaritani (E-10, P-8 y AG-18). Además, se encontraron altas proporciones para el plomo con porcentajes desde 96,93 % a 98,39 % en conjunto para las fracciones 5 y 6, lo que indica la presencia de estos metales enlazados a minerales primarios y secundarios (fracción 6); los cuales no se liberarían en solución durante un periodo de tiempo amplio en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza. Asimismo, el contenido de metales en los sedimentos del río Margaritani representados en la fracción 5, se liberaría hacia la columna de agua en condiciones oxidantes, donde la materia orgánica tiende a degradarse.

Tabla 6.46. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani)

Fracciones	Cd (mg/kg)			Co (mg/kg)			Cu (mg/kg)			Ni (mg/kg)			Pb (mg/kg)			Zn (mg/kg)			Fe (mg/kg)			Mn (mg/kg)		
	E-10	P-8	AG-18	E-10	P-8	AG-18	E-10	P-8	AG-18	E-10	P-8	AG-18	E-10	P-8	AG-18	E-10	P-8	AG-18	E-10	P-8	AG-18	E-10	P-8	AG-18
F1	0,185	0,273	0,172	0,99	1,41	0,92	12,16	20,83	17,78	0,98	1,22	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	12,5	14,9	10,6	200,9	17574	11363	19,52	17,47	14,94
F2	0,087	<0,05	<0,05	0,443	0,288	0,206	7,37	2,53	2,27	<0,5	<0,5	<0,5	0,71	<0,5	<0,5	5,3	<5	<5	153,5	5622	4970	9	3	4
F3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,318	0,206	1,662	0,642	0,489	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<5	529,7	1632	940,3	1,13	1,07	1,59
F4	<0,05	<0,05	<0,05	0,325	0,246	0,145	4,55	6,515	5,271	0,52	<0,5	<0,5	1,12	1,07	<0,5	<5	<5	<5	11315	6365	4339	5,93	7,76	6,15
F5	0,063	<0,05	<0,05	1,989	0,596	0,54	12,03	12,44	12,54	1,8	0,66	0,6	1,75	30,05	28,43	18,85	6,49	6,06	7094	12880	13448	9,75	8,03	8,09
F6	0,069	<0,05	<0,05	0,548	0,4	0,453	16,68	4,46	4,26	0,86	0,67	0,64	99,26	27,54	32,82	24,76	5,35	5,63	24660	5010	6010	13	6,7	8,7
Suma de fracciones	0,404	0,273	0,172	4,295	3,258	2,47	54,452	47,417	42,61	4,16	2,55	1,24	102,84	58,66	61,25	61,41	26,74	22,29	43953,1	49083	41070,3	58,33	44,03	43,47

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).
F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.
<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS Perú S.A.C.

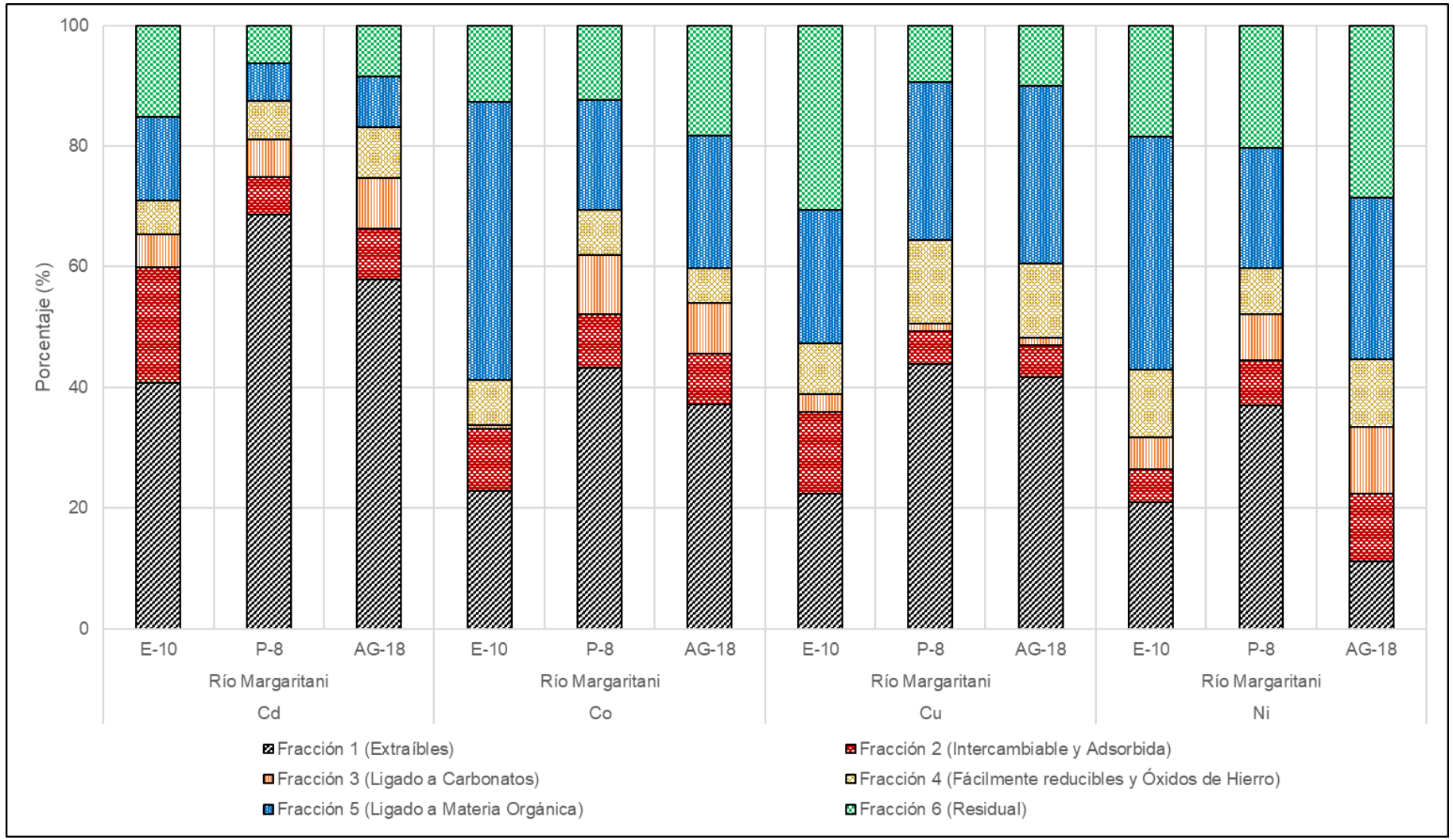


Figura 6.143. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani)

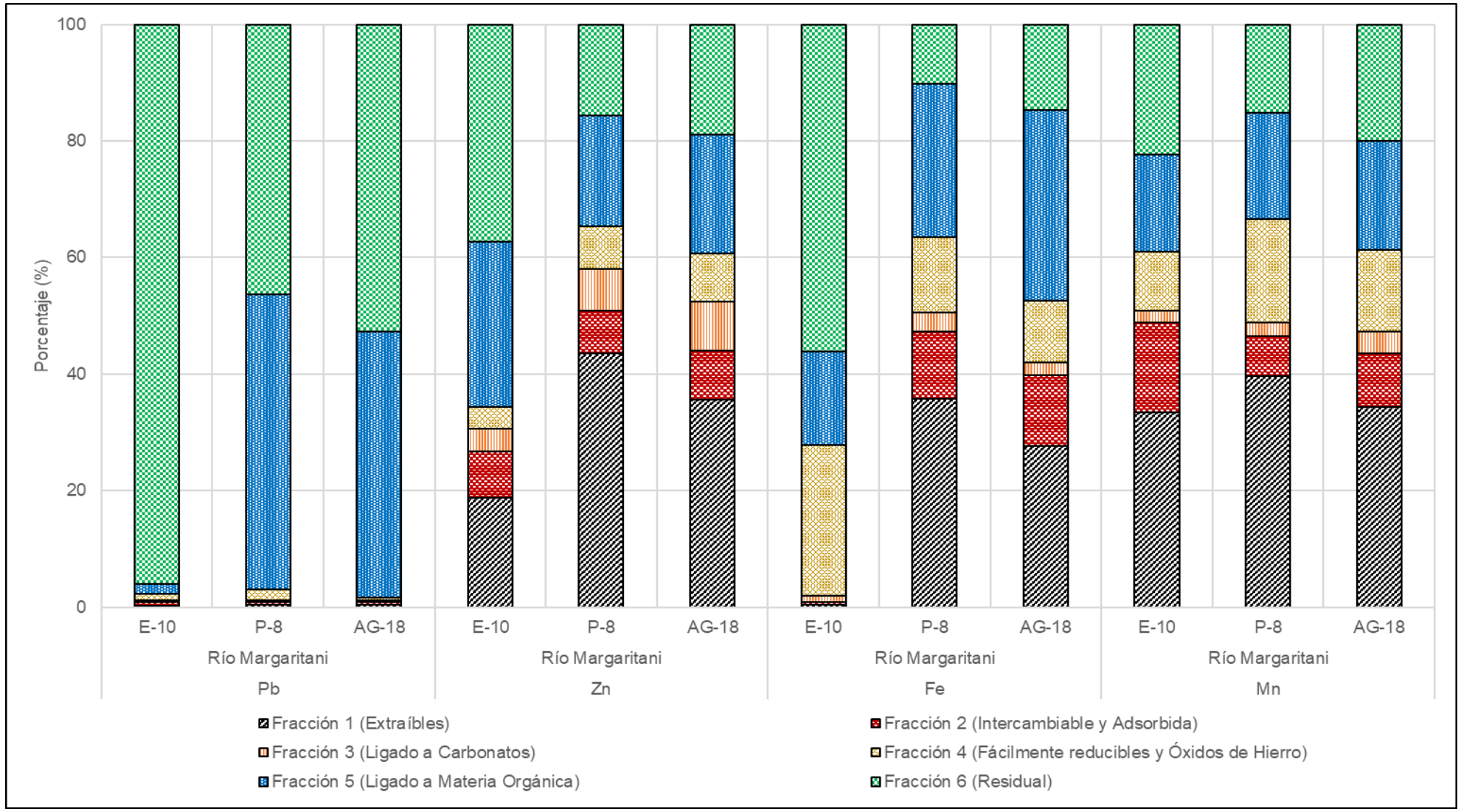


Figura 6.144. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Margarita (sector río Margaritani)

En relación la fracción 4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) se encontraron proporciones de cobalto, cobre, hierro y manganeso en el río Margaritani (E-10, P8 y AG-18) que variaron desde 5,87 % hasta 25,74 %. La generación de condiciones anóxicas en los sedimentos del mencionado cuerpo de agua (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de estos metales, puesto que los óxidos de hierro y manganeso a los cuales están unidos son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

Además, se obtuvieron bajas proporciones en la fracción 3 (ligados a carbonatos) para el cobalto, cobre, hierro y manganeso en el río Margaritani (E-10, P-8 y AG-18), con porcentajes desde 0,57 % a 9,76 %. Los metales unidos a esta fracción son susceptibles a cambios de pH en el sistema, lo que ocasionaría que el contenido de metales en el sedimento sea liberado; considerando que se encontraron pH ácidos en los sedimentos del río Margaritani, y altas concentraciones de metales como hierro representadas en esta fracción (529,7 a 1632 mg/kg).

Por último, se obtuvieron porcentajes variables en la fracción 1 para los metales cadmio, cobalto, cobre, zinc, hierro y manganeso desde 0,45 % a 68,59 %, para los puntos evaluados (E-10, P-8 y AG-18). El contenido de metales representado en esta fracción puede liberarse desde los sedimentos hacia la columna de agua, por cambios en la composición iónica del agua que afectan los procesos de sorción – desorción.

Índice de geoacumulación

En las Figuras 6.145, 6.146 y 6.147 se presentan los índices de geoacumulación para los metales hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel mercurio, aluminio y calcio calculados para las muestras de sedimento del sector río Margaritani.

La calidad de sedimentos fue clasificada desde «no contaminado» a «no contaminado a moderadamente contaminado» por hierro, zinc, cobalto, níquel y calcio en el cuerpo de agua principal (río Margaritani).

En cuanto al contenido de cobre, plomo y arsénico, los sedimentos del río Margaritani se clasificaron desde «moderadamente contaminado» a «moderadamente a fuertemente contaminado»; mientras que para los metales cromo y aluminio fueron catalogados como «no contaminados», en base al índice de geoacumulación.

Asimismo, para el cadmio la calidad de los sedimentos en el río Margaritani, varió desde «no contaminado a moderadamente contaminado» a «moderadamente a fuertemente contaminado».

Por último, en base al contenido de mercurio se clasificó a los sedimentos desde «moderadamente a fuertemente contaminado» a «fuerte a extremadamente contaminado» en el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18).

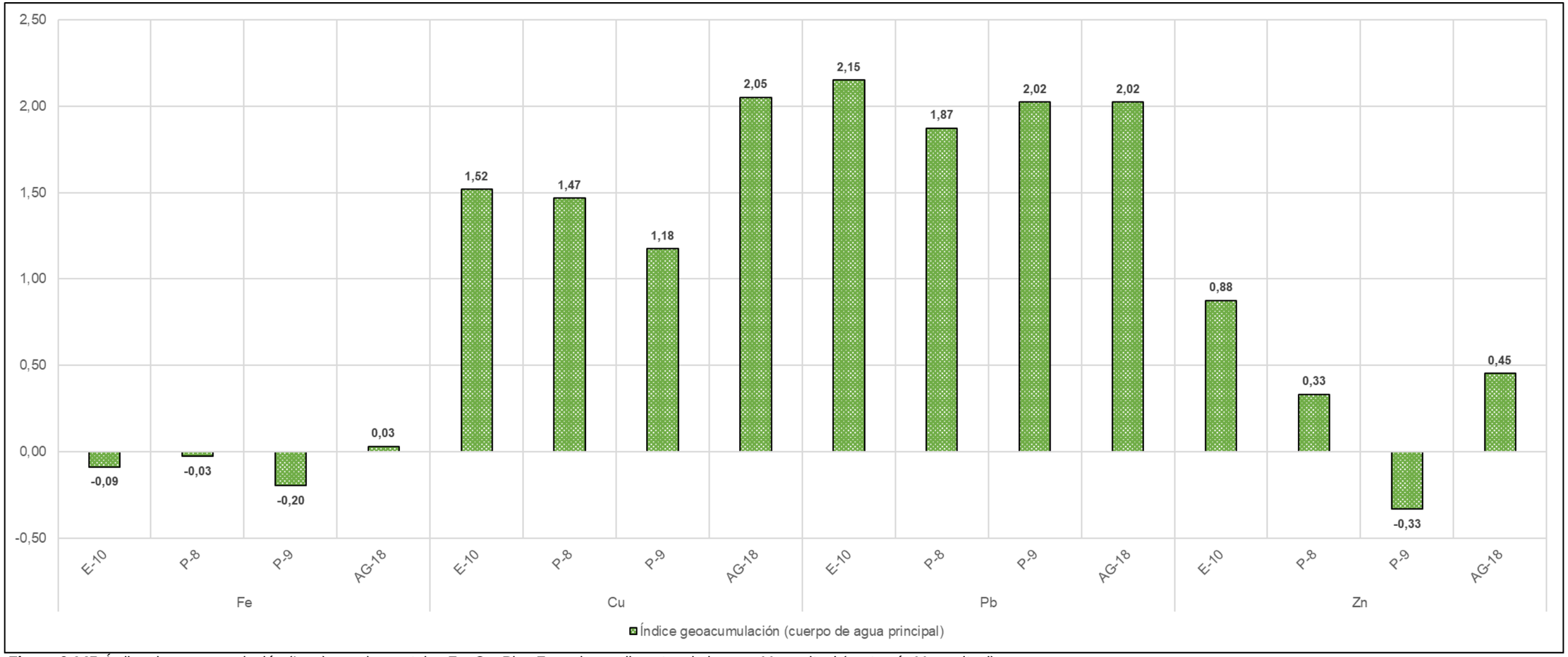


Figura 6.145. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani)

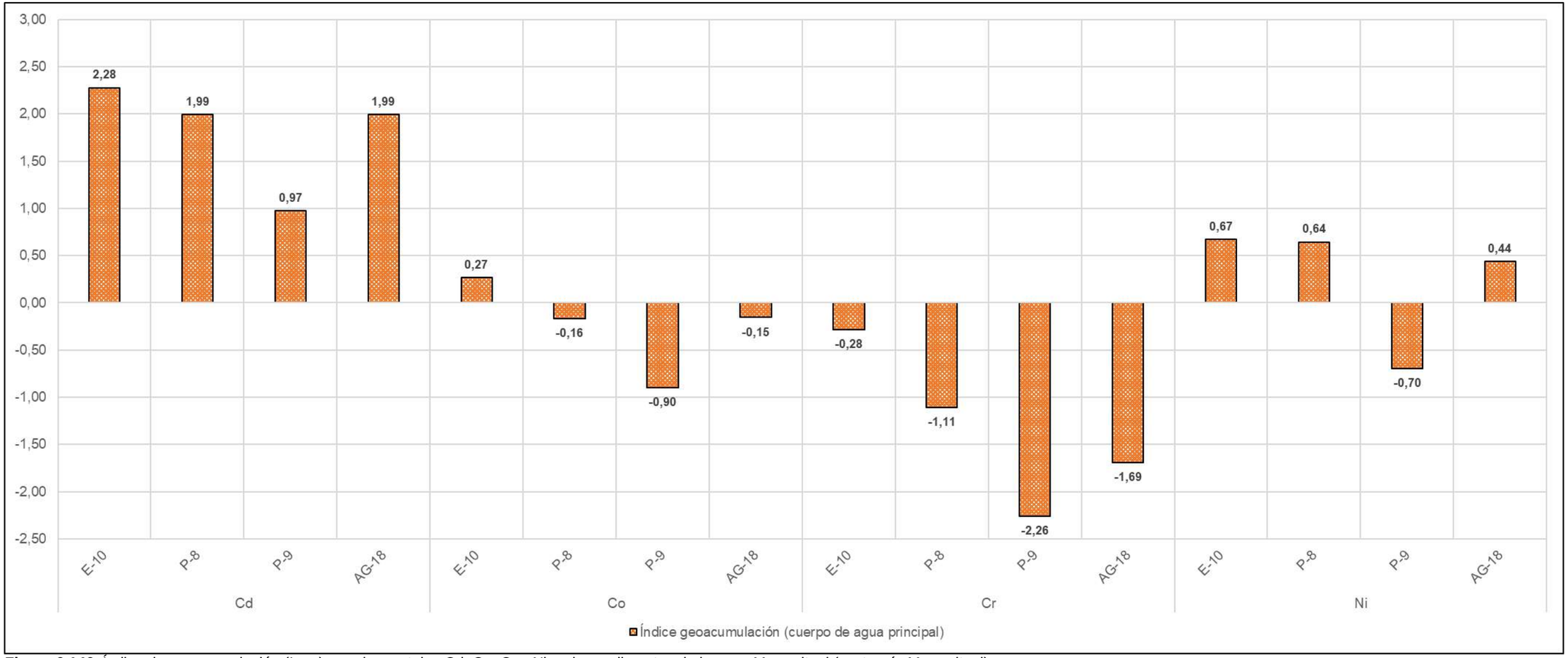


Figura 6.146. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani)

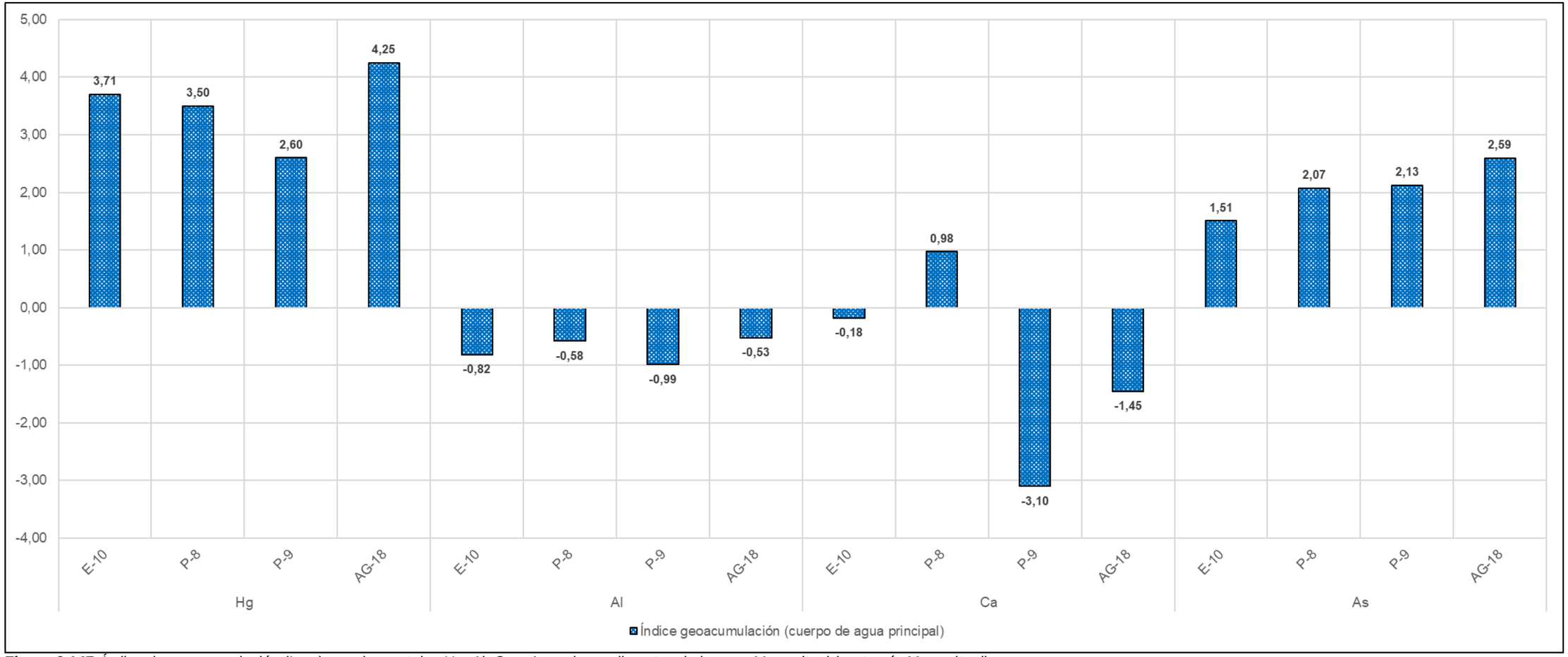


Figura 6.147. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, Al, Ca y As en los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani)

Análisis mineralógico

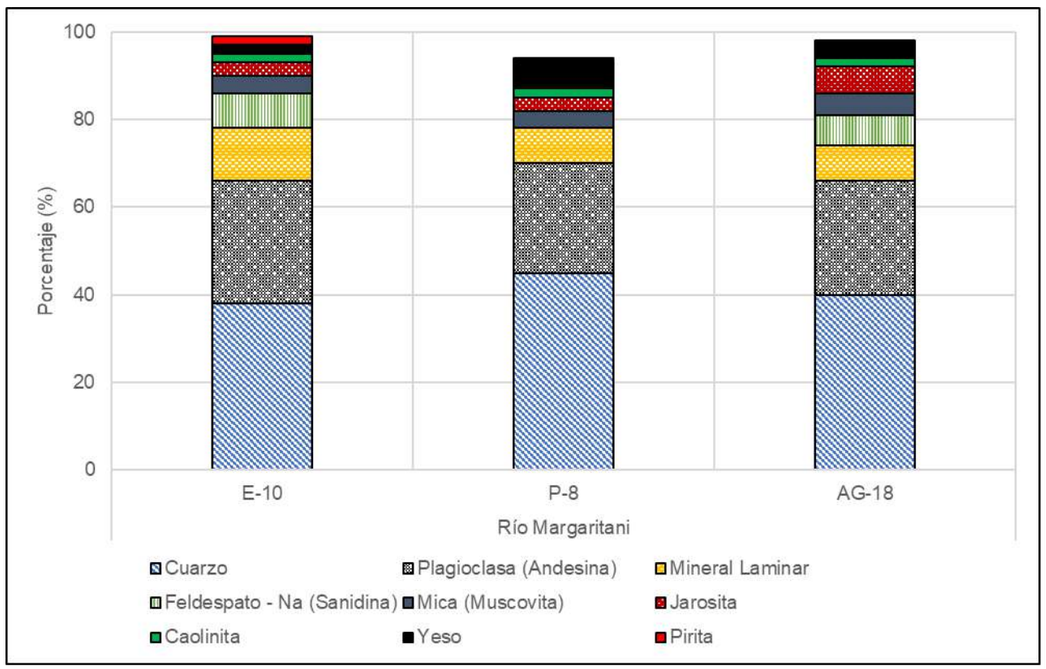
Difracción de rayos X

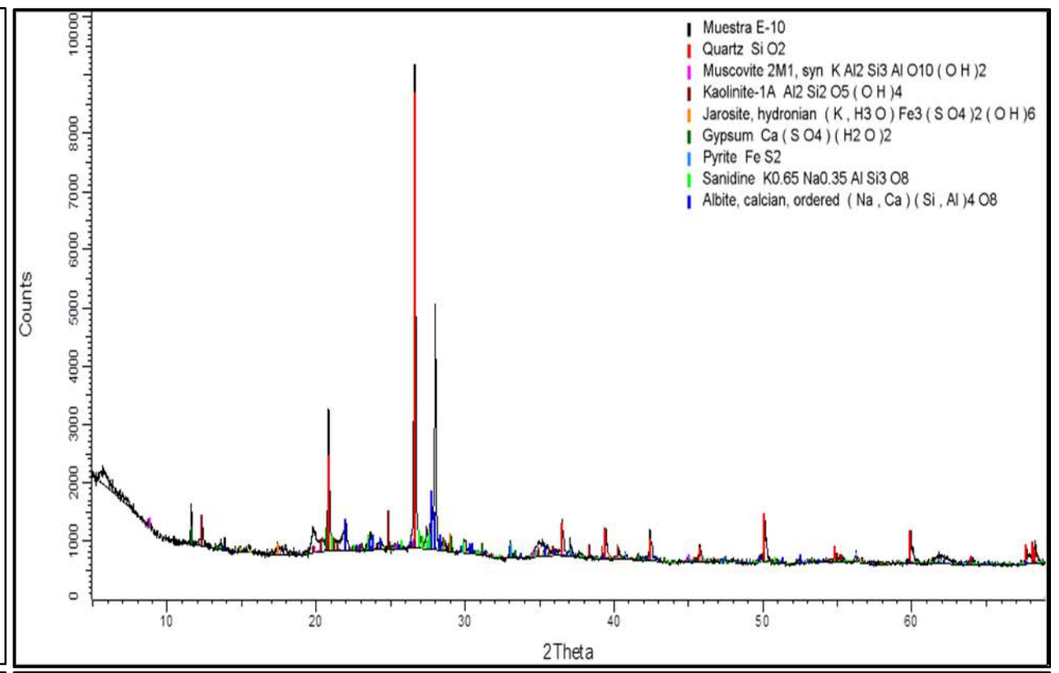
El análisis mineralógico por difracción de rayos X de los sedimentos del sector río Margaritani se presentan en la Figura 6.148. La composición mineralógica de los sedimentos del río Margaritani (puntos E-10, P-8 y AG-18) consistió principalmente de minerales como cuarzo, plagioclasas y feldespatos que en conjunto representan el 74 %, 70 % y 73 % para los puntos E-10, P-8 y AG-18, respectivamente.

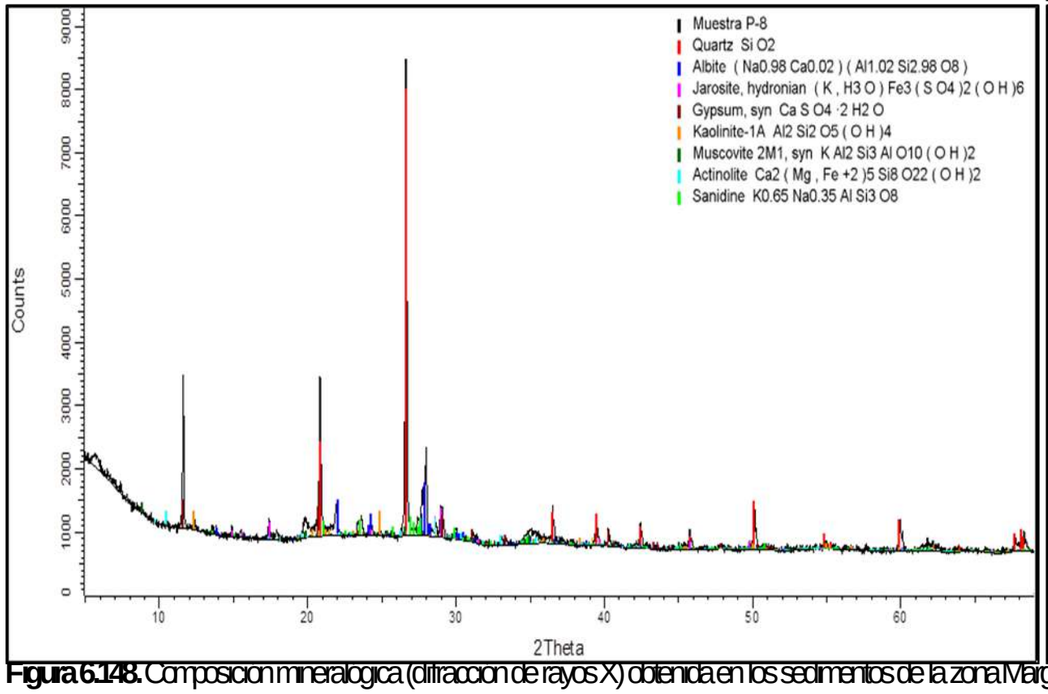
Asimismo, se obtuvieron proporciones de jarosita (fase de sulfatos) de 3 %, 3 % y 6 % para los puntos E-10, P-8, y AG-18, respectivamente en el río Margaritani. La jarosita es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH <3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards *et al*., 1999; Smith *et al*., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos del río Margaritani. Además, se identificó la presencia de un mineral sulfurado como la pirita (2 %) en el punto E-10.

La jarosita tiene relevancia en la presente evaluación ambiental, porque incorpora en su estructura, adsorbe y coprecipita cantidades considerables de elementos potencialmente tóxicos como arsénico, cromo, cadmio y plomo, como ha sido reportado en numerosos estudios (Domenech *et al.,* 2002; Dutrizac *et al*., 1980; Dutrizac *et al*., 1996; Dutrizac *et al*., 1987; Gonzalez-Ibarra *et al.,* 2016; Gunneriusson *et al.,* 2009; Smith *et al*., 2006).

También se identificaron porcentajes de yeso ($CaSO_4\,2.H_2O$) de 2 %, 7 % y 4 % para los puntos E-10, P-8 y AG-18, respectivamente, ubicados luego de la confluencia con la quebrada Apostoloni (punto E-2), en la cual también se identificó este mineral. La presencia de este mineral guarda relación con las altas concentraciones de calcio encontradas en los puntos E-10 (4523 mg/kg PS), P-8 (10078 mg/kg PS) y AG-18 (1872 mg/kg PS).







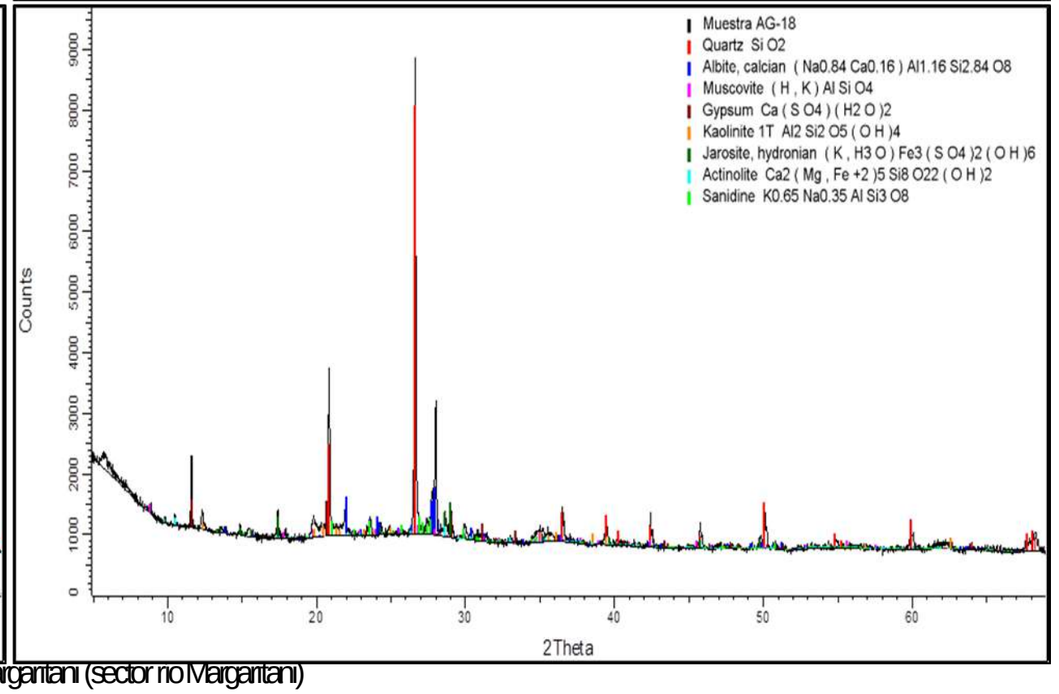


Figura 6.148. Composicion mineralogica (difraccion de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Margaritani (sector rio Margaritani)

Otros minerales como micas y caolinita (E-10, P-8 y AG-18) y minerales laminares (E-10, P-8 y AG-18), se encontraron en el río Margaritani en menores proporciones, lo que refleja la heterogeneidad de los materiales presentes (minerales) debido a los procesos de alteración que ocurren en la zona Margaritani (sector río – Margaritani).

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido de los sedimentos del sector río Margaritani se presenta en la Tabla 6.47 y Figura 6.149.

Tabla 6.47. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Margaritani - sector río Margaritani

Minerales identificados	Puntos de muestreo		
	Río Margaritani	Río Margaritani	Río Margaritani
	E-10	P-8	AG-18
Hematita (Fe_2O_3) con titanio (Ti)	x	-	x
Goethita (FeO.OH) con azufre (S)	x	-	x
Pirita (FeS_2)	x	x	x
Magnetita (Fe_2O_3.FeO) con titanio (Ti)	x	-	-
Magnetita (Fe_2O_3.FeO) con titanio (Ti) y magnesio (Mg)	x	-	-
Ilmenita ($FeTiO_3$) con magnesio (Mg)	x	-	-
Baritina ($BaSO_4$)	x	x	X
Marcasita FeS_2 (aproximado)	x	-	-
Bismuto nativo (Bi)	x	-	-
Esfalerita ((Zn,Fe)S)	-	x	-
Goethita (FeO.OH)	-	x	-
Magnetita (Fe_3O_4)	-	x	-
Galena (PbS)	-	x	x
Rutilo (TiO2)	-	x	x
Cerusita ($PbCO_3$)	-	x	-
Hematita (Fe_2O_3) con azufre (S)	-	-	x
Goethita (FeO.OH) con titanio (Ti) y magnesio (Mg)	-	-	x
Romarchita (SnO)	-	-	x
Beudantita ($PbFe^{+3}(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$)	-	-	x

(-): No aplica.

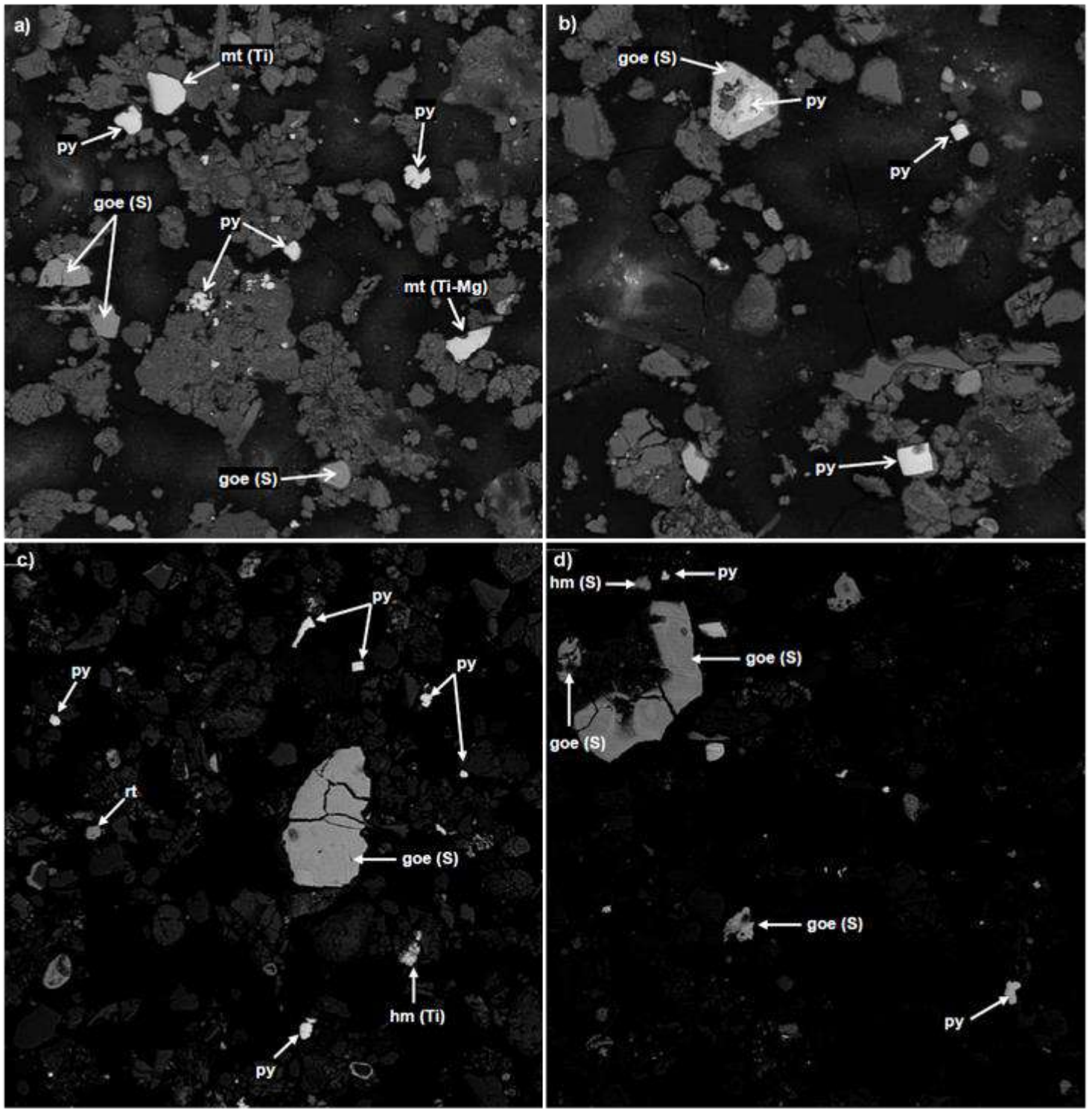


Figura 6.149. Minerales en los sedimentos del río Margaritani; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo E-10 (a y b) y P-8 (c y d). Partículas libres de goethita con azufre (goe (S)), pirita (py), magnetita con titanio (mt (Ti)), magnetita con titanio y magnesio (mt (Ti-Mg)), hematita con titanio (hm (Ti)), goethita con azufre (S), y hematita con azufre (hm (S)).

Se identificaron minerales basados en hierro en los sedimentos de los puntos E-10, P-8 y AG-18 del río Margaritani tales como hematita, goethita, magnetita. La formación de minerales como la goethita, están relacionados con un alto contenido de hierro (precipitado) en el sistema. La formación de este mineral depende del pH y las concentraciones de sulfatos en sistemas (cuerpos de agua) afectados por drenajes ácidos de mina (Silva *et al*., 2013), como los identificados en los puntos E-10, P-8 y AG-18.

Asimismo, minerales como la goethita pueden ser formados desde la schwertmannita y otros como la ferrihidrita y jarosita (Kim et al., 2020); este último fue identificado a lo largo del río Margaritani en los puntos E-10, P-8 y AG-18 mediante el análisis de difracción de rayos X, probablemente a partir del cual se ha derivado. Además, se identificaron minerales de sulfuros de hierro (pirita y marcasita), zinc (esfalerita) y plomo (galena) en cantidades traza en los sedimentos del río Margaritani (E-10, P-8 y AG-18).

Análisis multivariados

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP), empleando los resultados de un total de 22 parámetros de los sedimentos del sector río Margaritani, permitió reducir el número de variables e investigar el origen y distribución de metales, sulfatos, entre otras variables en las quebradas Apostoloni (E-2), Margaritani (E-3) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18). Las variables se agruparon en 2 componentes principales (PC1 y PC2) que explicaron el 63,95 % de la varianza total del conjunto de datos (Tabla 6.48).

Tabla 6.48. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Margaritani (sector río Margaritani)

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
pH	**0,65725**	0,22997
Sulfatos	**0,54486**	**-0,50580**
Arcilla	**0,54252**	**0,68442**
Arena	**-0,54226**	**-0,68854**
Fe	**0,8972**	-0,37815
Cu	**0,88333**	-0,28744
Pb	0,29077	0,41426
Zn	**0,55735**	**0,82012**
Cd	0,20346	**0,70235**
Co	**0,74283**	**0,63687**
Cr	-0,0045635	**0,71617**
Ni	**0,84515**	0,39297
Hg	**0,84628**	-0,18376
As	0,31936	-0,36899
Sb	**0,53338**	-0,65170
Al	**0,88999**	-0,37372
Mn	**0,93790**	-0,12317
Ca	**0,52609**	0,071887
Na	0,39811	-0,37231
K	**0,51063**	**-0,53057**
Mg	**0,80817**	-0,068226
Ba	**-0,51875**	0,084613
Valores propios (Eigenvalues)	8,99	5,07
Porcentaje de la varianza explicada (%)	40,89	23,06
Varianza acumulada (%)	40,89	63,95

Los valores significativos (> +/- 0,5) se encuentran resaltados.

El componente principal 1 (PC1) presentó una moderada a fuerte correlación (valores entre 0,5 a 1,0) con las siguientes parámetros evaluados en los sedimentos de las quebradas Apostoloni, Margaritani y el río Margaritani: pH, sulfatos, arcilla, hierro, cobre, zinc, cobalto, níquel, mercurio, antimonio, aluminio, manganeso, calcio, potasio y magnesio; que pueden definir en conjunto una nueva variable, en base a sus concentraciones en el sedimento y similar comportamiento geoquímico (metales).

El componente principal 2 (PC2) mostró una moderada a fuerte correlación (valores entre 0,5 a 1,0) con las variables arcilla, zinc, cadmio, cobalto y cromo.

La Figura 6.150, muestra la ordenación bidimensional del análisis de componentes principales (ACP) de las variables ambientales evaluadas en las quebradas Apostoloni (E-2), Margaritani (E-3) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18).

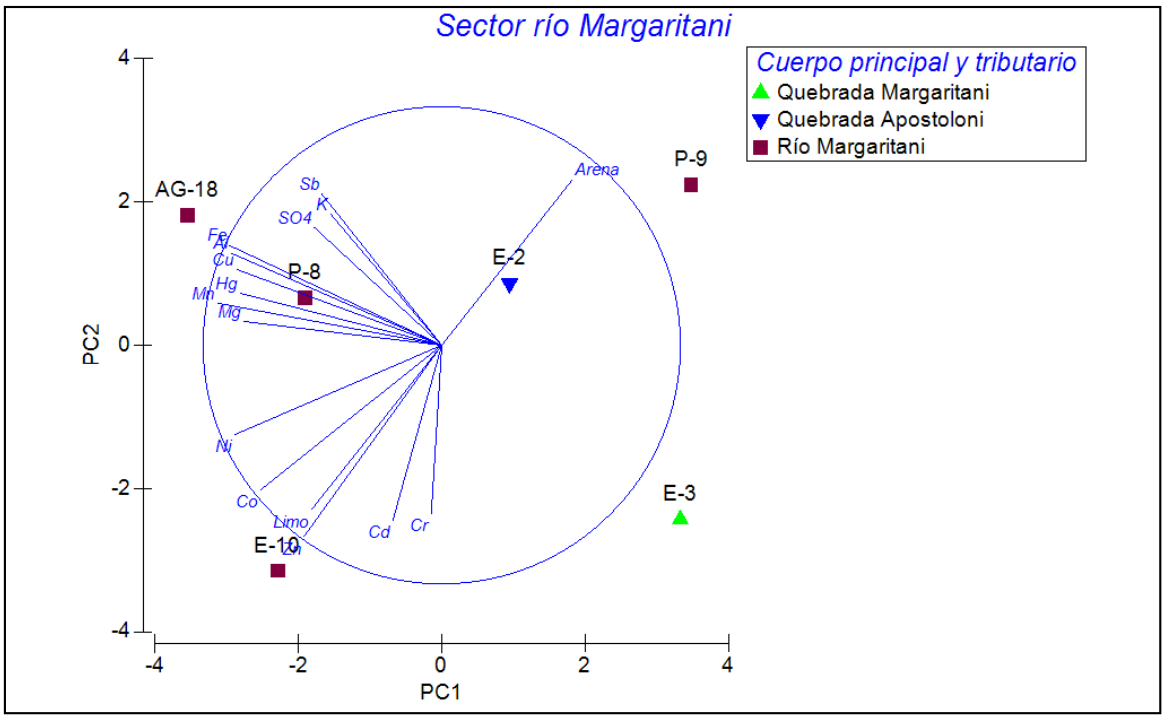


Figura 6.150. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Margaritani (sector río Margaritani)

En la gráfica se aprecia una separación entre los puntos de muestreo de esta zona, donde los puntos E-10, P-8, AG-18 y E-2, forman un grupo y están asociados a variables como pH, sulfatos, arcilla, hierro, cobre, zinc, cobalto, níquel, mercurio, antimonio, aluminio, manganeso, calcio, potasio y magnesio. Asimismo se observa que el punto E-3 y P-9 se alejan de los demás puntos, en base a sus características fisicoquímicas, teniendo en consideración que el punto E-3 se encuentra ubicado antes de la confluencia con la quebrada Apostoloni (E-2) y tiene menores concentraciones de los parámetros mencionados anterioremente.

Análisis de conglomerados (cluster) y escalamiento multidimensional no métrico (nMDS)

El análisis de conglomerados (agrupamiento jerárquico) y la ordenación mediante el escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), se utilizaron para identificar las relaciones y gradientes entre los puntos de muestreo de las quebradas Apostoloni (E-2), Margaritani (E-3) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18).

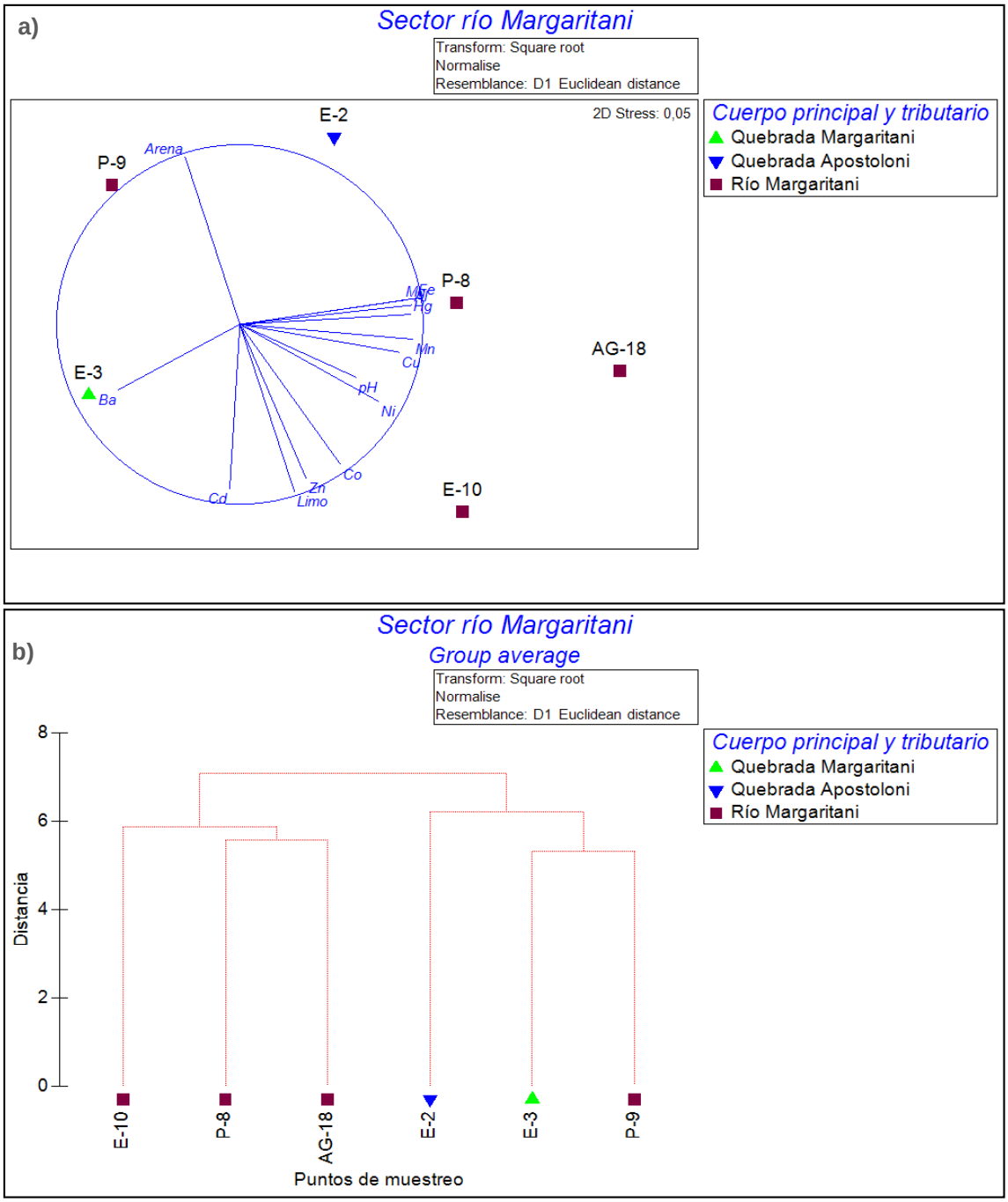


Figura 6.151. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Margaritani - sector río Margaritani; y b) ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana)

En el dendograma del análisis de conglomerados (Figura 6.151a), se observa un solo grupo definido, en el cual a su vez se aprecian 2 subgrupos, uno formado por los puntos de muestreo E-10, P-8 y AG-18 del río Margaritani; y el segundo formado por los puntos E-3, E-2 y P-9, de las quebradas Margaritani, Apostoloni y el río Margaritani, respectivamente; en base a sus características fisicoquímicas.

Asimismo, la distribución de los puntos de muestreo de los sedimentos del sector río Margaritani, muestra un patrón similar al ACP cuando los datos fueron sometidos a ordenaciones mediante el nMDS (Figura 6.151b). Se evidencia un gradiente que va desde el punto E-3 (quebrada Margaritani) hacia los puntos E-2, E-10, P-8, y AG-18 (quebrada Apostoloni y río Margaritani), debido a una creciente concentración de elementos en los sedimentos del cuerpo de agua principal; además se observa que el punto P-9 se separa del resto de puntos del río Margaritani debido a una composición fisicoquímica diferente al resto de los puntos E-10, P-8 y AG-18.

6.3.2.3.3. Comunidades hidrobiológicas

El río Margaritani se origina de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni. Se consideraron para los análisis los puntos aguas abajo de estas quebradas, HB-E-3 para la quebrada Margaritani (sector quebrada Margaritani) y HB-E-2 para la quebrada Apostoloni (sector quebrada Apostoloni), con la finalidad de asociar la influencia de estas quebradas sobre el río Margaritani.

Por otro lado, la quebrada Planta, único aportante evaluado para el río Margaritani en la presente evaluación, presentó dificultades para la colecta de macroinvertebrados bentónicos en HB-TU-38 debido al escaso flujo, siendo este punto el más próximo al río Margaritani, en comparación al punto HB-TU-14 que se encontró aguas arriba en la quebrada Planta. Es importante indicar que el efluente minero PM-01, ubicado aguas abajo del punto HB-P-8 y próximo al punto HB-TU-38, no presentó descarga. Asimismo, el punto HB-TU-14 presentó la influencia de un bofedal en la margen izquierda y se ubicó aguas arriba del punto HB-TU-38. Esta última descarga directamente sobre la quebrada Margaritani.

Perifiton

Composición, riqueza y abundancia de especies

Se registraron 19 especies en la comunidad del perifiton, de las cuales 18 fueron microalgas y están distribuidos en 4 phyla. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza con 14 especies (78 %), seguido de Chlorophyta con 2 especies (11 %), Cyanobacteria y Charophyta con 1 especie (5.5 %) cada una; en adelante los resultados se mostrarán para las microalgas del perifiton que fueron dominantes sobre los microorganismos.

En lo referente al acumulado total para el sector río Margaritani los géneros *Eunotia* y *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta tuvieron la mayor riqueza con 4 y 5 especies respectivamente.

La quebrada Planta en el punto HB-TU-14 presentó la mayor riqueza de especies registradas para este sector, cabe mencionar que este punto se encuentra en la descarga de un bofedal, aproximadamente a 15 m frente a la poza de sedimentación; mientras que una réplica en el punto HB-E-10 que se encuentra ubicado en el río Margaritani,

aproximadamente a 50 m aguas abajo de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni. resultó con 0 especies reportadas.

Se presenta una disminución de especies en el río Margaritani desde en HB-E-10 a HB-AG-18; y en su recorrido se encuentra la descarga PM-01, a lo largo del recorrido del río Margaritani se presenta el género *Klebsormidium* sp. y en los puntos antes del ingreso de la quebrada Planta está asociado a *Microspora* sp., otra microalga que también es conocido por su tolerancia a metales (Nixdorf et al., 2001; Verb and Vis, 2001; Sabater et al., 2003). Figura 6.152.

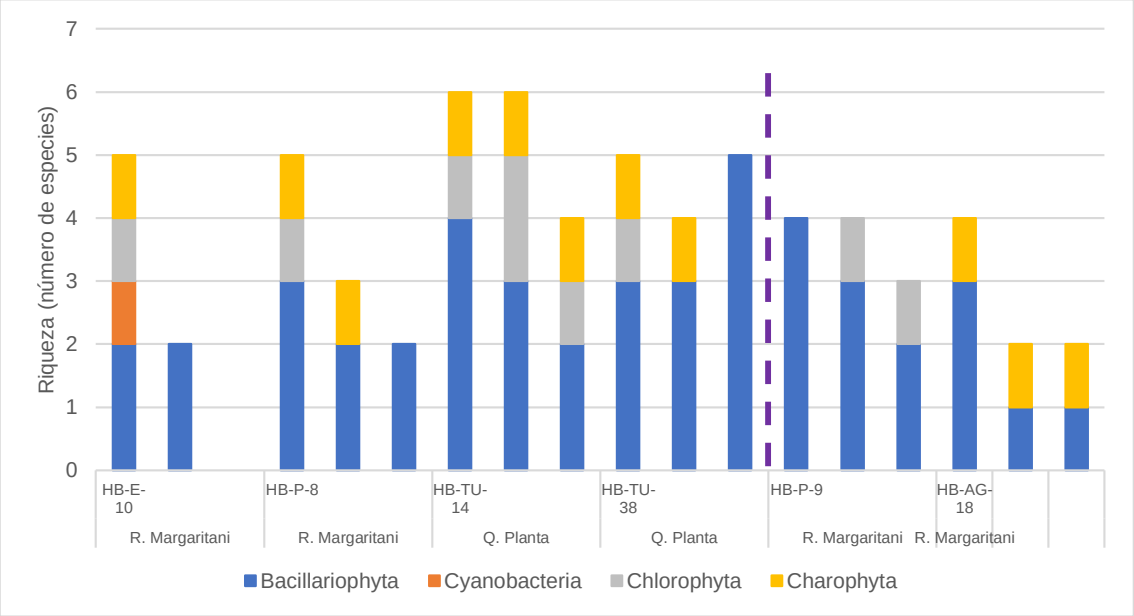


Figura 6.152. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector río Margaritani. – – – Vertimiento.

La abundancia total en la temporada de muestreo fue de 156 454 879 organismos/cm^2 de microalgas, los cuales pertenecen a los phyla Bacillariophyta (154 113 113 organismos/cm^2), Cyanobacteria (599 organismos/cm^2), Chlorophyta (96 874 organismos/cm^2) y Charophyta (2 244 293organismos/cm^2).

Las especies que aportaron a la mayor abundancia en el phylum Bacillariophyta fueron especies del género *Pinnularia* sp. la abundancia en el phylum Charophyta esta principalmente influenciada por especies del género *Klebsormidium* sp. asociadas, como ya se mencionó, a elevados valores de metales.
El punto de mayor abundancia fue HB-TU-14 en la quebrada Planta donde se registró una predominancia del género *Pinnularia* sp. el cual como se ha mencionado es conocido por presentar especies acidófilas (Krammer, 2000), Figura 6.153.

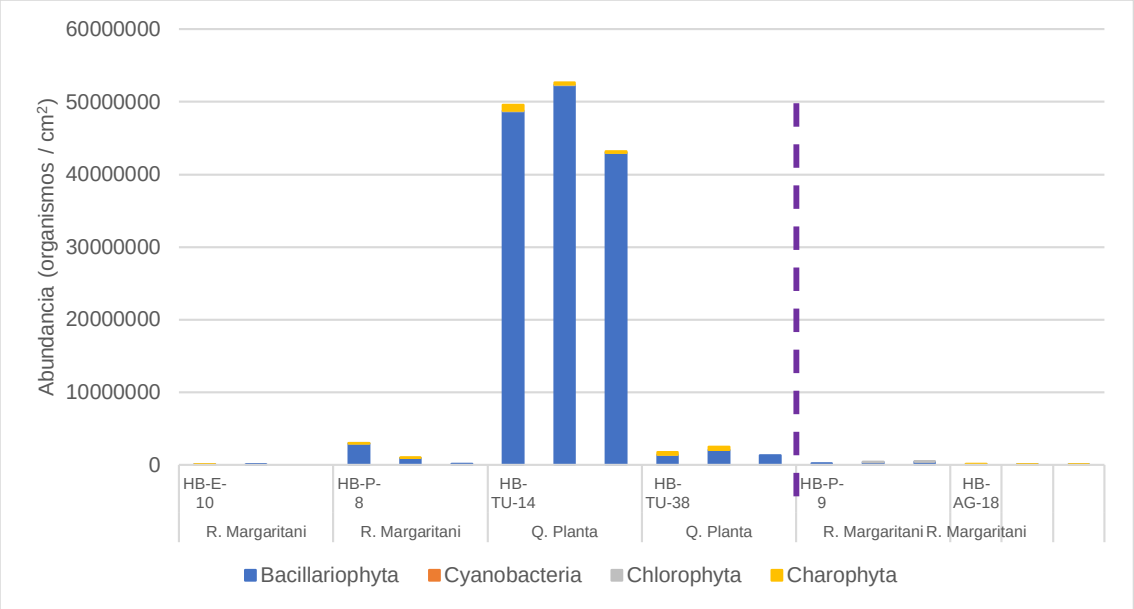


Figura 6.153. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Margaritani - sector río Margaritani. — — — Vertimiento

Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

El ensamble del macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 18 especies, 12 familias, 6 órdenes, 4 clases y 3 phylum, según su categoría taxonómica. Los órdenes con mayor número de especies en el área de evaluación fueron Diptera con 11 especies, así como Coleoptera con 3 especies; por otro lado, los órdenes Hirudinida, Sarcopteriformes, Nematoda ND y Oligochaeta ND presentaron 1 especie cada uno (Anexo 3).

El punto de muestreo con mayor número de especies fue HB-TU-14 con 14 especies, mientras que el punto de muestreo con menor número de especies fue HB-E-10 con 1 especie. El orden Diptera presentó más de una especie en los puntos HB-P-8 y HB-TU-14, presentando la mayor riqueza en HB-P-8 con 10 especies. Este orden no se colectó en HB-E-10 (Figura 6.154).

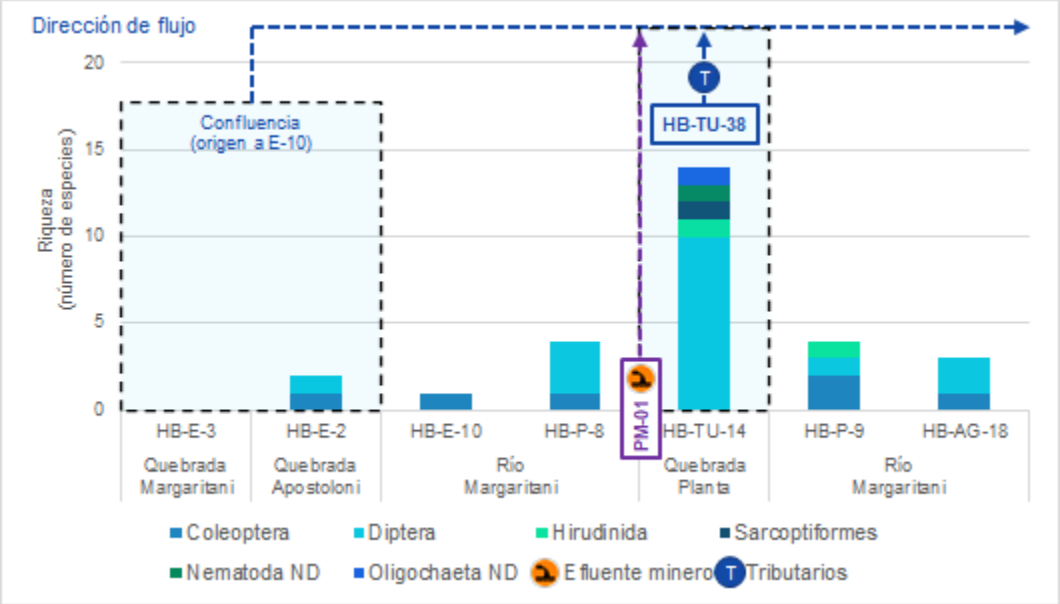


Figura 6.154. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector río Margaritani.

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 651,00 ± 649,72 organismos/0,09m^2, considerando los puntos que confluyen para formar el río Margaritani y se ubican en otros sectores, las quebradas Margaritani (HB-E-3) y Apostoloni (HB-E-2). El punto de muestreo con mayor densidad fue HB-TU-14 con 4549,33 ± 2245,38 organismos/0,09m^2, mientras que el punto de muestreo con menor densidad fue HB-E-10 con 0,33 ± 0,33 organismos/0,09m^2 (Figura 6.155).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥33,3%) y abundancia relativa (>1,50%) fueron *Cricotopus* sp. y *Podonomus* sp. pertenecientes al orden Diptera, familia Chironomidae (Anexo 3). Estas especies serán seleccionadas para el análisis de correlación canónica (ACC).

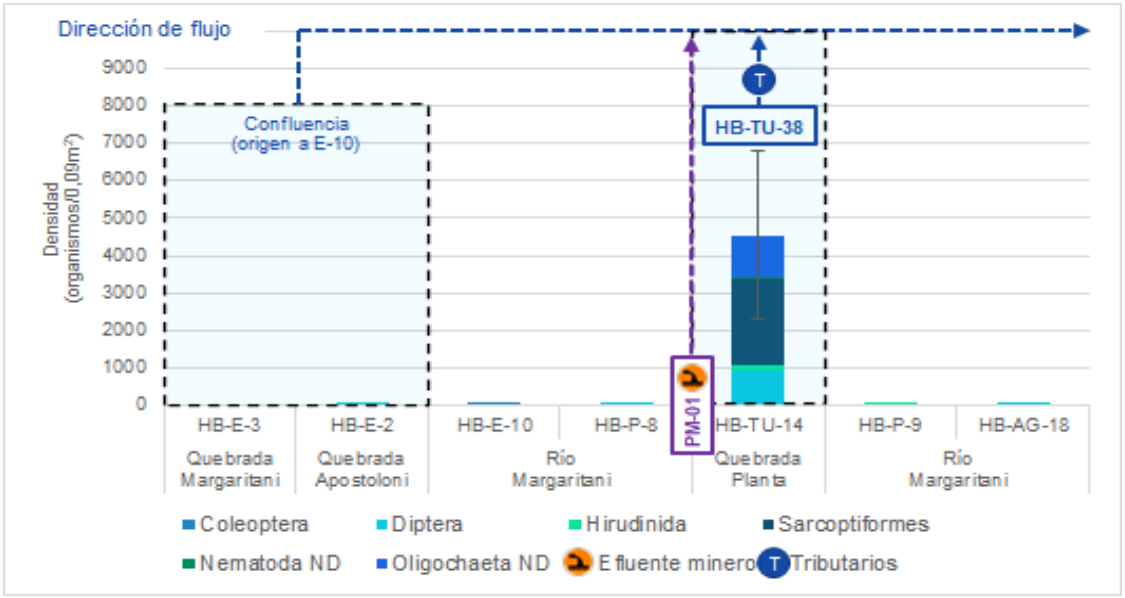


Figura 6.155. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Margaritani - sector río Margaritani.

Diversidad alfa y beta

De acuerdo con la Figura 6.156, el índice de dominancia de Simpson varió desde 0,40 ± 0,08 (HB-TU-14) hasta 1,00 (HB-E-10), punto en el que se colectó una única especie. El índice de equidad de Pielou varió desde 0,56 (HB-TU-14) hasta 1,00 (HB-E-2, HB-P-8 y HB-P-9). La diversidad de Shannon-Wiener varió desde 0,00 bits/individuo (HB-E-10, punto en el que colectó una sola especie, además de HB-E-3) hasta 1,88 bits/individuo (HB-TU-14). La mayoría de los puntos, excepto HB-TU-14, presentaron valores reducidos de diversidad (≤1,00 bit/individuo) relacionados a una alta dominancia de una o pocas especies (>0,40), dada principalmente por *Podonomus* sp. en cada uno de los puntos.

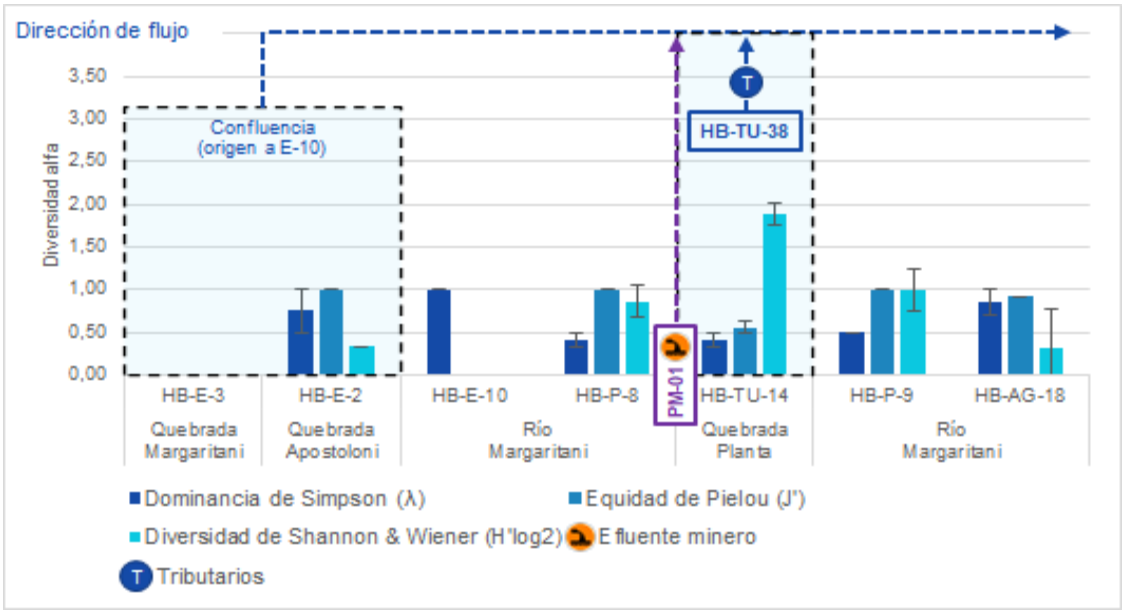


Figura 6.156. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector río Margaritani.

En relación con el análisis de diversidad beta, se descartaron del análisis los puntos de muestreo sin colecta de especies, como HB-M-2, HB-TU-21, HB-E-7, HB-E-3 pertenecientes al Sector Quebrada Margaritani, y HB-E-3 perteneciente al Sector Río Margaritani. La prueba de permutación SIMPROF (p=0,05) resultó en la discriminación de un agrupamiento (A) que abarca todos los puntos evaluados, exceptuando el punto HB-TU-14 (parte alta de la quebrada Planta, tributario del río Margaritani), resultando estadísticamente semejante su estructura (p=0,398). De acuerdo a la Figura 6.157, los puntos HB-E-2, HB-AG-30, HB-TU-05, HB-AG-21 y HB-TU-26 presentaron un agrupamiento (A.1) con una similitud de 59,87% (>50%), dado por la especie *Podonomus* sp., perteneciente a la familia Chironomidae (orden Diptera); asimismo, los puntos HB-P-8 y HB-AG-18 presentaron un agrupamiento (A.3) con una similitud de 79,77% (>50%), dado por las especies *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp., pertenecientes a la familia Chironomidae (orden Diptera), así como a la especie *Asutrelmis* sp. perteneciente a la familia Elmidae (orden Coleoptera); finalmente se conformó un tercer agrupamiento (A.2) conformado por los puntos HB-P-5 y HB-TU-25 con una similitud de 54,46% (>50%), dado por la especies *Podonomus* sp., pertenecientes a la familia Chironomidae (orden Diptera), así como a la especie no determinada perteneciente a la subclase Oligochaeta (Oligochaeta ND).

Este análisis indicaría que los puntos ubicados en las quebradas Margaritani y Apostoloni presentaron una mayor similitud de acuerdo con los agrupamientos A1 y A2 (con una

similitud de 42,74%), en comparación a los puntos del río Margaritani, los cuales presentaron agrupamientos independientes. Esto podría deberse a que ambas quebradas presentaron una baja diversidad de especies como consecuencia de las condiciones encontradas en estos ecosistemas.

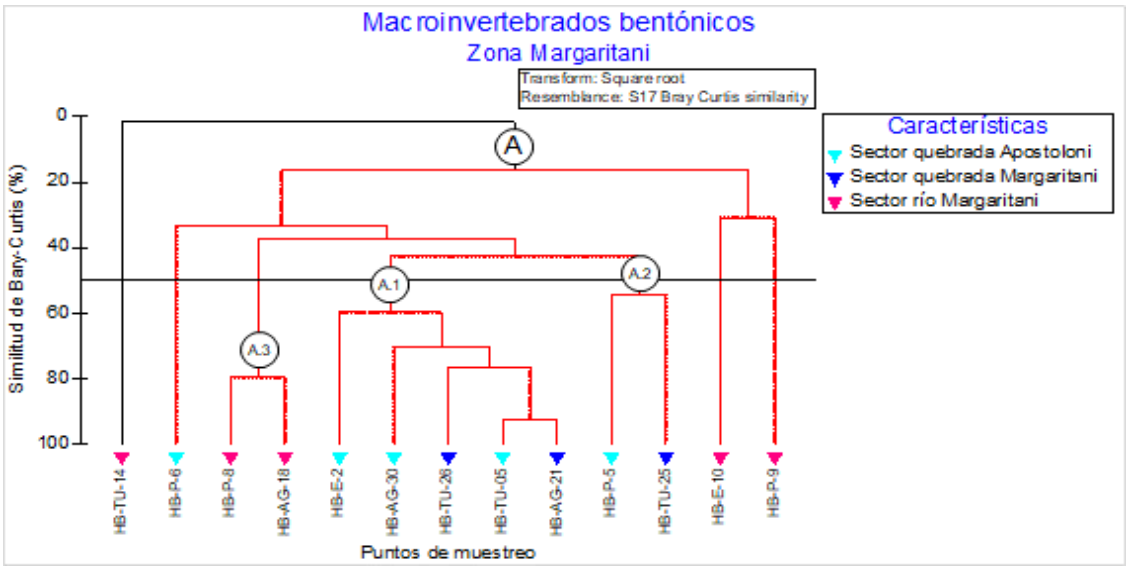


Figura 6.157. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector río Margaritani.

Calidad biológica

En la Figura 6.158 se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo con el índice ABI. Se observó que los puntos evaluados en el río Margaritani presentaron una «pésima calidad biológica», a excepción de los puntos HB-TU-14 (quebrada Planta, aportante del río Margaritani) y HB-P-9 (aguas abajo del aporte de la quebrada Planta), los cuales presentaron una «mala calidad biológica», asociado a un mayor número de especies bioindicadoras.

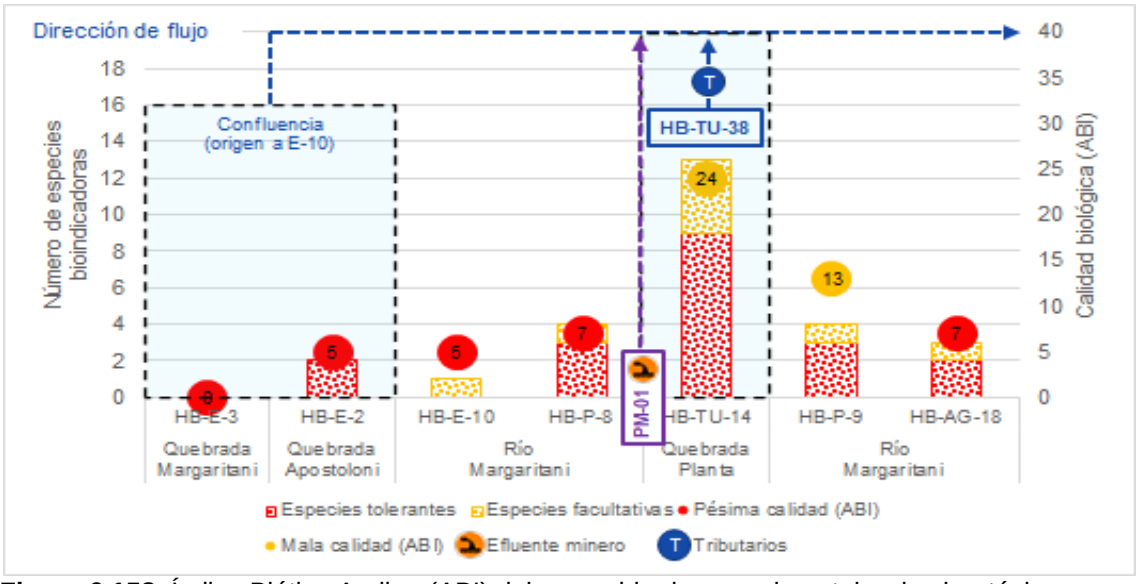


Figura 6.158. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Margaritani - sector río Margaritani.

Calidad ecológica

Los resultados de calidad hidromorfológica (Anexo 2) indicaron una «mala calidad» en los puntos HB-E-10, HB-P-8 y HB-TU-38, mientras que los puntos HB-TU-14, HB-P-9 y HB-FTuca7 presentaron una «moderada calidad». Sin embargo, al combinar los resultados de calidad hidromorfológica con los resultados de calidad biológica (ABI), los resultados de calidad ecológica señalaron: una «mala calidad ecológica» en el río Margaritani (HB-P-9) y quebrada Planta (HB-TU-14); mientras que los otros puntos del río Margaritani (HB-E-10, HB-P-8 y HB-AG-18) presentaron una «pésima calidad ecológica» (Tabla 6.49).

Es importante señalar que únicamente se evaluó la calidad hidromorfológica de los puntos HB-TU-38 y HB-FTuca7, presentando una «mala calidad» y «moderada calidad» respectivamente; en estos puntos no pudo evaluarse la calidad biológica debido a que el primero de ellos presentó un escaso flujo de agua limitándose el muestreo de macroinvertebrados bentónicos, mientras que el otro punto se encontró ubicado en una sección canalizada.

Tabla 6.49. Calidad ecológica obtenida para la zona Margaritani - sector río Margaritani.

Ecosistema acuático	Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Río Margaritani	HB-E-10	Pésima	Mala	Pésima
	HB-P-8	Pésima	Mala	Pésima
Quebrada Planta	HB-TU-14	Mala	Moderada	Mala
Quebrada Planta	HB-TU-38	-	Mala	-
Río Margaritani	HB-P-9	Mala	Moderada	Mala
Flujo de agua de no contacto	HB-FTuca7	-	Moderada	-
Río Margaritani	HB-AG-18	Pésima	Mala	Pésima

6.3.2.4. Agua subterránea

Se evaluaron 8 piezómetros en la zona Margaritani: 2 ubicados en el sector Quebrada Margaritani (P-15 y PZ-N1); 3 en el sector Quebrada Apostoloni (PZ-S1, P-10 y P-13); y 3 en el sector rio Margaritani (P-17, P-3 y P-1). El detalle su ubicación y descripción se indica en la Tablas 5.10 y Figura 5.10

I. Comparación referencial con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

Los resultados de mediciones in situ y laboratorio que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3 en los piezómetros se indican en la Tabla 6.50, y en la Tabla 6.51 se muestra los valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

Tabla 6.50. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3 en agua subterránea de la zona Margaritani

Zona	Sector	Punto de muestreo	ECA para Agua 2008	
			Categoría 3	
			Riego de vegetales	Bebida de animales
Margaritani	Quebrada Margaritani	P-15	Sulfatos	Sulfatos
			Arsénico total	Arsénico total
			Litio total	Litio total

Zona	Sector	Punto de muestreo	ECA para Agua 2008	
			Categoría 3	
			Riego de vegetales	Bebida de animales
			Manganeso total	Manganeso total
		PZ-N1	Sulfatos	Sulfatos
			Arsénico total	Arsénico total
			Manganeso total	Manganeso total
			Plomo total	Plomo total
	Quebrada Apostoloni	PZ-S1	pH	pH
			Sulfatos	Sulfatos
			Fluoruros	Fluoruros
			Aluminio Total	Aluminio Total
				Berilio Total
			Berilio Total	Berilio Total
			Manganeso total	Manganeso total
		P-10		Fluoruros
			Sulfatos	Sulfatos
			Hierro Total	Hierro Total
			Manganeso Total	Manganeso Total
		P-13	CE	
			Fluoruros	
			Sulfatos	Sulfatos
			Cloruros	Cloruros
			Bicarbonatos	Bicarbonatos
			Arsénico Total	Arsénico Total
			Manganeso Total	Manganeso Total
			Plomo Total	Plomo Total
			Sodio Total	
	Rio Margaritani	P-3	pH	pH
			Cobre Total	Cobre Total
			Hierro Total	Hierro Total
			Manganeso Total	Manganeso Total
			Mercurio Total	Mercurio Total
			Plomo Total	Plomo Total
			Sodio Total	
		P-1	Hierro Total	
			Manganeso Total	
		P-17	Bicarbonatos	
			Arsénico total	Arsénico total
			Manganeso total	Manganeso total

pH: Potencial de hidrogeno, CE: Conductividad eléctrica, Al: Aluminio, As: Arsénico, B: Boro, CD: Cadmio, Co: Cobalto, Cu: Cobre, Fe: Hierro, Mn: Manganeso, Ni: Níquel, Zn: Zinc

Tabla 6.51. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3 en agua subterránea de la zona Margaritani

Cuerpo de agua	Código	*In situ*		Fisicoquímicos				Metales totales									
		pH	CE	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Al	As	Be	Cu	Fe	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Quebrada Margaritani	P-15	6,71	1052	1,83	0,43	597,00	149,30	0,214	0,40765	0,00002	0,0013	7,4	3,6962	< 0,000070	0,00475	33	0,017
	PZ-N1	7,24	1713	2,12	0,68	954,00	112,90	0,379	0,11464	0,00003	0,0026	1,7	2,6431	< 0,000070	0,07094	20	0,008
Quebrada Apostoloni	PZ-S1	4,74	2520	1,60	2,50	2019,00	< 1,2	582	0,04011	0,11	0,0011	178	16,469	< 0,000070	0,0417	22	0,892
	P-10	6,92	2740	3,85	1,10	1673,00	117,60	0,178	0,01321	0,00001	0,0036	5	0,22542	< 0,000070	0,0041	424	0,025
	P-13	8,20	13650	2725,00	1,70	4606,00	808,40	0,158	0,26641	0,00001	0,0184	0,83	0,60816	0,0001	0,08975	4949	0,114
Rio Margaritani	P-1	7,00	488	19,60	< 0,01	90,00	142,80	0,75	0,00789	0,00004	0,0173	2,4	0,83588	0,0004	0,01698	12	0,044
	P-3	6,34	1227	64,00	0,19	132,00	43,90	4,91	0,03213	0,00043	2,15	15	1,0306	0,0021	0,28591	130	3,69
	P-17	7,06	918	28,20	0,63	155,00	383,00	0,381	0,4993	0,00006	0,0032	0,75	1,1676	0,0002	0,03104	123	0,048
ECA para agua 2008[1]	RV	**6,5 - 8,5**	**< 2000**	**100 - 700**	**1**	**300**	**370**	**5**	**0,05**	******	**0,2**	**1**	**0,2**	**0,001**	**0,05**	**200**	**2**
	BA	**6,5 - 8,4**	**≤ 5000**	******	**2**	**500**	******	**5**	**0,1**	**0,1**	**0,5**	**1**	**0,2**	**0,001**	**0,05**	******	**24**

Fuente: Informe de ensayo 41939/2020, 44350/2020, 44356/2020 del laboratorio ALS Perú SAC; SAA-20/00660, SAA-20/00661, SAA-20/00561, SAA-20/00646 y SAA-20/00650 del laboratorio AGQ Perú
SAC contenidos en el Anexo XX (Reporte de resultados XX-2020-STEC).
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y para bebida de animales.
«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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
«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales.
«**»: El parámetro no aplica en esta subcategoría
<: Menor al límite de detección del método de análisis.

II. Comparación referencial con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

De la comparación referencial con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 a los resultados de las mediciones *in situ* y de laboratorio en los puntos de agua subterránea los parámetros de potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica, fluoruros, sulfatos, bicarbonatos, aluminio, arsénico, berilio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc excedieron referencialmente el estándar mencionado de lo cual se resalta lo siguiente:

- **Potencial de hidrogeno - pH**: el potencial de hidrogeno se encontró dentro del rango establecido de los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 en todos los piezómetros evaluados, a excepción de los piezómetros PZ-S1 y P-3, que presentaron valores ácidos (Figura 6.159a).

- **Conductividad eléctrica:** los valores de conductividad eléctrica excedieron el valor establecido de los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 en los piezómetros a PZ-S1 y P-10 y ambas categorías Cat3: D1 y D2 del estándar mencionado en el piezómetro P-13 (Figura 6.159b).

- **Cloruros:** la concentración de cloruros en el piezómetro P-13, fue el único que excedió los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 (Figura 6.159c).

- **Fluoruros:** las concentraciones de fluoruros excedieron el valor establecido de los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 en los piezómetros PZ-S1, P-10 y P-13 ubicados en el sector de la quebrada Apostoloni (Figura 6.159d).

- **Sulfatos:** las concentraciones de sulfatos excedieron el valor establecido de los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 en los piezómetros PZ-S1, P-10 y P-13 ubicados en el sector de la quebrada Apostoloni (Figura 6.159e).

- **Bicarbonatos:** la concentración de bicarbonato en el piezómetro P-13, fue el único que excedió los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 (Figura 6.159f).

- **Aluminio - Al:** la concentración de aluminio en el piezómetro PZ-S1 ubicado en la naciente de la quebrada Apostoloni fue el único que excedió los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 (Figura 6.160a).

- **Arsénico - As:** las concentraciones de arsénico excedieron el valor establecido de los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 en los piezómetros P-15, P-17 y P-13 y en PZ-N1 únicamente la categoría D1 (Figura 6.160b).

- **Berilio - Be:** la concentración de berilio excedió los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 únicamente en el piezómetro PZ-S1, ubicado en la naciente de la quebrada Apostoloni (Figura 6.160d).

- **Cobre - Cu:** la concentración de cobre excedió los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 únicamente en el piezómetro P-3, ubicado aguas abajo de las pozas de soluciones (Figura 6.160e).
- **Hierro - Fe:** las concentraciones de hierro excedieron los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 en los piezómetros P-15, PZ-S1 y P-3, reportándose la concentración

más alta en el piezómetro PZ-S1 (178 mg/L) ubicado en la naciente de la quebrada Apostoloni (Figura 6.161a).

- **Manganeso - Mn:** las concentraciones de manganeso excedieron el valor establecido de los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 en todos los piezómetros, resaltando la concentración más alta en el piezómetro PZ-S1 (16,46 mg/L) ubicado en la naciente de la quebrada Apostoloni (Figura 6.161b).

- **Mercurio - Hg:** la concentración de mercurio en el piezómetro P-3 ubicado aguas abajo de las pozas de soluciones fue el único que excedió los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 (Figura 6.161c).

- **Plomo - Pb:** la concentración de plomo excedió los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2 en los piezómetros PZ-N1, P-13 y P-3, resaltando en este último la concentración más alta (0,2859 mg/L), dicho piezómetro se encuentra ubicado en aguas abajo de las pozas de soluciones (Figura 6.161d).

Las concentraciones de cromo y bario no excedieron los ECA para Agua 2017 - Cat.3: D1 y D2.

De las mediciones *in situ* de las aguas subterráneas se resalta que en el piezómetro PZ-S1 se registró el valor más bajo de pH (4,74 unidades de pH) y en el piezómetro P-13 el valor más alcalino (8,04 unidades de pH); en el piezómetro P-1 se registró la conductividad más baja (488 µS/cm) y en el piezómetro P-13 la conductividad más alta (13650 µS/cm), y en el piezómetro P-1 se registró la turbidez más baja (10,6 NTU) a diferencia del piezómetro P-13 que registro la mayor turbidez (330 NTU).



Figura 6.159. Valores y concentraciones reportadas en el agua subterránea (piezómetros) de la zona Margaritani comparados referencialmente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (2017) D1 y D2: a) potencial de hidrogeno b) conductividad eléctrica, c) cloruros d) fluoruros e) sulfatos y f) bicarbonatados

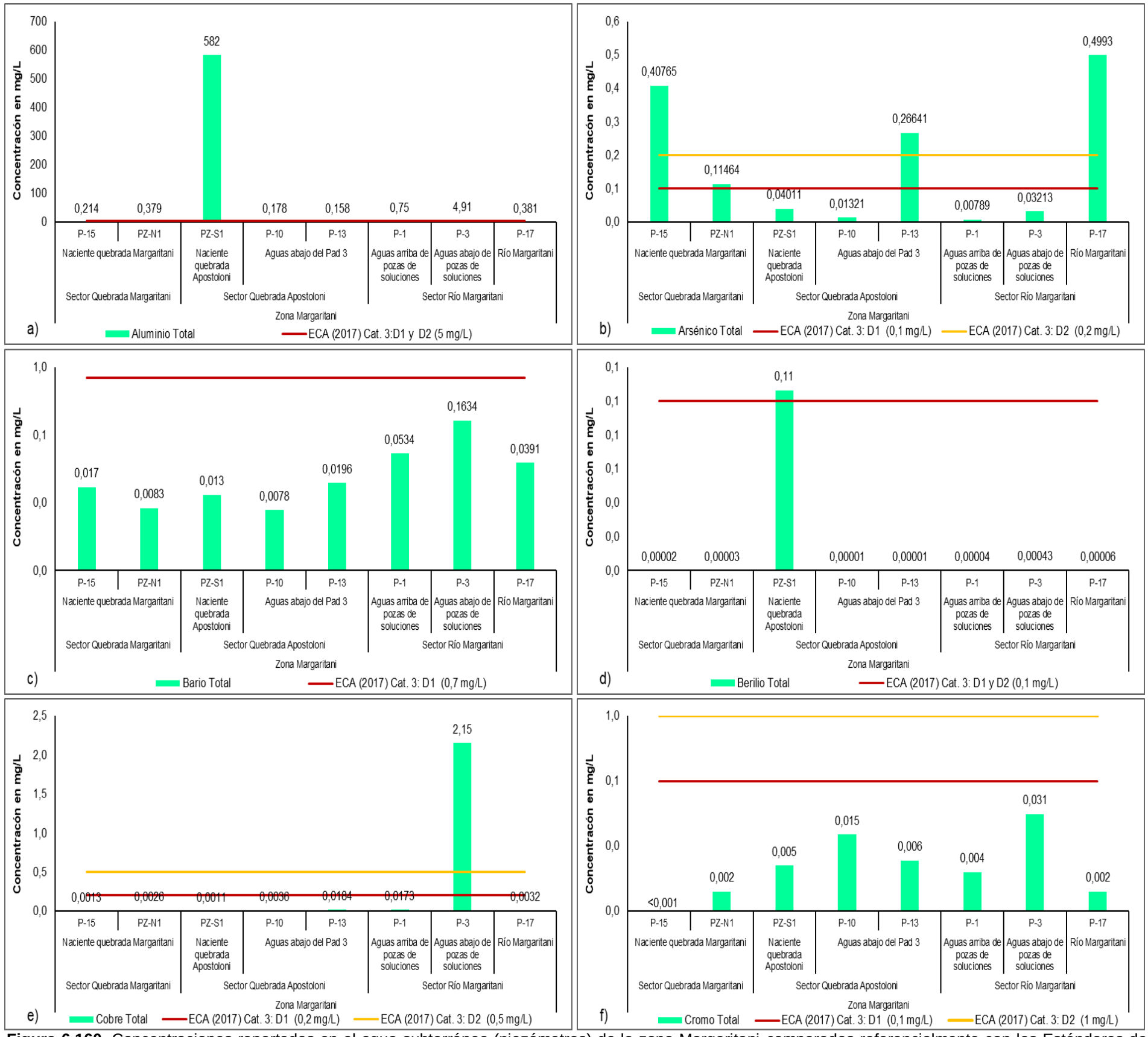


Figura 6.160. Concentraciones reportadas en el agua subterránea (piezómetros) de la zona Margaritani comparados referencialmente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (2017) D1 y D2: a) aluminio b) arsénico c) bario d) berilio e) cobre y f) cromo



Figura 6.161. Concentraciones reportadas en el agua subterránea (piezómetros) de la zona Margaritani comparados referencialmente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (2017) D1 y D2: a) hierro b) manganeso c) mercurio d) plomo e) selenio f) zinc

6.3.3. Zona Paccha – Aruntaya

En esta zona se evaluó cinco puntos de muestreo de los cuales tres son manantiales (FTuca1, FTuca2 y FTuca3) que aportan a la formación de la quebrada Paccha (RArun1), que luego forma el río Aruntaya (M-4), antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri.

6.3.3.1. Agua superficial

I. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

Los parámetros de los puntos de muestreo de agua superficial evaluados en la zona Paccha – Aruntaya que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y Bebida de animales) se presentan en la Tabla 6.52. Asimismo, en la Tabla 6.53. se detallan sus valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

Tabla 6.52. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 en la zona Paccha - Aruntaya

N.°	Zona	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S. N°002-2008-MINAM - Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
1	Paccha - Aruntaya	Manantial	FTuca1	pH, OD, Cloruros y B	pH
2			FTuca2	pH, Cloruros, B y Mn	pH y Mn
3			FTuca3	pH, OD, Cloruros, Al, B y Fe	pH, Al y Fe
4		R. Aruntaya	RArun1	pH, Cloruros, Sulfatos, Al, B, Co, Fe y Mn	pH, Al, Fe y Mn
5		R. Aruntaya	M-4	pH, Cloruros, Al, B y Mn	pH, Al y Mn

pH: Potencial de hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, OD: oxígeno disuelto, Al: Aluminio, B: Boro, Co: Cobalto, Fe: Hierro y Mn: Manganeso.

Destaca las características ácidas de la zona desde los manantiales en la naciente hasta la confluencia con el río Queullirijahuiri (M-4), donde el pH varió entre 3,30 a 4,38 unidades de pH, así como la presencia de aluminio, hierro, manganeso y cobalto que excede la norma citada, en la naciente del río Aruntaya (RArun1).

Tabla 6.53. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para Agua 2008 categoría 3, en la zona Pacha - Aruntaya

Cuerpo de agua	**Punto de muestreo**	Parámetros In Situ		Fisicoquímicos		Metales total				
		pH	OD	Cloruros	Sulfatos	Al	B	Co	Fe	Mn
		Unidad de pH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Manantiales	FTuca1	3,91	4,76	0,63	107	0,6	0,011	0,00399	0,62	0,18192
	FTuca2	3,60	5,57	0,62	151	4,11	0,014	0,00879	0,60	0,22559
	FTuca3	3,76	4,86	0,59	157	6,99	0,009	0,01271	3,60	0,11956
Río Aruntaya	RArun1	3,30	5,96	0,61	389	23,3	0,008	0,06479	3,50	0,64107
	M-4	4,38	6,22	0,57	191	6,16	0,093	0,02233	0,44	0,54354
ECA para	RV	**6,5 - 8,5**	**≥ 4**	**100 - 700**	**300**	**5**	**0,5 - 6**	**0,05**	**1**	**0,20**
	BA	**6,5 - 8,4**	**> 5**	**	**500**	**5**	**5**	**1**	**1**	**0,20**

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros In Situ		Fisicoquímicos		Metales total				
		pH	OD	Cloruros	Sulfatos	Al	B	Co	Fe	Mn
		Unidad de pH	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
agua 2008[1]										

Fuente: Informes de ensayo N°SAA-20/00655SAA-20/00632SAA-20/00629SAA-20/00572de Laboratorio AGQ PERÚ SAC
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.
«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales,
«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado por D.S. N.° 002-2008- MINAM
«**»: El parámetro NO aplica en esta subcategoría
<: Menor al límite de detección del método de análisis

II. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

En los siguientes párrafos se presenta los parámetros que excedieron los valores de los ECA para agua 2017 Cat.3-D1 y D2.

- **Potencial de hidrógeno – pH:** El potencial de hidrógeno registrado en los manantiales FTuca1, FTuca2 y FTuca3 y en el río Aruntaya (RArun1 y M4), se encontró fuera del rango establecido (valor mínimo) en los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2, indicando que las aguas de esta zona son ácidas desde su naciente hasta antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri (Figura 6.162).

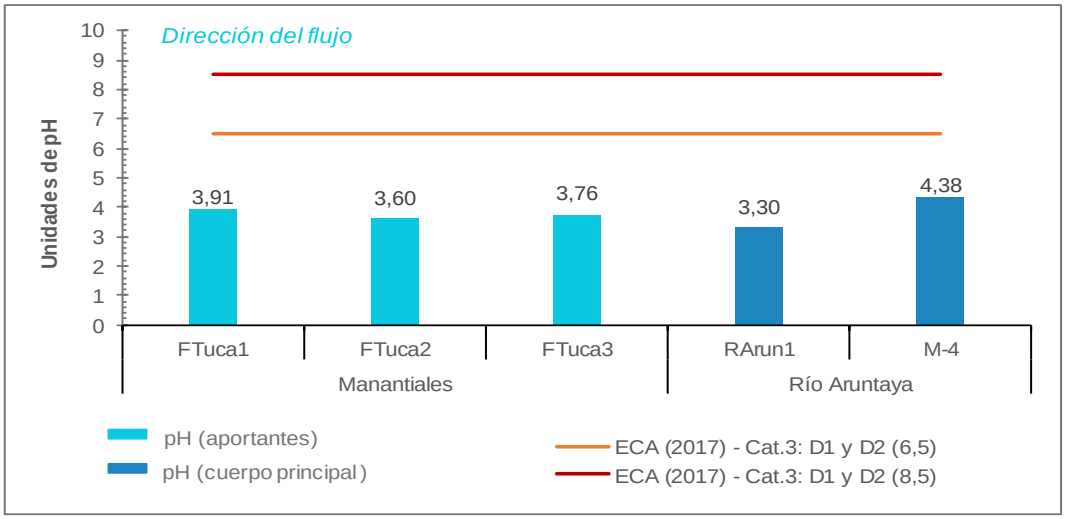


Figura 6.162. Valores de potencial de hidrógeno de los cuerpos de agua de la zona Paccha Aruntaya comparados con los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2.

- **Aluminio Al:** Las concentraciones de aluminio en el manantial FTuca3 y en los puntos del río Aruntaya (RArun1 y M-4), excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (5 mg/L). En cambio, la concentración de aluminio en los manantiales FTuca1 y FTuca2 fueron menores al valor del ECA para agua 2017 (Figura 6.163).

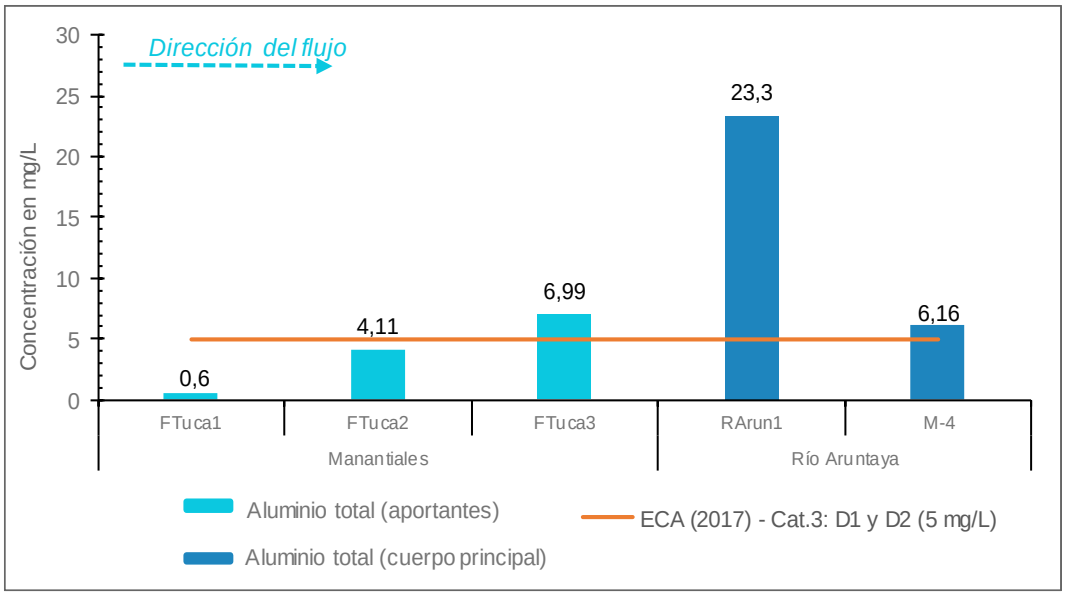


Figura 6.163. Concentraciones de aluminio de los cuerpos de agua de la zona Paccha Aruntaya comparados con los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2.

6.3.3.2. Sedimento

La evaluación ambiental de sedimento en la zona Paccha – Aruntaya comprende los puntos de muestreo ubicados en el río Aruntaya (RArun1 y M-4), ubicados en la naciente del río Aruntaya (conocido como quebrada Paccha) y antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri. Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en esta zona se presentan en la Tabla 6.54 y Figuras 6.164. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo 3 (RRE-046-2020-STEC).

Tabla 6.54. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo	
		Río Aruntaya	
		RArun1	M-4
pH	Unidades de pH	4,43	3,01
Sulfatos	mg/kg S	2854	6890
Materia orgánica	%	<0,3	0,9
Grava	%	2,11	13,14
Arcilla	%	2,54	4,67
Limo	%	9,04	15,66
Arena	%	86,2	66,55
Clase textural	-	Arena	Arena arcillosa
Fe	mg/kg PS	57389	106339
Cu	mg/kg PS	26	29
Pb	mg/kg PS	16,7	15,8
Zn	mg/kg PS	7,1	27
Cd	mg/kg PS	0,0147	0,07357
Co	mg/kg PS	1,775	3,62
Cr	mg/kg PS	6,874	10,6

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo	
		Río Aruntaya	
		RArun1	M-4
Ni	mg/kg PS	1,94	4,97
Hg	mg/kg PS	0,02	0,035
As	mg/kg PS	36,1	52
Sb	mg/kg PS	< 0,0030	0,1239
Al	mg/kg PS	11685	25261
Mn	mg/kg PS	46,7	95,5
Ca	mg/kg PS	485,1	1319
Na	mg/kg PS	42,1	291
K	mg/kg PS	912	1108
Mg	mg/kg PS	1648	1118
Ba	mg/kg PS	134,4	104,2

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C, ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C.

De acuerdo con la Tabla 6.13 y Figura 6.164, se obtuvieron valores de pH de 4,43 y 3,01 para los puntos RArun1 y M-4 del río Aruntaya, lo que evidencia sedimentos de características ácidas desde la naciente hasta antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri (M-4). Asimismo, se obtuvo un bajo contenido de materia orgánica en esta zona del río Aruntaya, por debajo del límite de detección del laboratorio (<0,3) hasta 0,9 % en el punto M-4.

En cuanto al contenido de partículas finas (siendo uno de los factores naturales más importantes capaz de variar la concentración de metales pesados en el sedimento) fue de 11,82 %, entre limo y arcilla para el punto RArun1 (naciente del río Aruntaya), e incrementa a 23,40 % en el punto M-4.

Asimismo, se observó un incremento en las concentraciones de sulfatos y hierro, desde el punto RArun1 (naciente) al M-4, pasando de 2854 mg/kg PS a 6890 mg/kg PS, y de 57389 mg/kg a 106339 mg/kg PS, respectivamente. Además, se obtuvieron concentraciones bajas de cobre (26 y 29 mg/kg PS), zinc (7,1 y 27 mg/kg PS), cadmio (0,0147 y 0,07357 mg/kg PS), cobalto (1,775 y 3,62 mg/kg PS), cromo (6,874 y 10,6 mg/kg PS), níquel (1,94 y 4,97 mg/kg PS), mercurio (0,02 y 0,035 mg/kg PS) y manganeso (46,7 y 95,5 mg/kg PS).

Las características de pH ácido, sulfatos, hierro encontrados en los sedimentos de los puntos RArun1 y M-4 del río Aruntaya, estarían relacionados a flujos de agua en contacto con sulfuros oxidados (Schiermund y Drozd, 1997), y son las condiciones naturales establecidas en la zona; teniendo en consideración que este tramo del río Aruntaya no tiene influencia de actividades mineras, y fue considerado en la presente evaluación como un sitio de referencia (blanco).

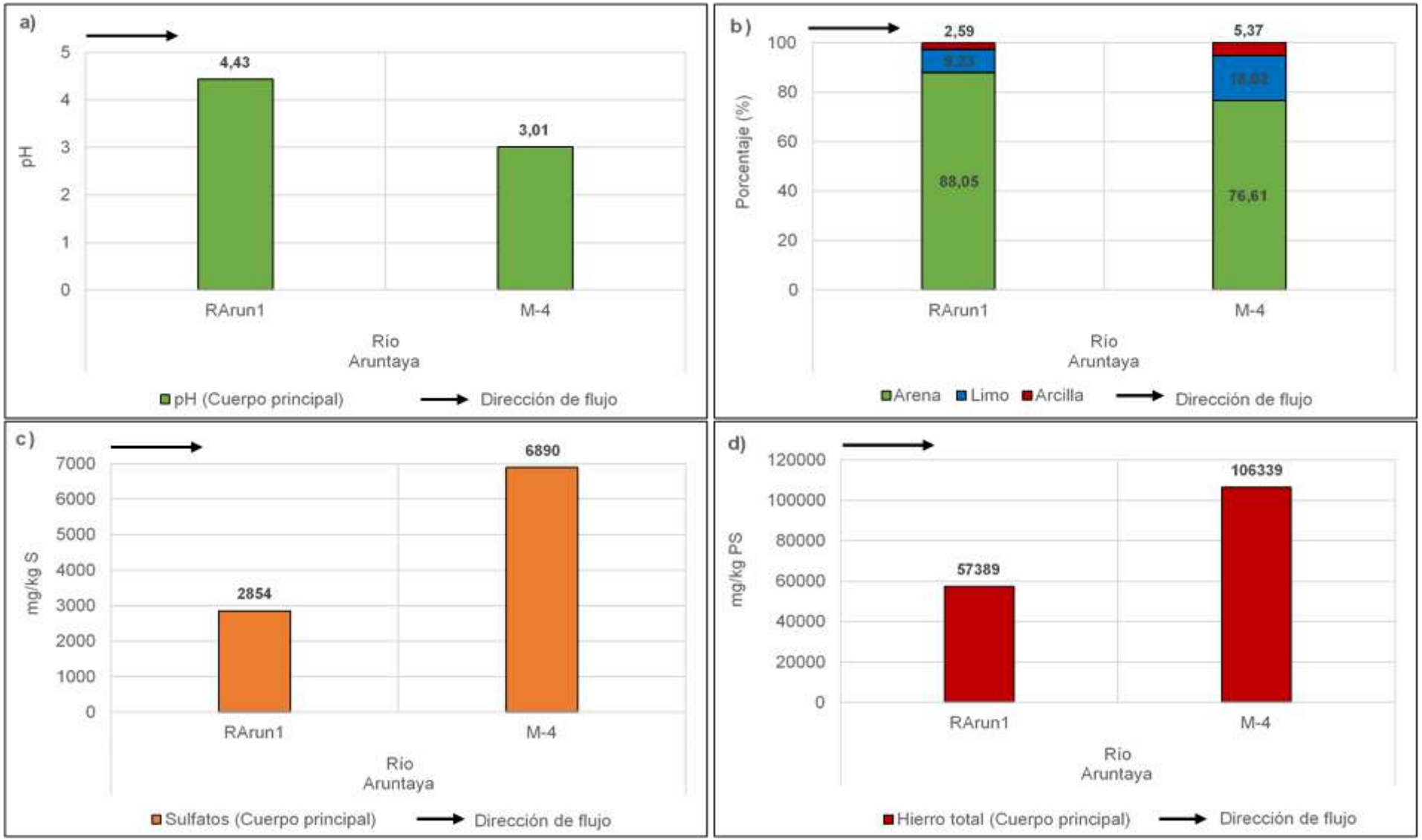


Figura 6.164. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico, y **c)** sulfatos en la zona Paccha - Aruntaya

Concentraciones de metales que excedieron los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.55, se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en la zona Paccha - Aruntaya, comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Tabla 6.55. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Paccha – Aruntaya comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
RArun1	Río Aruntaya	36,1	0,0147	26	6,874	0,02	16,7	7,1
M-4		52	0,07357	29	10,6	0,035	15,8	27
CEQG[a]	ISQG [b]	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL[c]	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*
(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos
(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

Según los resultados presentados, sólo las concentraciones de arsénico obtenidas en los puntos RArun1 y M-4 (36,1 y 52 mg/kg PS) excedieron el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG, mientras que los valores de cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc estuvieron por debajo de los valores establecidos (ISQG y PEL) de la mencionada guía de comparación.

Extracción secuencial de metales en sedimento

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en la Tabla 6.56 y las Figura 6.165 y 6.166. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo de la zona Paccha - Aruntaya.

Se observa que las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual) representan en conjuntos desde el 57,53 % al 93,80 % para los metales cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso en los puntos RArun1 y M-4 del río Aruntaya. La cantidad encontrada de estos metales en el sedimento del río Aruntaya para la fracción 5, se liberaría al medio en condiciones oxidantes, donde la materia orgánica se degrada; mientras que las proporciones de metales obtenidas en la fracción 6 (enlazado a minerales primarios y secundarios), no se liberarían en solución durante un periodo de tiempo amplio en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza (sin influencia de actividades antropogénicas).

Tabla 6.56. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya

Fracciones	Cd (mg/kg)		Co (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)		Fe (mg/kg)		Mn (mg/kg)	
	RArun1	M-4	RArun1	M-4	RArun1	M-4	RArun1	M-4	RArun1	M-4	RArun1	M-4	RArun1	M-4	RArun1	M-4
F1	<0,05	<0,05	0,15	0,21	1,52	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	2066	86	7,05	14,37
F2	<0,05	<0,05	0,078	0,312	0,13	0,18	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	2169	139,8	3,7	13,6
F3	<0,05	<0,05	<0,05	0,068	<0,05	1,836	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	524,9	1167	0,9	3,1
F4	<0,05	<0,05	0,108	0,541	0,658	2,348	<0,5	0,61	<0,5	<0,5	<5	<5	5068	26703	4,31	9,89
F5	<0,05	<0,05	0,486	0,275	9,187	8,153	0,81	<0,5	6,28	0,6	5,44	<5	24058	17075	8,03	4,58
F6	<0,05	<0,05	0,953	2,18	6,04	7,98	1,67	2,89	5,15	14,54	8,11	16,67	10331	21882	18,2	51,1
Suma de fracciones	*	*	1,775	3,586	17,535	20,997	2,48	3,5	11,43	15,14	13,55	16,67	44216,9	67052,8	42,19	96,64

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).
F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.
<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.
(*): No aplica, puesto que los resultados de las 6 fracciones se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio (< 0,05 mg/kg).

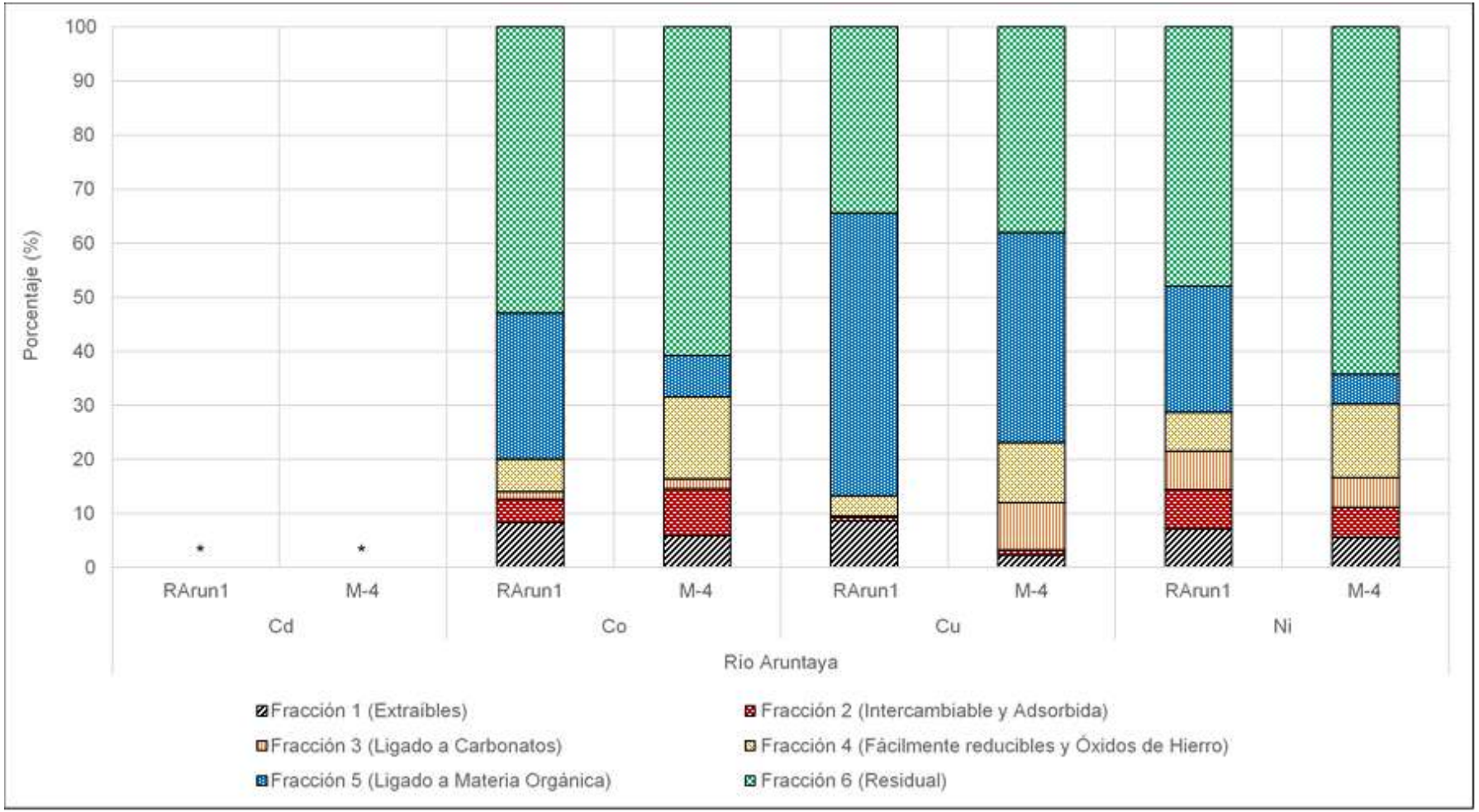


Figura 6.165. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Paccha – Aruntaya

(*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos de los puntos RArun1 y M-4.

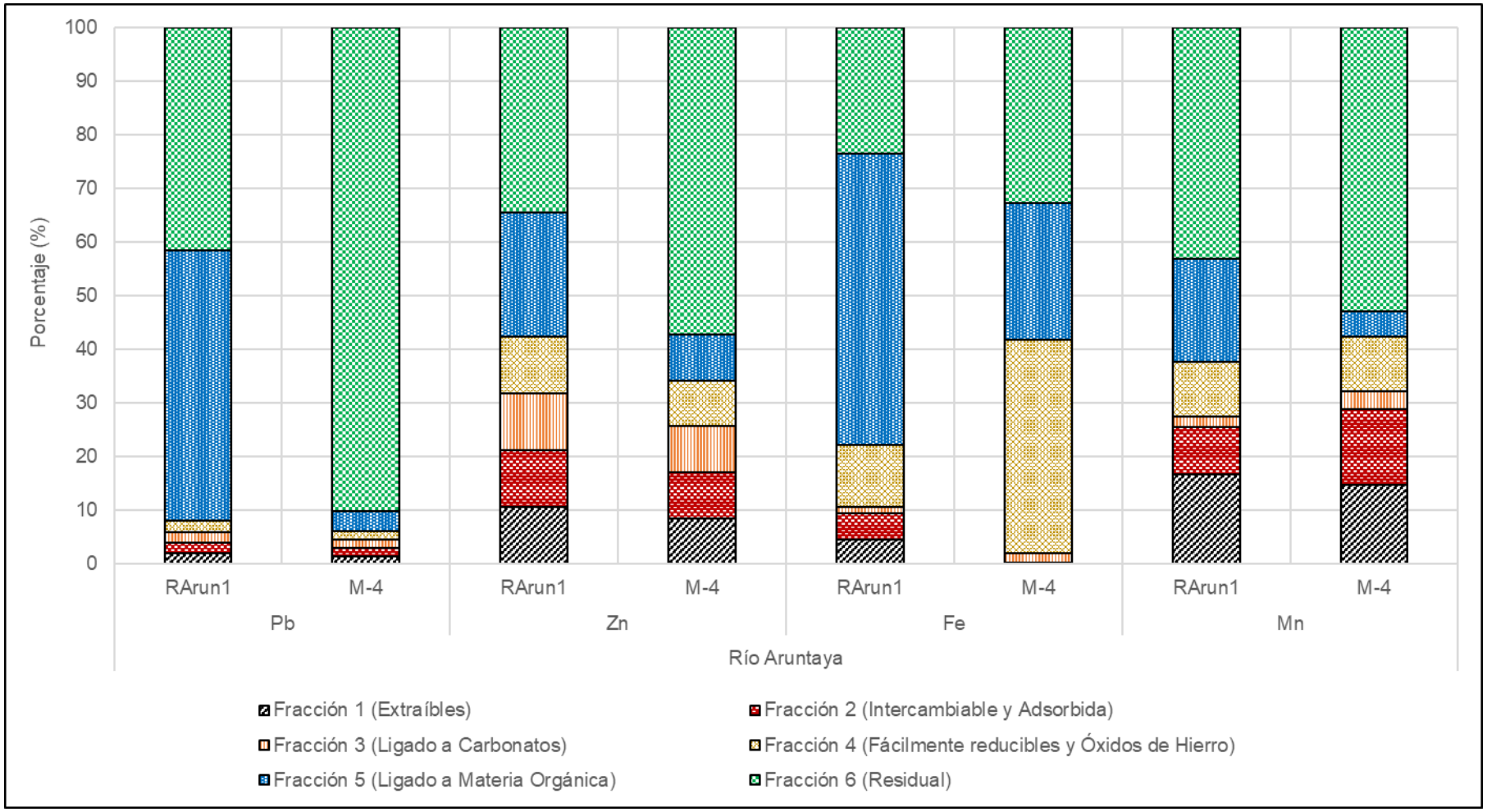


Figura 6.166. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya

Asimismo, se registraron porcentajes de los metales cobalto, cobre, níquel, hierro y manganeso en los sedimentos del río Aruntaya (RArun1 y M-4) en la fracción 4 (fácilmente reducibles y óxidos de hierro), van desde 3,74 % a 39,82 %. La generación de condiciones anóxicas en los sedimentos de la zona Queullirijahuiri (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de metales de la fracción 4, puesto que los óxidos de hierro y manganeso son termodinámicamente inestables bajo estas condiciones.

Se obtuvieron bajas proporciones en la fracción 3 (ligado a carbonatos), con porcentajes desde 1,18 % a 8,74 % para los metales hierro, manganeso, cobalto (sólo punto M-4), cobre (sólo punto M-4) del río Aruntaya. Los metales unidos a esta fracción pueden ser susceptibles a cambios de pH en el sistema, que ocasionaría que el contenido de metales en el sedimento sea liberado; estas condiciones fueron encontradas en el sedimento de este tramo del río Aruntaya.

Por último, se obtuvieron porcentajes en conjunto para las fracciones 1 y 2 (extraíbles, intercambiable y adsorbida), que van desde 0,33 % hasta 28,94 % para los metales cobre, cobalto, hierro y manganeso; el contenido de metales representado en esta fracción puede liberarse desde los sedimentos hacia la columna de agua, por cambios en la composición iónica del agua que afectan los procesos de sorción – desorción.

Análisis mineralógico (difracción de rayos X)

El análisis mineralógico (difracción de rayos X) del sedimento de la zona Paccha - Aruntaya se presenta en la Figura 6.167. La composición mineralógica de los puntos RArun1 y M-4 del río Aruntaya, consistió principalmente en minerales como plagioclasa, cuarzo, feldespato y micas, que en conjunto representan 59 % y 66 %.

La presencia de otros minerales como piroxeno y caolinita (6 % y 4 %) en el punto RArun1, y anfíbol en el punto M-4, encontrados en menores proporciones, refleja la heterogeneidad de los materiales presentes (minerales) debido a los procesos de alteración que ocurren en la zona Paccha - Aruntaya, considerando que esta parte del río no tiene influencia de actividades mineras. Por otra parte, en esta zona del río Aruntaya (RArun1 y M-4) no se identificaron minerales como schwertmannita, goethita o jarosita, los cuales están relacionados con un alto contenido de hierro (total y disuelto) en el sedimento o la columna de agua asociada. Además, no se identificaron minerales como jarosita (fase de sulfatos), siendo un mineral que se encuentra en ambientes ácidos (pH < 3) y ambientes fluviales contaminados por drenaje ácido de mina.

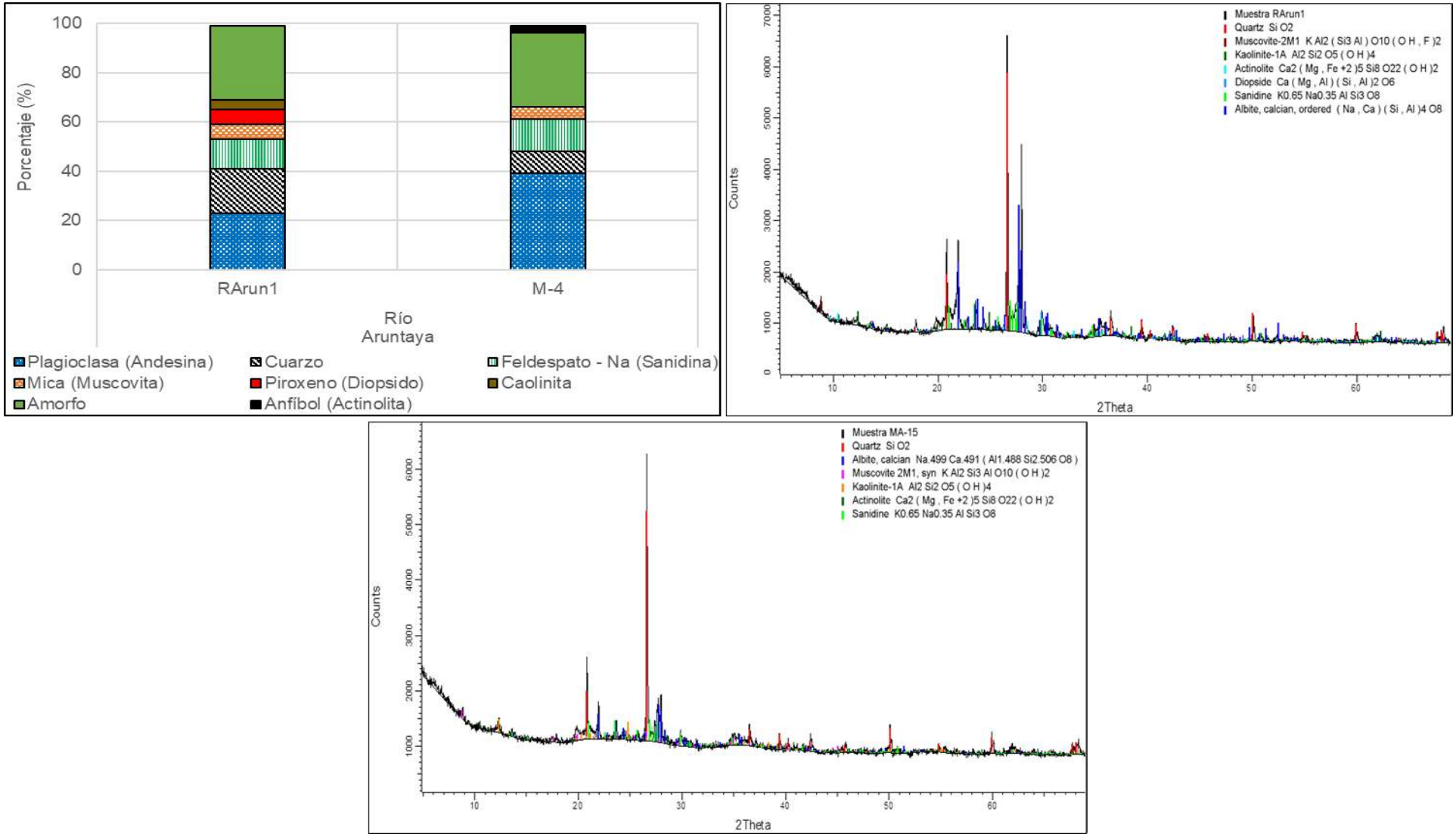


Figura 6.167. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido de los sedimentos de la zona Paccha – Aruntaya se presentan en la Tabla 6.57.

Tabla 6.57. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Paccha - Aruntaya

Minerales identificados	Puntos de muestreo
	Río Aruntaya
	RArun1
Galena (PbS)	x
Ilmenita ($FeTiO_3$)	x
Goethita (FeO.OH)	x
Magnetita (Fe_3O_4)	x
Casiterira ($(Sn,Ga,Fe)O_2$)	x
Cerusita ($PbCO_3$)	x

(-): No aplica.

Se identificaron minerales basados en hierro en los sedimentos del este tramo del río Aruntaya (punto RArun1) tales como ilmenita, goethita y magnetita. La formación de este mineral depende del pH y las concentraciones de sulfatos, como los identificados en el punto RArun1. Además, se identificaron minerales de sulfuros de plomo (galena) y óxidos (casiterita).

6.3.3.3. Comunidades hidrobiológicas

Se evaluaron 2 puntos en la parte alta del río Aruntaya, sin evidenciarse visualmente alguna influencia de la actividad minera en el mismo.

Perifiton

Composición, riqueza y abundancia de especies

Se registraron 22 especies en la comunidad del perifiton siendo todas microalgas y se encuentran distribuídas en 4 phyla. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza con 11 especies (50 %), seguido de Chlorophyta con 6 especies (27 %), Cyanobacteria con 2 especies (9 %) y Charophyta con 3 especies (14 %).

En lo referente al acumulado total para la zona Paccha - Aruntaya el género *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta presentó la mayor riqueza con 7 especies.

El manantial HB-FTuca1 presentó la mayor riqueza con la presencia de especies pertenecientes a los 4 phyla registrados; mientras que en el punto M-4 una réplica resultó con 0 especies y las otras dos con sólo 1 especie reportada.

En el punto HB-RArun1 del río Aruntaya se registró la asociación de las algas acidófilas Klebsormidium sp. y Microspora sp.; mientras que el manantial HB-FTuca1 se observa la

asociación de microalgas Microspora spp. y Ulothrix sp. todas ellas son tolerantes a metales y encontradas asociadas a drenajes ácidos de mina (Verb and Vis, 2001 y Bray et al., 2008). (Figura 6.168).

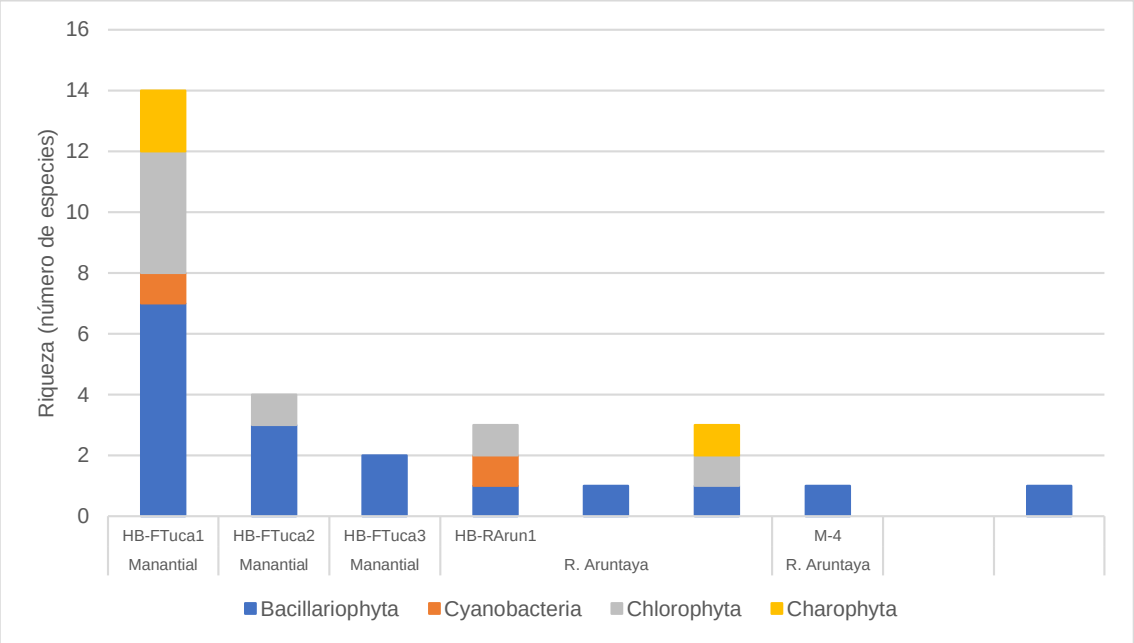


Figura 6.168. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri).

La abundancia total en la temporada de muestreo fue de 206 095 organismos/cm^2 de microalgas, los cuales pertenecen a los phyla Bacillariophyta (97 908 organismos/cm^2), Cyanobacteria (60 179 organismos/cm^2), Chlorophyta (8 757 organismos/cm^2) y Charophyta (39 251 organismos/cm^2).

El punto de mayor abundancia fue HB-RArun1 donde se registró en una réplica la predominancia del género *Leptolyngbya* sp. el cual pertenece a las cianobacterias; mientras que la menor abundancia se registró en el punto M-4, ambos puntos se encuentran en el río Aruntaya, Figura 6.169

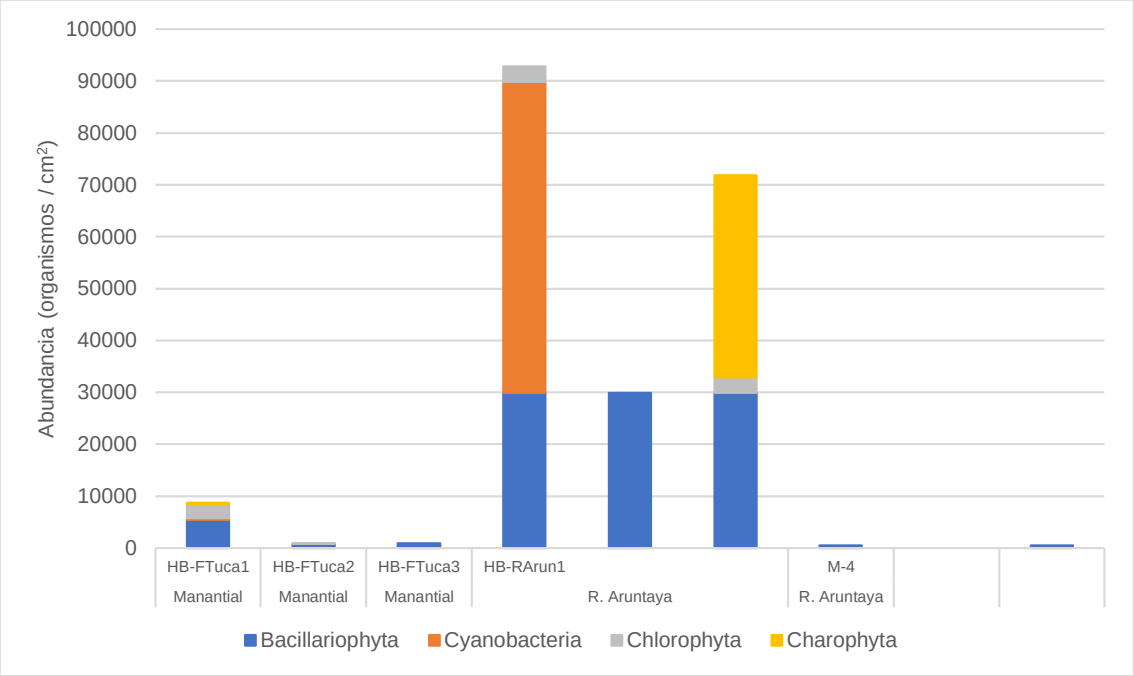


Figura 6.169. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri).

Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

El ensamble del macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 12 especies, 6 familias, 3 órdenes, 1 clase y 1 phylum, según su categoría taxonómica. El orden con mayor número de especies fue Diptera con 10 especies, mientras que los órdenes Coleoptera y Plecoptera presentaron 1 especie cada uno (Anexo 3).

El punto de muestreo con mayor número de especies fue HB-RArun1 con 9 especies, mientras que el punto de muestreo con menor número de especies fue M-4 con 8 especies. El orden Diptera fue el de mayor riqueza en ambos puntos con 7 especies en cada uno de ellos. Asimismo, el orden Coleoptera se colectó en ambos puntos con 1 sola especie (Figura 6.170a)

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 75,17 ± 14,17 organismos/0,09m^2. El punto de muestreo con mayor densidad fue HB-Arun1 con 89,33 ± 10,40 organismos/0,09m^2, mientras que el punto de muestreo con menor densidad fue M-4 con 61,00 ± 21,13 organismos/0,09m^2. Como ya se indicó, el orden Diptera se colectó en todos los puntos de muestreo, siendo el de mayor densidad en todos ellos, en comparación al resto de órdenes (Figura 6.170b).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (100%) y abundancia relativa (>1,50%) fueron *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp. y Orthocladiinae ND 1 pertenecientes al orden Diptera, familia Chironomidae, así como *Austrelmis* sp. perteneciente al orden Coleoptera, familia Elmidae (Anexo 3, RRE-046-2020-STEC). Estas especies serán seleccionadas para el análisis de correlación canónica (ACC).

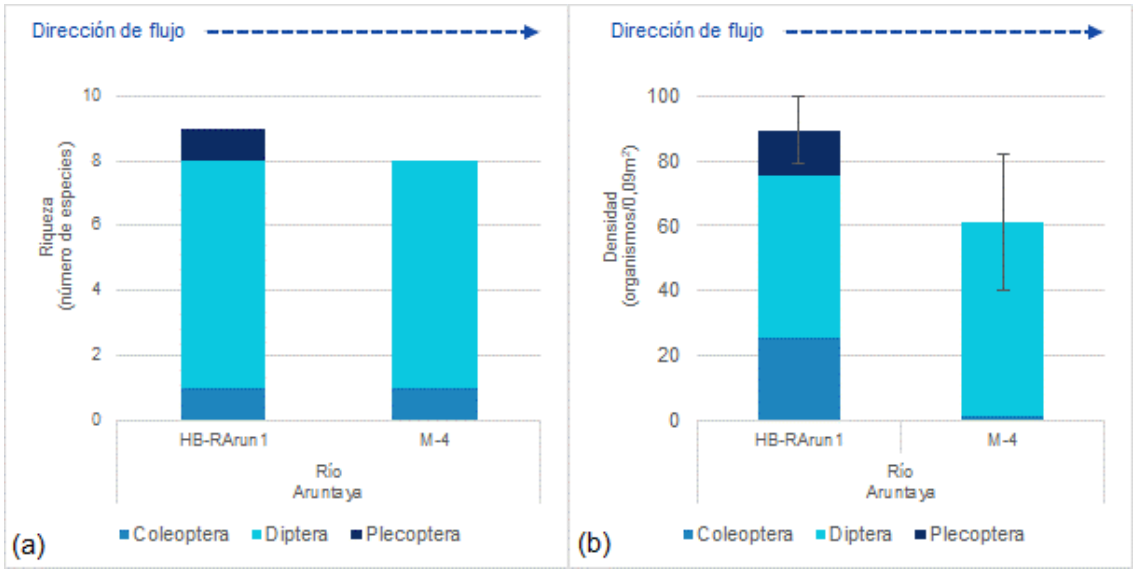


Figura 6.170. (a) Riqueza y (b) densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri).

Diversidad alfa y beta

De acuerdo con la Figura 6.171a, el índice de dominancia de Simpson varió desde 0,31 ± 0,03 (HB-RArun1) hasta 0,56 ± 0,19 (M-4). El índice de equidad de Pielou varió desde 0,54 ± 0,19 (HB-M-4) hasta 0,73 ± 0,03 (HB-RArun1). La diversidad de Shannon-Wiener varió desde 0,31 ± 0,03 bits/individuo (HB-RArun1) hasta 0,56 ± 0,19 bits/individuo (M-4). Si bien los valores de diversidad fueron mayores a 1,00 bit/individuo, mayor a los valores observados en las quebradas Margaritani y Apostoloni, y en los ríos Margaritani y Queullirijahuiri (antes del aporte del río Margaritani), se observó que los valores de diversidad estuvieron relacionados de manera inversa a la dominancia. Esta mayor dominancia en M-4 estuvo relacionado a una alta abundancia de *Cricotopus* sp. (49 organismos/0,09m^2) en comparación al resto de especies (<5 organismos/0,09m^2).

Con relación al análisis de diversidad beta, la prueba de permutación SIMPROF (p=0,05) resultó en la discriminación de un agrupamiento estadísticamente semejante en su estructura (p=0,937). Esta alta similitud estuvo dada por las especies: *Austrelmis* sp. perteneciente a la familia Elmidae (orden Coleptera); *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp. y Orthocladiinae ND 1 pertenecientes a la Chironomidae (orden Diptera); y *Limnophora sp.* perteneciente a la familia Muscidae (orden Diptera).

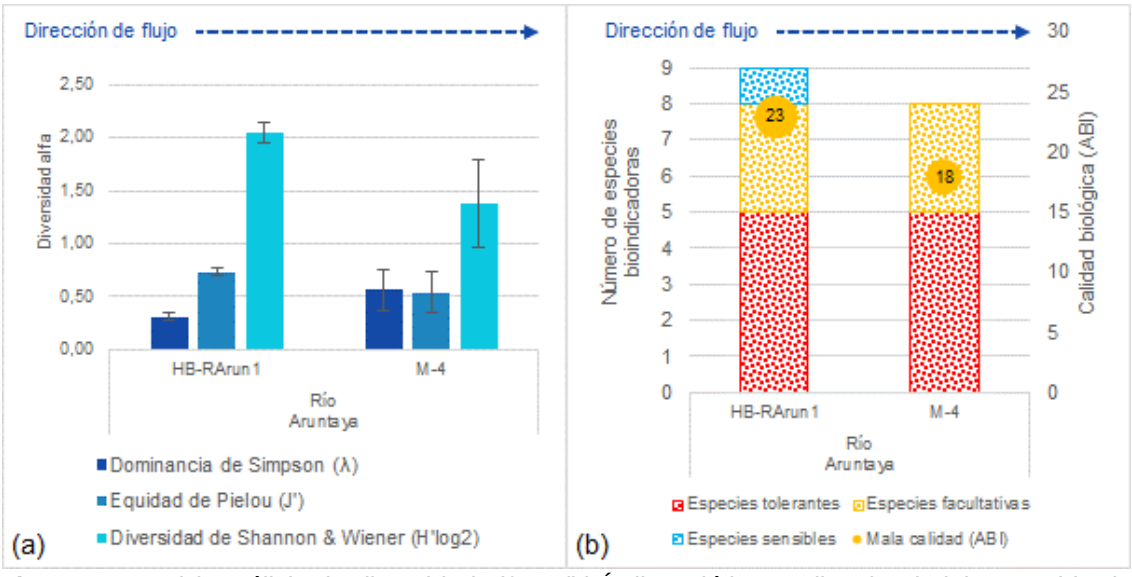


Figura 6.171. (a) Análisis de diversidad alfa e (b) Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri).

Calidad biológica

En la Figura 6.171b se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo con el índice ABI. Se observó que los puntos en el río Aruntaya (antes del aporte del río antes del aporte del río Queullirijahuiri) presentaron una «mala calidad biológica», siendo el punto HB-RArun1 el que presentó una mayor valoración, asociado principalmente a la presencia de una especie sensible (*Claudioperla* sp.).

Calidad ecológica

Los resultados de calidad hidromorfológica (Anexo 2) indicaron una «buena calidad» en los puntos HB-RArun1 y M-4; sin embargo, al combinar los resultados de calidad hidromorfológica con los resultados de calidad biológica (ABI), los resultados de calidad ecológica señalaron una «mala calidad ecológica» en los puntos evaluados (Tabla 6.58).

Tabla 6.58. Calidad ecológica obtenida para la zona Paccha-Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri).

Ecosistema acuático	Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Río Aruntaya	HB-RArun1	Mala	Buena	Mala
	M-4	Mala	Buena	Mala

6.3.4. Zona Aruntaya

Esta zona Aruntaya, está conformada por el cuerpo principal desde del río Queullirijahuiri (AG-19 y M-3) y el río Aruntaya (AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10), por el margen izquierdo confluyen el río Javira (RJavi), quebrada Soropatilla (QSoro) y la quebrada sin nombre 3 (QSnom3); y por el margen derecho se encuentran los manantiales FTuca5 y FTuca6

6.3.4.1. Agua superficial

I. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

Los parámetros de los puntos de muestreo de agua superficial evaluados en la zona Aruntaya que incumplieron los ECA para agua 2008, categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y Bebida de animales) se presentan en la Tabla 6.59. Además, en la Tabla 6.60. se detallan sus valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

Tabla 6.59. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Aruntaya

N.°	Zona / Sector	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Código IGA	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
					D.S. N°002-2008-MINAM - Categoría 3	
					Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
1	Aruntaya	Río Queullirijahuiri	AG-19		pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
2		Río Javira	RJavi		Cloruros y B	-
3		Quebrada Soropatilla	QSoro		Cloruros y B	-
4		Río Queullirijahuiri	M-3		pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg y Ni
5		Río Aruntaya	AG-08		pH, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
6			RArun2		pH, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe y Mn
7		Manantiales	FTuca5		Cloruros y B	-
8			FTuca6		Cloruros y B	-
9		Río Aruntaya	RArun3		pH, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn	pH, Sulfatos, Al, Cd, Cu, Fe, Mn y Ni
10			RArun4		pH, CE, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Zn	pH, Sulfatos, Al, Cd, Cu, Fe y Mn
11		Q. Sin nombre 3	QSnom3		CE, Cloruros, Sulfatos, As, B, Li, Mn y Na	CE, As, B, Li y Mn
12		Río Aruntaya	AG-10		pH, CE, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Na y Zn	pH, Sulfatos, Al, As, Cd, Cu, Fe y Mn

pH: Potencial de hidrógeno, CE: Conductividad eléctrica, Al: Aluminio, As: Aluminio, B: Boro, Cd: Cadmio, Co: Cobalto, Cu: Cobre, Fe: Hierro, Li: Litio, Mn: Manganeso, Hg: Mercurio, Ni: Níquel, Na: Sodio, Zn: Zinc

En las Tablas 6.59 y 6.60 resalta las características ácidas de los ríos Queullirijahuiri, y Aruntaya, así como la presencia de elevadas concentraciones de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc. Por el contrario, los tributarios como el río Javira, quebrada Soropatilla y los manantiales FTuca5 y FTuca6 presentaron pH neutro-alcalinos y bajas concentraciones de los elementos referidos.

En el caso de la quebrada sin nombre 3, esta presentó elevados valores de conductividad eléctrica asociadas a las altas concentraciones de cloruros, arsénico, boro, litio y sodio.

Tabla 6.60. Valores y concentraciones de los parámetros que excedieron los ECA para Agua 2008 categoría 3, en la zona Aruntaya

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros In Situ		Fisicoquímicos			Metales totales												
		pH	CE	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Al	As	B	Cd	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Hg	Ni	Na	Zn
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Río Queullirijahuiri	AG-19	2,96	2410	2,06	2,10	1813	176	0,85982	0,017	0,12111	0,54064	4,201	131	0,0246	5,8175	0,000434	0,4085	16	6,13
Río Javira	RJavi	6,59	84,3	0,71	0,12	27	0,05	0,00203	0,075	0,00008	0,00018	< 0,0003	< 0,03	0,0045	0,02459	< 0,000070	< 0,0009	5,3	<0,002
Quebrada Soropatilla	QSoro	6,53	71,7	0,94	0,11	18	0,48	0,00905	0,098	0,00005	0,0002	0,0023	0,72	0,0018	0,00854	< 0,000070	< 0,0009	5,8	0,01
Río Queullirijahuiri	M-3	2,72	2001	2,29	0,34	1672	114	0,35977	0,081	0,10438	0,39668	3,171	89	0,0168	6,13	0,001641	0,3164	20	4,21
Río Aruntaya	AG-08	2,86	1480	2,18	0,28	1210	85,8	0,244	0,127	0,07255	0,28934	2,263	65	0,0141	4,6029	0,000435	0,2116	16	3,09
	RArun2	2,74	1561	2,41	0,28	1272	76,2	0,12629	0,117	0,08676	0,29576	2,375	56	0,0116	5,1763	0,0003	0,1953	19	3,23
Manantiales	FTuca5	7,96	123,7	0,75	0,09	16	0,03	0,02593	0,221	< 0,00001	< 0,00003	< 0,0003	< 0,03	0,0069	0,0006	< 0,000070	< 0,0009	10	0,004
	FTuca6	7,51	76,4	0,83	0,12	15	0,04	0,00611	0,27	< 0,00001	< 0,00003	< 0,0003	< 0,03	0,0070	0,00068	< 0,000070	< 0,0009	5,8	0,002
Río Aruntaya	RArun3	2,75	1602	4,60	0,27	1138	84	0,05015	0,311	0,06731	0,31594	2,511	46	0,0393	6,7902	0,000307	0,2235	28	3,12
Río Aruntaya	RArun4	2,90	2113	179,00	0,27	1638	81,2	0,07414	1,58	0,06515	0,31693	2,584	39	0,3659	7,2866	0,000394	0,1978	117	3,01
Q. Sin nombre 3	QSnom3	7,98	14830	5334,00	0,09	338	0,08	1,7451	79,8	< 0,00001	0,00177	0,0011	0,62	15,960	1,8041	< 0,000070	0,0031	4264	0,01
Río Aruntaya	AG-10	3,08	3200	615,00	1,80	1175	69,0	0,16521	4,13	0,05907	0,26585	2,10	31	1,0500	6,2843	0,000328	0,1630	283	2,55
ECA para agua 2008[1]	**RV**	**6,5 - 8,5**	**< 2000**	**100 - 700**	**1**	**300**	**5**	**0,05**	**0,5 - 6**	**0,005**	**0,05**	**0,20**	**1**	**2,50**	**0,20**	**0,001**	**0,20**	**200**	**2**
	BA	**6,5 - 8,4**	**≤ 5000**	******	**2**	**500**	**5**	**0,10**	**5**	**0,01**	**1**	**0,50**	**1**	**2,50**	**0,20**	**0,001**	**0,20**	******	**24**

Fuente: Informes de ensayo N° SAA-20/00655, SAA-20/00633, SAA-20/00632, SAA-20/00631, SAA-20/00591, SAA-20/00572, SAA-20/00564, SAA-20/00565 de Laboratorio AGQ PERÚ SAC
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.
«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales,
«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado por D.S. N.° 002-2008- MINAM
«**»: El parámetro NO aplica en esta subcategoría
<: Menor al límite de detección del método de análisis

II. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

Esta zona de evaluación está conformada por 12 puntos de muestreo, distribuidos en 2 manantiales, 3 tributarios (quebradas y ríos) y 7 puntos ubicados en el cuerpo principal:

- El cuerpo principal para esta zona de evaluación lo constituyen por los puntos AG-19 y M-3 ubicados en el río Queullirijahuiri y los puntos AG-8, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10 ubicados en el río Aruntaya.

- Los tributarios lo conforman el río Javira (RJavi), la quebrada Soropatilla (QSoro) y la quebrada sin nombre 3 (QSnom3) que tributan a estos cuerpos principales por su margen izquierdo, y finalmente los manantiales FTuca5 y FTuca6 que se encuentran en su margen derecho.

Para una mejor visualización de la contribución de los cuerpos de agua ubicados aguas arriba de esta zona, se han incluido en las gráficas de resultados las zonas Queullirijahuiri (AG-17), Margaritani (AG-18) y Pacha- Aruntaya (M-4). En los siguientes párrafos se presenta los parámetros que excedieron los valores de los ECA para agua 2017 Cat.3-D1 y D2.

- **Potencial de hidrógeno – pH:** El potencial de hidrógeno registrado en los cuerpos principales de la zona Aruntaya se encontró fuera del rango establecido (valor mínimo) en los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2, sugiriendo que las aguas son ácidas desde su formación (río Queullirijahuiri) hasta su confluencia con el río Titire. En cambio, los valores de pH registrados en los tributarios y manantiales, cumplen con la normativa mencionada (Figura 6.172a)

- **Conductividad Eléctrica – CE:** La conductividad eléctrica registrada en la quebrada sin nombre 3 (QSnom3), tributaria por el margen izquierdo al rio Aruntaya, excedió los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (2500 µS/Cm) y D2 (5000 µS/cm), en cambio, en el rio Aruntaya (AG-10), excedió únicamente el valor de la subcategoría D1 de los ECA para agua 2017(Figura 6.172b).

- **Cloruros:** Las concentraciones de cloruros en la quebrada sin nombre 3 (QSnom3) y en el rio Aruntaya (AG-10), excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (500 µS/Cm); la excedencia de cloruros en punto AG-10 podría deberse a los aportes de la quebrada sin nombre 3 (Figura 6.173a).

- **Fluoruros:** Las concentraciones de fluoruros en los ríos Queullirijahiuri (AG-19) y Aruntaya (AG-10) de la zona Aruntaya, excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (1 mg/L), en los demás cuerpos de agua las concentraciones de fluoruros fueron bajos en comparación con estos puntos extremos (Figura 6.173b).

- **Sulfatos:** Las concentraciones de sulfatos en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (1000 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de sulfatos (Figura 6.174a).

- **Aluminio – Al:** Las concentraciones de aluminio en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) del cuerpo principal, excedieron el valor de los

ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (5 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de aluminio (Figura 6.174b).

- **Arsénico – As:** Las concentraciones de arsénico en los puntos (AG-19, M-3 y AG-08) del cuerpo principal y en la quebrada Sin nombre (QSnom3), excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,1 mg/L) y D2 (0,02 mg/L); En cambio, en los puntos (RArun2 y AG-10) ubicados en el cuerpo principal, excedió únicamente el valor de la subcategoría D1. La excedencia de arsénico en punto AG-10 podría deberse a los aportes de la quebrada sin nombre 3 (Figura 6.175a).

- **Boro – B:** La concentración de boro únicamente en la quebrada sin nombre 3 (QSnom3), excedió los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 – D1 (1 mg/L) y D2 (5 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi y QSoro), los manantiales y en el cuerpo principal de la zona Aruntaya presentaron bajas concentraciones de boro (Figura 6.175b).

- **Cadmio – Cd:** Las concentraciones de cadmio en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) del cuerpo principal de la zona Aruntaya excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (0,05 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de cadmio e incluso menores al límite de detección del método de ensayo (Figura 6.176a).

- **Cobalto – Co:** Las concentraciones de cobalto en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) del cuerpo principal de la zona Aruntaya, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,05 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de cobalto e incluso menores al límite de detección del método de ensayo (Figura 6.176b).

- **Cobre – Cu:** Las concentraciones de cobre en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) del cuerpo principal de la zona Aruntaya excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,2 mg/L) y D2 (0,5 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de cobre e incluso menores al límite de detección del método de análisis (<0,0003 mg/L), Figura 6.177a.

- **Hierro – Fe:** Las concentraciones de hierro en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) del cuerpo principal de la zona Aruntaya, excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,5 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de hierro e incluso menores al límite de detección del método de análisis (Figura 6.177b)

- **Litio – Li:** Las concentraciones de litio únicamente en la quebrada sin nombre 3 (QSnom3), ha excedido el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 – D1 y D2 (2,5 mg/L); En cambio, los tributarios, los manantiales y el cuerpo principal de la zona Aruntaya presentaron bajas concentraciones de litio (Figura 6.178a).

- **Manganeso –Mn:** Las concentraciones de manganeso en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) del cuerpo principal de la zona Aruntaya y en la quebrada sin nombre 3 (QSnom3), excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (0,2mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi y QSoro) y los

manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de manganeso (Figura 6.178b)

- **Mercurio – Hg:** Las concentraciones de mercurio únicamente en el punto M-3 del río Queullirijahuiri, ha excedido el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,001 mg/L); En cambio, los tributarios, los manantiales y en los demás puntos de agua del cuerpo principal de la zona Aruntaya presentaron bajas concentraciones de mercurio e incluso menores al límite de detección del método de análisis (<0,000070 mg/L), Figura 6.179a.

- **Níquel – N:** Las concentraciones de níquel en los puntos (AG-19, M-3, AG-08 y RArun3) del cuerpo principal de la zona Aruntaya, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,2 mg/L); En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de níquel e incluso menores al límite de detección del método de análisis (Figura 6.179b).

- **Zinc – Zn:** Las concentraciones de zinc en los puntos (AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) del cuerpo principal de la zona Aruntaya, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (2 mg/L). En cambio, los tributarios (RJavi, QSoro y QSnom3) y los manantiales (FTuca5 y FTuca6) presentaron bajas concentraciones de zinc (Figura 6.180).

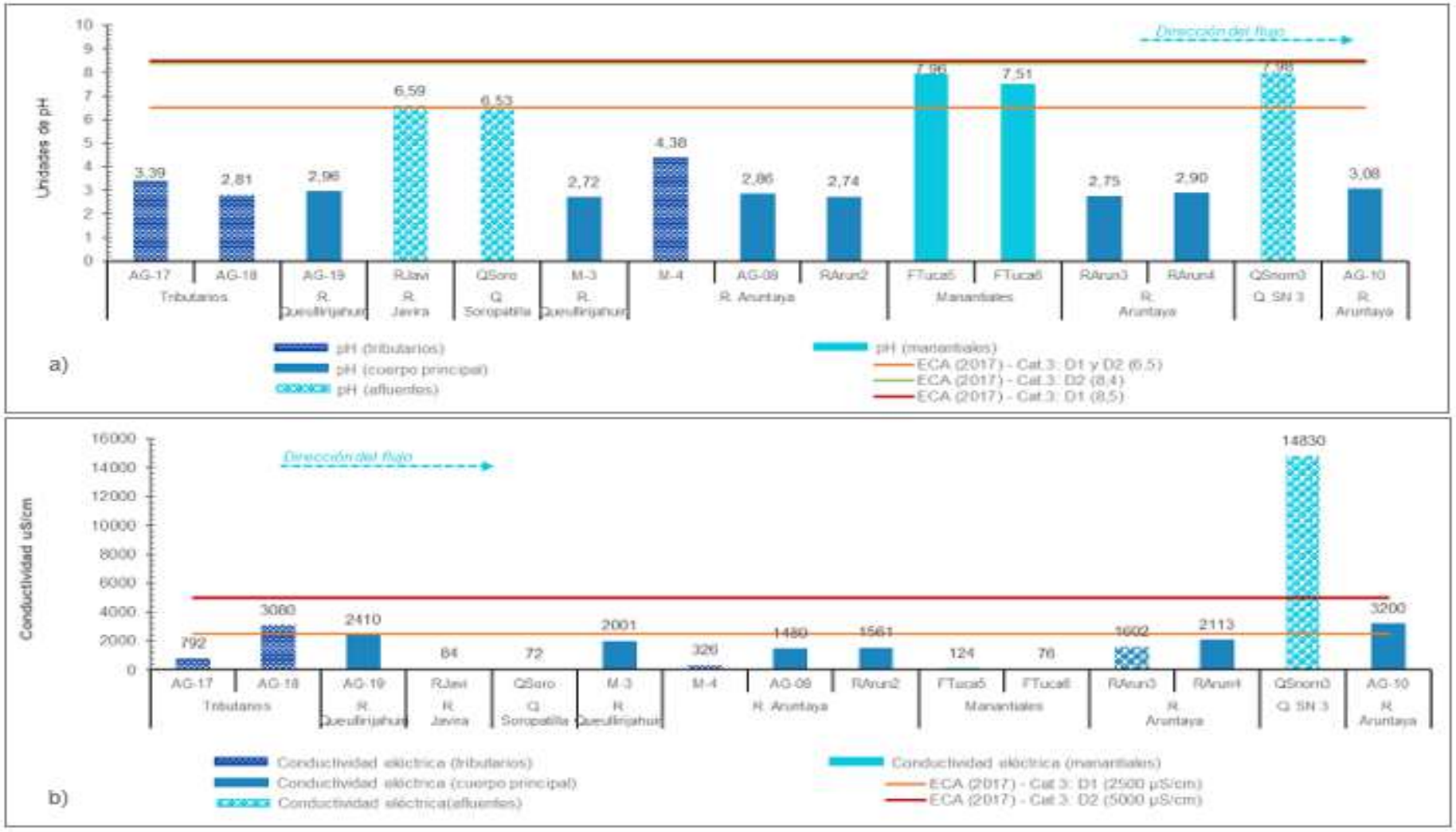


Figura 6.172. Valores y concentraciones reportados en los cuerpos de agua de la zona Aruntaya comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrogeno y b) conductividad eléctrica

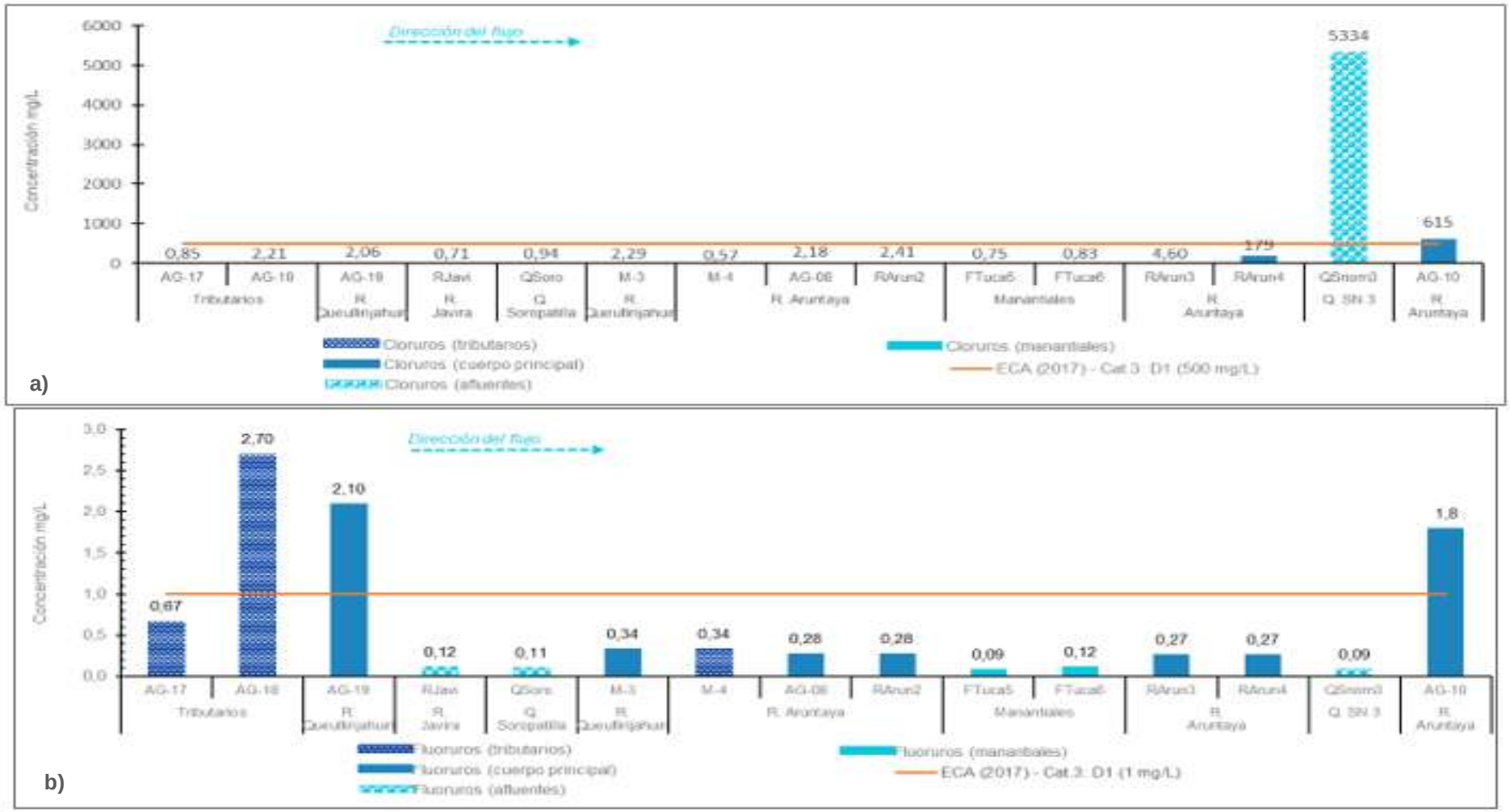


Figura 6.173. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Aruntaya comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cloruros y b) fluoruros

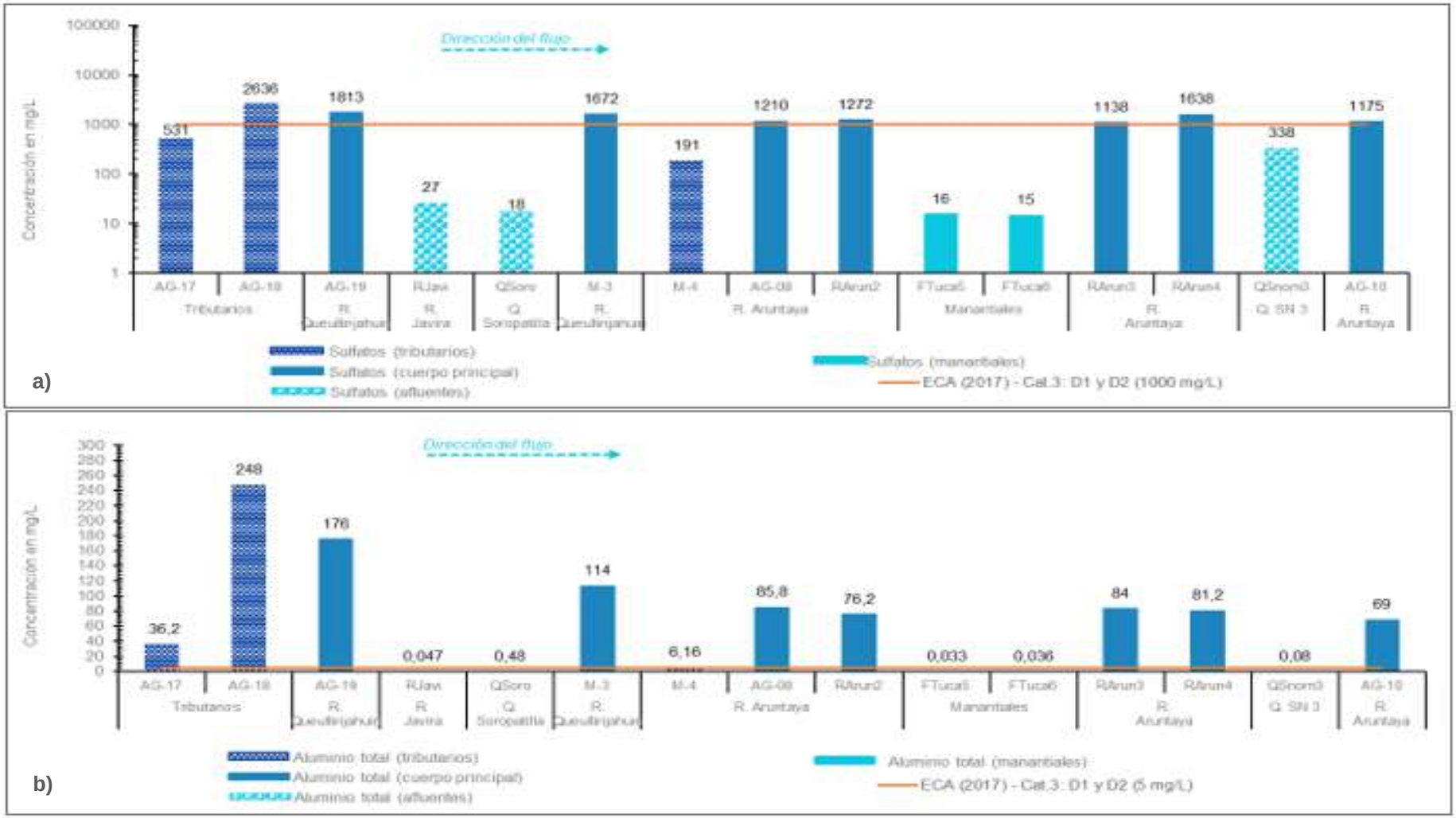


Figura 6.174. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) sulfatos y b) aluminio

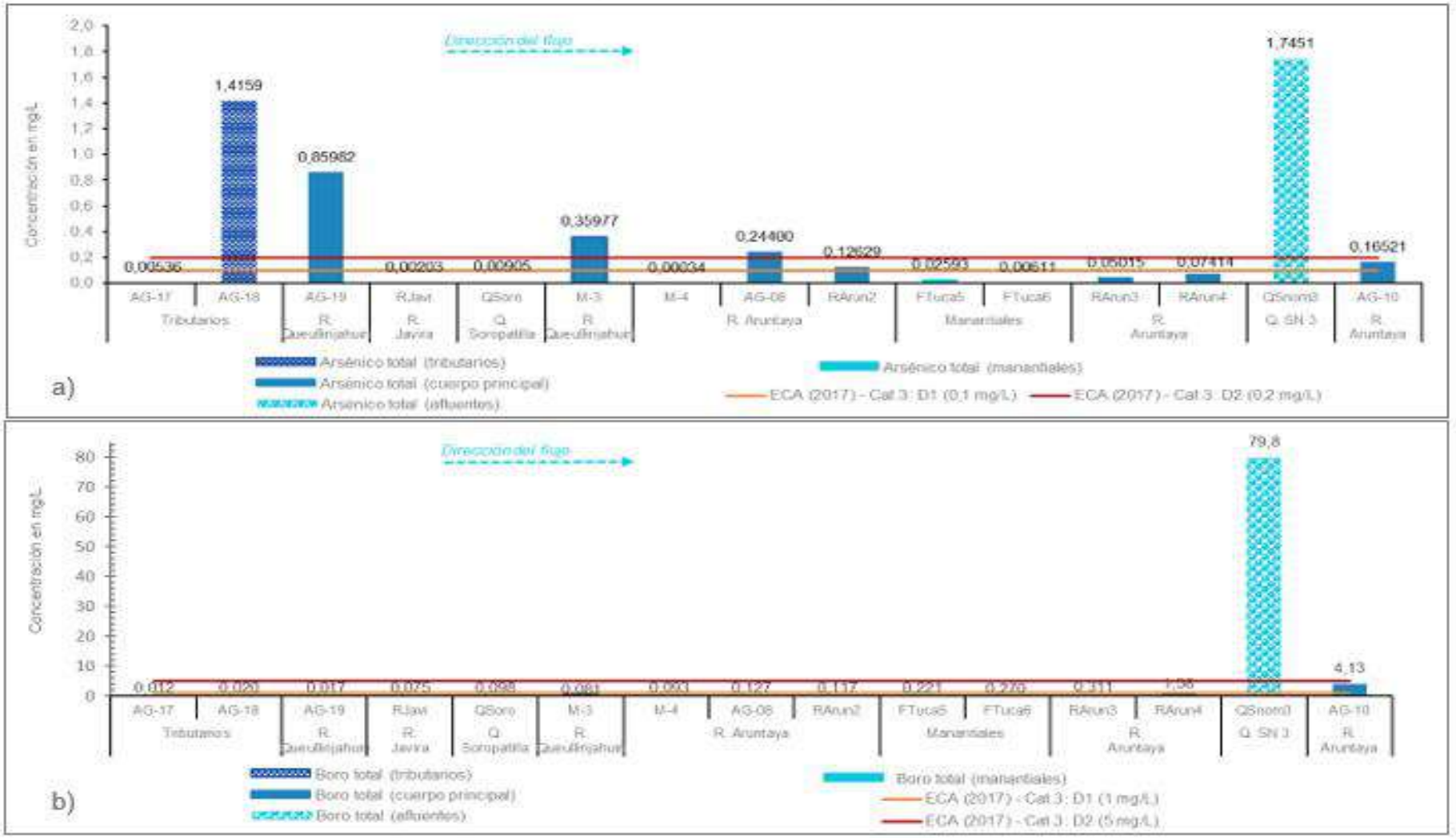


Figura 6.175. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) arsénico y b) Boro

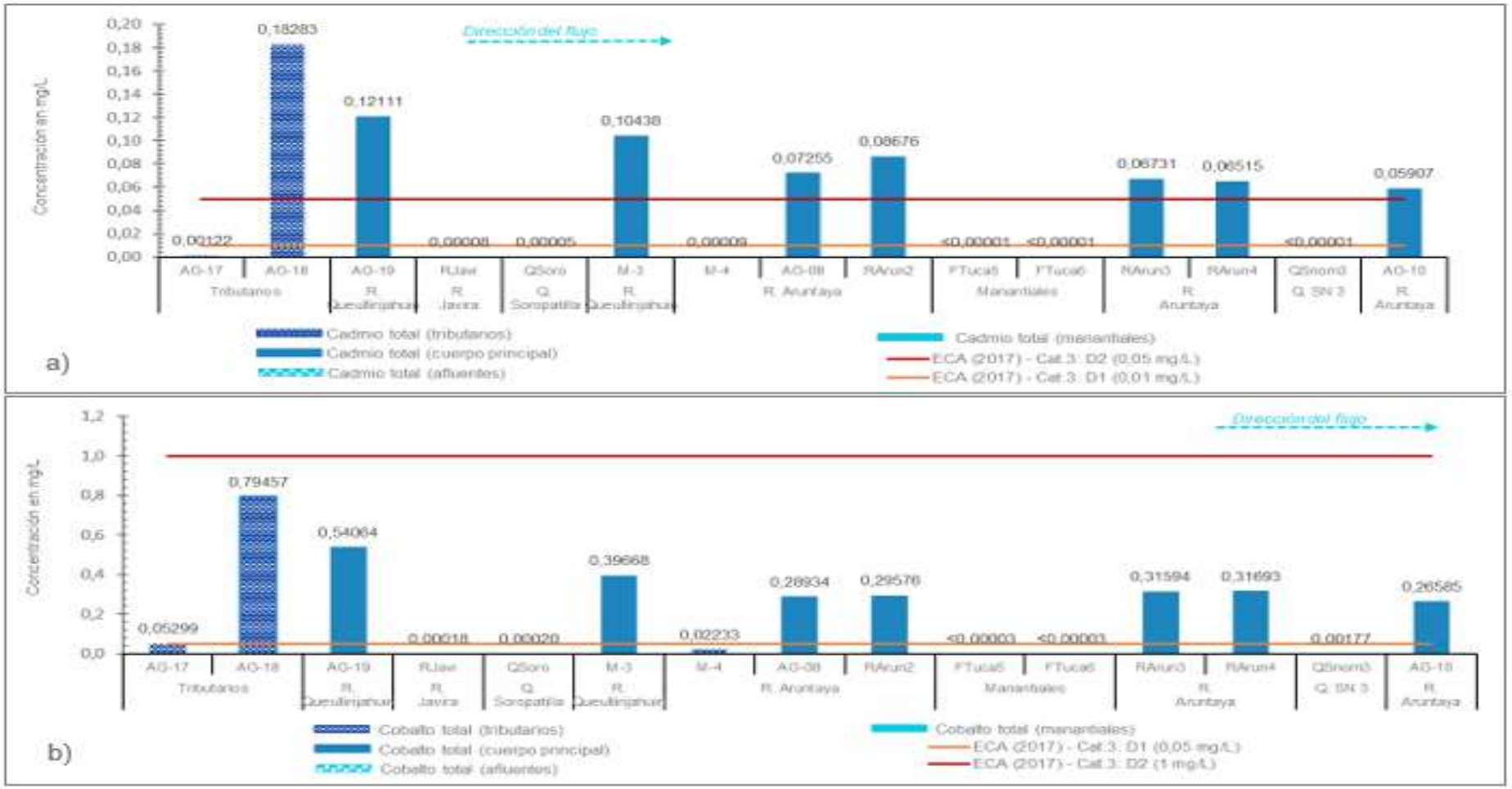


Figura 6.176. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cadmio y b) cobalto

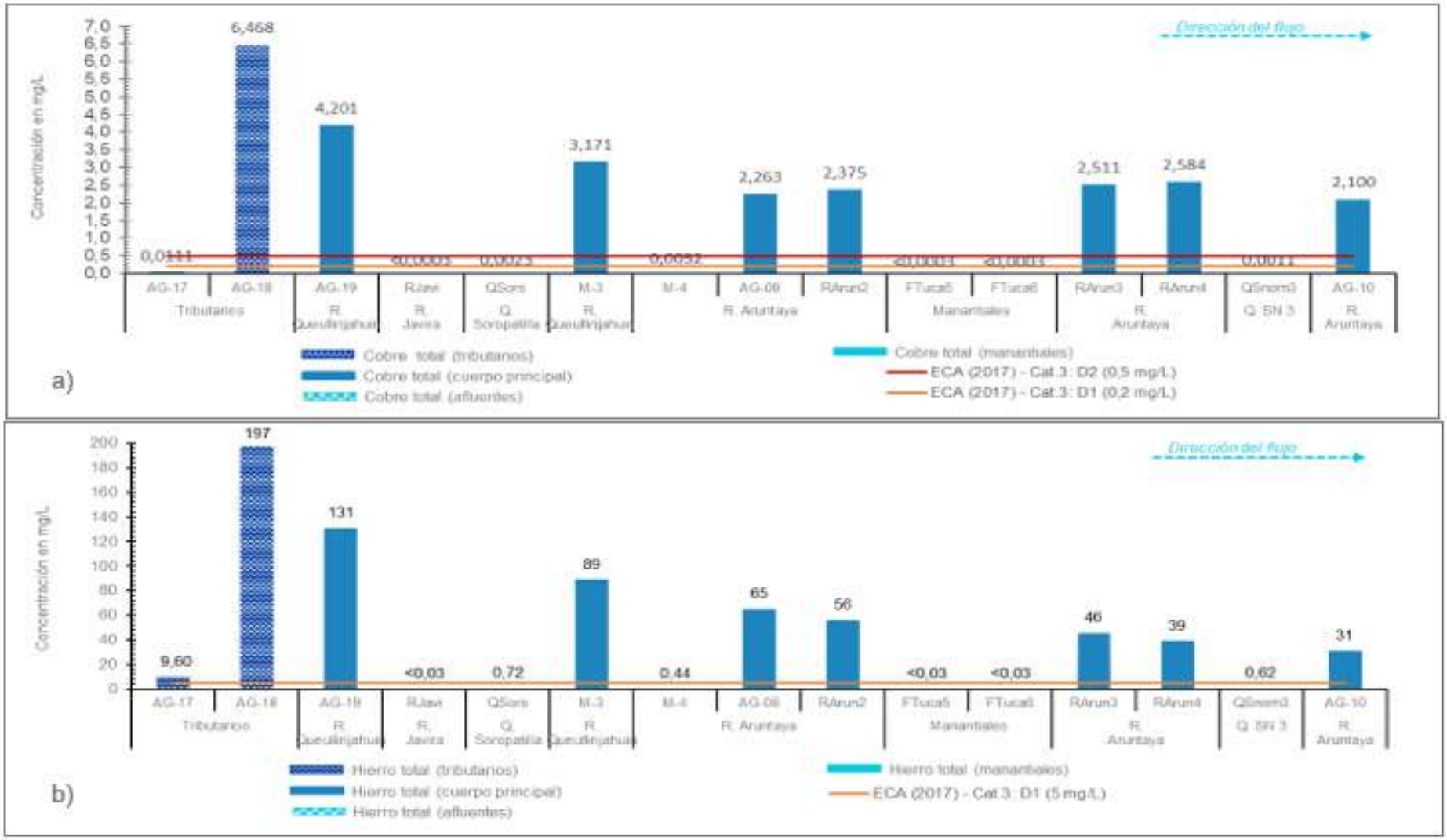


Figura 6.177. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) Cobre y b) Hierro



Figura 6.178. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) litio y b) Manganeso

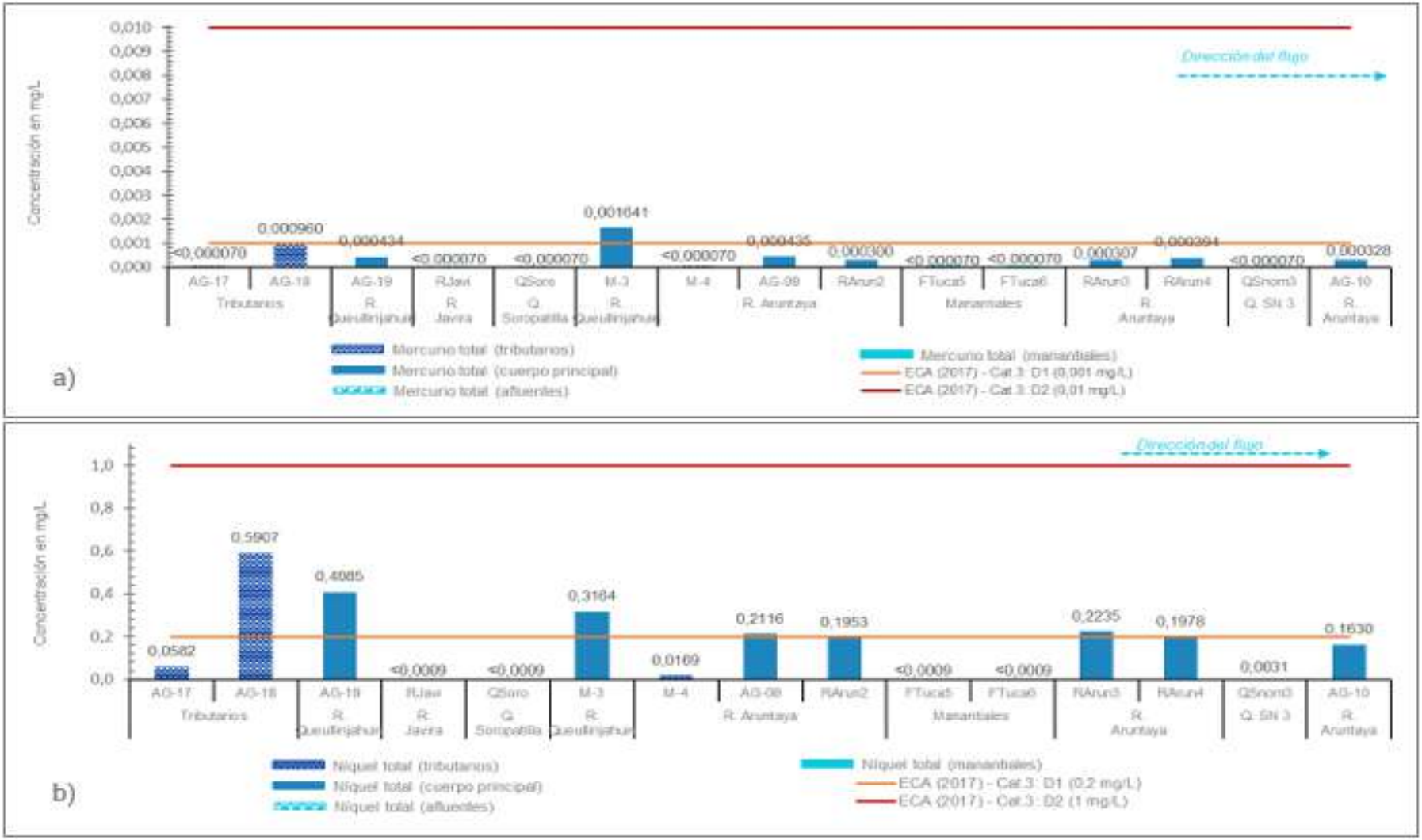


Figura 6.179. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Margaritani – sector Río Margaritani comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) mercurio y d) níquel

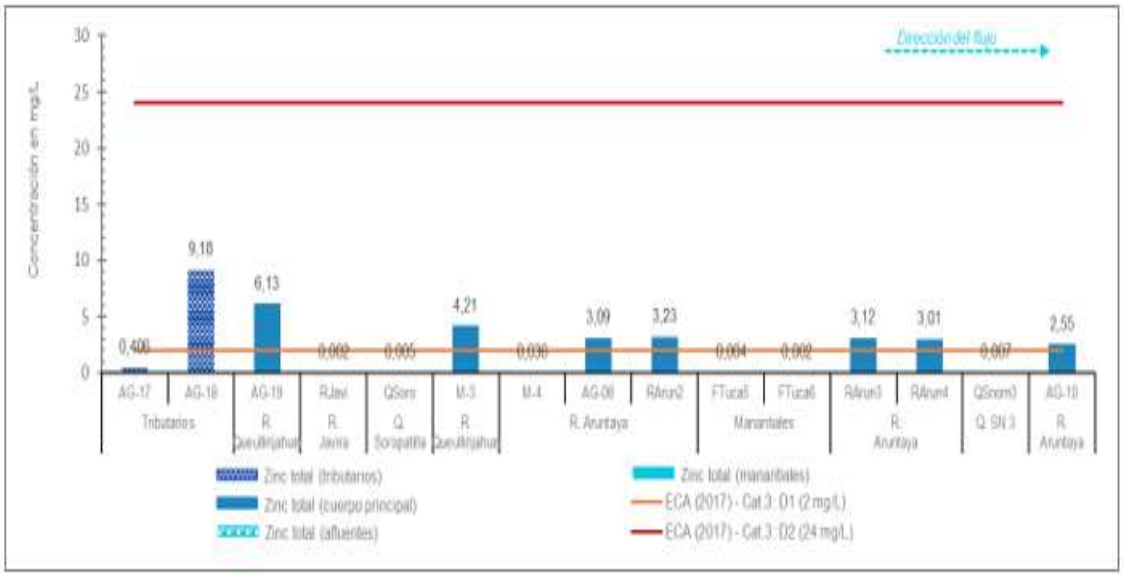


Figura 6.180. Concentraciones de Zinc comparadas con los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2.

6.3.4.2. Sedimento

La zona Aruntaya en la evaluación ambiental de sedimento, abarca los puntos de muestreo ubicados en el río Queullirijahuiri (AG-17, AG-19, M-3), río Aruntaya (AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10), así como los principales tributarios: río Margaritani (AG-18) y la quebrada sin nombre 3 (QSnom3). Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en esta zona se presentan en la Tabla 6.61 y las Figuras 6.181, 6.182, 6.183 y 6.184. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo 3 (reporte de resultados).

Como se observa en la Figura 6.181, los valores de pH obtenidos en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya (puntos AG-17, AG-19, M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10) que forman el cuerpo de agua principal, variaron desde 2,96 hasta 4,22. Asimismo, en los ríos Margaritani (AG-18), Aruntaya (M-4) y la quebrada sin nombre 3 (QSnom3), se encontraron valores de pH de 3,46; 3,01 y 7,25 respectivamente. Estos valores evidencian sedimentos de características ácidas a lo largo del cuerpo de agua principal, en puntos considerados blanco (sin influencia de actividades mineras): AG-17; así como luego de la confluencia con el río Margaritani (AG-18), el cual tendría influencia de las operaciones mineras emplazadas en la zona. Por otra parte, sólo el tributario, quebrada sin nombre 3 (QSnom3) presentó sedimentos de características no ácidas (neutro).

Se encontraron bajos contenidos de materia orgánica en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya (cuerpo de agua principal), y los tributarios Margaritani, Aruntaya y la quebrada sin nombre 3; con valores por debajo del límite de detección del laboratorio (<0,3) hasta 0,9 %. Además, se encontró altas proporciones de partículas finas entre limo y arcilla en los puntos AG-08 y RArun2 (92,34 % y 95,80 %) del río Aruntaya; y en los demás puntos de muestreo del cuerpo de agua principal el contenido de estas partículas en conjunto varió desde 37,70 % a 85,91 %.

En relación con los ríos tributarios Margaritani (AG-18) y Aruntaya (M-4), se encontraron proporciones de limo y arcilla en conjunto de 53,36 % y 23,41 %; mientras que en la quebrada sin nombre 3 (QSnom3) se evidenció una predominancia de arena (92,85 %).
En cuanto a las concentraciones sulfatos, se observa un incremento en el cuerpo de agua principal entre los puntos AG-17 y AG-19, pasando de 3608 mg/kg S a 9666 mg/kg S, luego del aporte del río Margaritani (AG-18), donde se encontró una elevada concentración de este parámetro (15288 mg/kg S). Seguidamente, se obtuvieron altas valores de sulfatos en el cuerpo de agua principal que variaron desde 16680 mg/kg S a 27880 mg/kg S (puntos M-3, AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10); mientras que en los tributarios M-4 y QSnom3, se obtuvieron concentraciones menores, 6890 mg/kg S y 630 mg/kg S respectivamente. Por lo que se evidencia que el principal aportante de sulfatos en los sedimentos del cuerpo de agua principal es el tributario Margaritani (AG-18) el cual tendría influencia de las operaciones mineras emplazadas en la zona.

Tabla 6.61. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Aruntaya

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo										
		AG-17	AG-18	AG-19	M-3	M-4	AG-08	RAun2	RArun3	RArun4	QSnom3	AG-10
		Río Queullirija-huiri	Río Margarita-ni	Río Queullirija-huiri	Río Queullirija-huiri	Río Aruntaya	Río Aruntaya	Río Aruntaya	Río Aruntaya	Río Aruntaya	Quebrada sin nombre 3	Río Aruntaya
pH	Unidades de pH	3,1	3,46	3,39	2,96	3,01	3,01	2,98	3,02	4,13	7,25	4,22
Sulfatos	mg/kg S	3608	15288	9666	20260	6890	20860	26080	16680	24940	630	27880
Materia orgánica	%	<0,3	<0,3	0,5	<0,3	0,9	0,6	0,4	<0,3	0,9	0,8	<0,3
Grava	%	0	0	3,38	1,78	13,14	0	0	0	0	0	0
Arcilla	%	8,17	11,79	8,71	13,72	4,67	20,46	21,12	10,7	19,45	1,39	16,55
Limo	%	29,53	41,57	30,16	47,36	15,66	71,88	74,68	36,64	66,46	5,57	58,13
Arena	%	62,28	46,66	57,76	37,1	66,55	7,67	4,2	52,65	14,07	92,85	25,29
Clase textural	-	Franco arenoso	Marga	Franco arenoso	Franco limoso	Arena arcillosa	Franco limoso	Franco limoso	Marga	Franco limoso	Arena	Franco limoso
Fe	mg/kg PS	39038	75691	61326	119986	106339	131146	168158	105412	202222	11360	195507
Cu	mg/kg PS	19	123	115	123	29	109	165	82	328	11	219
Pb	mg/kg PS	33	151	105	123	15,8	127	205	89,9	157	10,3	82
Zn	mg/kg PS	30	50	43	65	27	62	79	59	92	28	112
Cd	mg/kg PS	0,03094	0,4552	0,23688	0,39161	0,07357	0,37121	0,69744	0,40039	0,67257	0,11124	1,0836
Co	mg/kg PS	3,534	5,199	4,365	6,235	3,62	5,502	8,593	5,496	8,097	4,794	9,627
Cr	mg/kg PS	3,114	2,939	2,646	11,3	10,6	11,1	14,8	12,3	18,7	4,897	21,9
Ni	mg/kg PS	3,28	6,67	6,19	9,04	4,97	8,88	12,7	7,05	11,3	3,1	14,5
Hg	mg/kg PS	0,078	1,05	0,56	1,7	0,035	2,19	4,96	1,66	5,5	0,062	5,25
As	mg/kg PS	84	928	597	1344	52	1312	1912	1026	2489	142	2720
Sb	mg/kg PS	0,0737	1,746	0,62	1,614	0,1239	1,312	1,948	1,291	2,311	0,249	3,036
Al	mg/kg PS	17359	13974	13547	11778	25261	10742	13770	10907	17611	7031	14935
Mn	mg/kg PS	90,2	76,9	68,2	67,8	95,5	61	106	90,8	111	700	144
Ca	mg/kg PS	694,3	1872	1304	906,1	1319	651,5	1128	1646	4302	8746	3110
Na	mg/kg PS	142	405	205	382	291	356	562	530	16773	6149	7334
K	mg/kg PS	2817	3975	3072	4712	1108	4461	5111	3674	4923	2439	3185
Mg	mg/kg PS	1394	1343	1104	968	1118	871	973	980	1519	1897	1188
Ba	mg/kg PS	377,7	409,8	428,2	343,2	104,2	314,7	321,9	409,8	301,2	131	209,4

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C, ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C

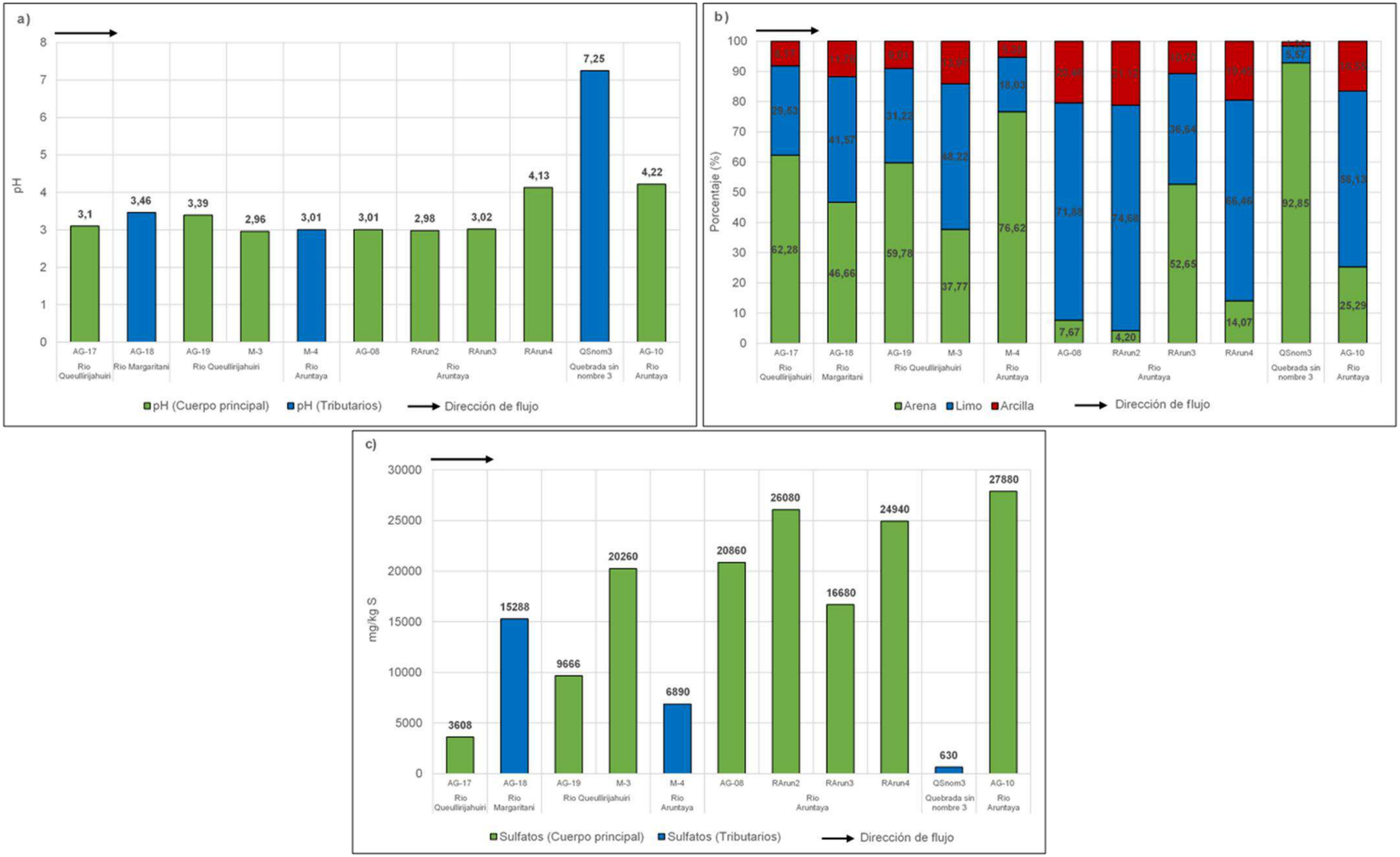


Figura 6.181. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Aruntaya

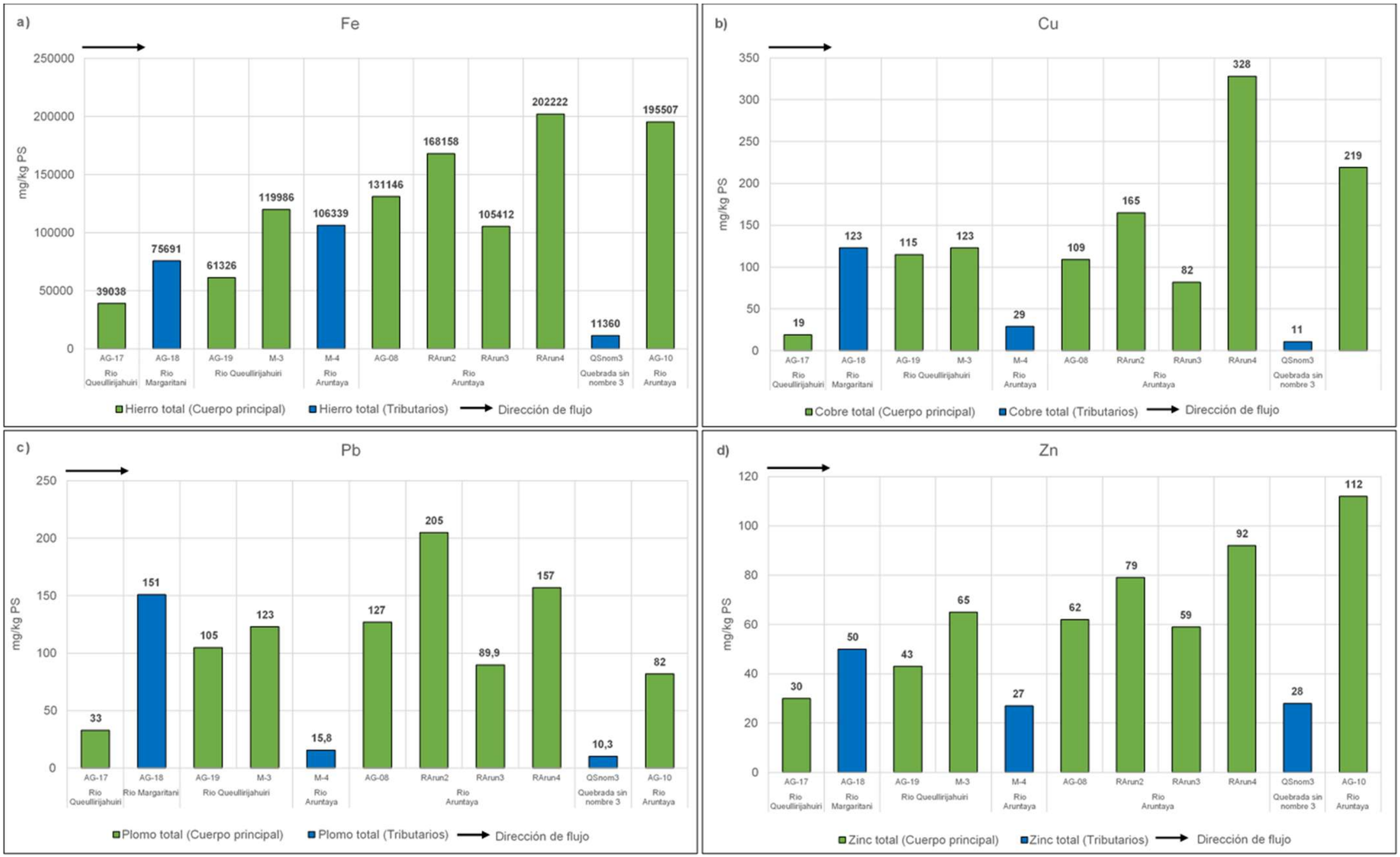
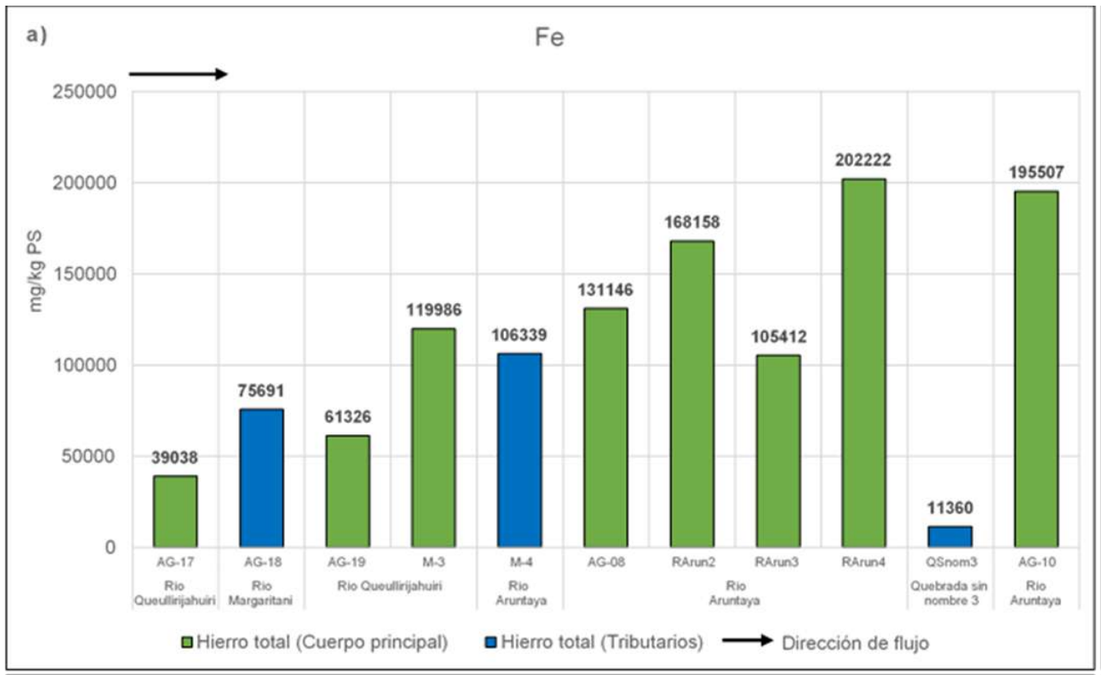
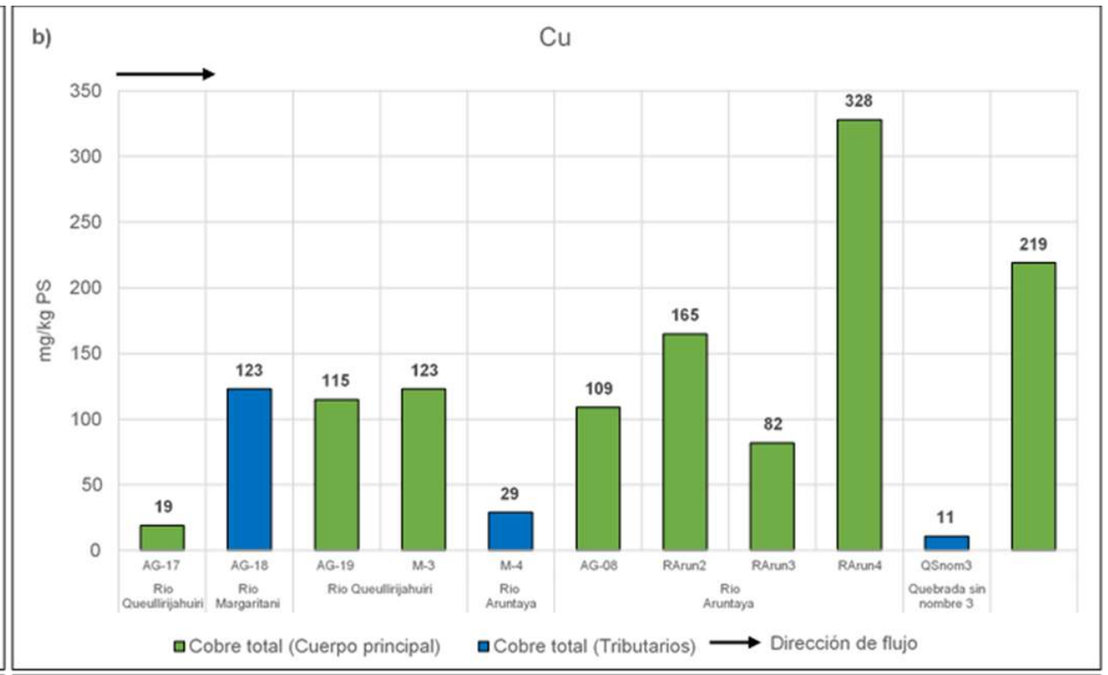
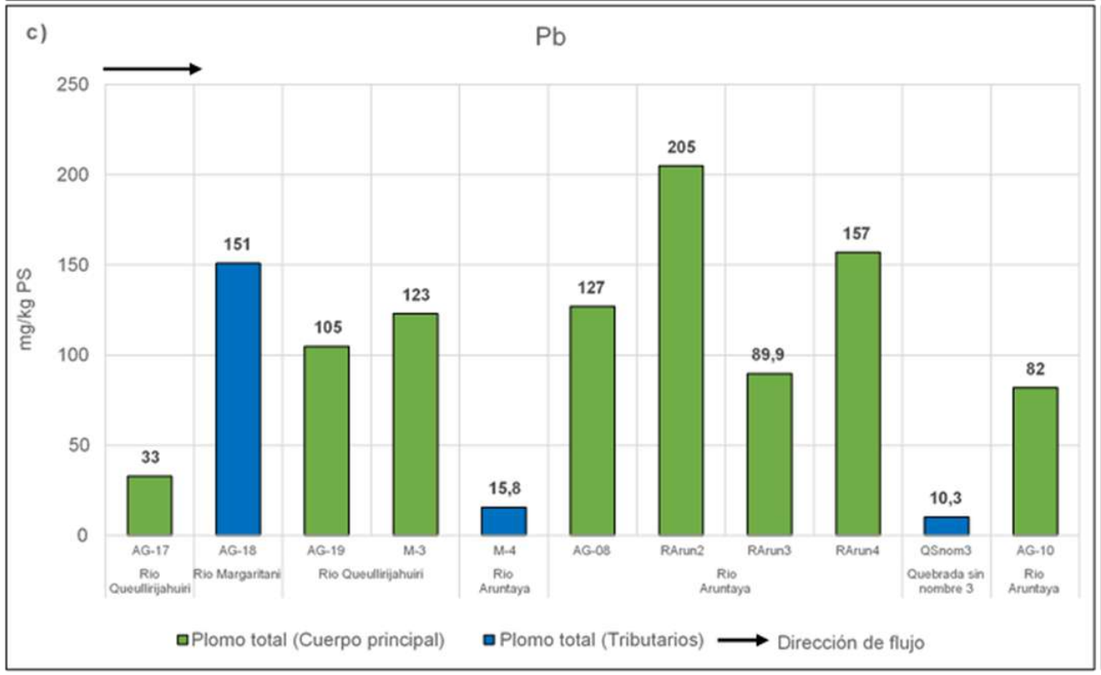


Figura 6.182. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** zinc en la zona Aruntaya







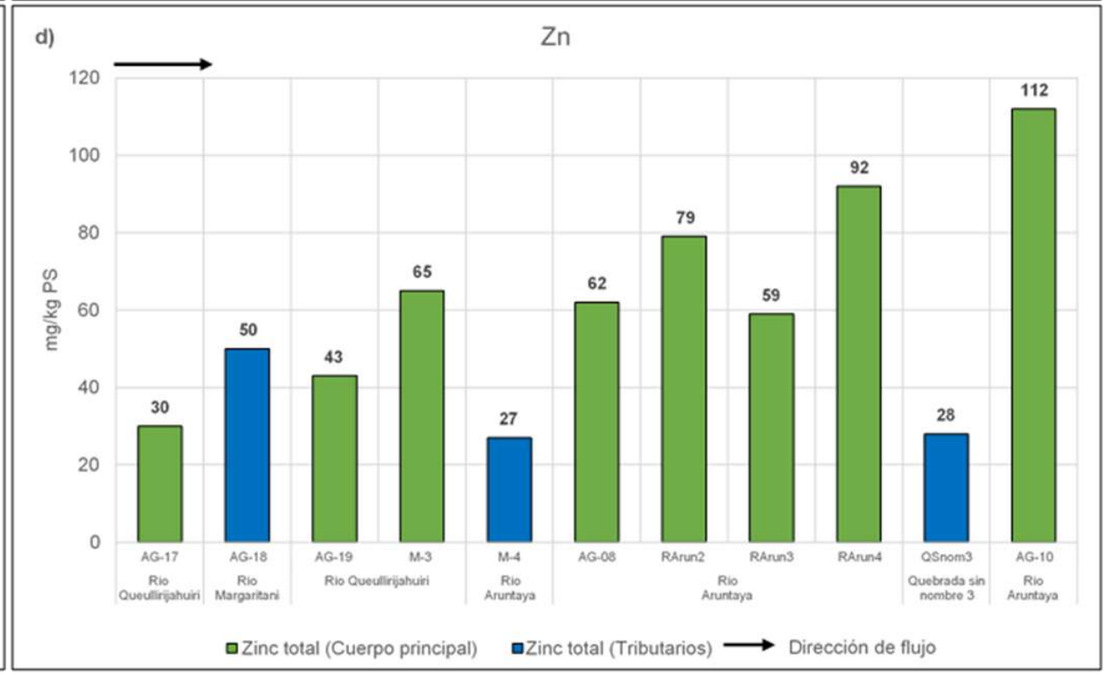


Figura 6.183. Concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobalto, **c)** cromo y **d)** Ni en la zona Aruntaya

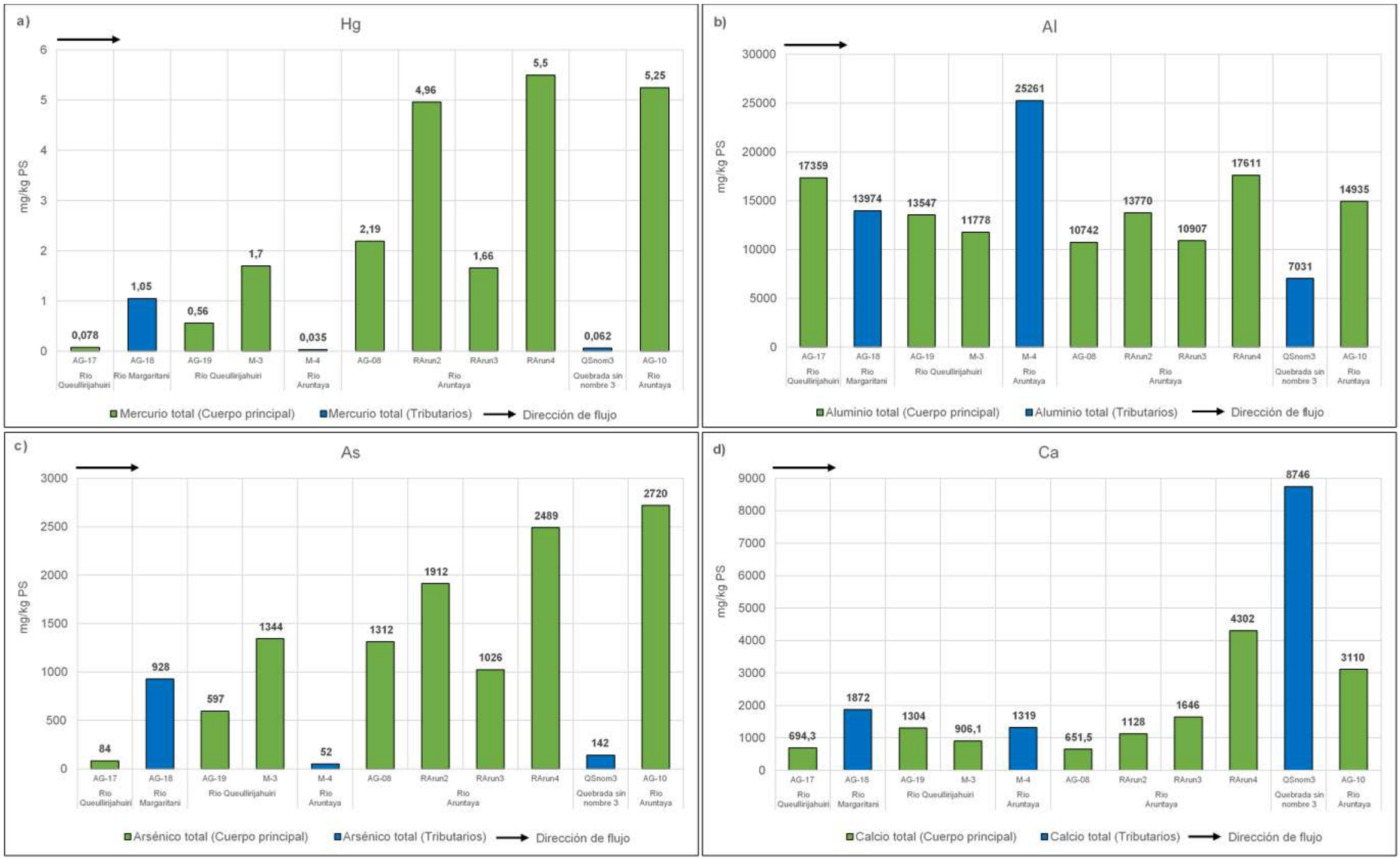


Figura 6.184. Concentraciones de **a)** mercurio, **b)** aluminio, **c)** arsénico y **d)** calcio en la zonaAruntaya

Asimismo, se observa un incremento en las concentraciones de hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, níquel, mercurio, arsénico y calcio en el cuerpo de agua principal entre los puntos AG-17 y AG-19, pasando de 39038 a 61326 mg/kg PS; 19 a 115 mg/kg PS; 33 a 105 mg/kg PS; 30 a 43 mg/kg PS; 0,03094 a 0,23688 mg/kg PS; 3,28 a 6,19 mg/kg PS; 0,078 a 0,56 mg/kg PS; 84 a 597 mg/kg PS; 694,3 a 1304 mg/kg PS, respectivamente, luego del aporte del río Margaritani (AG-18) donde se encontró elevadas concentraciones de estos elementos (75691 mg/kg PS; 123 mg/kg PS; 151 mg/kg PS; 50 mg/kg PS; 0,4552 mg/kg PS; 6,67 mg/kg PS; 1,07 mg/kg PS; 928 mg/kg PS y 1872 mg/kg PS respectivamente, para los elementos mencionados).

Luego se encontraron concentraciones variables y altas de hierro (105412 a 202222 mg/kg PS), cobre (82 a 328 mg/kg PS), plomo (82 a 205 mg/kg PS), zinc (59 a 112 mg/kg PS), cadmio (0,37121 a 1,0836 mg/kg PS), níquel (7,05 a 14,5 mg/kg PS), mercurio (1,66 a 5,5 mg/kg PS), arsénico (1026 a 2720 mg/kg PS) y calcio (651,5 a 4302 mg/kg PS) en el cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya); mientras que los tributarios M-4 y QSnom3 se obtuvieron concentraciones bajas, a excepción del valores de hierro en el punto M-4 (106339 mg/kg PS). Por lo que se evidencia que el principal aportante de estos elementos en los sedimentos del cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya), es el tributario Margaritani (AG-18) el cual tendría influencia de las operaciones mineras emplazadas en la zona.

Se observó un comportamiento similar en las concentraciones de cobalto y cromo que incrementan a lo largo del cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya) desde el punto AG-17 (3,534 y 3,114 mg/kg PS para cobalto y cromo respectivamente) al punto AG-10 (9,627 y 21,9 mg/kg PS); mientras que en los tributarios se obtuvieron concentraciones de cobalto de 5,199 mg/kg (AG-18); 3,62 mg/kg PS (M-4) y 4,794 mg/kg PS (QSnom3); así como concentraciones de cromo de 2,939 mg/kg (AG-18), 10,6 mg/kg PS (M-4) y 4,897 mg/kg PS (QSnom3).

En cuanto al aluminio, se observó un comportamiento diferente al de otros elementos en el cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya), encontrándose que las concentraciones disminuyen desde el punto AG-17 (17359 mg/kg PS) al punto AG-10 (14935 mg/kg PS); mientras que en los tributarios Margaritani (AG-18) y la quebrada sin nombre 3 (QSnom3) se encontraron valores de 13974 mg/kg PS y 7031 mg/kg PS; y una alta concentración de aluminio de 25261 mg/kg PS en el tributario Aruntaya (M-4), convirtiéndose en una fuente importante de aporte de este elemento al cuerpo de agua principal.

Concentraciones de metales que excedieron los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.62, se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en la zona Aruntaya, comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Tabla 6.62. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Aruntaya comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
AG-19	Río Queulliri-jahuiri	597	0,23688	115	2,646	0,56	105	43
M-3	Río Queulliri-jahuiri	1344	0,39161	123	11,3	1,7	123	65
AG-08	Río Aruntaya	1312	0,37121	109	11,1	2,19	127	62
RArun2	Río Aruntaya	1912	0,69744	165	14,8	4,96	205	79
RArun3	Río Aruntaya	1026	0,40039	82	12,3	1,66	89,9	59
RArun4	Río Aruntaya	2489	0,67257	328	18,7	5,5	157	92
QSnom3	Quebrada sin nombre 3	142	0,11124	11	4,897	0,062	10,3	28
AG-10	Río Aruntaya	2720	1,0836	219	21,9	5,25	82	112
CEQG[(a)]	ISQG [(b)]	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL[(c)]	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*
(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos
(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

Como se observa en la Tabla 6.62, las concentraciones de arsénico y mercurio en todos los puntos de muestreo del cuerpo principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya) desde el AG-19 al AG-10, excedieron el valor PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG. De manera similar las concentraciones de plomo superaron el valor PEL en los puntos M-3; AG-08; RArun2 y RArun4, así como el valor ISQG en los puntos RArun3 y AG-10.

En cuanto al cobre, las concentraciones de este metal excedieron el valor ISQG de la guía de comparación mencionada, desde el punto AG-19 al RArun3 en el cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya); y el valor PEL para los puntos RArun4 y AG-10. Además, se registraron concentraciones de cadmio en los puntos RArun2, RArun4 y AG-10 que superaron el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Por último, en el tributario quebrada sin nombre 3 (QSnom3) sólo la concentración de arsénico excedió el valor PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Extracción secuencial de metales en sedimento

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en la Tabla 6.63 y las Figura 6.185 y 6.186. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo de la zona Aruntaya.

Tabla 6.63. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Aruntaya

Fracciones	Cd (mg/kg)				Co (mg/kg)				Cu (mg/kg)				Ni (Ni)				Pb (mg/kg)				Zn (mg/kg)				Fe (mg/kg)				Mn (mg/kg)			
	AG-19	M-3	AG-08	AG-10	AG-19	M-3	AG-08	AG-10	AG-19	M-3	AG-08	AG-10	AG-19	M-3	AG-08	AG-10	AG-19	M-3	AG-08	AG-10	AG-19	M-3	AG-08	AG-10	AG-19	M-3	AG-08	AG-10	AG-19	M-3	AG-08	AG-10
F1	0,14	0,132	0,183	0,501	0,9	0,72	0,93	2,15	41,46	18,46	19,41	38,07	0,84	1,22	1,57	2,32	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	11,7	10,4	13,6	36,5	13049	246,5	410,8	241,4	13,79	10,31	12,42	50,97
F2	< 0,050	0,067	0,088	0,137	0,21	0,482	0,561	1,074	4,21	10,39	10,37	27,28	< 0,50	0,59	0,69	1,07	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 5,0	< 5,0	5,5	11,9	5157	365,2	562,5	145,3	4,7	4,9	5,2	16,4
F3	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,238	0,775	0,857	0,566	0,81	1,973	2,354	20,57	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,00	1473	1776	2408	2096	2,21	< 0,50	3,46	1,2
F4	< 0,050	< 0,050	0,079	0,184	0,236	0,966	0,939	1,612	7,55	14,9	13,95	88,53	< 0,50	1,51	1,84	3,5	1,17	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 5,00	6,97	7,87	14,88	6006	29894	30952	47761	9,93	7,39	9,02	6,51
F5	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,685	1,193	1,894	0,37	13,84	8,431	16,67	4,379	0,72	< 0,50	1,4	< 0,50	27,11	< 0,50	< 0,50	< 0,50	6,98	< 5,00	10,92	< 5,00	12005	8148	38334	2981	10,32	2,2	6,14	< 0,50
F6	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,656	1,948	2,044	0,642	5,21	33,81	47,97	8,79	0,86	2,11	2,71	0,63	19,6	90,01	156	14,13	6,13	19,79	22,34	5,76	4986	31154	36125	12992	8,1	28,5	29,5	9,1
Suma de fracciones	0,14	0,199	0,35	0,822	2,925	6,084	7,225	6,414	73,08	87,964	110,724	187,619	2,42	5,43	8,21	7,52	47,88	90,01	156	14,13	24,81	37,16	60,23	69,04	42676	71583,7	108792,3	66216,7	49,05	53,3	65,74	84,18

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).
F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.
<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.

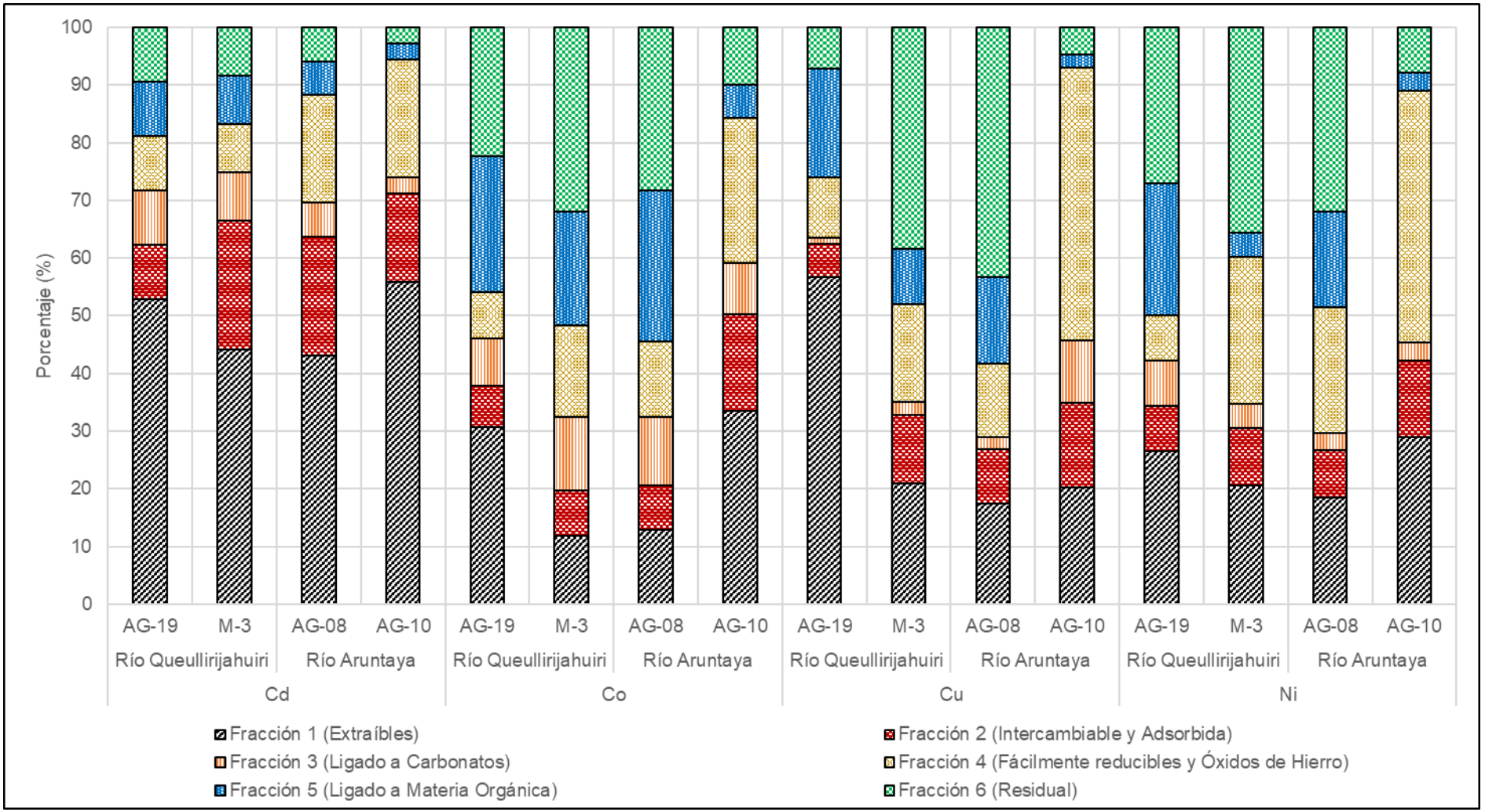


Figura 6.185. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Aruntaya

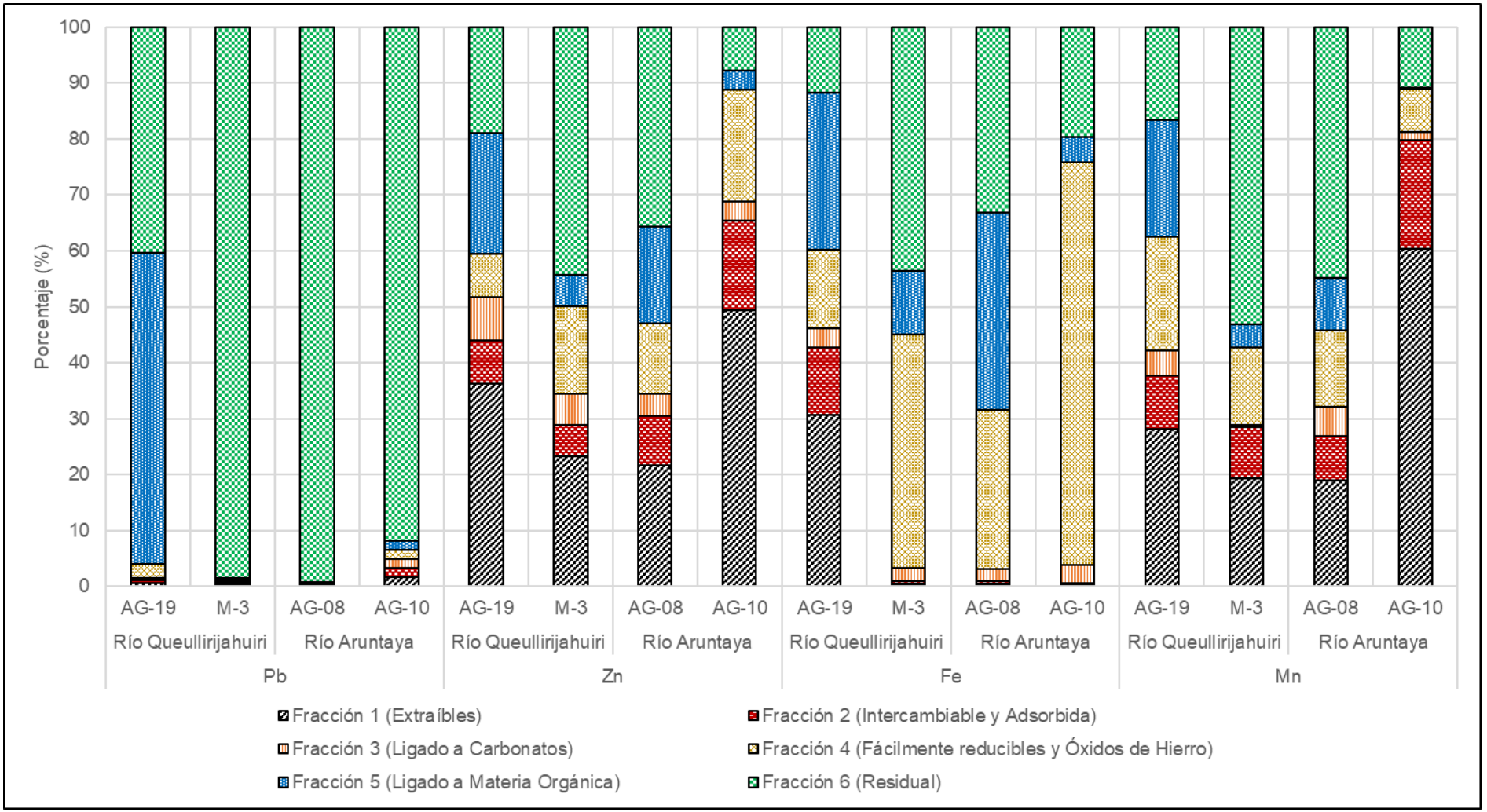


Figura 6.186. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Aruntaya

En las Figuras 6.185y 6.186, se observa que los porcentajes encontrados en las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual) representan desde 7,01 % a 68,44 % para los metales cobalto, cobre, níquel, zinc, hierro y manganeso en el cuerpo de agua principal (río Queullirijahuiri y Aruntaya). Además, se obtuvieron altas proporciones para el plomo con porcentajes en conjunto desde 93,549 % a 99,36 % en las fracciones 5 y 6, lo que indica la presencia de estos metales enlazados a minerales primarios y secundarios; los cuales no se liberarían en solución durante un periodo de tiempo amplio en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza. Asimismo, el contenido de metales en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya representados en la fracción 5, se liberaría hacia la columna de agua en condiciones oxidantes, donde la materia orgánica tiende a degradarse.

En cuanto a la fracción 4 (fácilmente reducible y óxidos de hierro) se encontraron proporciones de cobalto, cobre, hierro y manganeso en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya que variaron desde 7,71 % a 72,12 %; así como porcentajes de níquel y zinc en los puntos M-3, AG-08 y AG-10 en el rango entre 12,54 % a 43,64 %. La generación de condiciones anóxicas en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de estos mentales, puesto que los óxidos de hierro y manganeso a los cuales están unidos son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

Además, se registraron bajas proporciones en la fracción 3 (ligados a carbonatos) para el cobalto, cobre, hierro y manganeso en el cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya); con porcentajes desde 0,46 % a 12,73 %. Los metales unidos a esta fracción son susceptibles a cambios de pH en el sistema, lo que ocasionaría que el contenido de metales en el sedimento sea liberado; considerando que se encontraron pH ácidos en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, y altas concentraciones de metales como hierro representadas en esta fracción (1473 a 2408 mg/kg).

Finalmente, se obtuvieron porcentajes variables en la fracción 1 para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, zinc, hierro y manganeso desde 0,34 % a 60,36 % en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya. El contenido de metales representado en esta fracción puede liberarse desde los sedimentos hacia la columna de agua, por cambios en la composición iónica del agua que afectan los procesos de sorción – desorción.

Índice de geoacumulación

En las Figuras 6.187, 6.188 y 6.189 se presentan los índices de geoacumulación para los metales hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel mercurio, aluminio y calcio calculados para las muestras de sedimento de la zona Aruntaya.

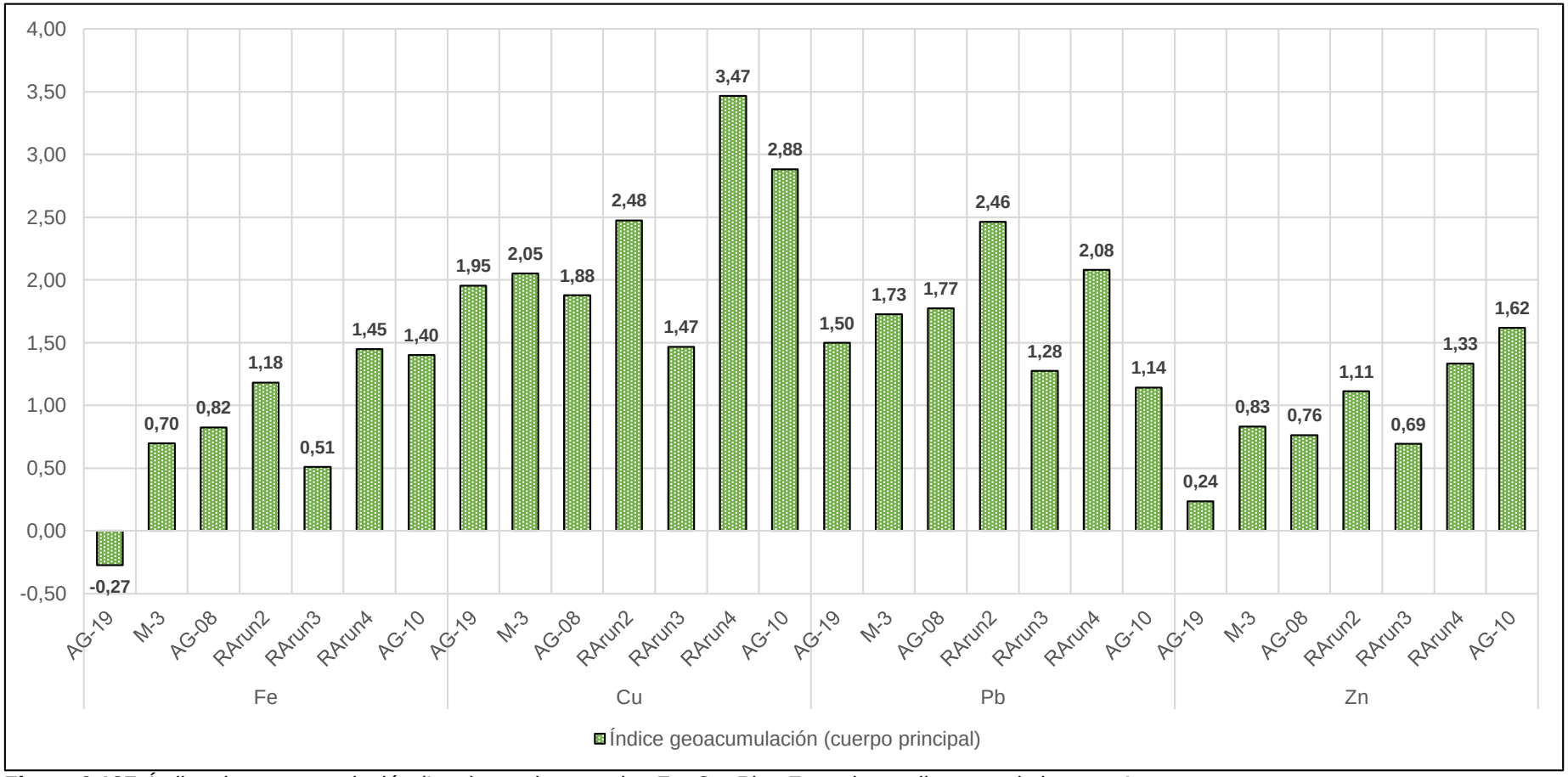


Figura 6.187. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Aruntaya

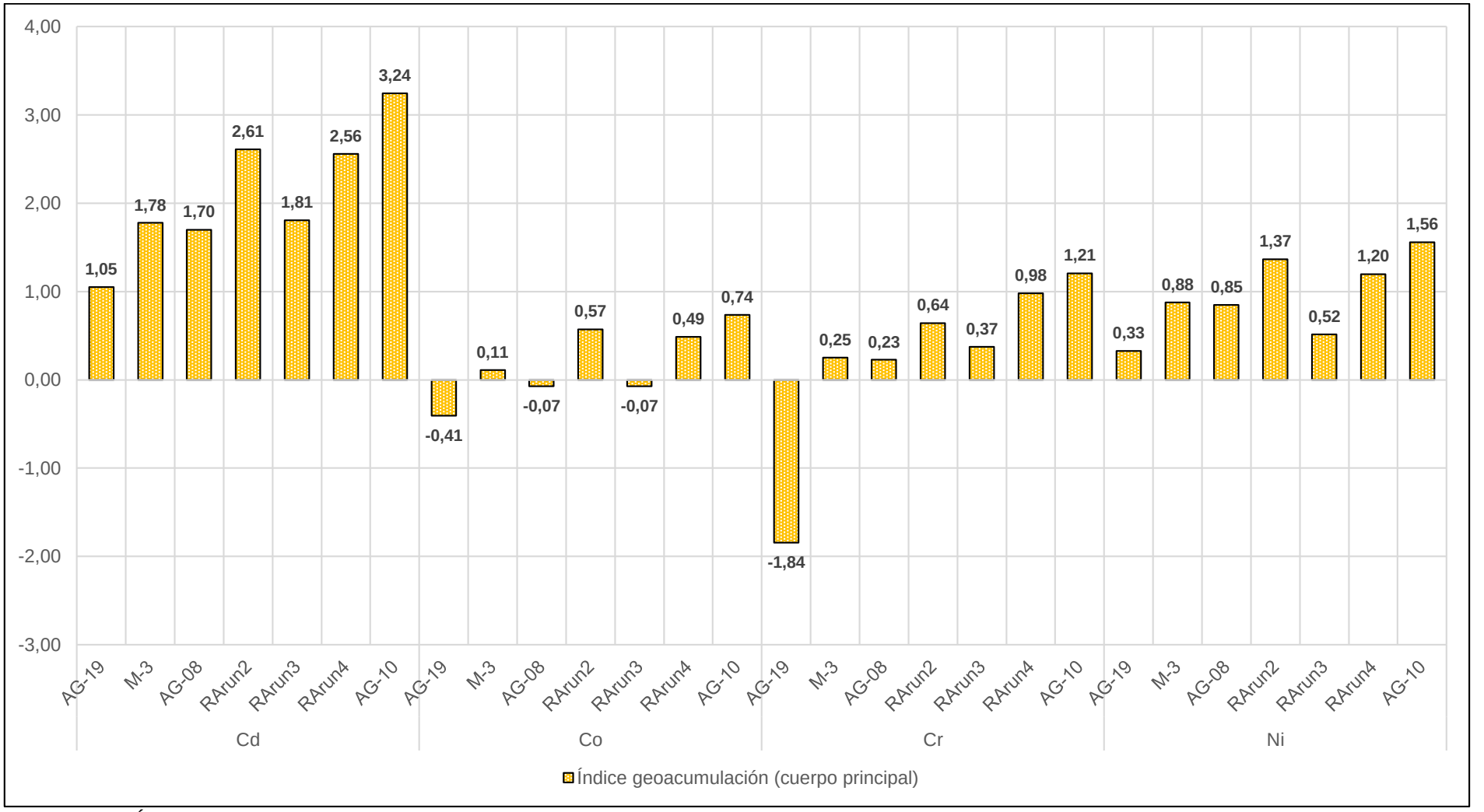


Figura 6.188. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Aruntaya

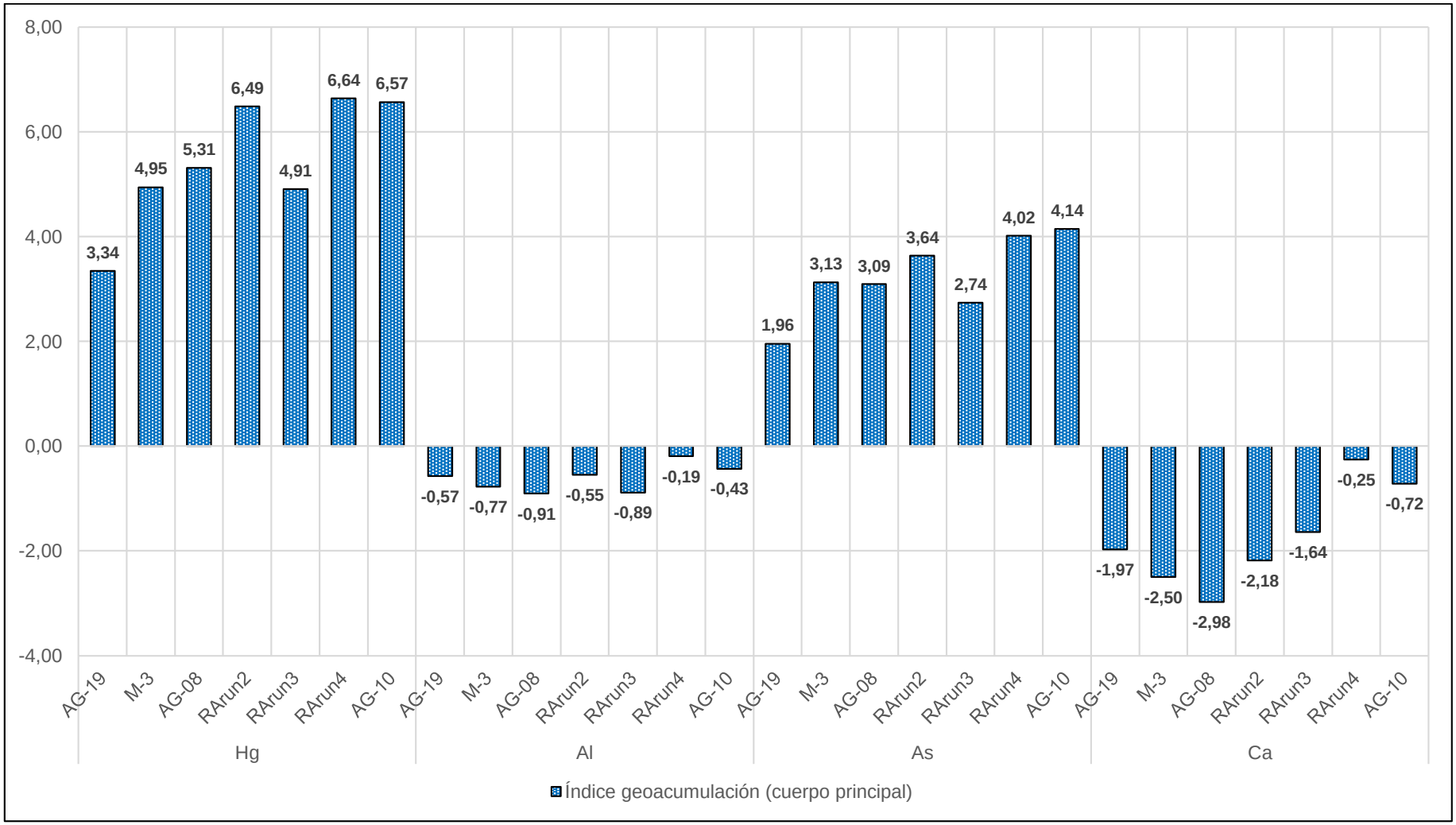


Figura 6.189. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, Al, As y Ca en los sedimentos de la zona Aruntaya

Según los resultados presentados, la calidad de sedimentos fue clasificado desde «no contaminado» a «no contaminado a moderadamente contaminado» por hierro en el cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya). Asimismo, los sedimentos fueron catalogados desde «moderadamente contaminado» a «moderadamente a fuertemente contaminado» en base al contenido de cobre y plomo.

En base a las concentraciones de zinc y níquel, los sedimentos fueron clasificados desde «no contaminado a moderadamente contaminado» hasta «moderadamente contaminado», desde el punto AG-19 al AG -10 del cuerpo de agua principal. De manera similar, se tuvo sedimentos desde «no contaminado» a «no contaminado a moderadamente contaminado» por cobalto y cromo; así como «moderadamente contaminado» en el punto AG-10 (río Aruntaya) en base a este último metal (cromo).

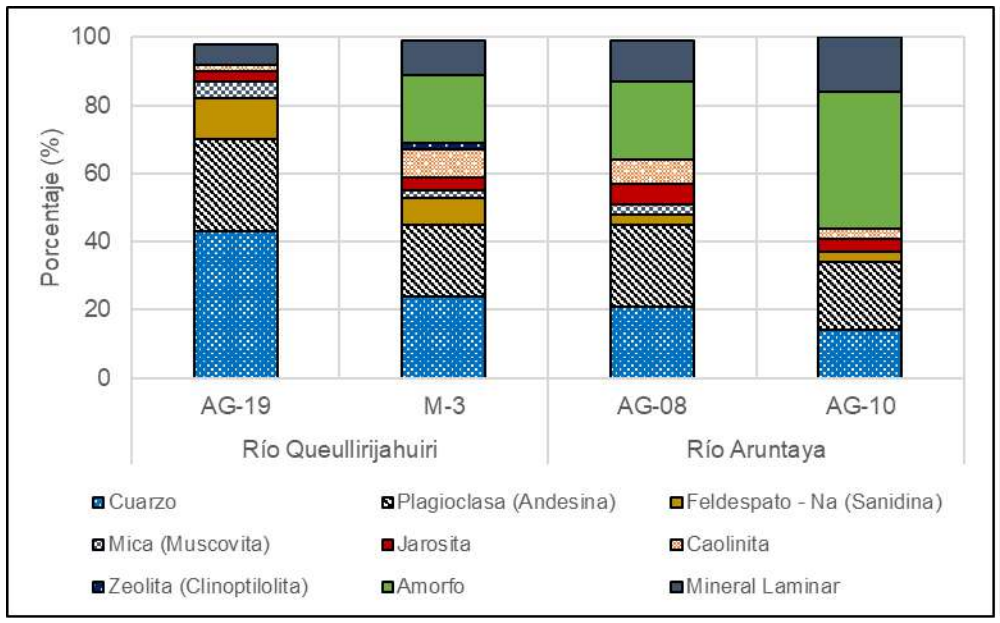
En el caso del cadmio, los sedimentos del cuerpo principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya) fueron clasificados desde «moderadamente contaminado» a «fuertemente contaminado»; además, debido a las altas concentraciones de mercurio, los sedimentos fueron clasificados desde «fuertemente contaminado» a «extremadamente contaminado».

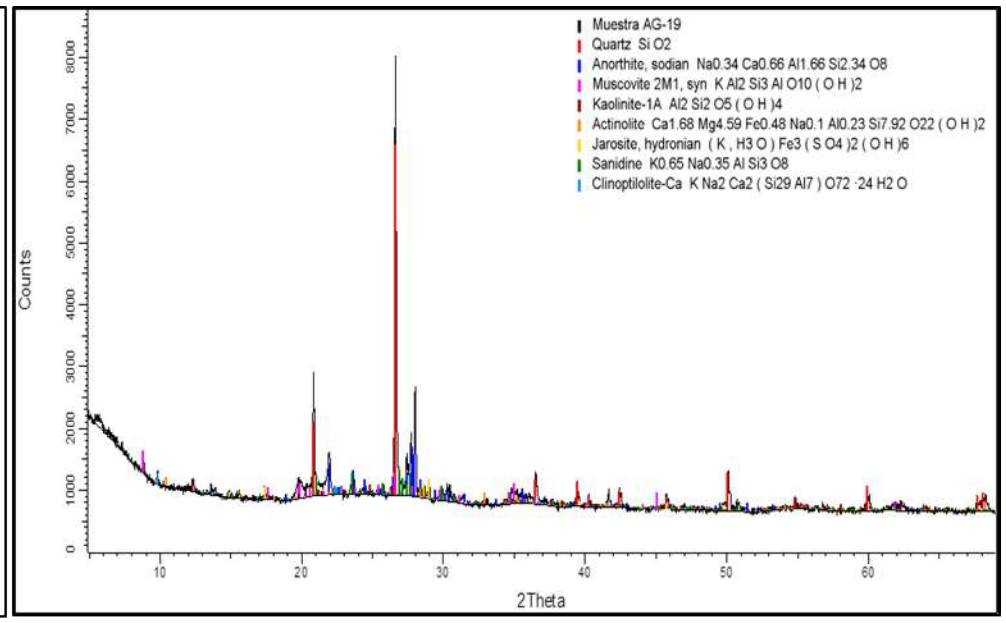
Finalmente, en base al índice de geoacumulación los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya fueron catalogados desde «moderadamente contaminado» a «fuerte a extremadamente contaminado» por arsénico; mientras que en base al contenido de aluminio y calcio fueron clasificados como «no contaminados».

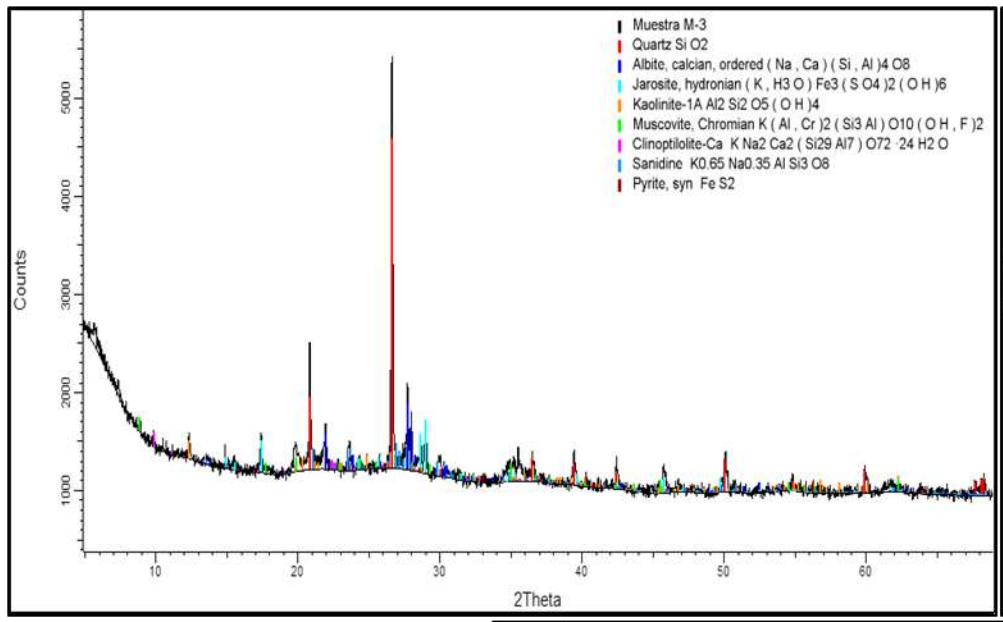
Análisis mineralógico (difracción de rayos X)

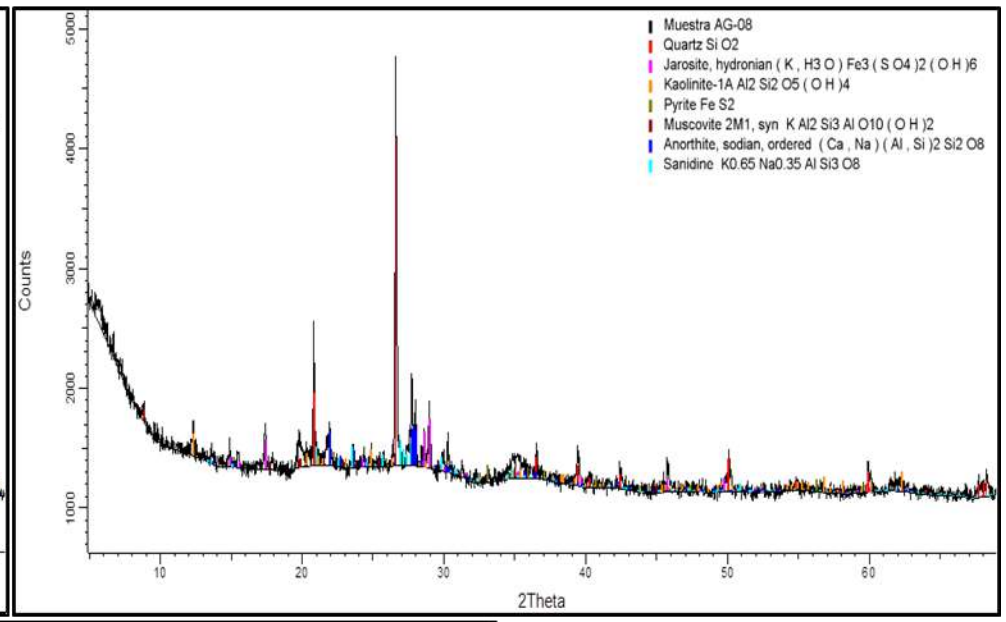
El análisis mineralógico por difracción de rayos X de los sedimentos de la zona Aruntaya se presentan en la Figura 6.190. La composición mineralógica de los sedimentos de los puntos AG-19 y M-3 del río Queullirijahuiri; así como de los puntos AG-08 y AG-10 del río Aruntaya consistió principalmente de minerales como cuarzo, plagioclasas y feldespatos que en conjunto representan 82%, 53 %, 48 % y 37 % para los puntos AG-19, M-3, AG-08 y AG-10, respectivamente.

También se encontraron proporciones de jarosita (fase de sulfatos) de 3 %, 4 %, 6 % y 4 % para los puntos AG-19, M-3, AG-08 y AG-10, a lo largo del cuerpo de agua principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya). La jarosita es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH <3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards *et al*., 1999; Smith *et al*., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya. Además, este mineral sólo fue identificado en los sedimentos de los cuerpos de agua de los sectores Margaritani y Apostoloni, los cuales tendrían influencia de las operaciones mineras emplazadas en la zona.









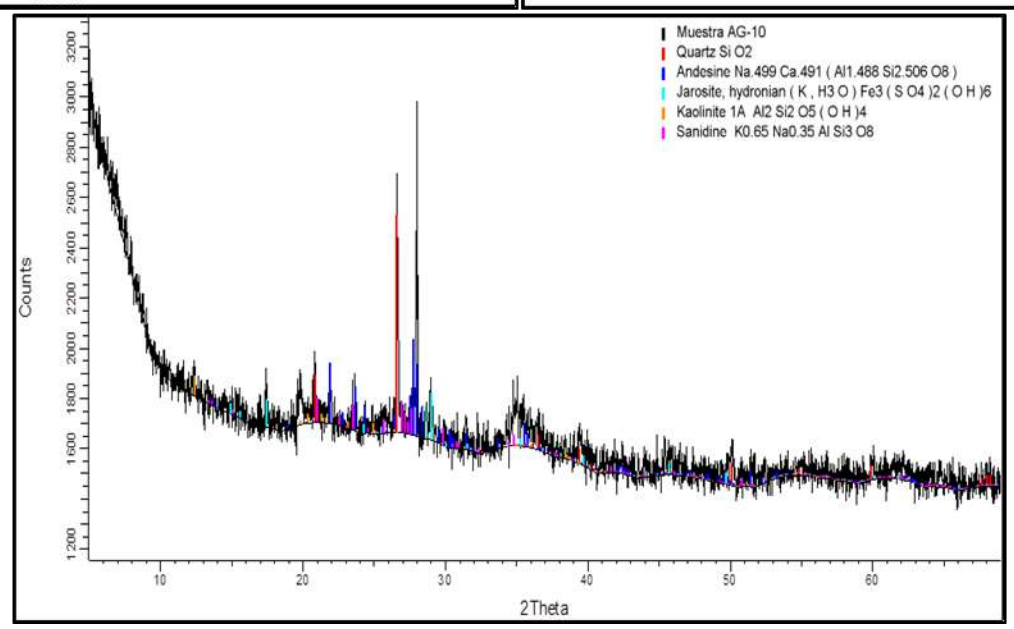


Figura 6.190. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Aruntaya

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido de los sedimentos de la zona Aruntaya (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya) se presentan en la Tabla 6.64 y las Figuras 6.191 y 6.192

Tabla 6.64. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Aruntaya

Minerales identificados	Puntos de muestreo			
	Río Queullirijahuiri		Río Aruntaya	
	AG-19	M-3	AG-08	AG-10
Pirita (FeS_2)	x	x	x	x
Baritina ($BaSO_4$)	x	x	-	x
Hematita (Fe_2O_3) con titanio (Ti)	x	x	-	-
Goethita (FeO.OH) con azufre (S)	x	-	-	-
Goethita (FeO.OH) con titanio (Ti)	x	-	-	-
Goethita (FeO.OH) con titanio (Ti) y magnesio (Mg)	x	-	-	-
Goethita (FeO.OH) con titanio (Ti) y azufre (S)	x	-	-	-
Rutilo (TiO_2)	x	x	x	x
Romarchita (SnO)	x	-	-	-
Goethita (FeO.OH)	-	x	x	-
Hematita (Fe_2O_3)	-	x	-	-
Hematita con magnesio y titanio ($(Fe,Mg,Ti)_2O_3$)	-	x	-	-
Hematita ($(Fe,Ti)_2O_3$)	-	-	x	x
Magnetita ($(Fe,Ti)_3O_4$)	-	-	x	x
Posible beudantita ($PbFe^{+3}(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$)	-	-	x	-
Zircón ($ZrSiO_4$)	-	-	x	-
Óxido de bismuto, antimonio y hierro, con menores proporciones másicas de azufre, arsénico y plata.	-	-	x	-
Esfalerita ((Zn,Mn)S)	-	-	-	x
Calcopirita ($CuFeS_2$)	-	-	-	x
Aleación Fe-Cr-Ni	-	-	-	x
Aleación Fe-Cr	-	-	-	x
Bismuto nativo (Bi)	-	-	-	x

(-): No aplica.

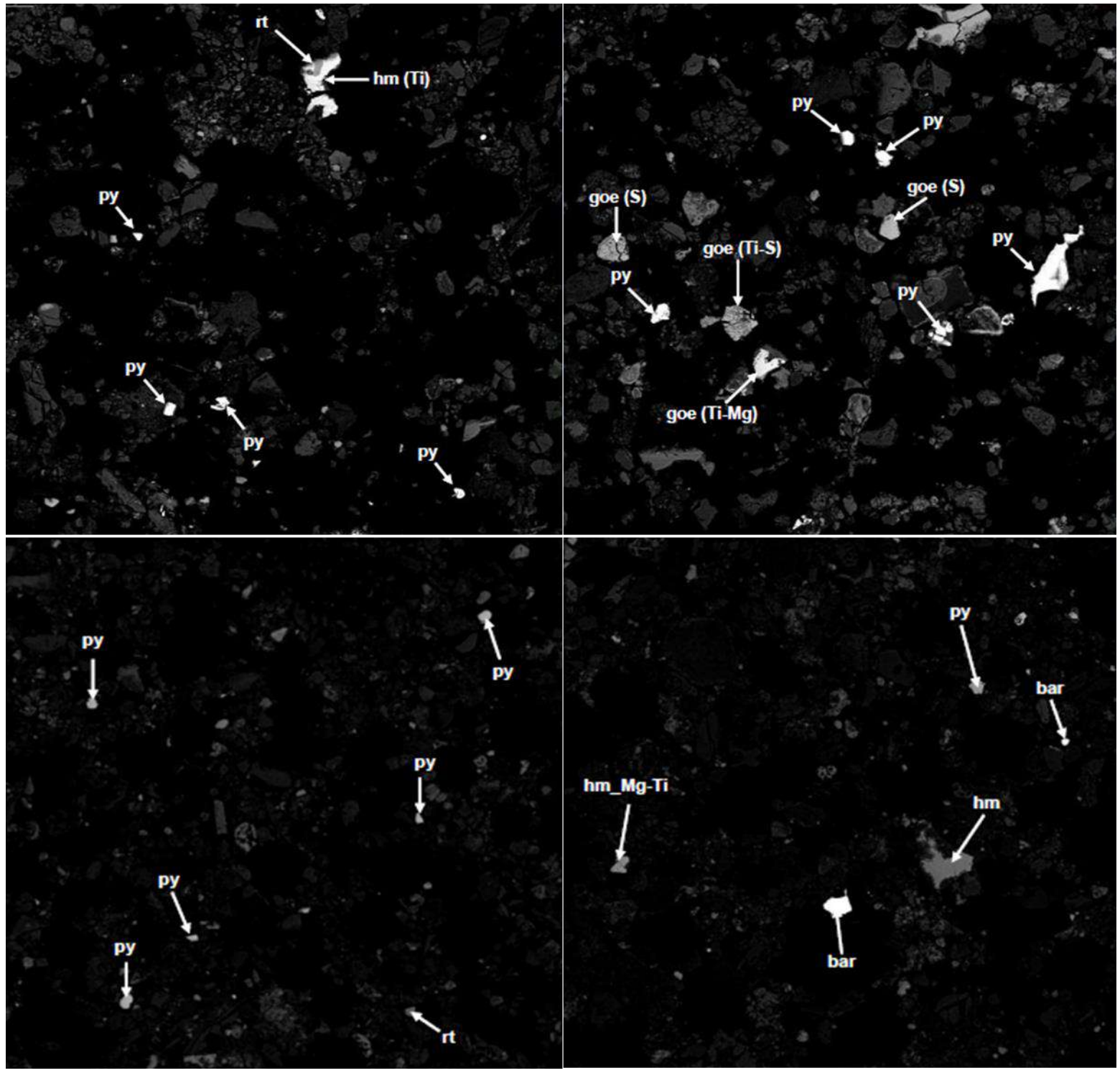


Figura 6.191. Minerales en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-19 (a y b) y M-3 (c y d). Partículas libres de pirita (py), partícula mixta de rutilo (rt) y hematita con titanio (hm (Ti)), pirita (py), goethita con azufre (goe (S)), goethita con titanio y azufre (goe (Ti-S)), goethita con titanio y magnesio (goe (Ti-Mg)), baritina (bar), hematita (hm) y hematita con manganeso y titanio (hm_Mg-Ti).

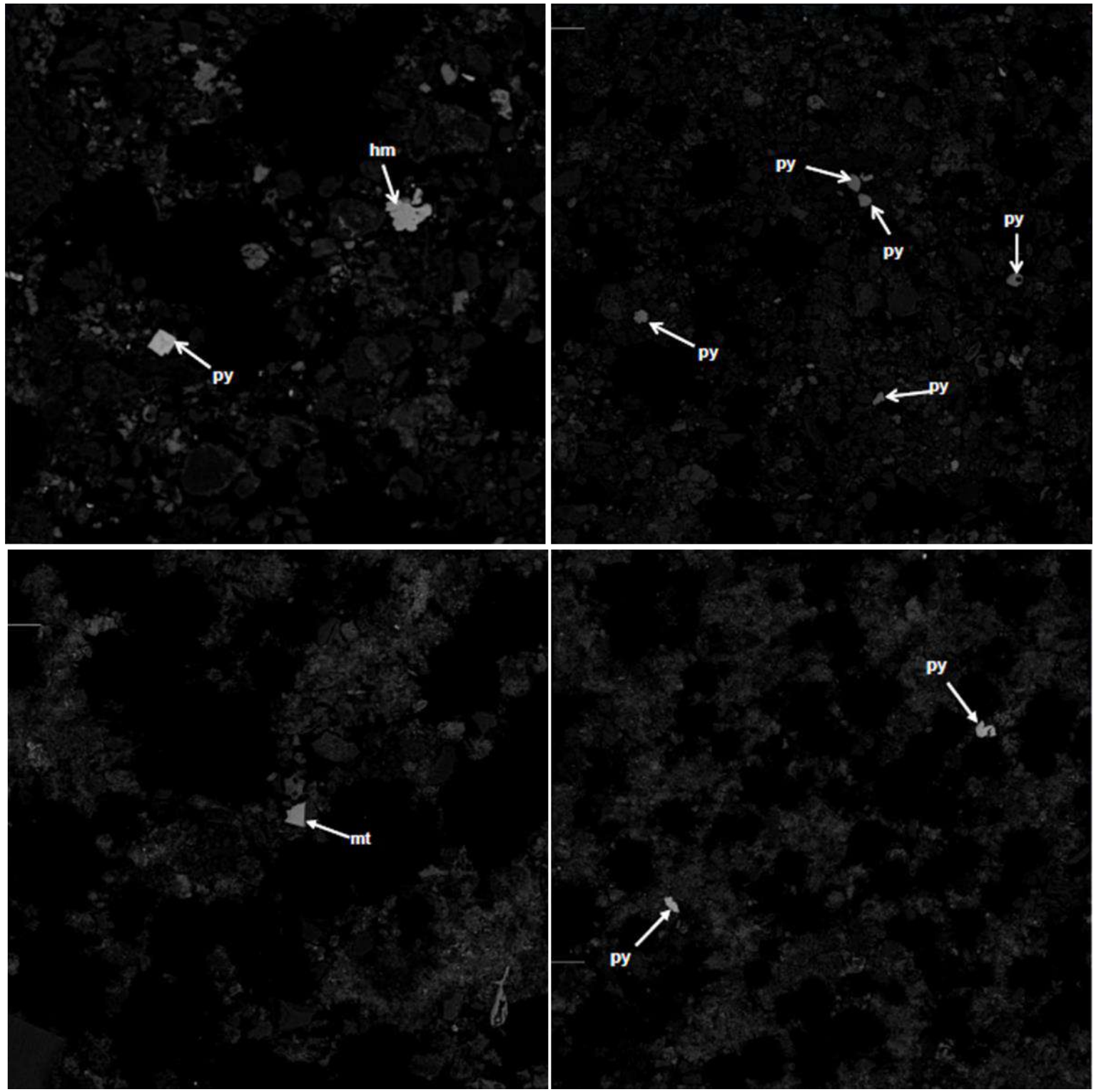


Figura 6.192. Minerales en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-08 (a y b) y AG-10 (c y d). Grano libre de pirita (py), hematita (hm) y magnetita (mt).

Se identificaron minerales en base a hierro en los sedimentos de los puntos AG-19, M-3, AG-08 y AG-10 ubicados en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, tales como hematita, goethita, magnetita, aleación Fe-Cr-Ni, aleación Fe-Cr. La formación de minerales como la goethita, están relacionados con un alto contenido de hierro (precipitado) en el sistema. La formación de este mineral depende del pH y las concentraciones de sulfatos en sistemas afectados por drenajes ácidos de mina (Silva *et a*l., 2013), como los identificados en los puntos AG-19, M-3, AG-08 y AG-10. En cuerpos de agua contaminados por drenajes ácidos de mina, como estos tramos del río Queullirijahuiri (AG-19 y M-3) y Aruntaya (AG-08 y AG-10), los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos.

Asimismo, minerales como la goethita pueden ser formados desde la schwertmannita y otros como ferrihidrita y jarosita (Kim *et al.,* 2020); este último fue identificado en los sedimentos de los puntos AG-19, M-3, AG-08 y AG-10 (por difracción de rayos X), probablemente a partir del cual se ha derivado. Además, se identificaron minerales de sulfuros de hierro (pirita), zinc (esfalerita) y cobre (calcopirita), en cantidades traza en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-19 y M-3) y Aruntaya (AG-08 y AG-10).

Análisis multivariados

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP), empleando los resultados de un total de 22 parámetros de los sedimentos de la zona Aruntaya, permitió reducir el número de variables e investigar el origen y distribución de metales, sulfatos, entre otras variables en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; así como sus principales tributarios. Las variables se agruparon en 2 componentes principales (PC1 y PC2) que explicaron el 80,93 % de la varianza total del conjunto de datos (Tabla 6.65).

Tabla 6.65. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Aruntaya

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
pH	-0,30904	**0,91881**
Sulfatos	**0,98667**	-0,071897
Arcilla	**0,91996**	-0,21145
Arena	**-0,91217**	0,25191
Fe	**0,93723**	0,03369
Cu	**0,8881**	0,20617
Pb	**0,76879**	-0,28778
Zn	**0,95815**	0,19454
Cd	**0,91318**	0,22887
Co	**0,91027**	0,33649
Cr	**0,81849**	0,27974
Ni	**0,97069**	0,074111
Hg	**0,94889**	0,2457
As	**0,97269**	0,20807
Sb	**0,93477**	0,16802
Al	-0,003413	-0,24996
Mn	-0,45189	**0,81921**
Ca	-0,21824	**0,95389**
Na	0,42631	**0,72996**

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
K	**0,73803**	-0,15324
Mg	-0,39894	**0,78981**
Ba	0,18427	-0,62372
Valores propios (Eigenvalues)	13,09	4,71
Porcentaje de la varianza explicada (%)	59,50	21,43
Varianza acumulada (%)	59,50	80,93

Los valores significativos (> +/- 0,5) se encuentran resaltados.

El componente principal 1 (PC1) presentó una moderada a fuerte correlación (valores entre 0,5 a 1,0) con los siguientes parámetros evaluados en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, y principales tributarios: sulfatos, arcilla, hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico, antimonio y potasio; que pueden definir en conjunto una nueva variable, en base a sus concentraciones en el sedimento y similar comportamiento geqouímico (metales).

El componente principal 2 (PC2) mostró una moderada a a fuerte correlación (valores entre 0,5 a 1,0) con las variables pH, manganeso, calcio, sodio y magenesio.

La Figura 6.193, muestra la ordenación bidimensional del análisis de componentes principales (ACP) de las variables ambientales evaluadas en los ríos Queullirijahuiri (AG-17, AG-19 y M-3), Aruntaya (AG-08, RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10), y los tributarios Margaritani
(AG-18), Aruntaya (M-4) y la quebrada sin nombre 3 (QSnom3).

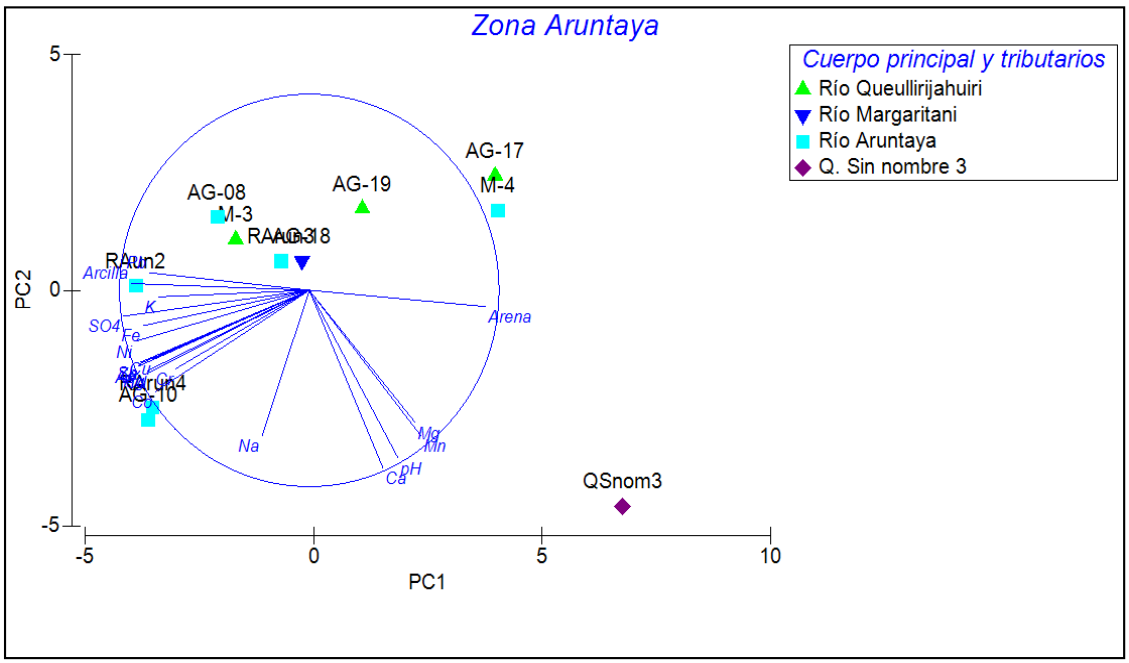


Figura 6.193. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Aruntaya

En la gráfica se evidencia una separación entre los puntos de muestreo de la zona, donde los puntos M-4 (río Aruntaya), AG-17 (río Queullirijahuiri) y QSnom3 (quebrada sin nombre 3) se diferencia del resto en base a sus características fisicoquímicas; además, son puntos ubicados en tramos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, así como en la quebrada sin nombre 3 que no tienen influencia de actividades mineras.

Por otra parte, los puntos ubicados en el cuerpo de agua principal (AG-19, AG-08, M-3, RArun3, RArun2, RArun4 y AG-10), luego de la confluencia con el río Margaritani (AG-18), forman otro grupo y están asociados en base al contenido de arcilla, y mayores concentraciones de sulfatos, hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio y arsénico.

Análisis de conglomerados (cluster) y escalamiento multidimensional no métrico (nMDS)

El análisis de conglomerados (agrupamiento jerárquico) y la ordenación mediante el escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), se utilizaron para identificar las relaciones y gradientes entre los puntos de muestreo de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, así como los tributarios Margaritani, Aruntaya y la quebrada sin nombre 3.

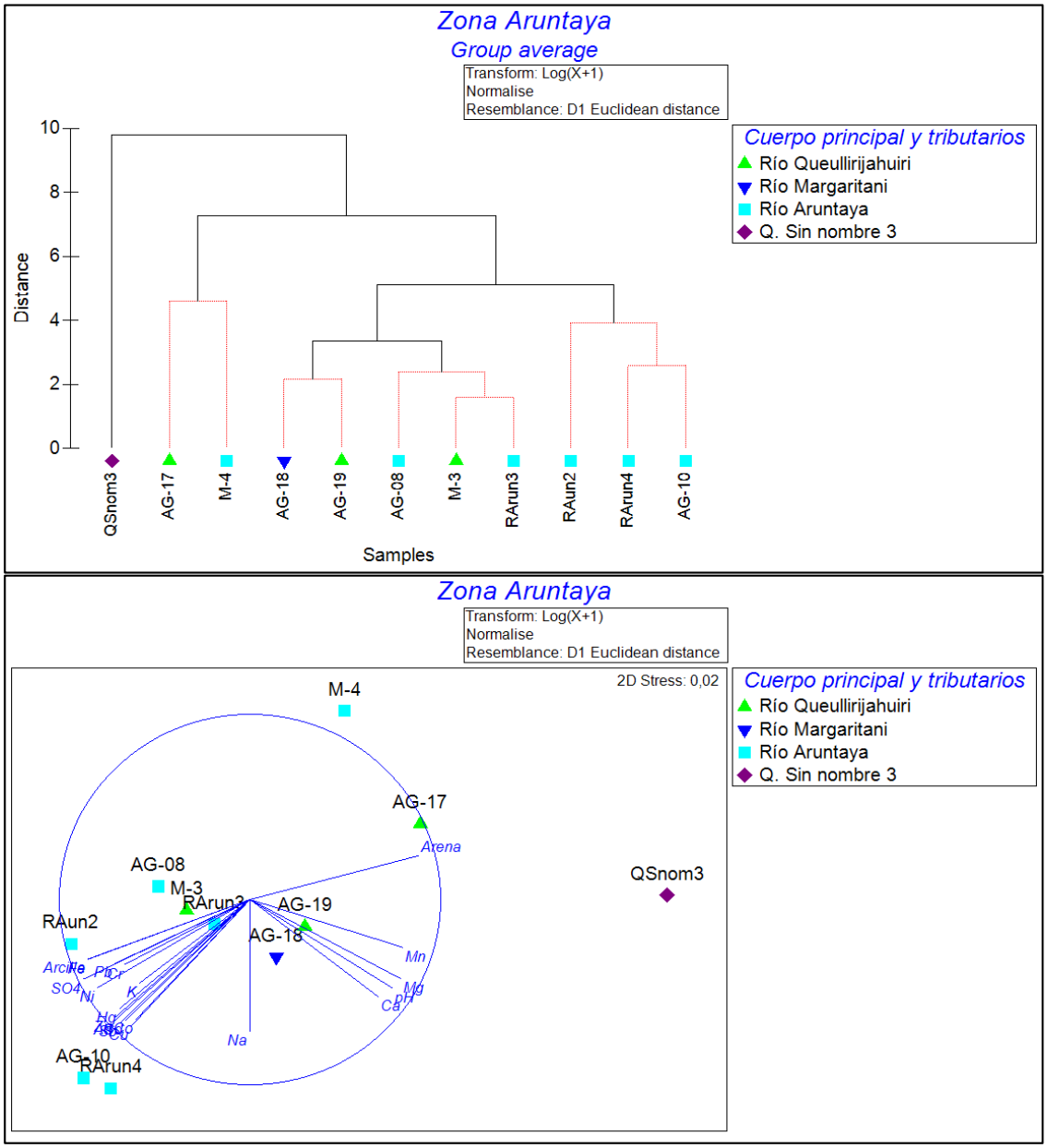


Figura 6.194. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Aruntaya; y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana)

En el dendograma del análisis de conglomerados (Figura 6.194a), se observa 3 grupos definidos. El primer grupo formado por el tributario quebrada sin nombre 3 (QSnom3), el segundo por los puntos AG-17 y M-4, ubicados en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; estos puntos se ubican antes de la confluencia con el río Margaritani (AG-18) y en el río Aruntaya en un sector del cuerpo de agua sin influencia de actividades mineras. El tercer grupo se encuentra formado por los puntos AG-19, AG-08, M-3, RArun3, RArun2, RArun4 y AG-10, ubicados luego de la confluencia del río Margaritani (AG-18).

La distribución de los puntos de muestreo de los sedimentos de la zona Aruntaya muestra un patrón similar al ACP cuando los datos fueron sometidos a ordenaciones mediante el nMDS (Figura 6.194b). Se observa un gradiente con los puntos del cuerpo de agua principal, que va desde el punto AG-17 (río Queullirijahuiri) al AG-10 (río Aruntaya); debido a un

aumento en las concentraciones de elementos en los sedimentos y contenido de arcilla. El mencionado gradiente se produce en los puntos ubicados luego de la confluencia con el río Margaritani (AG-18), el cual tendría influencia de las actividades mineras emplazadas en la zona; y con el que comparten características fisicoquímicas como altas concentraciones de sulfatos, hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio y arsénico.

6.3.4.3. Comunidades hidrobiológicas

La evaluación de la zona Aruntaya abarca: (1) la parte baja del río Queullirijahuiri desde el punto AG-19 (posterior al aporte del río Margaritani en el río Queullirijahuiri), hasta antes de alcanzar el río Aruntaya en el punto M-3; y, (2) la parte baja del río Aruntaya (posterior al aporte del río Queullirijahuiri) desde el punto AG-08, hasta alcanzar el río Titire en el punto AG-10.

Es importante señalar que para el análisis de datos se consideraron los puntos aguas arriba del sector, como son HB-AG-17 (ubicado en el río Queullirijahuiri en la zona 1) y HB-AG-18 (ubicado en el río Margaritani en la zona 2), con la finalidad de asociar su influencia sobre el área de evaluación; asimismo, se consideró al punto M-4 ubicado en el río Aruntaya en la parte baja de la zona 3.

Perifiton

Composición, riqueza y abundancia de especies

Se registraron 35 especies en la comunidad del perifiton, de las cuales 34 fueron microalgas y están distribuidos en 3 phyla. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza con 17 especies (50 %), seguido de Cyanobacteria con 11 especies (32 %) y Chlorophyta con 6 especies (18 %); en adelante los resultados se mostrarán para las microalgas del perifiton que fueron dominan tes sobre los microorganismos.

En lo referente al acumulado total para la zona Aruntaya el género *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta presentó la mayor riqueza con 5 especies.

Se presentó la mayor riqueza en el punto HB-AG-08 con la presencia de especies pertenecientes a los 3 phyla registrados; mientras que las tres réplicas de RJavi no presentaron especies y lo mismo sucedió con 2 réplicas pertenecientes al punto RArun2.

En la parte baja del río Queullirijahuiri desde el punto HB-AG-19 (posterior al aporte del río Margaritani en el río Queullirijahuiri), hasta antes de alcanzar el río Aruntaya en el punto HB-M-3; la diversidad disminuye a la mitad de 6 a 3 especies lo que también se ve a nivel de phylum; mientras que en HB-AG-19 se presentan 2 phyla en HB-M-3 solo se registró el phylum Bacillariophyta.

En el punto HB-AG-19 se ha registrado la asociación de microalgas *Stigeoclonium* sp. y *Microspora* spp. las que son tolerantes a metales y encontradas asociadas a drenajes ácidos de mina (Verb and Vis, 2001y Sabater et al., 2003).

En la parte baja del río Aruntaya (posterior al aporte del río Queullirijahuiri) desde el punto HB-AG-08, hata alcanzar el río Titire en el punto HB-AG-10 también disminuye en cuanto a su diversidad y composición de especies 19 especies en HB-AG-08 a 1 especie en HB-AG-10. (Figura 6.195).

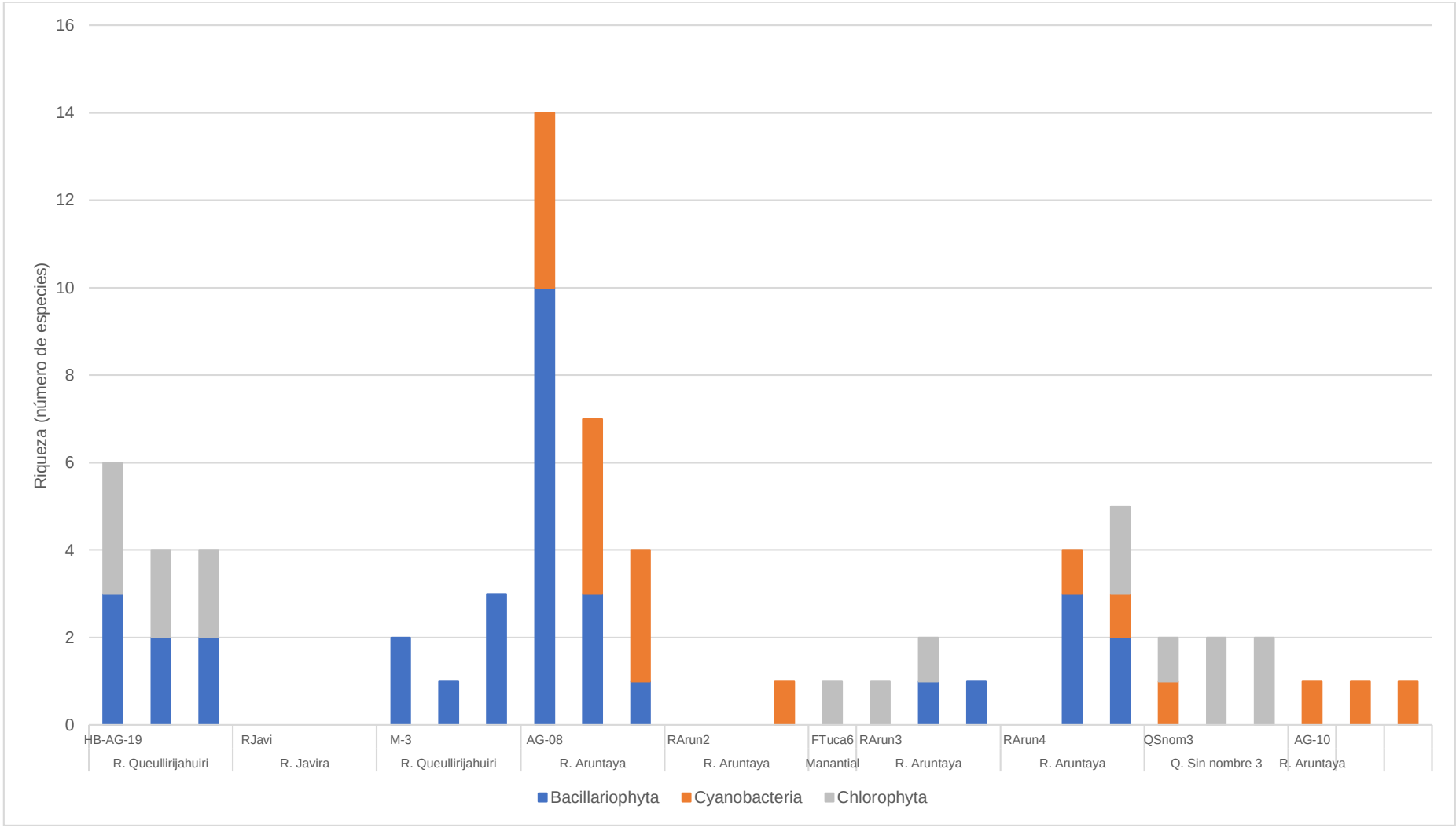


Figura 6.195. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Aruntaya.

La abundancia total de microalgas fue de 73 878 859 organismos/cm^2 de microalgas, los cuales pertenecen a los phyla Bacillariophyta (73 474 796 organismos/cm^2), Cyanobacteria (181 500 organismos/cm^2) y Chlorophyta (222 563 organismos/cm^2).

La mayor abundancia acumulada correspondió al género *Pinnularia* sp. el cual como se ha mencionado es conocido por presentar especies acidófilas (Krammer, 2000)

El punto de mayor abundancia fue HB-AG-19 donde se registró una predominancia de Bacillariophyta con la predominancia de especies de *Pinnularia* spp. en cuanto a las chlorophytas fue el único punto que presentó el género *Stigeoclonium* sp.; por otro lado, la menor abundancia se registró en el punto RJavi con cero organismos/cm^2, Figura 6.196.

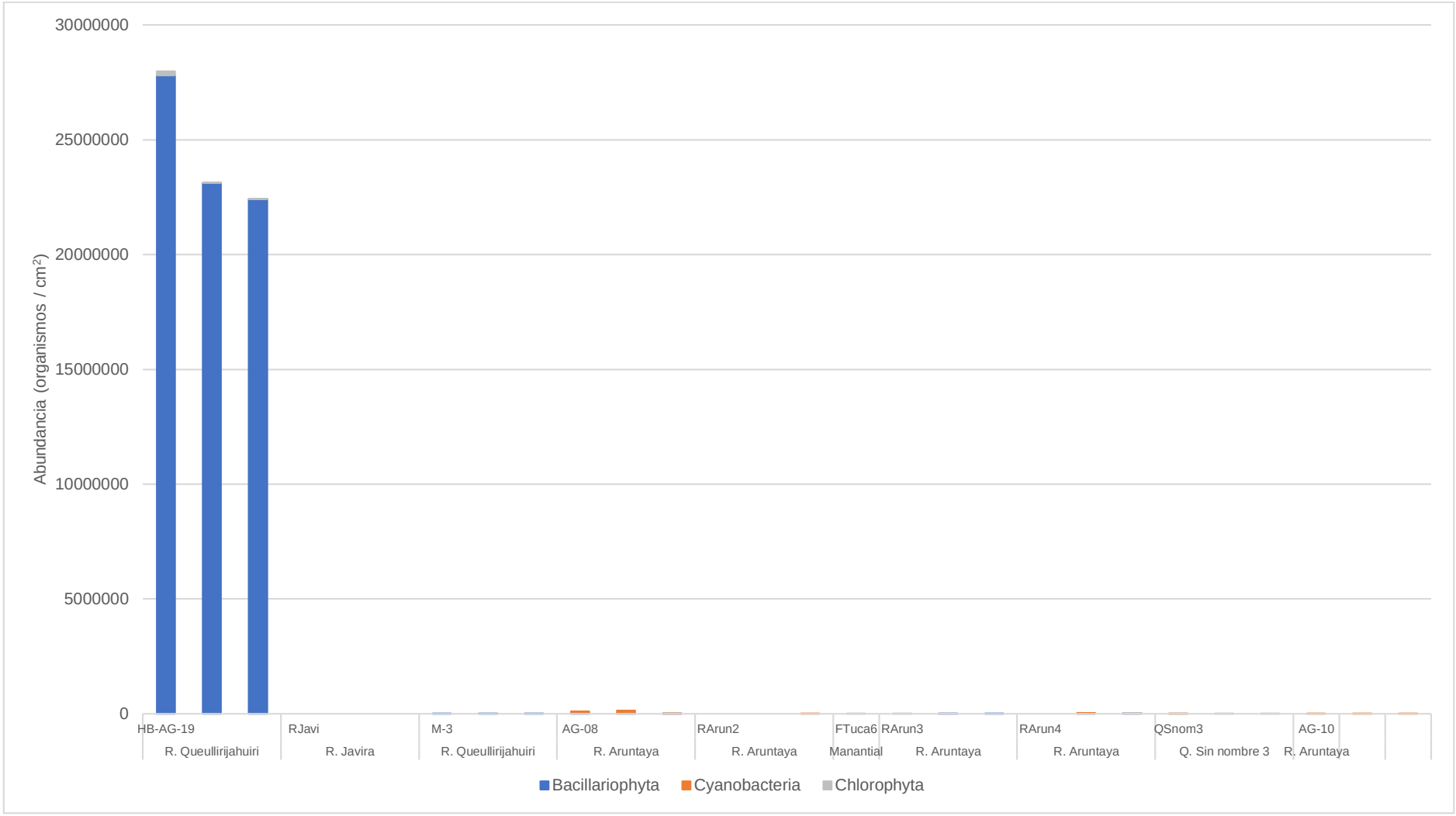


Figura 6.196. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Aruntaya.

Macroinvertebrados bentónicos

Composición, riqueza y abundancia de especies

El ensamble del macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 32 especies, 17 familias, 11 órdenes, 5 clases y 3 phylum, según su categoría taxonómica. Los órdenes con mayor número de especies en el área de evaluación fueron Diptera con 21 especies, así como Coleoptera con 2 especies; por otro lado, los órdenes Amphipoda, Hemiptera, Hirudinida, Plecoptera, Sarcopteriformes, Trichoptera, Trombidiformes, Nematoda ND y Oligochaeta ND presentaron 1 especie cada uno (Anexo 3).

El punto de muestreo con mayor número de especies fue RJavi (tributario del río Queullirijahuiri) con 20 especies, mientras que el punto de muestreo con menor número de especies fue RArun2 con 2 especies. El orden Diptera presentó más de 1 especie en todos los puntos, a excepción del punto RArun4. Este orden fue el único colectado en común respecto al total de puntos evaluados (Figura 6.197).

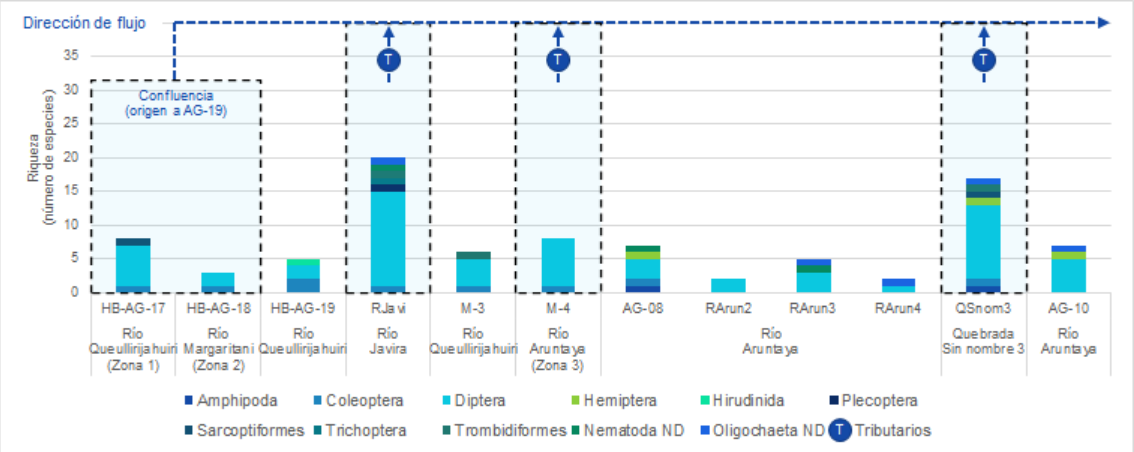


Figura 6.197. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Aruntaya.

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 193,47 ± 141,64 organismos/0,09m^2, considerando los puntos que se ubican aguas arriba del área de evaluación, los ríos Queullirijahuiri (HB-AG-17 en la zona 1) y Margaritani (HB-AG-18 en la zona 2). El punto de muestreo con mayor densidad fue QSnom3 con 1720,00 ± 768,36 organismos/0,09m^2, mientras que el punto de muestreo con menor densidad fue RArun4 con 0,67 ± 0,67 organismos/0,09m^2 (Figura 6.198).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥33,3%) y abundancia relativa (>1,50%) fueron *Cricotopus* sp. y *Podonomus* sp. pertenecientes al orden Diptera (familia Chironomidae), así como *Austrelmis* sp. perteneciente al orden Coleoptera (familia Elmidae), y Oligochaeta ND (subclase Oligochaeta) (Anexo 3). Estas especies serán seleccionadas para el análisis de correlación canónica (ACC).

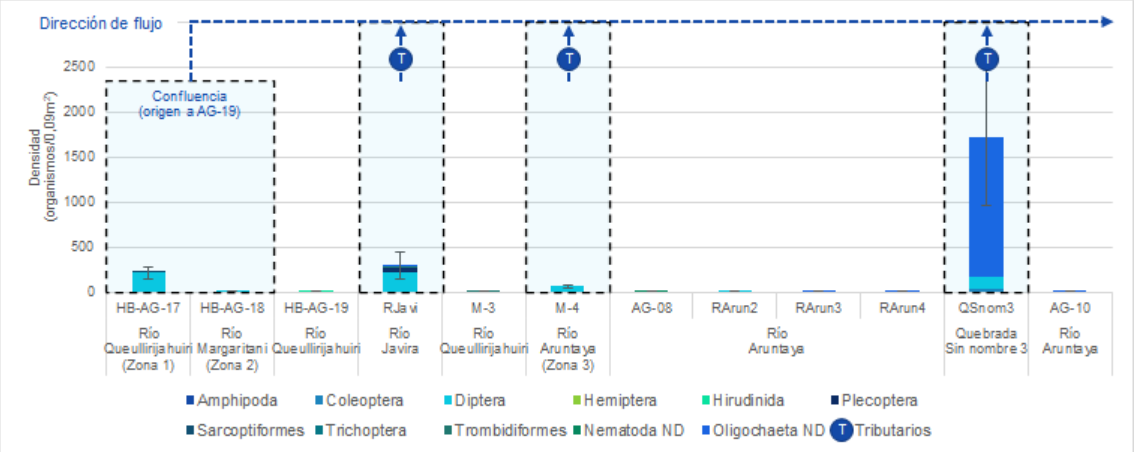


Figura 6.198. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Aruntaya.

Diversidad alfa y beta

De acuerdo a la Figura 6.199, el índice de dominancia de Simpson varió desde 0,22 ± 0,03 (RJavi) hasta 1,00 (RArun2). El índice de equidad de Pielou varió desde 0,23 ± 0,07 (HB-AG-17) hasta 1,00 (RArun4 y AG-10). La diversidad de Shannon-Wiener varió desde 0,00 bits/individuo (RArun2) hasta 2,83 ± 0,24 bits/individuo (RJavi). La mayoría de los puntos aguas abajo del río Aruntaya (RArun2, RArun3, RArun4, QSnom3 y AG-10), presentaron valores reducidos de diversidad (≤1,00 bit/individuo) relacionados a una alta dominancia de una o pocas especies (≥0,50), dada principalmente por *Podonomus* sp., *Cricotopus* sp. y Oligochaeta ND en cada uno de los puntos.

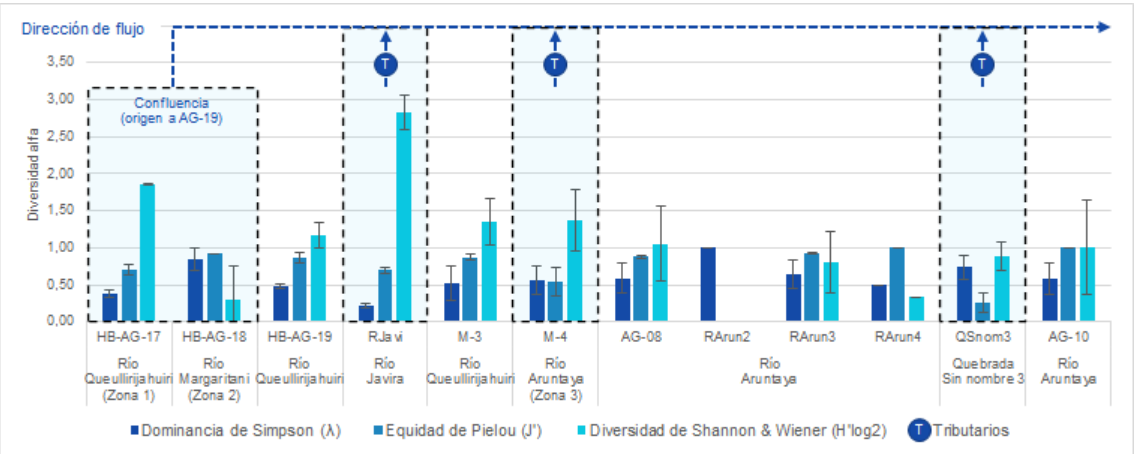


Figura 6.199. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Aruntaya.

En relación al análisis de diversidad beta, la prueba de permutación SIMPROF (p=0,05) resultó en la discriminación de dos agrupamientos (A) y (B) que abarca la mayoría de puntos evaluados, exceptuando el punto RArun4 (parte baja del río Aruntaya), resultando estadísticamente semejante su estructura en ambos casos (p=0,517 para el agrupamiento A y p=0,77 para el agrupamiento B). De acuerdo a la Figura 6.200, el agrupamiento (A) presentó una similitud de 30,73%, entre los puntos HB-AG-18 (ubicado en el río Margaritani, tributario del río Queullirijahuiri), con los puntos ubicados en los ríos Queullirijahuiri (HB-AG-19 y M-3,) y Aruntaya (AG-08, RArun2, RArun3 y AG-10); por otro lado, el agrupamiento (B) presentó una similitud de 23,75%, entre los puntos HB-AG-17 (ubicado en el río

Queullirijahuiri, aguas arriba del aporte del río Margaritani en la zona 2), con los puntos ubicados en los tributarios del área de evaluación (QSnom3, M-4 y RJavi).
Este análisis indicaría que los puntos ubicados en el cuerpo principal (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya) estarían influenciados por el río Margaritani, mientras que los tributarios (puntos de mayor densidad poblacional) se asemejarían a las condiciones de las aguas del río Queullirijahuiri, antes de su aporte del río Margaritani.

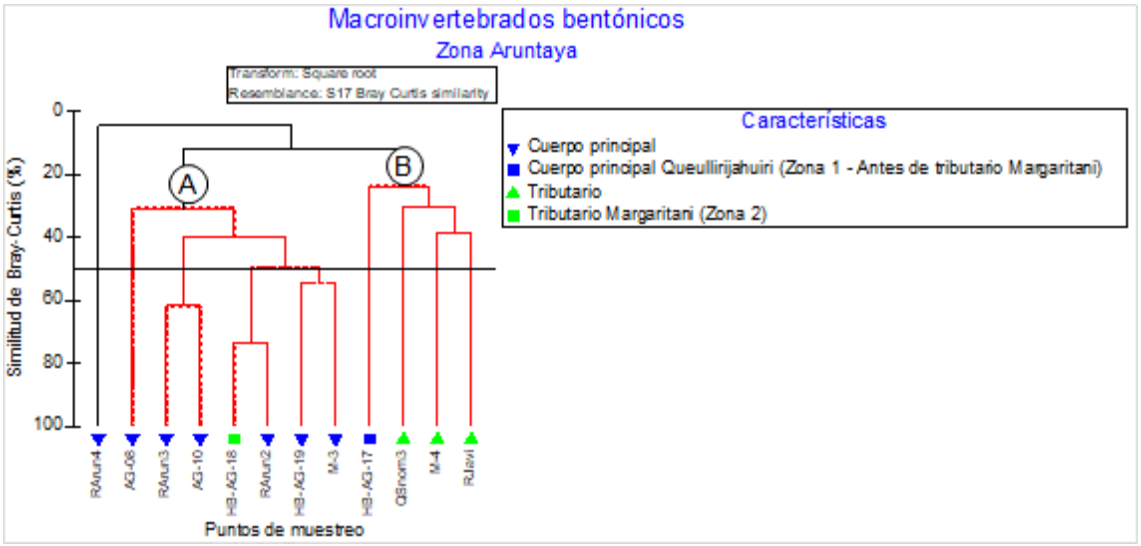


Figura 6.200. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Aruntaya.

Calidad biológica

En la Figura 6.201 se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo al índice ABI. Se observó que los puntos evaluados en el río Aruntaya, a excepción de AG-08, presentaron una «pésima calidad biológica»; asimismo, los puntos del río Queullirijahuiri, tanto aguas arriba del aporte de Margaritani como aguas abajo del mismo, presentaron una «mala calidad biológica». Por otro lado, los puntos de los tributarios RJavi y QSnom3 presentaron una «moderada calidad biológica» asociado a un mayor número de especies bioindicadoras, así como a la presencia de especies sensibles (*Claudioperla* sp. y *Cailloma* sp.) como lo ocurrido en el río Javira.

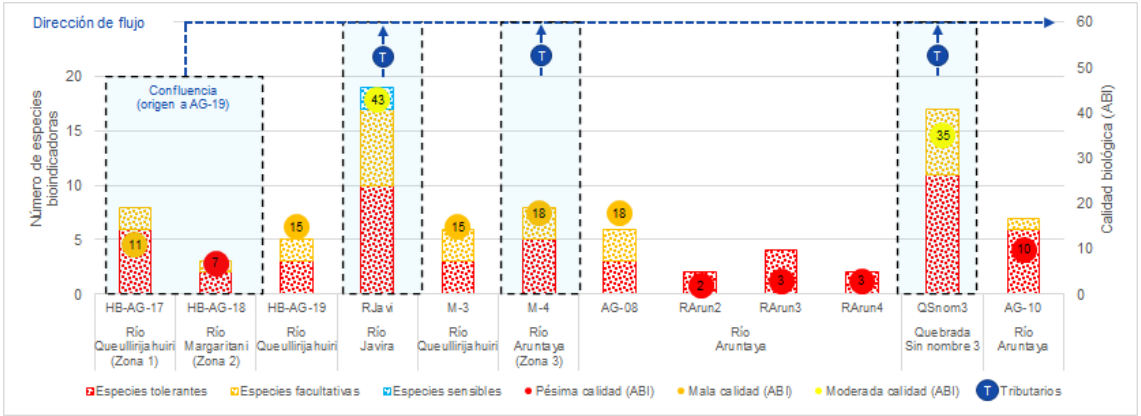


Figura 6.201. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Aruntaya.

Calidad ecológica

Los resultados de calidad hidromorfológica (Anexo 2) indicaron una «mala calidad» en los puntos RArun2 y AG-10, mientras que los puntos HB-AG-19, RJavi, M-3, AG-08, RArun3, RArun4 y QSnom3 presentaron una «moderada calidad». Sin embargo, al combinar los resultados de calidad hidromorfológica con los resultados de calidad biológica (ABI), los resultados de calidad ecológica señalaron: una «pésima calidad ecológica» en los puntos del río Aruntaya (RArun2, RArun3, RArun4 y AG-10); una «mala calidad ecológica» en los puntos del río Queullirijahuiri (HB-AG-19, M-3 y AG-08); y una «moderada calidad ecológica» en los tributarios (RJavi y QSnom3) (Tabla 6.66).

Tabla 6.66. Calidad ecológica obtenida para la zona Aruntaya.

Ecosistema acuático	Calidad/Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
R. Queullirijahuiri	HB-AG-19	Mala	Moderada	Mala
R. Javira	RJavi	Moderada	Moderada	Moderada
R. Queullirijahuiri	M-3	Mala	Moderada	Mala
R. Aruntaya	AG-08	Mala	Moderada	Mala
R. Aruntaya	RArun2	Pésima	Mala	Pésima
R. Aruntaya	RArun3	Pésima	Moderada	Pésima
R. Aruntaya	RArun4	Pésima	Moderada	Pésima
Q. Sin nombre 3	QSnom3	Moderada	Moderada	Moderada
R. Aruntaya	AG-10	Pésima	Mala	Pésima

6.3.5. Zona Titire-Coralaque

Esta zona de evaluación comprende desde el rio Titire, aguas arriba de la confluencia del río Aruntaya, hasta el río Coralaque, antes de su confluencia con el rio Tambo. Donde se establecieron 22 puntos de muestreo: 4 en fuentes termales, en las márgenes de rio Titire; 3 en tributarios (quebradas Chilota y Totorani, y río Chiquirani); y 15 puntos ubicados en los principales ríos (Titire, Vizcachas y Coralaque).

6.3.5.1. Agua superficial

I. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 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

Los parámetros de los puntos de muestreo de agua superficial evaluados en la zona Titire - Coralaque que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto, y Bebida de animales) se presentan en la Tabla 6.67. Asimismo, en la Tabla 6.68. se detallan sus valores y concentraciones resaltados a fin de facilitar su identificación.

Tabla 6.67. Parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Titire - Coralaque

N.°	Zona	Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua D.S. N.° 002-2008-MINAM - Categoría 3	
				Riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto	Bebida de animales
1	Titire - Coralaque	Río Titire	AG-09	Cloruros, B	-
2		Fuente termal	FTiti1	CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, As, B, Ca, Fe, Li, Mn y Na	CE, OD, Fluoruros, Sulfatos, As, B, Fe, Li y Mn
3		Río Titire	AG-11	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Na y Mn	pH, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Cu, Fe y Mn
4			RTiti1	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Na y Mn	pH, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Cu, Fe y Mn
5		Fuente termal	FQuell	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonato, As, B, Ca, Fe, Li, Mn y Na	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, As, B, Fe, Li y Mn
6		Río Titire	RTiti2	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Na y Mn	pH, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Cu, Fe y Mn
7		Fuente termal	FPBello	CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, As, B, Ca, Li, Mn y Na	CE, Fluoruros, Sulfatos, As, B, Li y Mn
8		Río Titire	TIT-1	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, As, B,Cd, Co, Fe, Li, Na y Mn	pH, CE, Sulfatos, As, B, Cd, Fe, Li y Mn
9		Fuente termal	FTiti3	CE, OD, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Bicarbonatos, As, Ca, Li, Mn y Na	CE, OD, Fluoruros, Sulfatos, As, B, Li y Mn
10		Río Titire	TIT-2	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Na y Mn	pH, CE, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Cu, Fe, Li y Mn
11		Q. Chilota	QChil-1	Cloruros, Carbonatos y B	-
12		Río Titire	TIT-3	pH, CE, Cloruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Na y Mn	pH, CE, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Cu, Fe, Li y Mn
13		Río Chiquirani	RChiq	Cloruros y B	-
14		R. Titire	TIT-4	pH, CE, Cloruros, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Co, Cu, Fe, Li, Na y Mn	pH, CE, Fluoruros, Sulfatos, Al, As, B, Cd, Cu, Fe, Li y Mn
15		Río Vizcachas	VIZ-4	Cloruros, As y B	-
16		Río Coralaque	CORA-1	CE, Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, B, Fe y Mn
17			RCora1	CE, Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, Fe y Mn
18		Quebrada Totorani	QToto	Cloruros y B	-
19		Río Coralaque	RCora2	Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, Fe y Mn
20			RCora3	Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, Fe y Mn
21			RCora4	CE, Al, As, Cd, Cu, Fe, Na y Mn	Al, As, Fe y Mn
22			QE-36	Al, As, Fe, Na y Mn	Al, As, Fe y Mn

pH: Potencial de hidrógeno, CE: Conductividad eléctrica; OD: oxígeno disuelto, Al: Aluminio, As: Arsénico, B: Boro, Cd: Cadmio, Ca: Calcio, Co: Cobalto, Cu: Cobre, Fe: Hierro, Li: Litio, Mn: Manganeso, Ni: Níquel, Na: Sodio y Zn: Zinc.

En las Tablas 6.67 y 6.68 resalta las características ácidas del rio Titire, luego de la confluencia con el rio Aruntaya, que se mantienen hasta antes de la confluencia con el rio Vizcachas. De igual manera, las concentraciones de aluminio, hierro, manganeso, cadmio y cobre se mantienen a lo largo del rio Titire, y disminuyen al concluir con el rio Vizcachas y formar el Coralaque. Por otro lado, se observó que las fuentes termales presentaron un pH cercano a la neutralidad y elevadas concentraciones de cloruros, arsénico, boro, litio y sodio.

Tabla 6.68. Valores y concentraciones de parámetros que excedieron o se identificaron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008, en la zona Titire - Coralaque

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros *In Situ*			Fisicoquímicos					Metales totales										
		pH	CE	OD	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Carbonatos	Al	As	B	Cd	Ca	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Na
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg HCO_3-/L	mg CO_3-^{2}/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Río Titire	AG-09	6,82	753	6,40	18,30	0,25	282	126,60	< 0,6	0,03	0,01999	0,471	< 0,00001	96	0,00006	0,0006	0,04	0,0703	0,03827	38
Fuente termal	FTiti1	6,81	29900	3,05	4745	2,60	832	941,40	< 0,6	0,1	7,00960	136	< 0,00001	356	0,00009	< 0,0003	1,20	27,11	0,39069	9206
Río Titire	AG-11	4,34	3660	5,98	807	1,50	904	< 1,2	< 0,6	34,2	0,26378	5,11	0,02774	96	0,13413	1,027	15	1,234	3,1727	433
	RTiti1	4,36	4230	5,55	1050	1,60	947	< 1,2	< 0,6	39,9	0,28046	7,0	0,03337	101	0,15657	1,185	17	1,630	3,6886	538
Fuente termal	FQuell	6,22	17370	5,79	4097	2,80	617	697,90	< 0,6	0,1	2,26630	62,7	< 0,00001	215	0,00005	< 0,0003	5,10	10,81	0,59209	3578
Río Titire	RTiti2	4,52	4800	5,58	1224	1,80	843	< 1,2	< 0,6	35,4	0,29401	8,42	0,0288	109	0,14388	1,075	15	1,949	3,4939	638
Fuente termal	FPBello	7,10	17220	Fuera de rango	5157	2,60	910	671,70	< 0,6	0,03	2,69010	74,3	< 0,00001	330	< 0,00003	< 0,0003	0,08	11,29	1,4273	4776
Río Titire	TIT-1	5,67	6990	5,79	2001	1,10	846	11,10	< 0,6	2,3	0,40122	13,20	0,02203	142	0,11681	0,1998	6,20	2,92	3,1899	1028
Fuente termal	FTiti3	6,57	15880	0,78	10002	5,50	1471	711,80	< 0,6	0,01	2,34430	63	< 0,00001	303	0,00005	< 0,0003	0,19	9,473	1,3117	4106
Río Titire	TIT-2	5,67	7010	5,43	1882	0,61	829	< 1,2	< 0,6	30,1	0,68330	12,5	0,02384	148	0,13124	0,971	14	2,57	3,3726	952

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros *In Situ*			Fisicoquímicos					Metales totales										
		pH	CE	OD	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Carbonatos	Al	As	B	Cd	Ca	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Na
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg HCO_3^-/L	mg CO_3^{-2}/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Q. Chilota	QChil-1	8,27	459	5,64	6,16	0,23	96	148,40	11,800	0,02	0,00551	0,243	< 0,00001	42	< 0,00003	0,0021	< 0,03	0,0237	0,00182	36
Río Titire	TIT-3	5,68	6600	5,55	1732	0,62	841	< 1,2	< 0,6	31,6	0,59115	14,2	0,02442	157	0,13992	1,007	15	3,044	3,64450	1049
Río Chiquirani	RChiq	7,23	67,20	6,39	0,89	0,12	6	21,10	< 0,6	0,02	0,00298	0,106	< 0,00001	2,9	0,00004	< 0,0003	0,20	0,0019	0,00244	4,5
R. Titire	TIT-4	5,64	5190	6,13	1511	2,60	910	< 1,2	< 0,6	40,1	0,43816	13,4	0,01674	123	0,1122	0,888	13	2,812	2,92280	1104
Río Vizcachas	VIZ-4	7,47	165	5,74	16,50	0,18	20	41,10	< 0,6	0,04	0,06758	0,195	< 0,00001	8,1	0,00008	0,0011	0,45	0,022	0,00616	17
Río Coralaque	CORA-1	6,86	2410	6,55	244	0,25	122	11,90	< 0,6	14,5	0,20923	5,84	0,00684	51	0,04266	0,3243	5,10	1,167	1,04410	439
	RCora 1	7,23	2129	6,58	494	0,32	245	22,50	< 0,6	7,6	0,18818	4,08	0,00614	49	0,03116	0,257	3,90	0,811	0,94382	274
Quebrada Totorani	QToto	7,62	117,40	6,58	0,98	0,16	11	50,50	< 0,6	0,02	0,00712	0,157	< 0,00001	7,4	0,00006	< 0,0003	0,30	< 0,0001	0,00933	4,5
Río Coralaque	RCora 2	7,35	1978	6,30	452	0,64	250	34,70	< 0,6	7,4	0,15165	4,40	0,00562	54	0,02927	0,2537	3,20	0,9659	0,86438	278
Río Coralaque	RCora 3	7,09	1915	5,26	441	0,64	256	36,70	< 0,6	6,2	0,13990	4,16	0,00555	55	0,02805	0,232	2,80	0,9334	0,81313	260
	RCora 4	7,48	2034	6,52	463	0,42	275	37,10	< 0,6	7,4	0,15917	4,46	0,00526	66	0,02813	0,2441	3,20	0,9609	0,85224	286
	QE-36	7,38	1966	7,13	430	0,44	285	42,30	< 0,6	5,4	0,13005	4,22	0,0046	73	0,02567	0,1949	2,70	0,8953	0,79035	269
ECA para agua 2008[1]	**RV**	**6,5 - 8,5**	**< 2000**	**≥ 4**	**100 - 700**	**1**	**300**	**370**	**5**	**5**	**0,05**	**0,5 - 6**	**0,005**	**200**	**0,05**	**0,20**	**1**	**2,50**	**0,20**	**200**

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Parámetros *In Situ*			Fisicoquímicos					Metales totales										
		pH	CE	OD	Cloruros	Fluoruros	Sulfatos	Bicarbonatos	Carbonatos	Al	As	B	Cd	Ca	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Na
		Unidad de pH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg HCO_3^-/L	mg CO_3^{-2}/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	BA	**6,5 - 8,4**	**≤ 5000**	**> 5**	**	**2**	**500**	**	**	**5**	**0,10**	**5**	**0,01**	**	**1**	**0,50**	**1**	**2,50**	**0,20**	**

Fuente: Informes de ensayo N.° SAA-20/00632, SAA-20/00631, SAA-20/00633, SAA-20/00657, SAA-20/00572, SAA-20/00558, SAA-20/00565, SAA-20/00593, SAA-20/00649, SAA-20/00630, SAA-20/00584 y SAA-20/00594 de Laboratorio AGQ PERÚ SAC e informes de ensayo N° 42658/2020; 41933/2020; 41935/2020; 43239/2020; 44357/2020; 43605/2020; 43141/2020; 43240/2020 de ALS LS PERÚ SAC.

Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.

Valores o concentraciones que se identificaron fuera del rango establecido o excedieron el ECA para agua Categoría 3, para bebida de animales.

«RV»: Riego de vegetales, BA: Bebida de animales,

«1»: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 (riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto y bebida de animales); aprobado por D.S. N.° 002-2008- MINAM

«**»: El parámetro NO aplica en esta subcategoría

<: Menor al límite de detección del método de análisis

II. Comparación con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales); aprobado mediante Decreto Supremo N.° 004-2017-MINAM

Esta zona de evaluación está conformada por 22 puntos de muestreo distribuidos como se detalla a continuación:

- El cuerpo principal se ubican los puntos AG-09, AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3, TIT-4, VIZ-4, CORA-1, RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36 ubicados en los ríos Titire, Vizcachas y Coralaque, Abarcando desde el rio Titire, antes de la confluencia con el río Aruntaya, hasta el río Coralaque, antes de su confluencia con el río Tambo.
- Los tributarios por el margen derecho el río Chiquirani (RChiq) y por el margen izquierdo las quebradas Chilota (QChil 1) y Totorani (QToto), y finalmente las fuentes termales FTiti1, FQuell, FPBello y FTiti3, en las márgenes del río Titire.

Para una mejor visualización de la contribución de los cuerpos de agua ubicados aguas arriba de esta zona, se han incluido en las gráficas de resultados la zona Aruntaya AG-10). En los siguientes párrafos se presenta los parámetros que excedieron los valores de los ECA para agua 2017 Cat.3-D1 y D2.

- **Potencial de hidrógeno – pH:** El potencial de hidrógeno registrado en los puntos (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) del río Titire incumplió el rango establecido (valor mínimo) en los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 y D2, sugiriendo que las aguas en estos puntos del cuerpo principal son ácidas. El incumplimiento estaría ocasionado por el aporte del río Aruntaya (AG-10) que tiene un valor de 3,08 unidades, porque en el punto AG-09 del río Titire y los tributarios (fuentes termales, quebradas y ríos) presentaron valores de pH que cumplen con la normativa mencionada (Figura 6.202a).

- **Conductividad Eléctrica – CE:** La conductividad eléctrica registrada en los puntos TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4 del río Titire y en las fuentes termales FTiti1, FQuell, FPBello y FTiti3, excedió los valores de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (2500 µS/Cm) y D2 (5000 µS/cm); En cambio, en los puntos AG-11, RTiti1y RTiti2 del río Titire, excedió únicamente el valor de la subcategoría D1. Los valores más altos de conductividad eléctrica fueron registrados en las fuentes termales (Figura 6.202b).

- **Cloruros:** La concentración de cloruros en los puntos AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4 del cuerpo principal y en las fuentes termales (FTiti1 FQuell, FPBello y FTiti3), excedieron el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (500 mg/L). Las mayores concentraciones de cloruros se reportaron en las fuentes termales (Figura 6.202c).

- **Fluoruros:** La concentración de fluoruros en los puntos AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1 y TIT-4 del río Titire y en las fuentes termales (FTiti1 FQuell, FPBello y FTiti3, excedió el valor de los ECA para agua 2017 - Cat.3: D1 (1 mg/L). Las mayores concentraciones de fluoruros se reportaron en las fuentes termales (Figura 6.202d).

- **Sulfatos:** Las concentraciones de sulfatos únicamente en la fuente termal (FTiti3), excedió el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (1000 mg/L); En cambio, los ríos principales y tributarios, así como en las fuentes termales (FTiti1 FQuell y FPBello), presentaron bajas concentraciones sulfatos (Figura 6.202e)

- **Bicarbonatos:** Las concentraciones de bicarbonatos únicamente en las fuentes termales (FTiti1 FQuell, FPBello y FTiti3), excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (518 mg/L). Además, se observa que las concentraciones de bicarbonatos en el punto AG -09 fue de 126,6 mg/L (río Titire), sin embargo, después de confluir con al río Aruntaya (AG-10) las concentraciones de bicarbonatos no son detectables por el método de ensayo hasta el punto TIT-4; luego de la confluencia entre los ríos Titire y Vizcachas empieza a tener un comportamiento ascendente desde el punto CORA-1 hasta QE-36 (Figura 6.203a)

- **Aluminio – Al:** Las concentraciones de aluminio en los puntos (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-2, TIT-3, TIT-4, CORA-1, RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36) del cuerpo principal, excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (5 mg/L); la excedencia de aluminio en los puntos mencionados estaría relacionado a los aportes del río Aruntaya (AG-10), porque, el punto AG-09 (aguas arriba de la confluencia) presentó baja concentración de aluminio (Figura 6.203b).

- **Arsénico – As:** Las concentraciones de arsénico en los puntos de los ríos Titire (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) y Coralaque (CORA-1), así como en las fuentes termales (FTiti1, FQuell, FPBello y FTiti3), excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,1 mg/L) y D2 (0,02 mg/L); En cambio, en los puntos RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36 del río Coralaque, excedió únicamente el valor de la subcategoría D1. Las mayores concentraciones arsénico se reportaron en las fuentes termales (Figura 6.203c).

- **Boro – B:** Las concentraciones de boro en los puntos de los ríos Titire (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) y Coralaque (CORA-1), así como en las fuentes termales (FTiti1 FQuell, FPBello y FTiti3), excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 – D1 (1 mg/L) y D2 (5 mg/L). En cambio, en los puntos (RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36) del río Coralaque han excedido únicamente la subcategoría D1. Las mayores de boro se reportaron en las fuentes termales (Figura 6.203d)

- **Cadmio – Cd:** Las concentraciones de cadmio en los puntos (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) del río Titire, excedieron únicamente los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,01); En las fuentes termales y en los aportantes, las concentraciones de cadmio fueron menores al límite de detección del método de ensayo (Figura 6.203e).

- **Cobalto – Co:** Las concentraciones de cobalto en los puntos (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) del río Titire, excedieron únicamente el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,05 mg/L), en los demás puntos evaluados las concentraciones cobalto fueron menores e incluso por debajo del límite de detección del método de ensayo (Figura 6.204a).

- **Cobre – Cu:** Las concentraciones de cobre en los puntos (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) del río Titire, excedieron los valores de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,2 mg/L) y D2 (0,5 mg/L); En cambio, las concentraciones de cobre en los puntos (CORA-1, RCora1, RCora2, RCora3 y RCora4) del río Coralaque excedieron únicamente el valor de la subcategoría D1. La excedencia de cobre en los puntos mencionados estaría relacionado a los aportes del río Aruntaya (AG-10), Figura 6.204b.

- **Hierro – Fe:** Las concentraciones de hierro en los puntos (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-2, TIT-3, TIT-4 y CORA1) del río Titire y la fuente termal FQuell, excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 (0,5 mg/L). La excedencia de hierro en los puntos del cuerpo principal estaría relacionada a los aportes del río Aruntaya (AG-10), Figura 6.204c.

- **Litio – Li:** Concentraciones de litio en los puntos (TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) del río Titire y en las fuentes termales (FTiti1, FQuell, FPBello y FTiti3), excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 – D1 y D2 (2,5 mg/L); En cambio, en las quebradas Chilota, Totorani, así como en los ríos Chiquirani y Coralaque se presentaron bajas concentraciones de litio. La mayor concentración de litio se reportó en las fuentes termales (Figura 6.204d).

- **Manganeso –Mn:** Las concentraciones de manganeso en los puntos de los ríos Titire (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) y Coralaque (CORA-1, RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36), así como, en las fuentes termales (FTiti1, FQuell, FPBello y FTiti3), excedieron el valor de los ECA para agua 2017: Cat.3 - D1 y D2 (0,2mg/L). La excedencia de manganeso en los puntos del cuerpo principal estaría relacionada a los aportes del río Aruntaya (AG-10), Figura 6.204e.

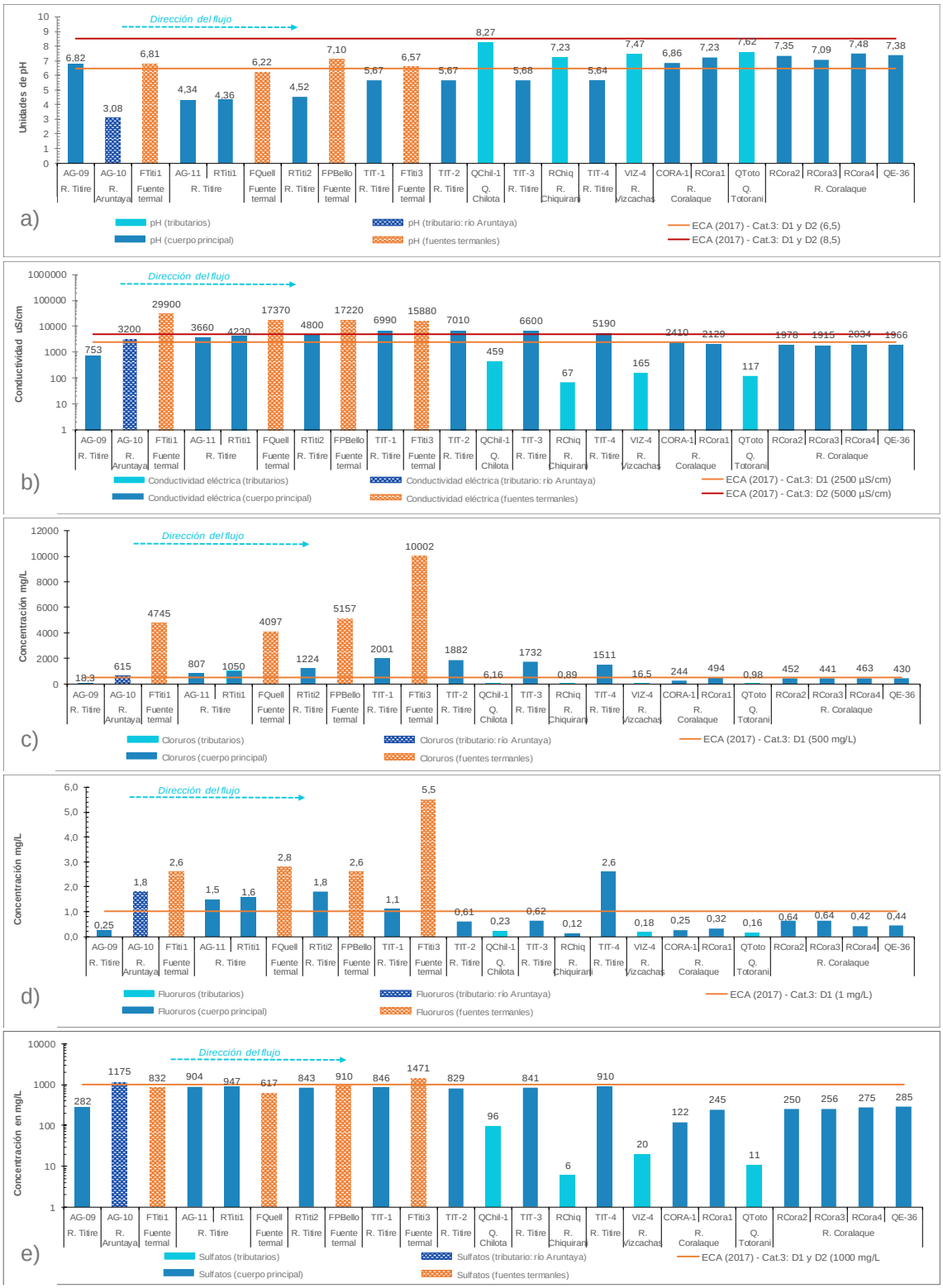


Figura 6.202. Valores y concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Titire-Coralaque comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) potencial de hidrogeno, b) conductividad eléctrica, c) cloruros, d) fluoruros y e) sulfatos



Figura 6.203. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Titire-Coralaque comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) bicarbonatos, b) aluminio, c) arsénico, d) boro y e) cadmio



Figura 6.204. Concentraciones reportadas en los cuerpos de agua de la zona Titire-Coralaque comparados con los ECA para agua (2017) - Cat.3: D1 y D2: a) cobre b) hierro c) litio y d) manganeso

6.3.5.2. Sedimento

La zona Titire – Coralaque en la evaluación ambiental de sedimento, comprende los puntos de muestreo ubicados en los ríos Titire (AG-09, AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4), Coralaque (CORA-1, RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36), así como los principales tributarios: río Aruntaya (AG-10), quebrada Chilota (QChil-1) y el río Vizcachas (VIZ-4). Los resultados de los principales parámetros fisicoquímicos y metales evaluados en esta zona se presentan en la Tabla 6.69 y las Figuras 6.205, 6.206, 6.207 y 6.208. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo C (reporte de resultados).

Los valores de pH obtenidos en los sedimentos de los ríos Titire y Aruntaya (puntos AG-09, AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3, TIT-4, CORA1, RCora1, Rcora2, RCora3, RCora4 y QE-36), que forman el cuerpo de agua principal variaron desde 7,02 a 5,7. Se observa una disminución en los valores de pH entre los puntos AG-11 a TIT-2, desde 6,16 a 4,85, luego del aporte del río Aruntaya (AG-10), en el cual también se encontró un bajo valor de pH (4,22). Seguidamente los valores de pH incrementan, desde 5,33 a 5,7, principalmente al aporte de los tributarios: quebrada Chilota (QChil1) y el río Vizcachas (VIZ-4), en los cuales se obtuvieron valores de pH de 6,92 y 7,23 (neutros). Así se evidencia un cambio en la calidad de los sedimentos del cuerpo de agua principal, pasando de tener características neutras (AG-09) a ácidas a lo largo del río, luego del aporte del tributario Aruntaya (AG-10).

Se encontraron bajos contenidos de materia orgánica en los ríos Titire y Coralaque (cuerpo principal); así como en los tributarios Aruntaya, Vizcachas y la quebrada Chilota; con valores por debajo del límite de detección del laboratorio (< 0,3) hasta 0,9 %, 0,6 %, 0,6 %, 0,3 % y 0,7 % en los puntos AG-11, RTiti2, VIZ-4, CORA1 y RCora1.

Además, se encontró altas proporciones de partículas finas entre limo y arcilla (> 45 % a 86,06 %) en los puntos de muestreo del cuerpo de agua principal (ríos Titire y Coralaque), a excepción del punto AG-09, donde hubo una predominancia de arena (89,48 %). Asimismo, en los tributarios como la quebrada Chilota (QChil1) y el río Vizcachas (VIZ-4) se registraron altos porcentajes de arena (75,53 % y 77,39 %) y bajos contenidos de limo y arcilla; mientras que en el río Aruntaya (AG-10) el contenido de limo y arcilla representan en conjunto 74,68 %, siendo el contenido de partículas finas uno de los factores más importantes capaz de variar la concentración de metales pesados en el sedimento.

Tabla 6.69. Concentraciones de metales y valores de parámetros fisicoquímicos en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

Parámetros	Unidades	Puntos de muestreo																
		AG-09	AG-10	AG-11	RTiti1	RTiti2	TIT-1	TIT-2	QChil1	TIT-3	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora2	RCora3	RCora4	QE-36
		Río Titire	Río Aruntaya	Río Titire					Q. Chilota	Río Titire		Río Vizcachas	Río Coralaque					
pH	Unidades de pH	7,02	4,22	6,16	4,42	5,79	5,61	4,85	6,92	5,33	3,9	7,23	3,86	4,41	5,01	5,53	5,81	5,7
Sulfatos	mg/kg S	420	27880	18280	41730	20290	28630	22270	400	38600	39498	426	39242	18984	19200	14070	9830	8670
Materia orgánica	%	<0,3	<0,3	0,9	<0,3	0,6	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,6	0,3	0,7	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Grava	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arcilla	%	2,28	16,55	14,12	11,79	14,66	16,81	15,51	5,37	9,49	18,15	5,02	12,31	14,96	17,67	18,49	19,29	16,16
Limo	%	8,17	58,13	49,82	41,32	51,93	58,37	54,45	19,08	34,91	65,69	17,63	43,15	51,72	62,28	65,49	66,77	56,41
Arena	%	89,48	25,29	36,06	46,92	33,4	24,81	30,06	75,53	55,63	16,16	77,39	44,54	33,31	20,02	16,02	13,94	27,44
Clase textural	-	Arena	Franco limoso	Franco limoso	Marga	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco arenoso	Franco arenoso	Franco limoso	Arena arcillosa	Marga	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso	Franco limoso
Fe	mg/kg PS	13093	195507	202300	191681	163130	105876	220419	14391	78481	212603	14631	252333	116388	156659	231433	80441	84548
Cu	mg/kg PS	13	219	2844	624	1014	1760	315	23	1900	1470	17	298	502	578	827	1307	937
Pb	mg/kg PS	11,2	82	44,9	27,2	30,7	16,4	20,5	7,191	10,6	22,2	7,014	13,3	13,8	10,4	10,4	9,9	13
Zn	mg/kg PS	34	112	112	69	90	209	48	32	131	50	30	19	70	79	372	428	374
Cd	mg/kg PS	0,15796	1,0836	0,67664	0,49566	0,52691	0,91833	0,20688	0,16356	0,55224	0,42888	0,0685	0,15075	0,46194	0,47866	5,2325	3,2876	2,6936
Co	mg/kg PS	4,47	9,627	5,901	4,604	5,378	6,159	3,761	6,124	4,898	6,277	6,927	5,326	6,573	5,785	26,9	15,5	20,3
Cr	mg/kg PS	6,808	21,9	29	35,6	28,5	21,2	28,6	4,358	27,6	25,8	1,174	21	14,9	24,3	28,8	16,3	19,2
Ni	mg/kg PS	4,23	14,5	10,3	5,25	7,95	5,53	6,52	3,62	16,3	7,22	4,57	2,56	6,09	6,8	24,6	13,2	17,4
Hg	mg/kg PS	0,045	5,25	3,77	5,3	4,7	2,63	3,82	0,021	2,06	7,97	0,016	4,72	2,54	3,27	6,14	1,54	1,32
As	mg/kg PS	26,4	2720	2018	2250	1897	1663	2198	7,63	1603	2433	63,6	2757	1176	1287	1946	951	737
Sb	mg/kg PS	0,0576	3,036	3,006	2,93	1,806	1,188	1,847	0,2279	0,8277	2,903	0,0249	3,555	1,06	0,7124	1,289	0,3747	0,2387
Al	mg/kg PS	9735	14935	53211	93958	65812	108279	28829	10785	126806	41804	11570	31609	41840	47500	53364	63417	55266
Mn	mg/kg PS	416	144	75,7	94,6	122	96,7	85,1	680	73,2	133	675	168	247	167	272	286	378
Ca	mg/kg PS	5439	3110	8868	4785	8665	8953	2215	10477	3336	2721	2672	702,4	3117	3459	5131	6139	7376
Na	mg/kg PS	1280	7334	28717	16221	25106	32952	1825	1104	14785	11380	588	980	5307	3268	4179	4234	3444
K	mg/kg PS	3137	3185	3607	2095	3231	3274	2390	2926	1647	1641	2047	844	2097	1969	1305	2145	2747
Mg	mg/kg PS	2946	1188	1903	1051	2186	1808	1996	3734	1016	1873	3499	1119	3005	3068	1848	3347	5131
Ba	mg/kg PS	250,6	209,4	126,3	86,95	134,8	124,8	160,5	345,3	38,96	121,7	165,7	88,86	169	105,5	67,77	110,6	155,6

<: Menor al límite de detección de los laboratorios que realizaron los análisis, Laboratorios AGQ PERÚ S.A.C, ALS LS Perú S.A.C., SGS del Perú S.A.C.

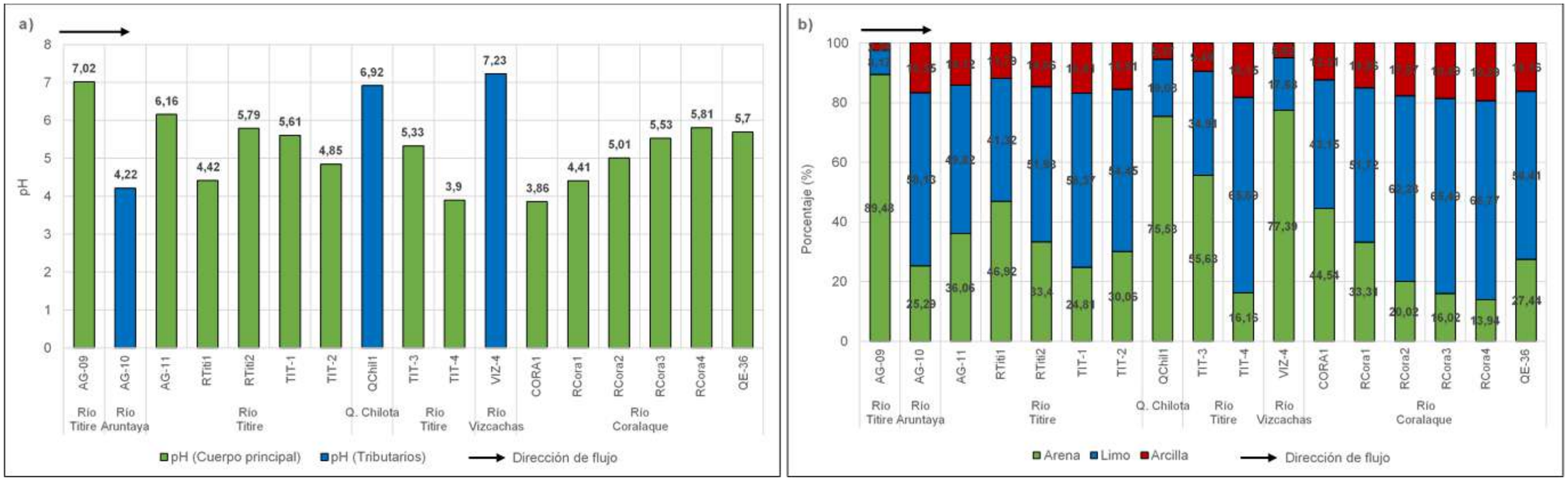


Figura 6.205. Valores de **a)** pH, **b)** análisis granulométrico y **c)** sulfatos en la zona Titire - Coralaque

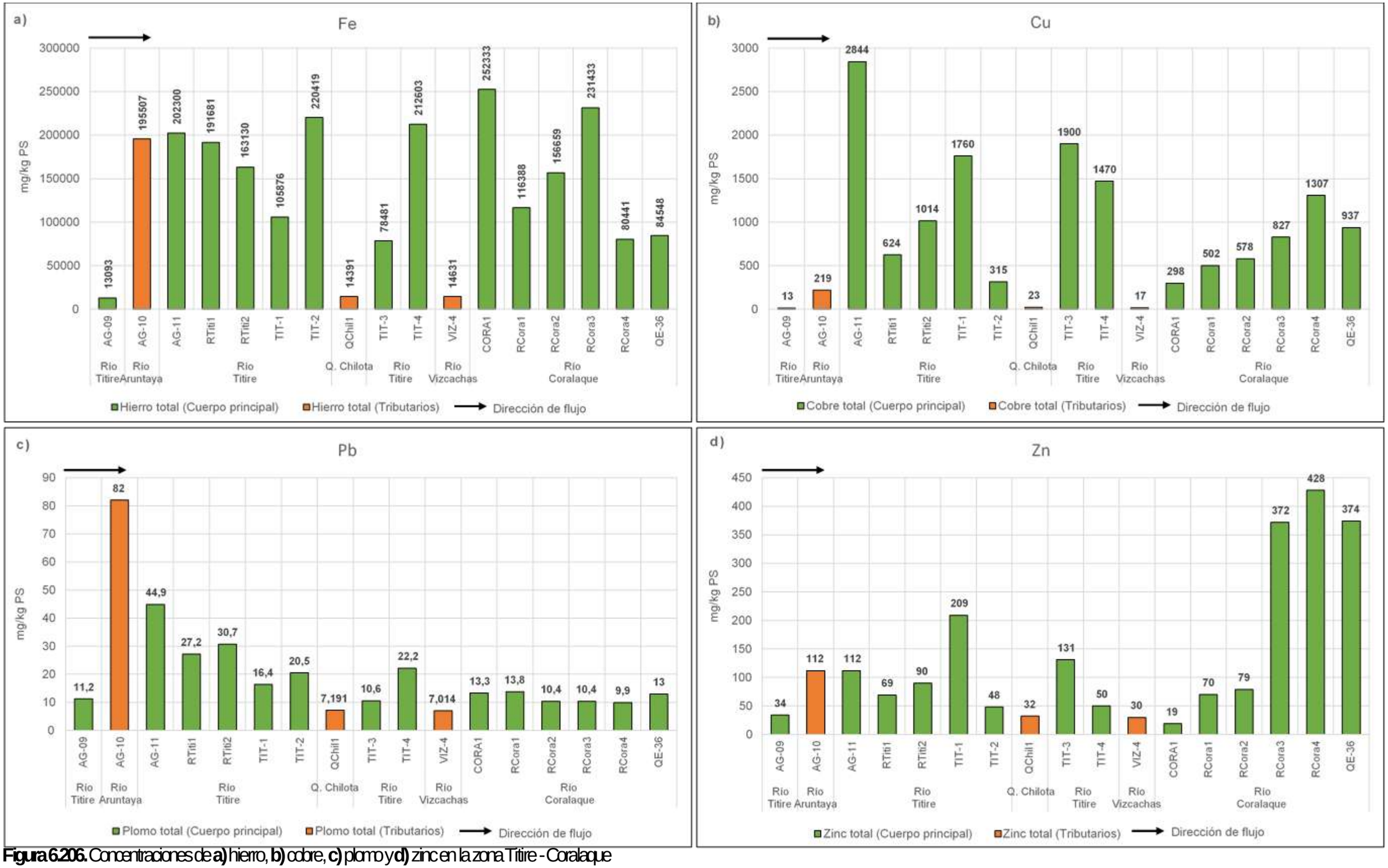


Figura 6.206. Concentraciones de **a)** hierro, **b)** cobre, **c)** plomo y **d)** zinc en la zona Titire - Coralaque

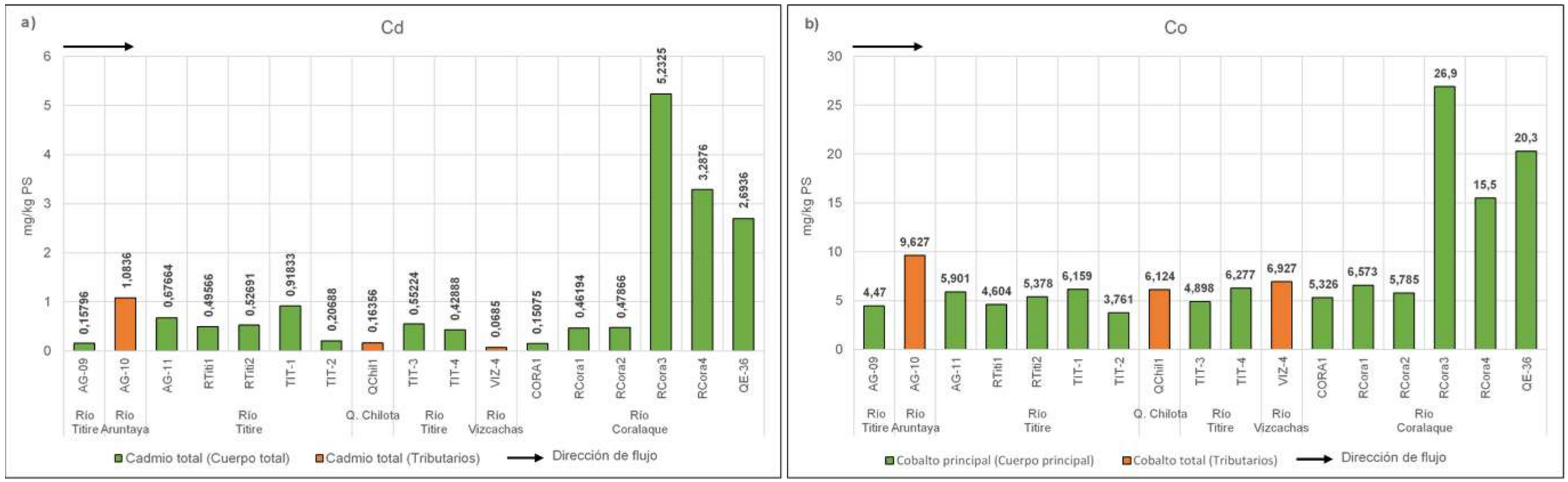


Figura 6.207. Concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobalto, **c)** cromo y **d)** níquel en la zona Titire - Coralaque

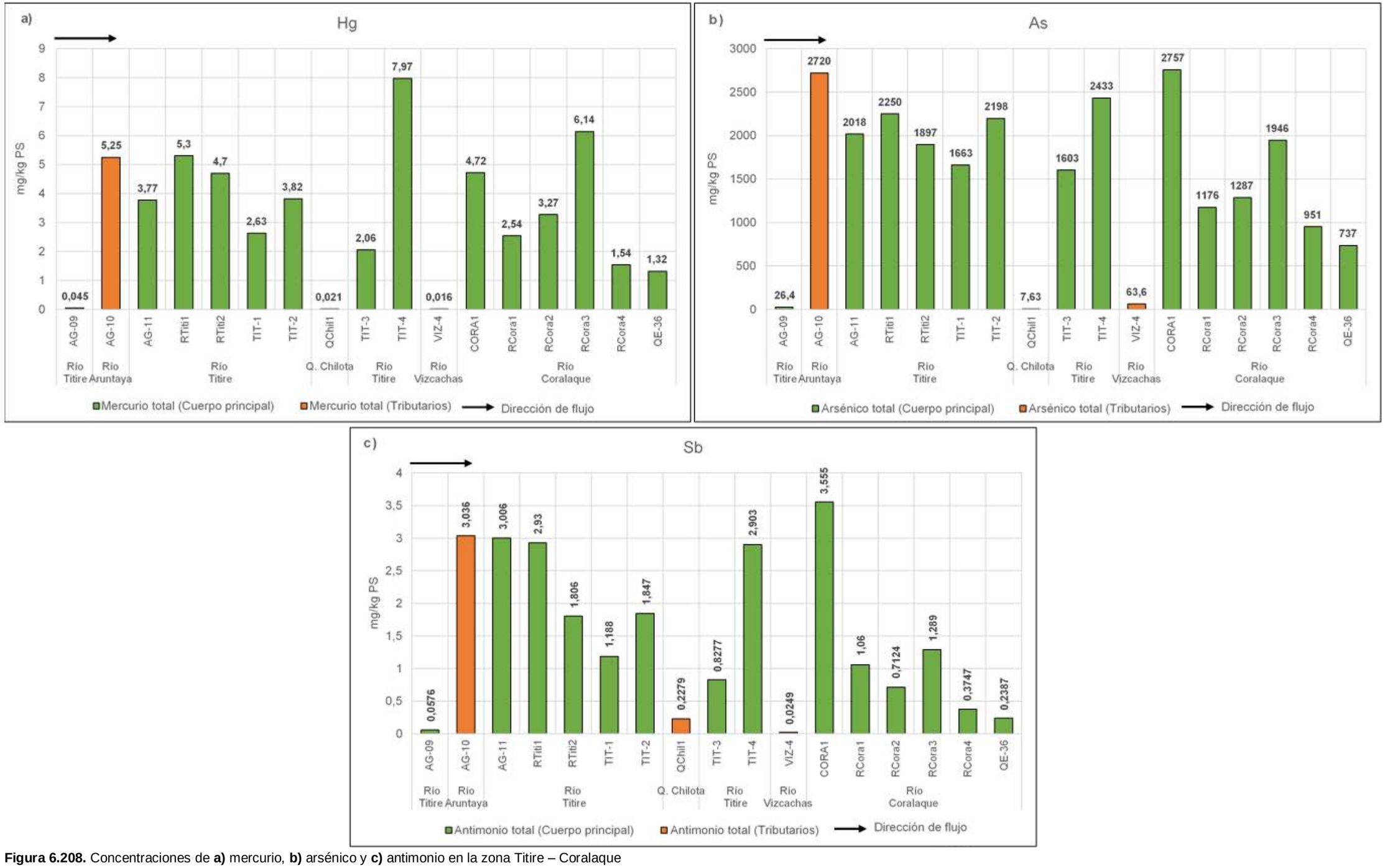


Figura 6.208. Concentraciones de **a)** mercurio, **b)** arsénico y **c)** antimonio en la zona Titire – Coralaque

En cuanto a las concentraciones de sulfatos, se observa un incremento entre los puntos AG-09 y AG-11 del río Titire, pasando de 420 mg/kg S a 18280 mg/kg S, luego del aporte del río Aruntaya (AG-10), en el cual se registró una elevada concentración de sulfatos de 27880 mg/kg S. Luego se evidencian altas concentraciones de este parámetro en el cuerpo de agua principal desde 20290 a 41730 mg/kg S entre los puntos RTiti1 a CORA1; y seguidamente disminuyen en el río Coralaque de 18984 a 8670 mg/kg S en los puntos RCora1 a QE-36. Por otra parte, en los tributarios como la quebrada Chilota (QChil1) y el río Vizcachas (VIZ-4), se obtuvieron bajas concentraciones de sulfatos de 400 y 426 mg/kg S, respectivamente, evidenciándose que el principal aportante de este parámetro al cuerpo de agua principal es el río Aruntaya (AG-10).

Asimismo, se evidencia un incremento de las concentraciones de hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico y antimonio, entre los puntos AG-09 y AG-11 del río Titire (cuerpo principal), pasando de 13093 a 202300 mg/kg PS; 13 a 2844 mg/kg PS; 11,2 a 44,9 mg/kg PS; 34 a 112 mg/kg PS; 0,15796 a 0,67664 mg/kg PS; 4,47 a 5,901 mg/kg PS; 6,808 a 29 mg/kg PS; 4,23 a 10,3 mg/kg PS; 0,045 a 3,77 mg/kg PS; 26,4 a 2018 mg/kg PS; 0,0576 a 3,006 mg/kg PS, respectivamente, luego del aporte del río Aruntaya (AG-10), en el cual se registró una elevada concentración de los elementos mencionados (219 mg/kg PS; 82 mg/kg PS; 112 mg/kg PS; 1,0836 mg/kg PS; 9,627 mg/kg PS; 21,9 mg/kg PS; 14,5 mg/kg PS; 5,25 mg/kg PS; 2720 mg/kg PS y 3,036 mg/kg PS).

Luego las concentraciones de algunos elementos como hierro, cobre, plomo, cromo, mercurio, arsénico y antimonio disminuyen en el cuerpo de agua principal (ríos Titire y Coralaque) entre los puntos RTiti1 a QE-36; mientras que los valores de otros metales como zinc, cadmio, cobalto y níquel aumentan entre los puntos mencionados, probablemente debido a su similar comportamiento geoquímico. Por otra parte, en los demás tributarios como la quebrada Chilota (QChil1) y el río Vizcachas (VIZ-4) se encontraron bajas concentraciones de hierro (14391 y 14631 mg/kg PS), cobre (23 y 17 mg/kg PS), plomo (7,191 y 7,014 mg/kg PS), zinc (32 y 30 mg/kg), cadmio (0,16356 y 0,0685 mg/kg PS), cobalto (6,124 y 6,927 mg/kg PS), cromo (4,358 y 1,174 mg/kg PS), níquel (3,62 y 4,57 mg/kg PS), mercurio (0,021 y 0,016 mg/kg PS), arsénico (7,63 y 63,6 mg/kg PS) y antimonio (0,2279 y 0,0249 mg/kg PS), evidenciándose que el principal aportante de este parámetro al cuerpo de agua principal, es el río Aruntaya (AG-10).

Concentraciones de metales que excedieron los valores de la guía canadiense CEQG

En la Tabla 6.70, se presentan los resultados de los parámetros arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc evaluados en la zona Titire - Coralaque, comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG.

Tabla 6.70. Resultados de metales en los sedimentos de la zona Titire –Coralaque comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá -CEQG

Punto de muestreo	Nombre	Parámetros						
		As (mg/kg PS)	Cd (mg/kg PS)	Cu (mg/kg PS)	Cr (mg/kg PS)	Hg (mg/kg PS)	Pb (mg/kg PS)	Zn (mg/kg PS)
AG-09	Río Titire	26,4	0,15796	13	6,808	0,045	11,2	34
AG-11		2018	0,67664	2844	29	3,77	44,9	112
RTiti1		2250	0,49566	624	35,6	5,3	27,2	69
RTiti2		1897	0,52691	1014	28,5	4,7	30,7	90
TIT-1		1663	0,91833	1760	21,2	2,63	16,4	209
TIT-2		2198	0,20688	315	28,6	3,82	20,5	48
QChil1	Q. Chilota	7,63	0,16356	23	4,358	0,021	7,191	32
TIT-3	Río Titire	1603	0,55224	1900	27,6	2,06	10,6	131
TIT-4		2433	0,42888	1470	25,8	7,97	22,2	50
VIZ-4	Río Vizcachas	63,6	0,0685	17	1,174	0,016	7,014	30
CORA1	Río Coralaque	2757	0,15075	298	21	4,72	13,3	19
RCora1		1176	0,46194	502	14,9	2,54	13,8	70
RCora2		1287	0,47866	578	24,3	3,27	10,4	79
RCora3		1946	5,2325	827	28,8	6,14	10,4	372
RCora4		951	3,2876	1307	16,3	1,54	9,9	428
QE-36		737	2,6936	937	19,2	1,32	13	374
CEQG[a]	ISQG [b]	5,9	0,6	35,7	37,3	0,17	35	123
	PEL[c]	17	3,5	197	90	0,486	91,3	315

(a) *Canadian Environmental Quality Guidelines–Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life–Fresh Water*
(b) Interim sediment quality guidelines (ISQG): concentración debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos
(c) Probable Effect Level (PEL): concentración sobre la cual se encontrarían usualmente efectos biológicos adversos.
: Concentraciones que exceden el valor de ISQG.
: Concentraciones que exceden el valor de PEL.

Como se observa en la Tabla 6.70, las concentraciones de arsénico en todos los puntos de muestreo del cuerpo de agua principal (ríos Titire y Coralaque) desde el punto AG-09 al QE-36, excedieron el valor PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG. De manera similar, las concentraciones de cubre y plomo superaron el valor PEL, desde el punto AG-11 al QE-36 del cuerpo de agua principal, ubicados luego del aporte del río Aruntaya (AG-10). Además, las concentraciones de zinc en los puntos RCora3, RCora4 y QE-36 del

río Coralaque excedieron el valor PEL, y en el punto TIT-3 superaron el valor ISQG de la mencionada guía de comparación.

Asimismo, sólo el valor de plomo en el punto AG-11 del río Titire superó el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG. Por último, las concentraciones de cadmio también superaron el valor ISQG de la mencionada guía de comparación, en los puntos AG-11, TIT-1, RCora4 y QE-36 (ríos Titire y Coralaque), así como el valor PEL en el punto RCora3. En cuanto a los tributarios, sólo la concentración de arsénico superó el valor ISQG de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG, en el punto QChil1 de la quebrada Chilota; y el valor PEL en el río Vizcachas (VIZ-4).

Extracción secuencial de metales en sedimento

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en las Tabla 6.71 y 6.72 y las Figuras 6.209, 6.210, 6.211 y 6.212. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo de la zona Titire - Coralaque.

Tabla 6.71. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

Fracciones	Cd (mg/kg)					Co (mg/kg)					Cui (mg/kg)					Ni (mg/kg)					Pb (mg/kg)					Zn (mg/kg)					Fe (mg/kg)					Mn (mg/kg)				
	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3	AG-09	AG-11	RTiti1	TIT-1	TIT-3
F1	<0,05	<0,05	0,178	0,135	0,308	0,12	6,12	0,39	0,48	0,62	1,09	3,98	36,13	2,88	198,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	11,1	<5	48	21,1	190,4	52,1	79,3	82,4	4,11	2,25	19,41	16,05	15,32
F2	<0,05	0,098	0,058	0,261	0,08	0,26	2,105	0,203	0,387	0,169	0,57	10,06	24,07	3,36	35,77	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<5	<5	7	5,4	48,2	47	71,1	7,4	91,6	7	7,8	9,1	3,8
F3	<0,05	0,108	<0,05	0,094	0,073	0,255	0,894	0,062	0,332	0,254	2,534	385,6	31,51	229,2	205	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,69	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	14,91	<5	30,95	11,62	144,4	840,5	1625	378,8	1011	92,34	4,4	<0,5	2,77	3,37
F4	<0,05	0,191	0,054	0,18	0,1	1,264	2,274	1,198	1,555	1,377	4,219	989,6	114,5	399	424	0,56	4,65	1,28	1,46	0,76	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	40,39	11,25	78,75	31,72	2448	77685	49720	36295	16891	145,3	16,5	11,22	15,13	12,44
F5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,028	0,697	0,19	0,196	0,488	4,903	20,7	7,442	126,9	401,6	0,97	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	4,49	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	10,12	<5	<5	<5	6,82	2801	3450	1937	4690	4162	45,44	0,52	<0,5	0,52	1,66
F6	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	2,114	0,789	0,292	0,379	0,417	4,47	12,43	5,66	11,41	38,52	2,38	<0,5	<0,5	0,51	0,57	4,27	10,37	6,19	8,33	8,26	20,45	<5	<5	5,49	5,46	10474	8006	6827	7337	20251	62,2	8,2	6,7	7,7	7,1
Suma de fracciones	*	0,397	0,29	0,67	0,561	5,041	12,879	2,335	3,329	3,325	17,786	1422,37	219,312	772,75	1303,39	3,91	4,65	1,28	1,97	1,33	9,45	10,37	6,19	8,33	8,26	30,57	55,3	22,35	115,19	110,62	15893,9	90220,1	60208,1	48851,2	42404,8	440,99	38,87	45,13	51,27	43,69

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).
F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.
<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.
(*): No aplica, puesto que los resultados de las 6 fracciones se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio (< 0,05 mg/kg).

Tabla 6.72. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier, para los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

Fracciones	Cd (mg/kg)						Co (mg/kg)						Cui (mg/kg)						Ni (mg/kg)						Pb (mg/kg)						Zn (mg/kg)						Fe (mg/kg)						
	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora3	QE-36	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora3	QE-36	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora3	QE-36	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora3	QE-36	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora3	QE-36	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora3	QE-36	TIT-4	VIZ-4	CORA1	RCora1	RCora3	QE-36	
F1	0,187	0,055	<0,05	0,279	0,115	0,201	1	2,35	0,65	1,22	1,22	0,72	659,4	5,46	90,99	172,6	0,8	1,45	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,61	<0,5	0,77	2,98	0,99	0,75	<0,5	<0,5	12,1	5,3	<5	19,7	<5	10,6	12812	1710	18603	8404	36,7	18,5	25
F2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,437	1,184	0,375	0,607	0,555	0,423	0,848	1,298	152	0,9	29,68	39,57	2,08	5,31	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,78	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<5	<5	5,6	29,1	313,4	603,1	790,1	575,2	20,4	15,8	5
F3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,532	0,354	0,594	0,088	0,214	0,149	3,556	1,08	12,52	<0,05	2,611	5,035	61,19	143	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,18	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<5	<5	<5	62,63	53,75	6205	12,1	5256	3224	787,7	874,5	1
F4	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,937	0,726	1,48	0,517	0,497	0,643	10,29	5,496	85,78	0,431	23,2	41,37	289,2	424,3	1,47	0,51	0,62	0,73	8,38	3,89	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,63	0,76	8,04	<5	<5	6,62	146	131,8	102205	1178	99427	54218	35558	23565	14
F5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,844	1,674	0,554	0,941	0,757	1,469	45,5	5,927	30,88	20,32	38,02	49,82	0,73	1,67	0,69	0,98	0,76	1,55	9,27	1,94	6,25	4,64	<0,5	<0,5	6,57	12,36	5,88	8,14	5,84	12,47	27229	4261	70567	9422	5712	7424	14
F6	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,696	1,905	0,605	1,107	1,862	4,544	8,94	3,91	3,19	4,21	25,25	38,51	0,69	1,97	0,62	1,1	2,23	5,51	4,26	1,03	2,67	2,04	4,33	9,34	< 5,00	14,03	<5	8,94	14,73	38,13	3156	8840	2771	5073	56249	19763	
Suma de fracciones	0,187	0,055	0	0,279	4,021	2,465	5,989	7,141	3,075	4,483	18,533	14,607	964,14	16,628	180,551	283,105	416,54	662,39	2,89	4,15	1,93	2,81	14,16	11,45	14,3	6,73	9,91	7,43	4,96	10,1	26,71	31,69	5,88	43,4	234,8	275,85	151920,4	16604,2	197414,1	80916,2	98363,8	51660,8	70

Fuente: Anexo C (Reporte de resultados).
F1: Fracción extraíble; F2: Fracción intercambiable y adsorbida; F3: Fracción ligada a carbonatos; F4: Fracción fácilmente reducible y óxidos de hierro; F5: Fracción ligada a materia orgánica; F6: Fracción residual.
<: Menor al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, Laboratorio ALS LS Perú S.A.C.
(*): No aplica, puesto que los resultados de las 6 fracciones se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio (< 0,05 mg/kg).

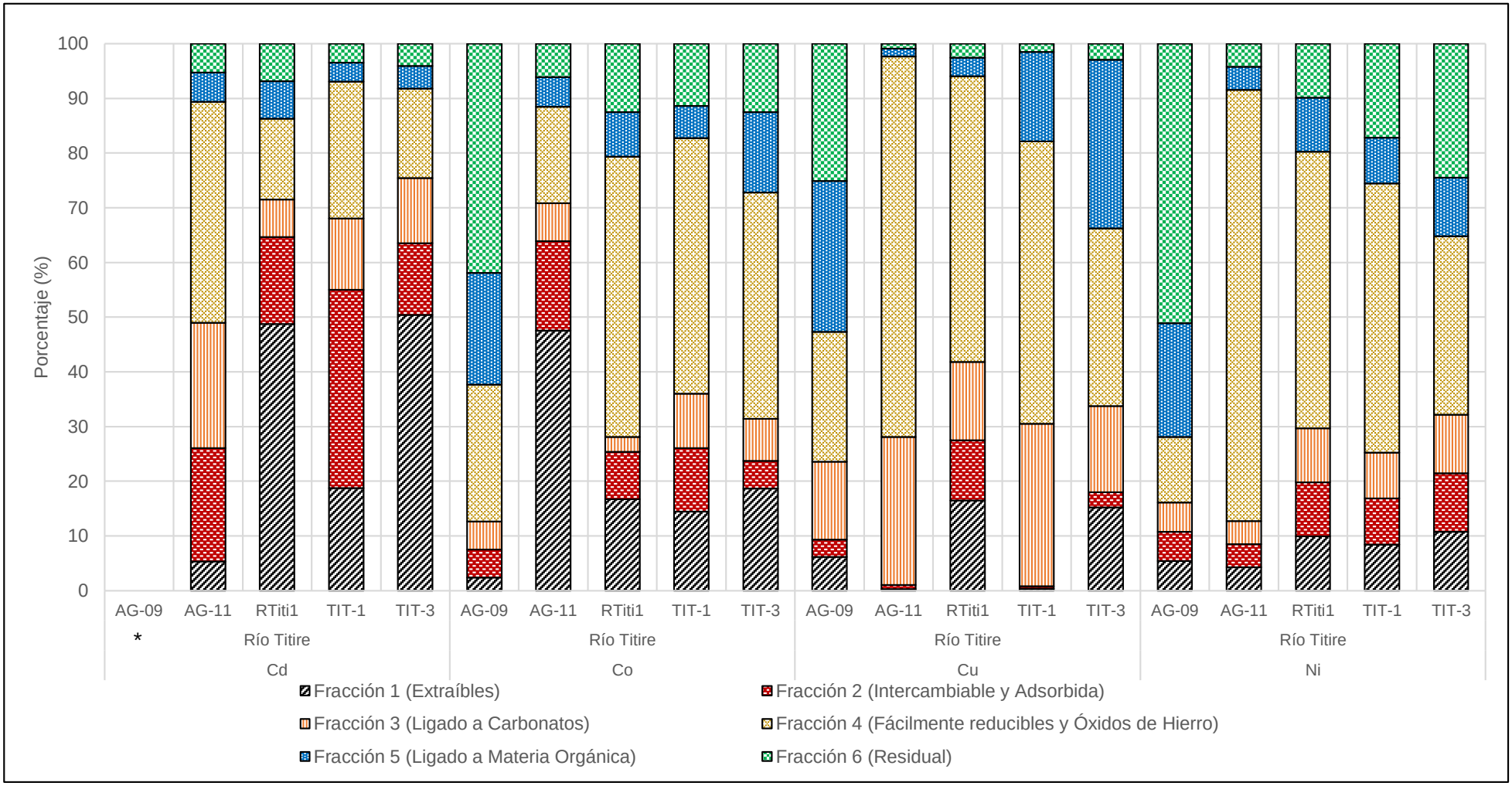


Figura 6.209. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (río Titire). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos del punto AG-09.

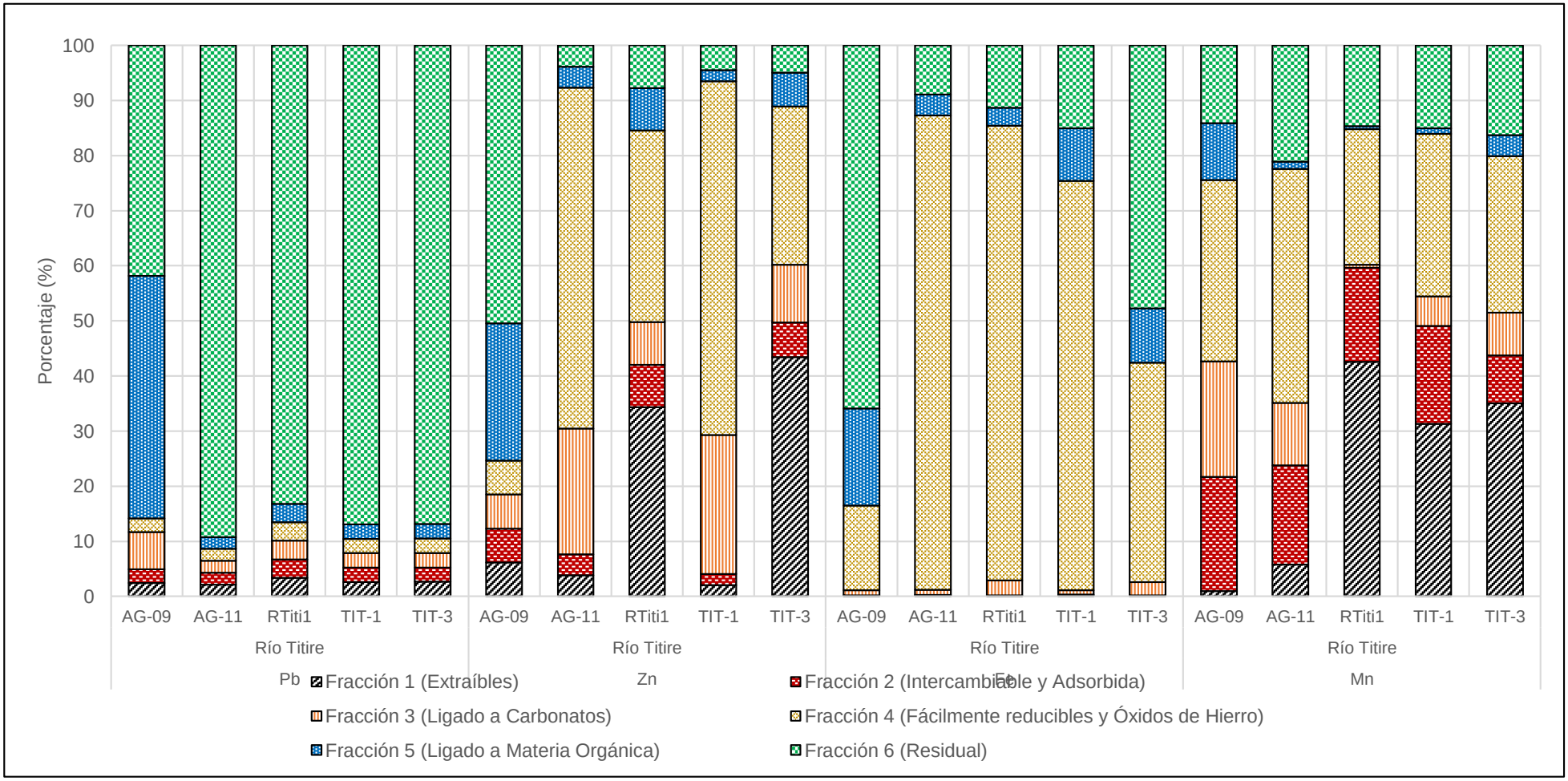


Figura 6.210. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (río Titire).

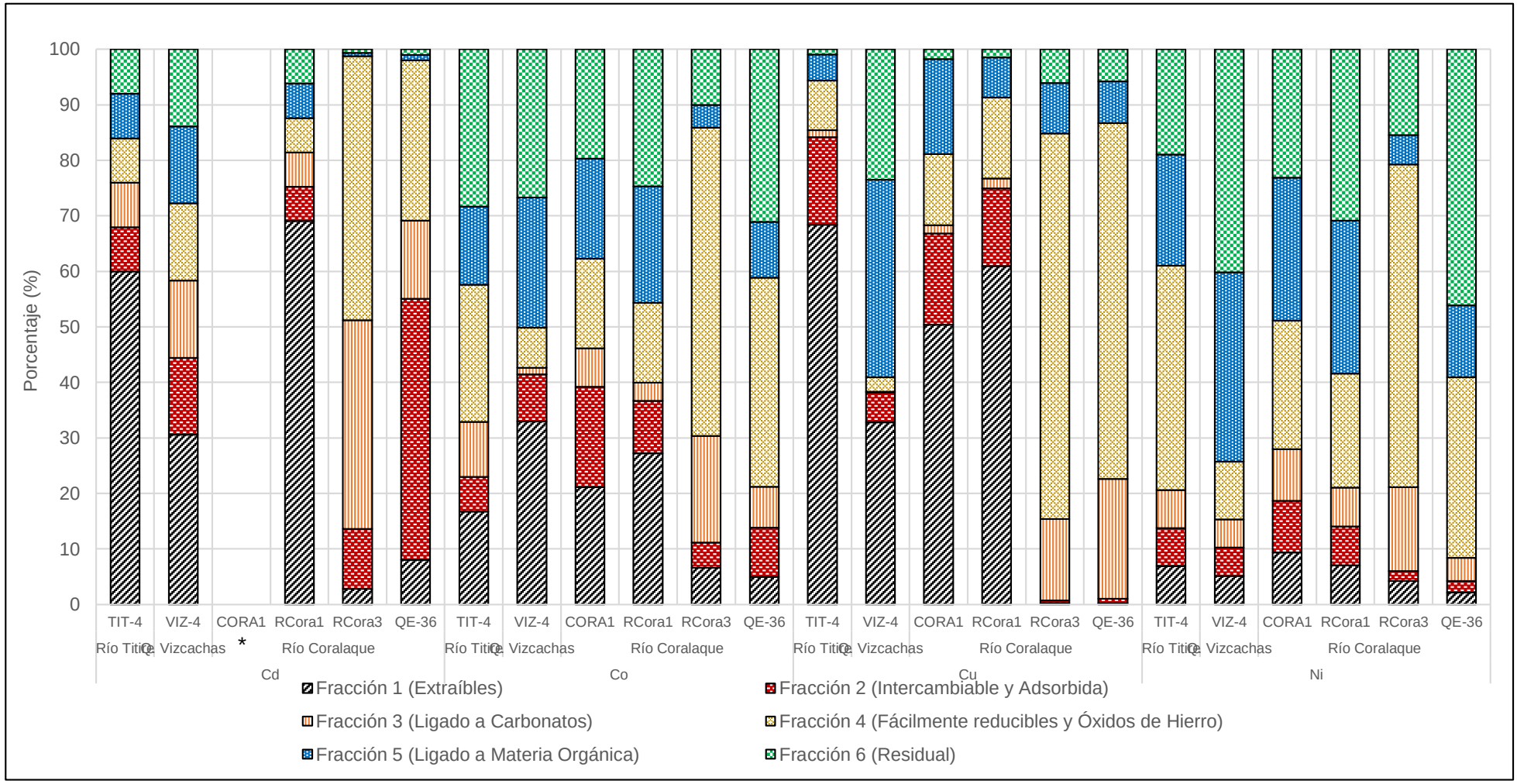


Figura 6.211. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (ríos Titire, Vizcachas y Coralaque). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos del punto CORA1.

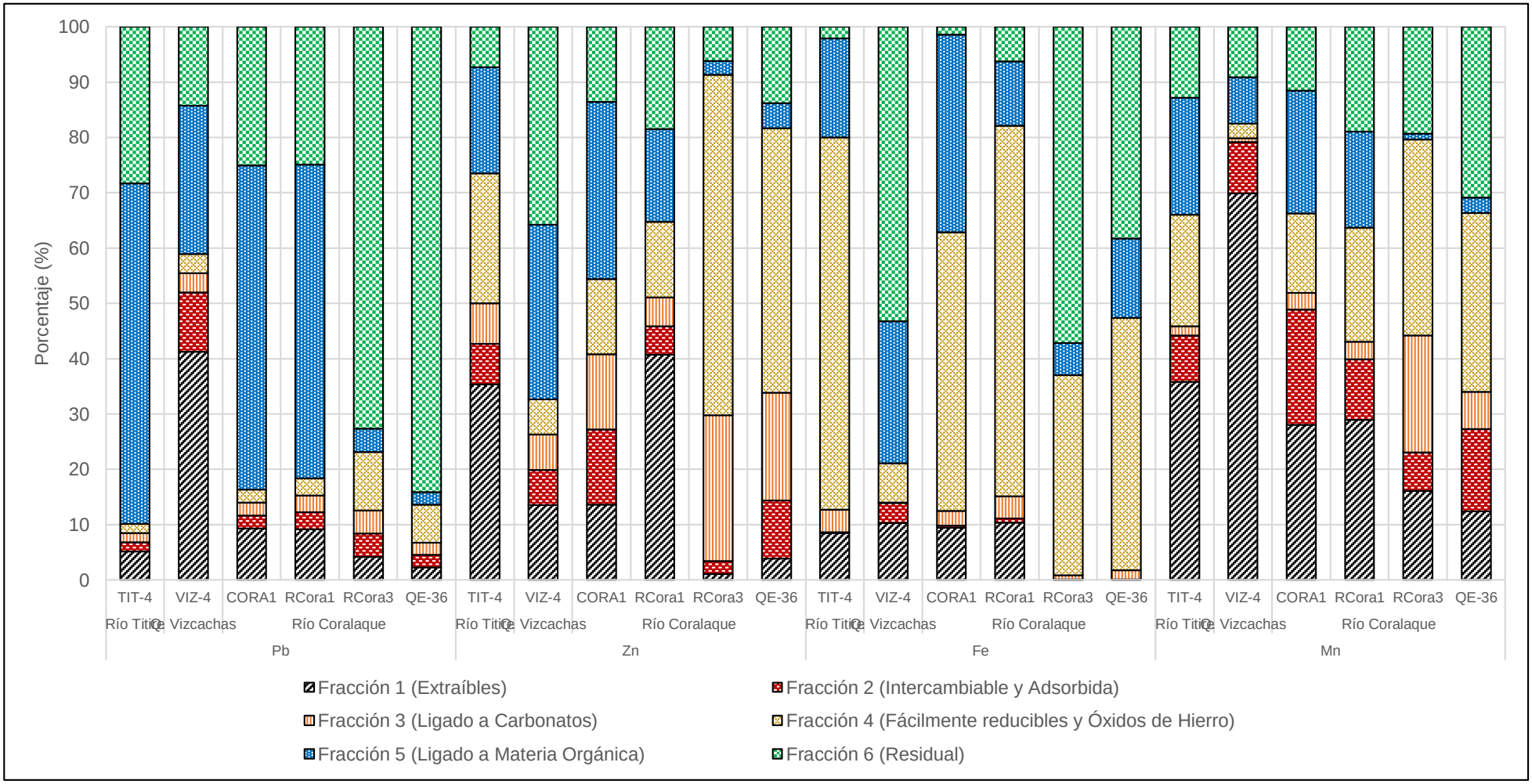


Figura 6.212. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en los sedimentos de la zona Titire – Coralaque (ríos Titire, Vizcachas y Coralaque). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 mg/kg) en los sedimentos del punto CORA1.

De acuerdo con las figuras, se observa que las proporciones obtenidas en las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual) representan desde 2,32 % a 83,52 % en conjunto para los metales cobalto, cobre, hierro y manganeso en el cuerpo de agua principal (ríos Titire y Coralaque) y el río tributario Vizcachas (VIZ-4); asimismo los porcentajes de níquel de estas fracciones para el níquel variaron desde 20,74 % a 74,28 % entre los puntos TIT-4, VIZ-4, CORA1, RCora1, RCora3 y QE-36. Además, se encontraron altas proporciones para el plomo con valores desde 41,07 % a 91,39 % en conjunto para las fracciones 5 y 6, en el cuerpo de agua principal y el tributario Vizcachas, lo que indica la presencia de estos metales enlazados a minerales primarios y secundarios; los cuales no se liberarían en solución durante un periodo de tiempo amplio en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza. Asimismo, el contenido de metales en los sedimentos de los ríos Titire, Coralaque y Vizcachas representados en la fracción 5, se liberaría hacia la columna de agua en condiciones oxidantes, donde la materia orgánica tiende a degradarse.

En relación con la fracción 4 (fácilmente reducibles y óxidos de hierro) se obtuvieron proporciones variables de cobalto, cobre, níquel, hierro y manganeso en los ríos Titire, Coralaque y Vizcachas desde 2,58 % a 86,10 %. La generación de condiciones anóxicas en los sedimentos de estos ríos (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de estos mentales, puesto que los óxidos de hierro y manganeso a los cuales están unidos son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

Además, se registraron menores proporciones en la fracción 3 (ligados a carbonatos) para el cobalto, cobre, hierro y manganeso, en los puntos de los ríos Titire, Coralaque y Vizcachas; con porcentajes desde 0,07 % a 29,66 %. Los metales unidos a esta fracción son susceptibles a cambios de pH en el sistema, lo que ocasionaría que el contenido de metales en el sedimento sea liberado; considerando que se encontraron pH ácidos en los sedimentos de los ríos Titire y Coralaque, y altas concentraciones de metales como hierro representadas en esta fracción (144,4 a 6205 mg/kg).

Finalmente, se encontraron porcentajes variables en conjunto para las fracciones 1 y 2 (extraíbles, intercambiables y adsorbida) para los metales cobalto, cobre, hierro y manganeso desde 0,05 % a 84,15 % en los sedimentos de los ríos Titire, Coralaque y Vizcachas; además se obtuvieron proporciones de 64,65 %, 55,0 %, 63,50 %, 13,55 %, 55,06 % de cadmio, para los puntos RTiti1, TIT-1, TIT-3, RCora3 y QE-36, respectivamente. El contenido de metales representado en esta fracción puede liberarse fácilmente desde los sedimentos hacia la columna de agua, por cambios en la composición iónica del agua que afectan los procesos de sorción – desorción.

Índice de geoacumulación

En esta sección se presentan los resultados de los índices de geoacumulación calculados para la zona Titire - Coralaque. Los niveles de fondo geoquímico (ver Tabla 6.7) fueron calculados a partir de las concentraciones de metales evaluados en los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4), Vizcachas (VIZ-4), Titire (AG-09), así como de las quebradas sin nombre 3 (QSnom3) y Chilota (QChil-1), en tramos de los mencionados cuerpos de agua que no tienen influencia de actividades mineras.

En las Figuras 6.213, 6.214 y 6.215 se presentan los índices de geoacumulación para los metales hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel mercurio, aluminio y calcio calculados para las muestras de sedimento de la zona Titire – Coralaque.

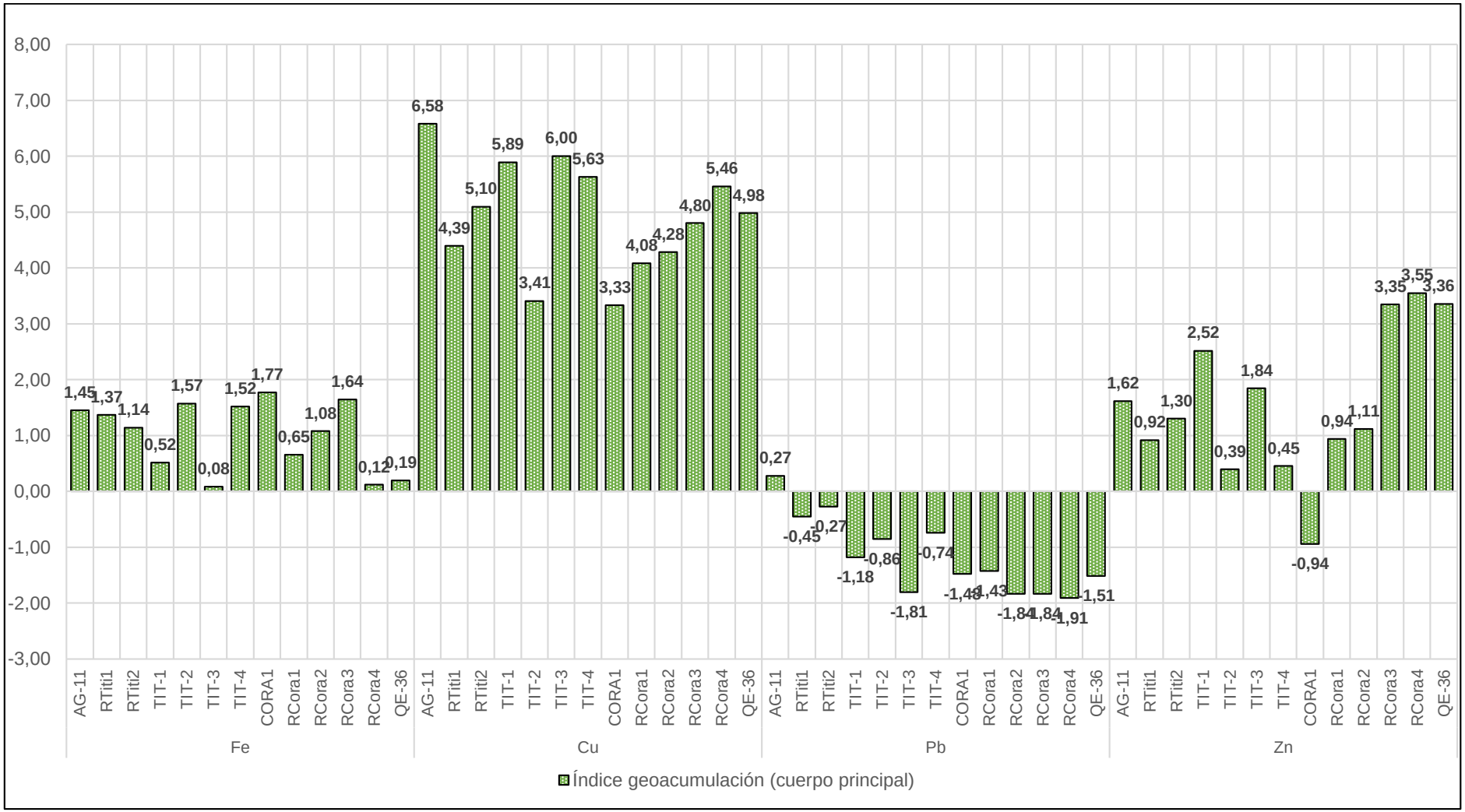


Figura 6.213. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Fe, Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

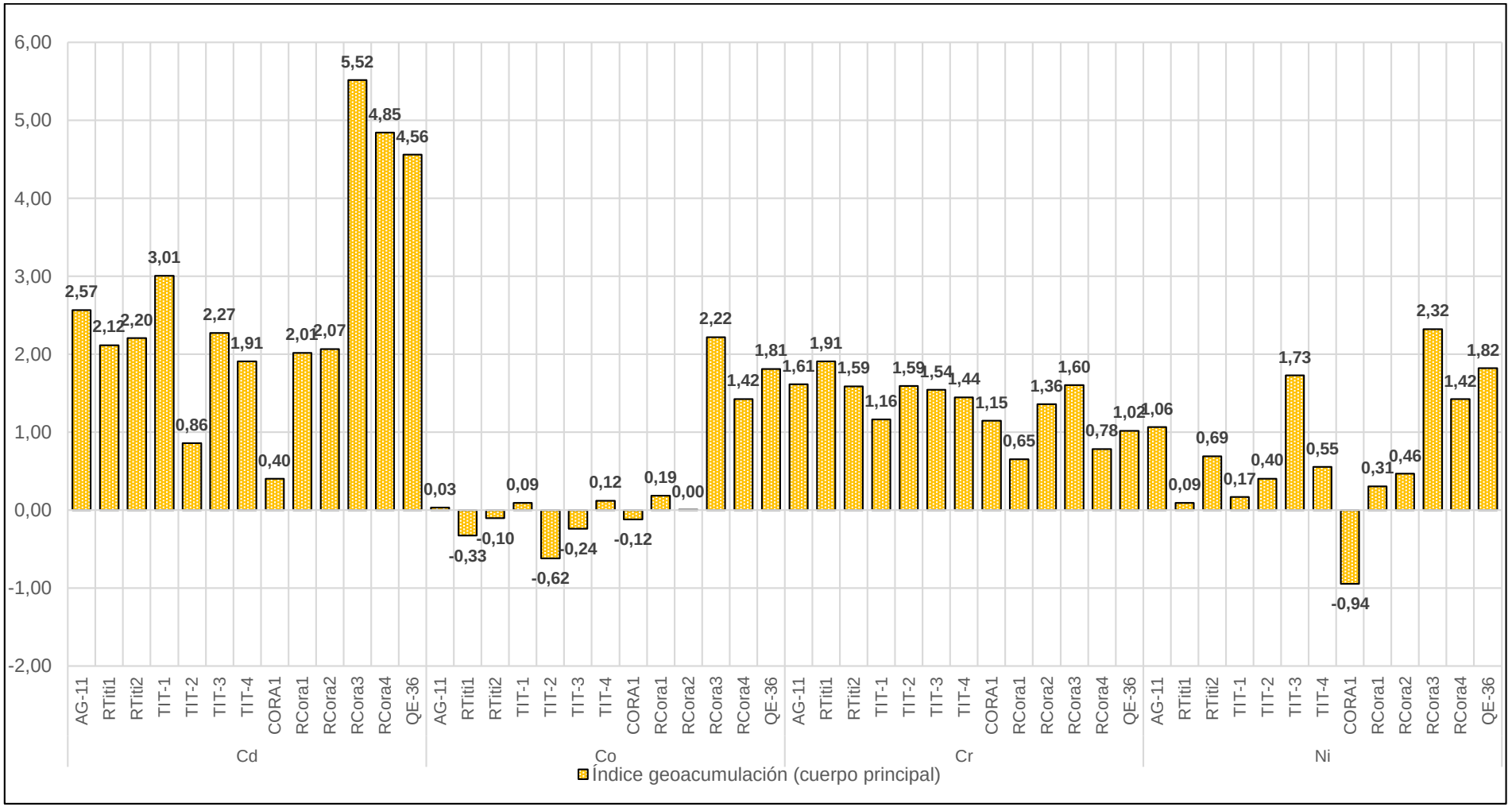


Figura 6.214. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Cd, Co, Cr y Ni en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

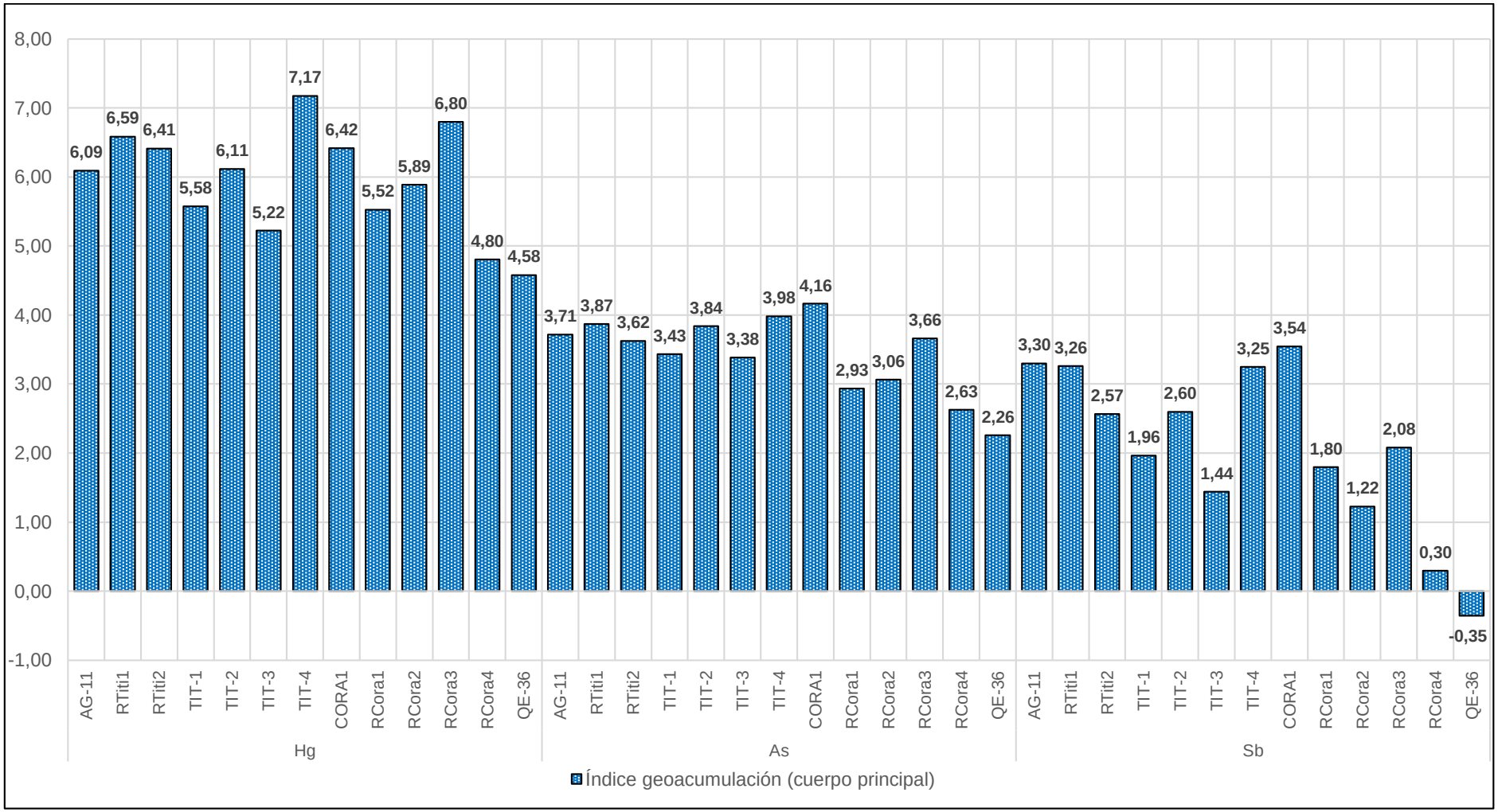


Figura 6.215. Índice de geoacumulación (Igeo) para los metales Hg, As y Sb en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

De acuerdo con los resultados presentados, la calidad de los sedimentos de los ríos Titire y Coralaque (cuerpo de agua principal), fueron clasificados desde «no contaminado a moderadamente contaminado» a «moderadamente contaminado» por hierro y cromo, según el índice de geoacumulación. Asimismo, en base al contenido de cobalto y níquel los sedimentos de los ríos mencionados se catalogaron desde «no contaminado» a «moderadamente a fuertemente contraminado».

El índice calculado para los elementos zinc y antimonio mostraron semejanzas, dándole una clasificación a los sedimentos de los ríos Titire y Coralaque, desde «no contaminado» a «fuertemente contaminado». Por otra parte, sólo el punto AG-11 del río Titire fue catalogado como «no contaminado a moderadamente contaminado» en base al contenido de plomo.

Debido a las altas concentraciones de cadmio, los sedimentos del cuerpo de agua principal llegaron a clasificarse desde «no contaminado a moderadamente contaminado» a «extremadamente contaminado».

Por último, se registraron altas concentraciones de cobre, mercurio y arsénico en el sedimento a lo largo de los ríos Titire y Coralaque, por lo que la calidad de sedimento fue clasificada de acuerdo con el siguiente detalle:

- Cobre: «fuertemente contaminado» a «extremadamente contaminado».
- Mercurio: «fuerte a extremadamente contaminado» a «extremadamente contaminado».
- Arsénico: «moderadamente a fuertemente contaminado» a «fuerte a extremadamente contaminado».

Análisis mineralógico (difracción de rayos X)

El análisis mineralógico por difracción de rayos X de los sedimentos de la zona Titire – Coralaque se presentan en las Figuras 6.216 y 6.217. La composición mineralógica de los sedimentos de los ríos Titire y Coralaque consistió principalmente de minerales como plagioclasas, feldespatos y cuarzo que en conjunto representan 65 %, 45 %, 14 %, 9 %, 7%, 32 %, 59 %, 12 %, 37 %, 15 % y 58 %, para los puntos AG-09, AG-11, RTiti1, TIT-1, TIT-3, TIT-4, VIZ-4, CORA1, RCora1, RCora3 y QE-36, respectivamente.

Asimismo, se encontró proporciones del mineral jarosita (fase de sulfatos) de 2 % sólo en el punto AG-11 del río Titire, ubicado luego de la confluencia del río Aruntaya (AG-10), donde también se evidenció la presencia de este mineral. Cabe mencionar que este mineral secundario no fue identificado en el río Titire (AG-09), antes de la confluencia con el río Aruntaya, considerando que el punto AG-09 fue considerado como un sitio de referencia (blanco), sin influencia de actividades mineras. Por lo que la presencia de la jarosita en el punto AG-11, se atribuye al aporte del río Aruntaya (AG-09) y además a los cuerpos de agua que tributan a este río, como el río Queullirijahuiri y a su vez, el río Margaritani y las quebradas Apostoloni y Margaritani, donde también se identificó la presencia del mineral mencionado y que tendrían influencia de las operaciones mineras emplazadas en la zona.

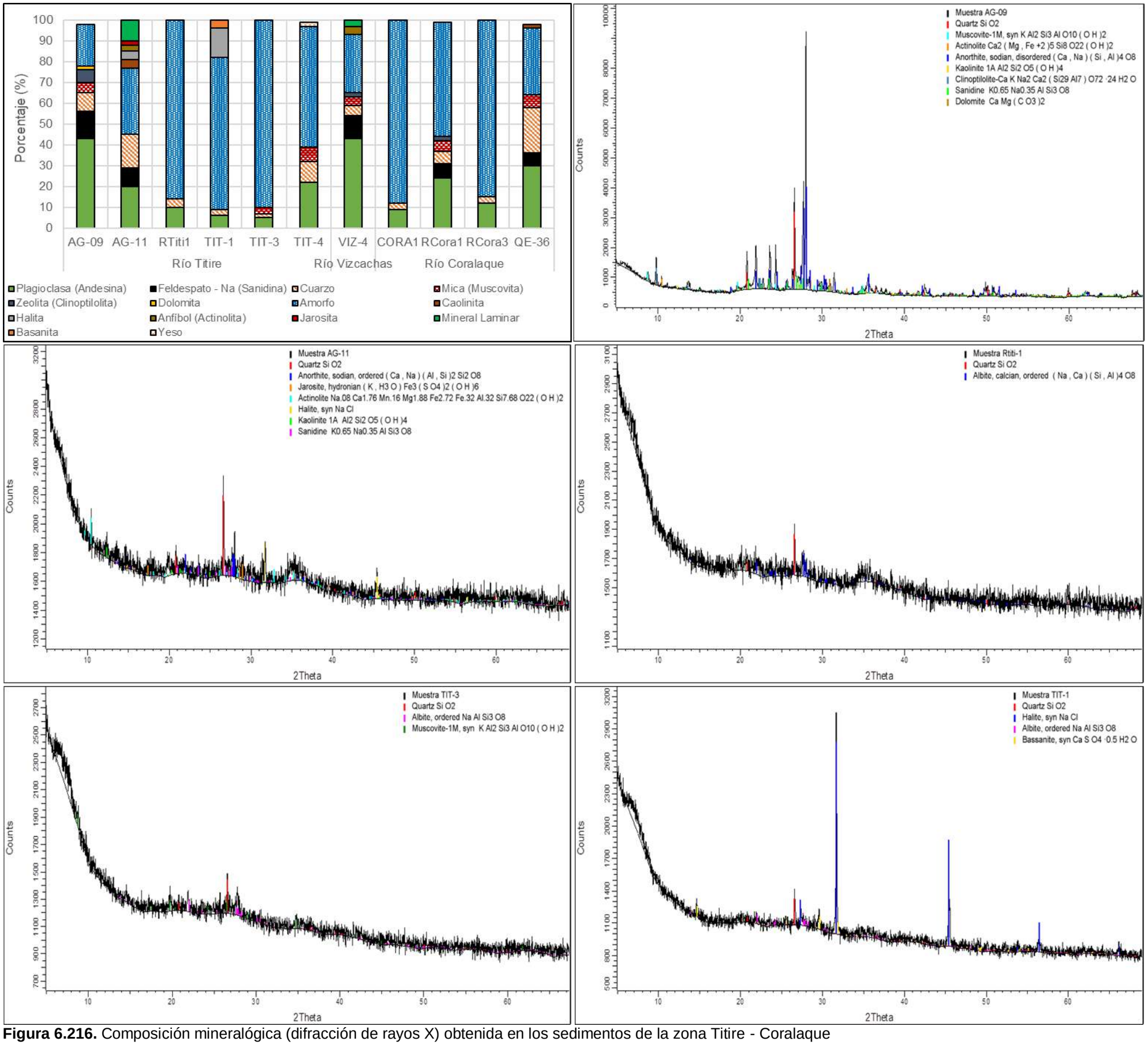


Figura 6.216. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

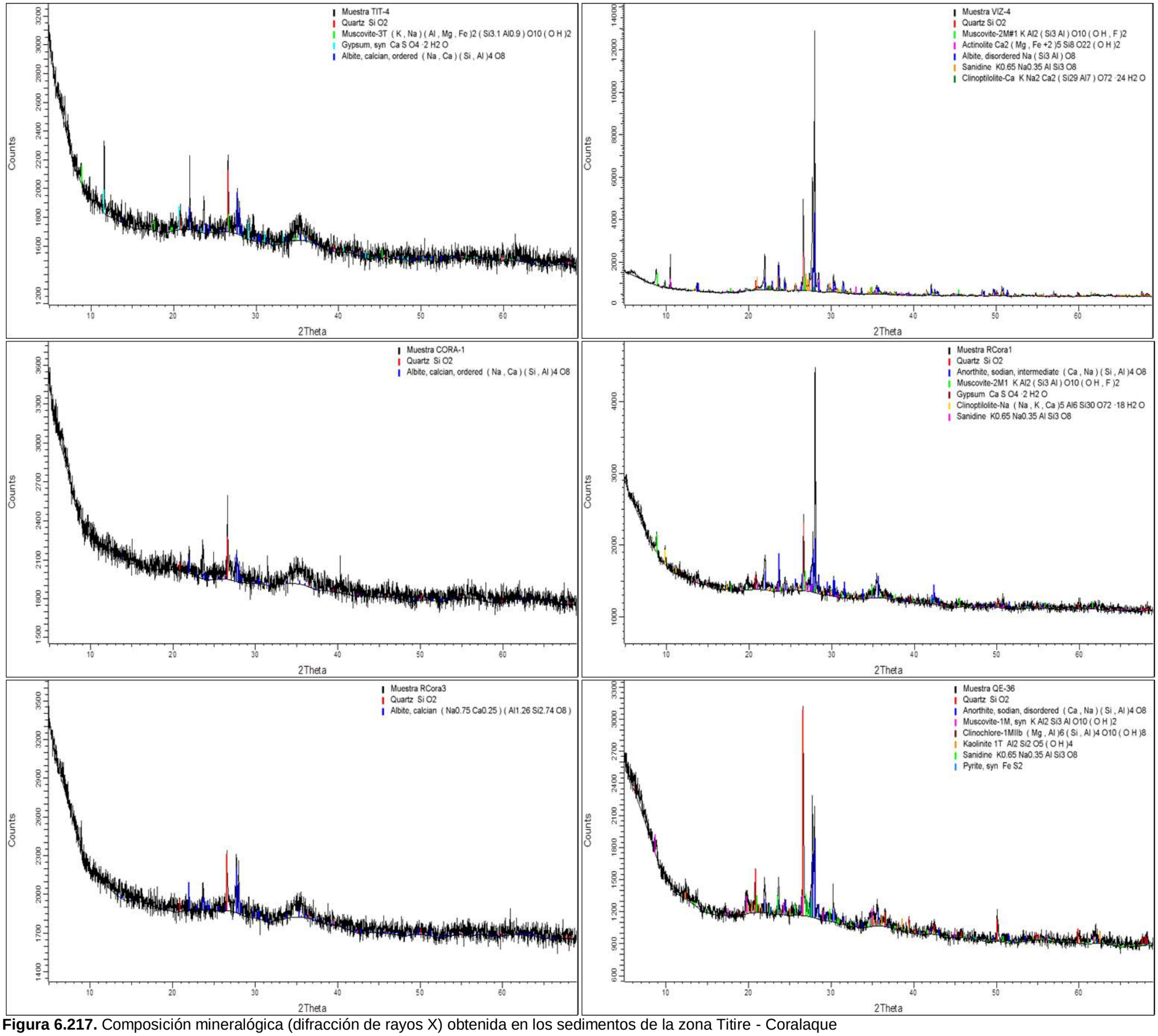


Figura 6.217. Composición mineralógica (difracción de rayos X) obtenida en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

La jarosita es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH <3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards et al., 1999; Smith et al., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos del río Titire en el punto AG-11.

La presencia de otros minerales como mica, zeolita, dolomita, caolinita, halita, basanita y yeso, a lo largo del río Titire y Coralaque (cuerpo principal) en proporciones variables; refleja la heterogeneidad de los materiales presentes (minerales) debido a los procesos de alteración que ocurren en la zona Titire – Coralaque.

Microscopia electrónica de barrido

El análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido de los sedimentos de la zona Titire Coralaque se presentan en la Tabla 6.73 y las Figuras 6.218 y 6.219.

Tabla 6.73. Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

Minerales identificados	Puntos de muestreo				
	Río Titire			Río Coralaque	
	AG-11	TIT-1	TIT-4	CORA1	RCora1
Pirita (FeS_2)	x	x	x	x	x
Galena (PbS)	x	-	-	x	-
Hematita con magnesio y titanio ($(Fe,Mg,Ti)_2O_3$)	x	-	x	-	x
Hematita ($(Fe,Ti)_2O_3$)	-	x	x	x	x
Goethita (FeO.OH)	-	x	x	-	x
Magnetita ($(Fe,Ti)_3O_4$)	-	x	-	-	-
Calcopirita ($CuFeS_2$)	-	x	-	-	-
Molibdenita (MoS_2)	-	x	-	-	-
Arsenopirita (FeAsS)	-	x	-	-	-
Esfalerita ((Zn,Fe,Mn)S)	-	x	-	-	-
Rutilo (TiO_2)	-	-	x	-	-
Hematita (Fe_2O_3)	-	-	x	-	-
Hessita (Ag_2Te)	-	-	-	x	-
Esfalerita ((Zn,Fe)S)	-	-	-	x	-
Barita ($BaSO_4$)	-	-	-	x	-
Óxido de hierro, bismuto y plomo con proporciones menores de plata	-	-	-	x	-
Ilmenita con magnesio ($(Fe,Mg)TiO_3$)	-	-	-	-	x
Magnetita (Fe_2O_4)	-	-	-	-	x

(-): No aplica.

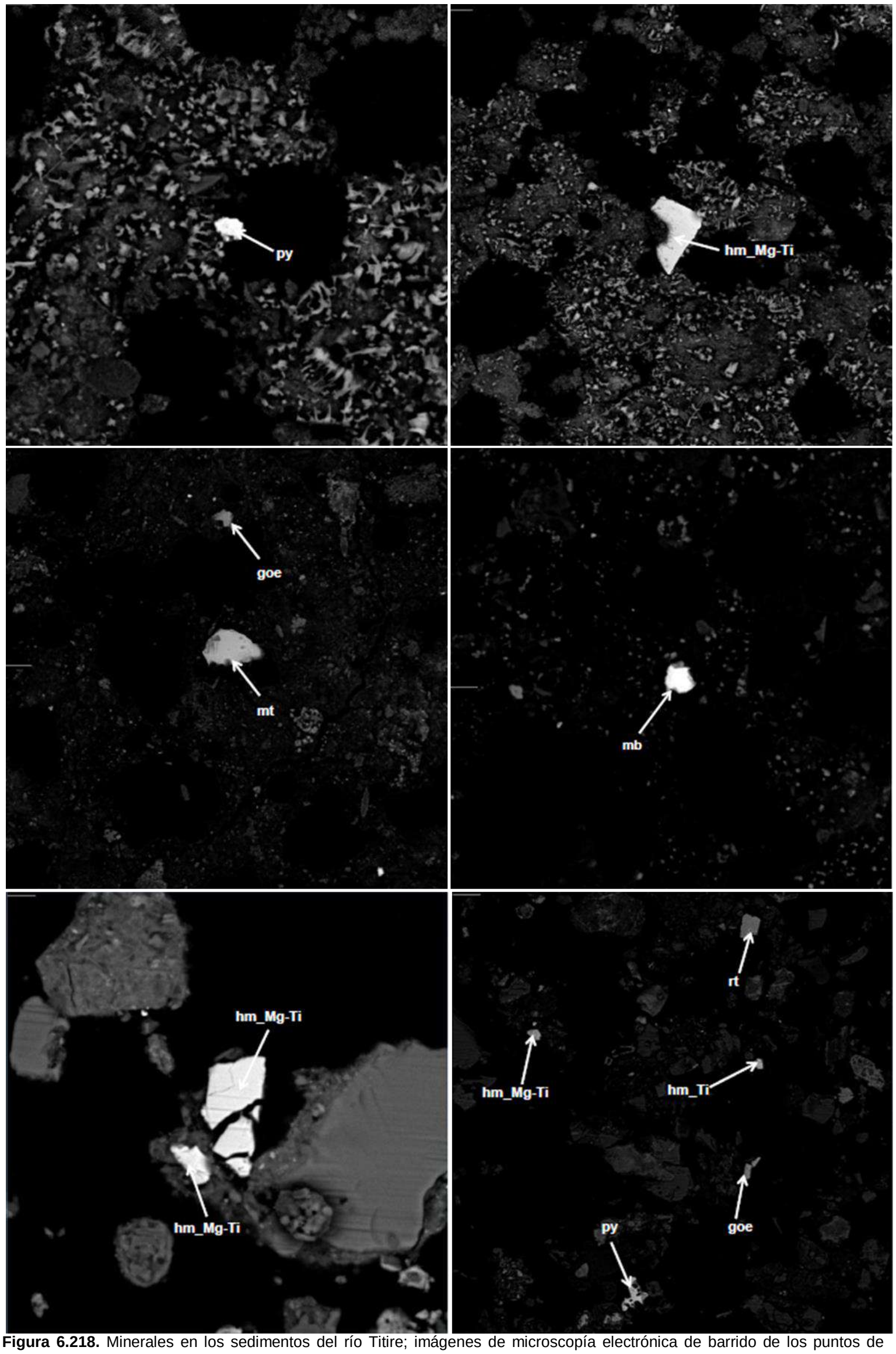


Figura 6.218. Minerales en los sedimentos del río Titire; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo AG-11 (a y b), TIT-1 (c y d) y TIT-4 (e y f). Partícula libre de pirita (py), hematita con magnesio y titanio (hm_Mg-Ti), magnetita (mt), molibdenita (mb), goethita (goe), rutilo (rt), hematita con titanio (hm_Ti).

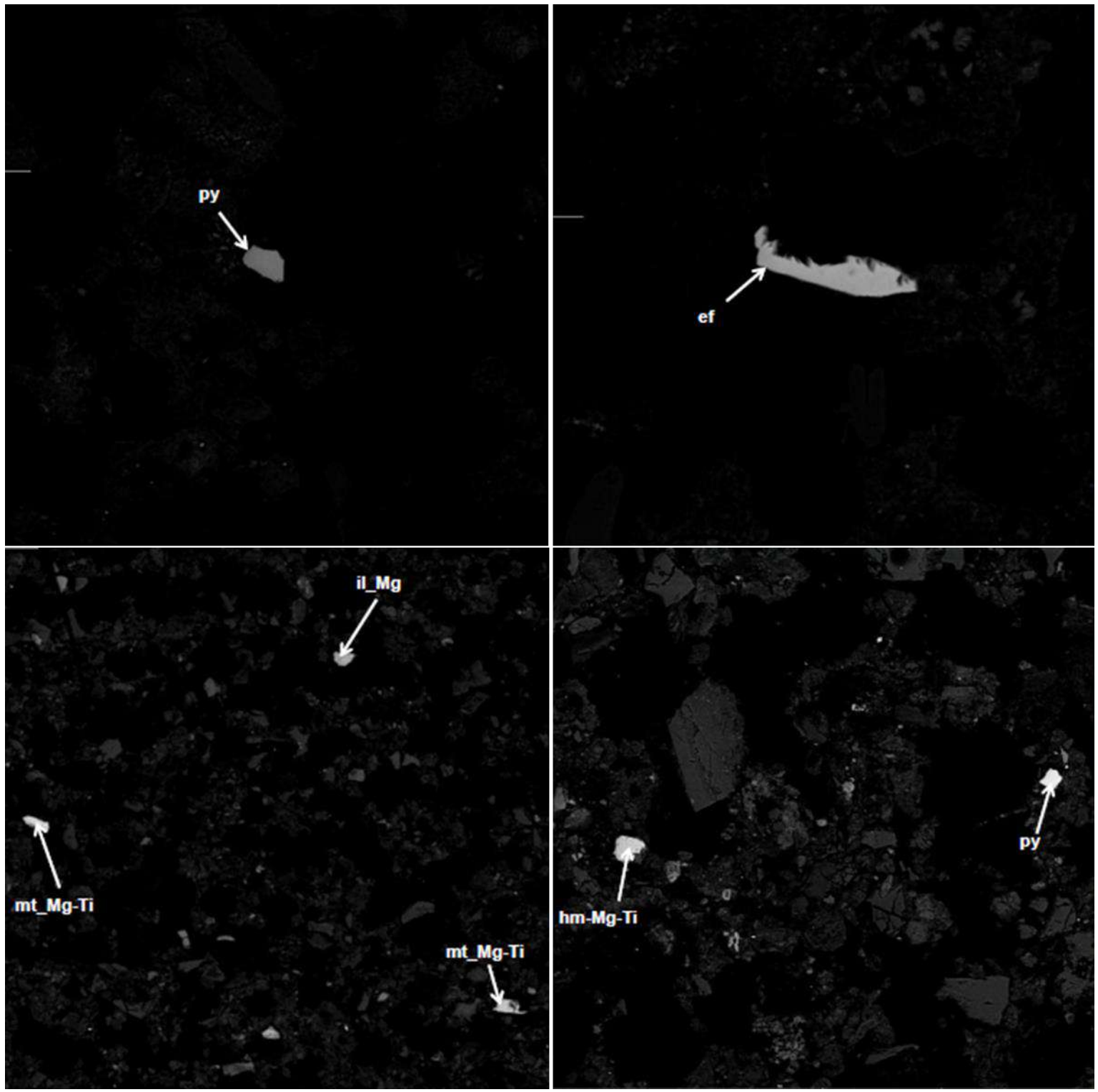


Figura 6.219. Minerales en los sedimentos del río Coralaque; imágenes de microscopía electrónica de barrido de los puntos de muestreo CORA1 (a y b), RCora1 (c y d). Partícula libre de esfalerita (ef), pirita (py), ilmenita con magnesio (il_Mg), magnetita con magnesio y titanio (mt_Mg-Ti), hematita con magnesio y titanio (hm_Mg-Ti)

Como se observa en Tabla 6.73, se identificaron minerales basados en hierro en los sedimentos de los puntos AG-11, TIT-1, TIT-4, CORA1 y RCora1 (ríos Titire y Coralaque), tales como hematita, goethita, magnetita e ilmenita. La formación de minerales como la goethita, están relacionados con un alto contenido de hierro (precipitado) en el sistema. La formación de este mineral depende del pH y las concentraciones de sulfatos en sistemas afectados por drenajes ácidos de mina (Silva *et a*l., 2013), como los identificados a lo largo del cuerpo de agua principal (ríos Titire y Coralaque). En cuerpos de agua con influencia de drenajes ácidos de mina, como los ríos Titire y Coralaque, los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos.

Asimismo, minerales como la goethita pueden ser formados desde la schwertmannita y otros como ferrihidrita y jarosita (Kim *et al.,* 2020); este último fue identificado en los sedimentos del punto AG-11 del río Titire (por difracción de rayos X), probablemente a partir del cual se ha derivado. Además, se identificaron minerales como pirita, galena, calcopirita, molibdenita, arsenopirita, en cantidades traza en los sedimentos de los ríos Titire (AG-11, TIT-1 y TIT-4) y Coralaque (CORA1 y RCora1).

Análisis multivariados

Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales (ACP), empleando los resultados de un total de 22 parámetros de los sedimentos de la zona Titire - Coralaque, permitió reducir el número de variables e investigar el origen y distribución de metales, sulfatos, entre otras variables en los ríos Titire, Coralaque y los tributarios Aruntaya, Vizcachas y Chilota. Las variables se agruparon en 2 componentes principales (PC1 y PC2) que explicaron el 63,62 % de la varianza total del conjunto de datos (Tabla 6.74).

Tabla 6.74. Cargas de los componentes principales para los parámetros de los sedimentos de la zona Titire - Coralaque

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
pH	**-0,80906**	0,22124
Sulfatos	**0,85477**	-0,34389
Arcilla	**0,71567**	0,47973
Arena	**-0,7259**	-0,47478
Fe	**0,88024**	-0,094797
Cu	0,47731	0,29179
Pb	0,439	-0,22144
Zn	0,11158	**0,95892**
Cd	0,16772	**0,92148**
Co	0,042903	**0,90238**
Cr	**0,90251**	0,075258
Ni	0,29234	**0,80134**
Hg	**0,87751**	-0,076605
As	**0,95014**	-0,19407
Sb	**0,7905**	-0,42471
Al	0,48916	0,26207
Mn	**-0,90275**	0,10263
Ca	-0,2991	0,34314
Na	0,44587	-0,027775

Variables	Cargas	
	PC1	PC2
K	-0,27661	-0,036589
Mg	**-0,72858**	0,42129
Ba	**-0,72306**	-0,25939
Valores propios (Eigenvalues)	9,33	4,66
Porcentaje de la varianza explicada (%)	42,42	21,20
Varianza acumulada (%)	42,42	63,62

Los valores significativos (> +/- 0,5) se encuentran resaltados.

El componente principal 1 (PC1) presentó una moderada a fuerte correlación (valroes entre 0,5 a 1,0) con las siguientes variables evaluadas en los sedimentos de los ríos Titire y Coralaque (cuerpo de agua principal), así como sus principales tributarios: sulfatos, arcilla, hierro, cromo, mercurio, arsénico y antimonio, que pueden definir en conjunto una nueva variable, en base a sus concentraciones en el sedimento y similar comportamiento geoquímico (metales).

El componente principal 2 (PC2) mostró una moderada a a fuerte correlación (valores entre 0,5 a 1,0) con las variables zinc, cadmio, cobalto y níquel.

La Figura 6.220, muestra la ordenación bidimensional del análisis de componentes principales (ACP) de las variables ambientales evaluadas en los ríos Titire (AG-09, AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) y Coralaque (CORA1, RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36); así como los tributarios Aruntaya (AG-10), Vizcachas (VIZ-4) y la quebrada Chilota (QChil1).

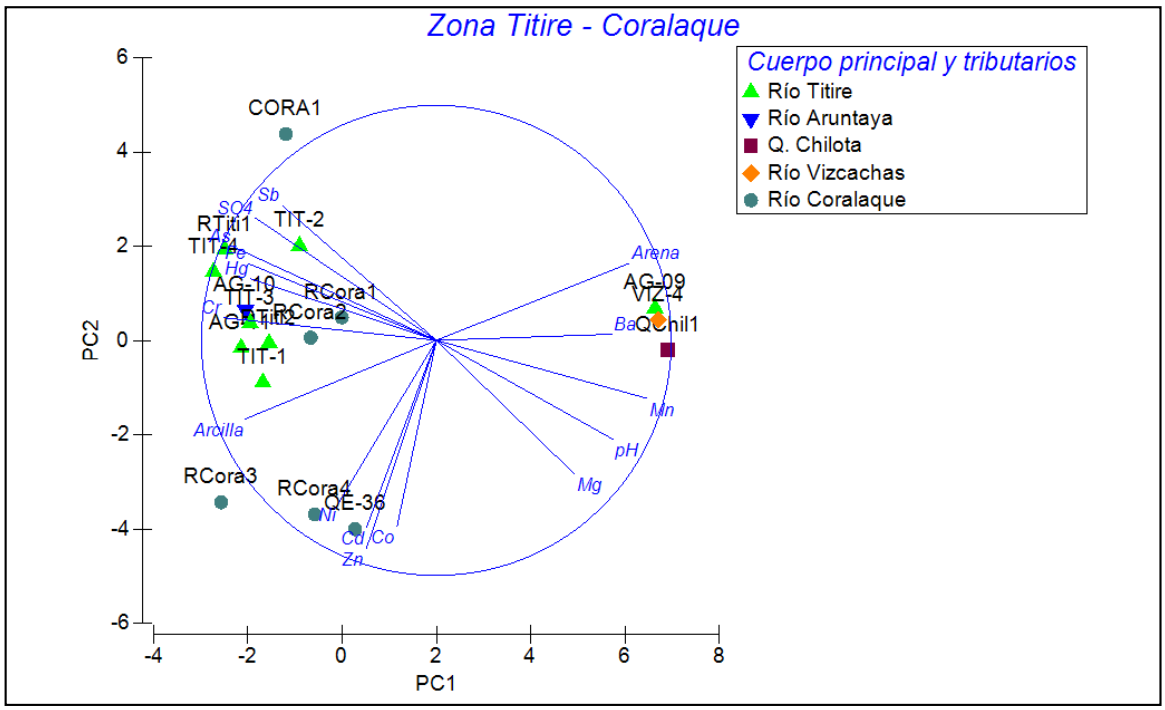


Figura 6.220. Ordenación bidimensional del ACP para las variables ambientales evaluadas en la zona Aruntaya

En la figura se evidencia una separación entre los puntos de muestreo de la zona, donde los puntos AG-09, VIZ-4 y QChil1, ubicados en los ríos Titire (antes de la confluencia con el río

Aruntaya), Vizcachas y la quebrada Chilota, respectivamente se agrupan en base a sus características fisicoquímicas, teniendo en común que son cuerpo de agua sin influencia de actividades mineras.

Mientras que los demás puntos ubicados en los ríos Titire (AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) y Coralaque (CORA1, RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36), luego del aporte del río Aruntaya (AG-10), se agrupan y están asociados a variables como sulfatos, arcilla, hierro, cromo, mercurio, arsénico, antimonio, zinc, cadmio, cobalto y níquel. Cabe mencionar que el río Aruntaya (AG-10) recibe el aporte de cuerpos de agua (ríos Queullirijahuiri, Margaritani y quebrada Apostoloni) que tendrían influencia de actividades mineras realizadas en los sectores Margaritani y Apostoloni.

Análisis de conglomerados (cluster) y escalamiento multidimensional no métrico (nMDS)

El análisis de conglomerados (agrupamiento jerárquico) y la ordenación mediante el escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), se utilizaron para identificar las relaciones y gradientes entre los puntos de muestreo de los ríos Titire y Coralaque, así los tributarios Aruntaya, Vizcachas y Chilota.

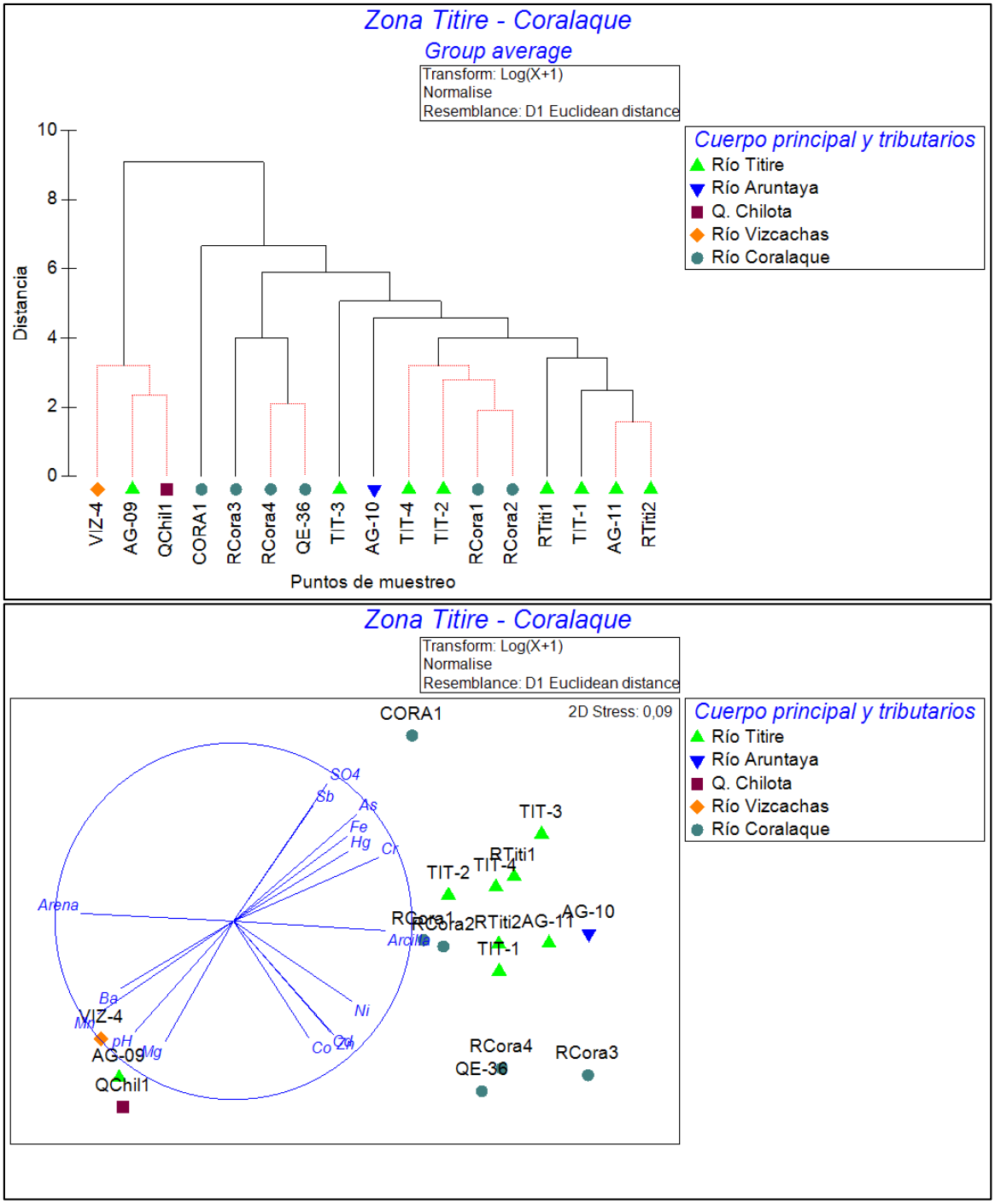


Figura 6.221. a) Dendograma basado en las variables ambientales evaluadas en los sedimentos de la zona Titire - Coralaque; y **b)** ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana)

En el dendograma del análisis de conglomerados (Figura 6.221a), se observa 2 grupos definidos. El primer grupo formado por los puntos AG-09, VIZ-4 y QChil1, ubicados en los ríos Titire, Vizcachas y la quebrada Chilota respectivamente. El segundo grupo está formado por los demás puntos ubicados en los ríos Titire y Coralaque, ubicados luego del aporte del río Aruntaya; asimismo se observan subgrupos formados por los puntos RCora4 y QE-36; TIT-4, TIT-2, RCora1 y RCora2; así como por los puntos AG-11 y RTiti2, debido a una mayor similitud en base a sus características fisicoquímicas.

La distribución de los puntos de muestreo de los sedimentos de la zona Titire - Coralaque muestra un patrón similar al ACP cuando los datos fueron sometidos a ordenaciones mediante el nMDS (Figura 6.221b). Se observa un gradiente con los puntos del cuerpo de agua principal, que va desde el punto AG-09 (río Titire) al QE-36 (río Coralaque); debido a un incremento en las concentraciones de elementos en los sedimentos y al contenido de arcilla. El mencionado gradiente se produce en los puntos ubicados luego de la confluencia con el Aruntaya (AG-10), el cual recibe el aporte de cuerpos de agua en los sectores Margaritani y Apostoloni, que tendrías influencia de las actividades mineras emplazadas en la zona; y con el que comparten características fisicoquímicas como altas concentraciones de sulfatos, arcilla, hierro, cromo, mercurio, arsénico, antimonio, zinc, cadmio, cobalto y níquel.

6.3.5.3. Comunidades hidrobiologicas

Perifiton

Composición, riqueza y abundancia de especies

Se registraron 79 especies en la comunidad del perifiton, de las cuales 78 fueron microalgas y están distribuidos en 5 phyla. El phylum Bacillariophyta fue el de mayor riqueza con 51 especies (65 %), seguido de Chlorophyta con 12 especies (15 %), Cyanobacteria con 9 especies (12 %), Charophyta con 5 especies (7 %) y Euglenozoa con 1 especie (1 %); en adelante los resultados se mostrarán para las microalgas del perifiton que fueron dominantes sobre los microorganismos.

En lo referente al acumulado total para la zona Titire-Coralaque los géneros *Pinnularia,*y *Eunotia* del phylum Bacillariophyta tuvieron la mayor riqueza con 9 y 7 especies respectivamente; y en las Chlorophyta fue el género *Microspora* el que presentó la mayor riqueza con 6 especies.

En el río Coralaque el mayor valor de riqueza de especies se presentó en RCora4 con 22 especies en el acumulado de las tres réplicas; por otro lado, en el mismo río los RCora3 y CORA1 presentaron el menor número de riqueza con 1 especie y ambos puntos con dos réplicas que registraron 0 especies en esta comunidad.

De las muestras evaluadas en el río Titire la riqueza en el acumulado total fue disminuyendo de 9 especies en el punto AG-09 aguas arriba hasta 3 especies en el punto TIT-3, terminando en el punto TIT-4 con 5 especies antes de su confluencia con el río Vizcacha. En este curso se observa la la presencia de *Klebsormidium* sp. en asociación con *Microspora* spp.en AG-09 cuyas asociaciones están identificadas en la literatura como indicadoras de drenaje acido de mina (Verb and Vis, 2001 y Sabater et al., 2003). (Figura 6.222).

La abundancia total en la temporada de muestreo fue de 3 127 650 organismos/cm^2 de microalgas, los cuales pertenecen a los phyla Bacillariophyta (2 923 500 organismos/cm^2), Cyanobacteria (146 000 organismos/cm^2), Chlorophyta (51 650 organismos/cm^2), Charophyta (5 000 organismos/cm^2) y Euglenozoa (1 500 organismos/cm^2), Figura 6.223

La especie predominante para esta zona de acuerdo al acumulado total fue *Achnanthidium minutissimum* a la que presenta un amplio rango de tolerancia entre pH ácidos a básicos (Round, 2004) y sólo fue reportada para el punto RCora4.

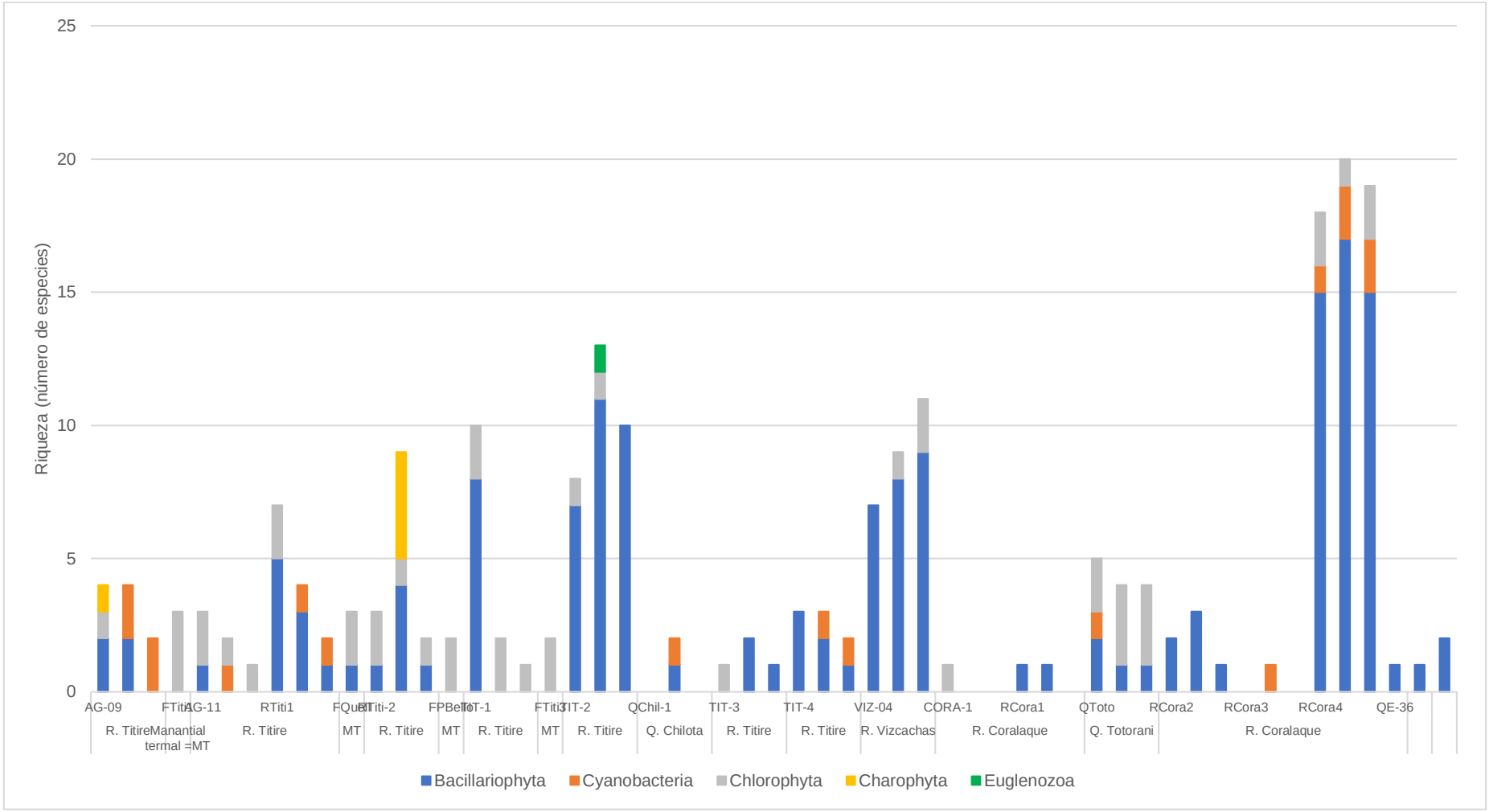


Figura 6.222. Riqueza de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Titire-Coralaque.

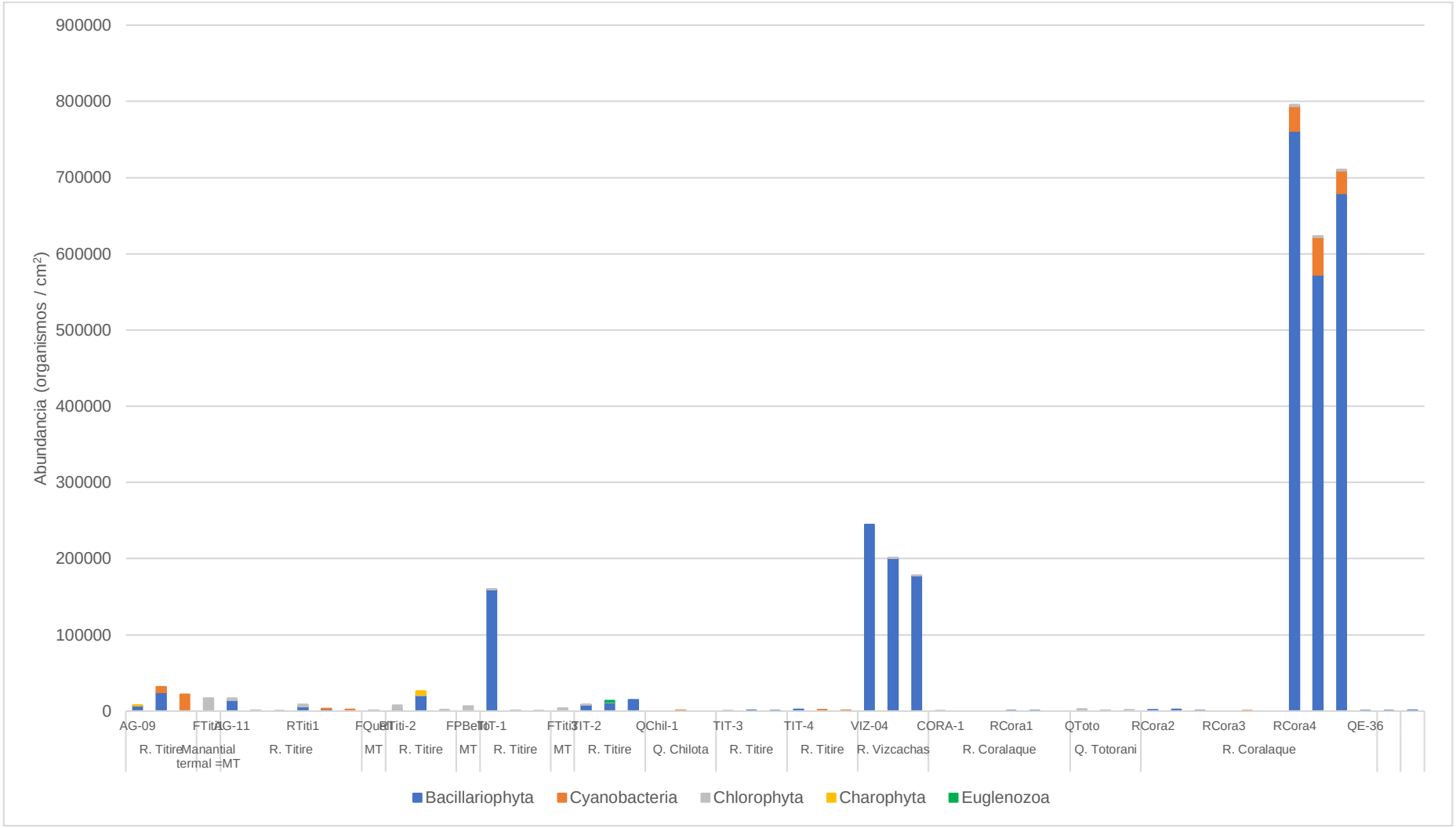


Figura 6.223. Abundancia de las microalgas del perifiton por phylum para la zona Titire-Coralaque

El punto de mayor abundancia fue RCora4 donde, como ya se mencionó, se registró una predominancia de *Achnanthidium minutissimum* seguido por *Fragilaria capuccina* ambas especies conocidas por tener una amplia tolerancia a rangos de pH y en el caso de Fragilaria a metales (Cattaneo *et al*, 2004).

El punto CORA1 se encuentra ubicado aproximadamente a 100 m aguas abajo de la confluencia de los ríos Titire y Vizcachas y presenta uno de los menores valores de riqueza y abundancia, incluso después de recibir el aporte del río Vizcachas.

Macroinvertebrados bentónicos+

Composición, riqueza y abundancia de especies

El ensamble del macroinvertebrados bentónicos estuvo compuesto por 44 especies, 24 familias, 11 órdenes, 5 clases y 4 phylum, según su categoría taxonómica. Los órdenes con mayor número de especies en el área de evaluación fueron Diptera con 29 especies, así como Trichoptera con 3 especies; por otro lado, los órdenes Coleoptera, Ephemeroptera y Trombidiformes presentaron 2 especies, mientras que los órdenes con el menor número de especies (1 especie) fueron Hemiptera, Hirudinida, Plecoptera, Platyhelmimnthes ND, Nematoda ND y Oligochaeta ND (Anexo 3).

El punto de muestreo con mayor número de especies fue QToto (tributario del río Coralaque) con 29 especies, mientras que el punto de muestreo con menor número de especies fue TIT-1 con 3 especies. El orden Diptera presentó más de 1 especie en todos los puntos, siendo el único colectado en común respecto al total de puntos evaluados (Figura 6.224).

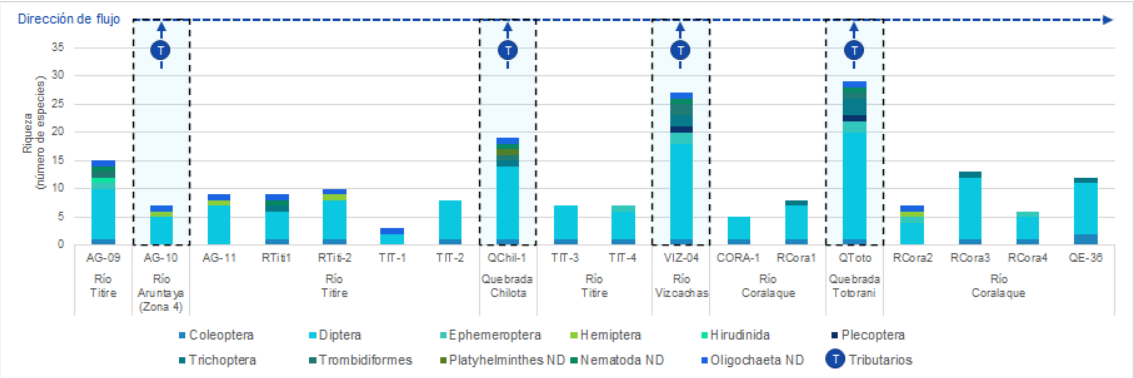


Figura 6.224. Riqueza del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Titire-Coralaque.

La densidad total (abundancia total) de macroinvertebrados bentónicos fue de 126,78 ± 66,85 organismos/0,09m^2, considerando el río Aruntaya (AG-10), tributario del río Titire, proveniente de la zona 4. El punto de muestreo con mayor densidad fue QChil-1 con 975,67 ± 395,58 organismos/0,09m^2, mientras que los puntos de muestreo con menor densidad fueron el punto TIT-1 con 3,67 ± 1,45 organismos/0,09m^2, así como el aportante AG-10 perteneciente a la zona 4 con 2,67 ± 0,67 organismos/0,09m^2 (Figura 6.225).

Cabe indicar que las especies de mayor frecuencia relativa (≥33,3%) y abundancia relativa (>1,50%) fueron: *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp., Orthocladiinae ND 1, *Paramectrionemus* sp., *Podonomus* sp. pertenecientes al orden Diptera (familia Chironomidae); *Austrelmis* sp. perteneciente al orden Coleoptera (familia Elmidae); *Andesiops* sp. perteneciente al orden Ephemeroptera (familia Baetidae); y Oligochaeta ND (subclase Oligochaeta) (Anexo 3). Estas especies serán seleccionadas para el análisis de correlación canónica (ACC).

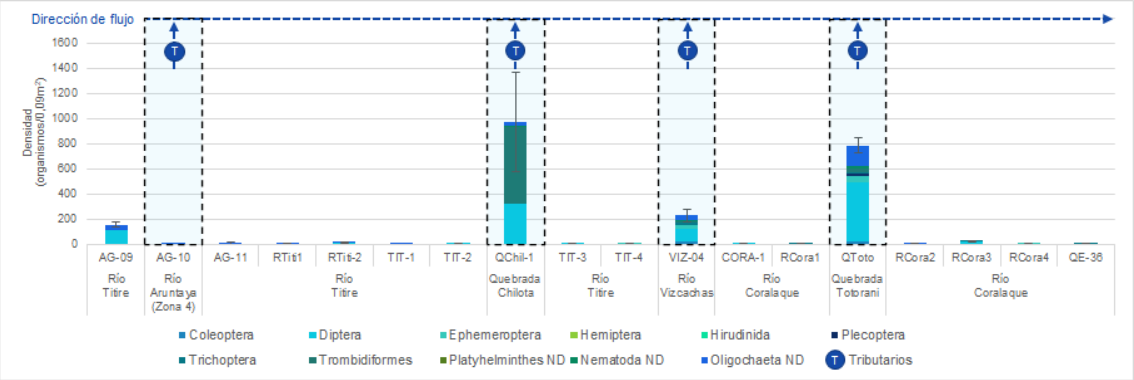


Figura 6.225. Densidad promedio (± esm) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos por orden para la zona Titire-Coralaque.

Diversidad alfa y beta

De acuerdo a la Figura 6.226, el índice de dominancia de Simpson varió desde 0,11 (VIZ-04) hasta 0,91 (TIT-1). El índice de equidad de Pielou varió desde 0,55 ± 0,04 (AG-09) hasta 1,00 (AG-10). La diversidad de Shannon-Wiener varió desde 0,22 ± 0,28 bits/individuo (TIT-1) hasta 3,55 ± 0,06 bits/individuo (VIZ-04). La mayoría de puntos en los ríos Titire y Coralaque presentaron valores de diversidad ≤2,00 bits/individuo, a excepción de los puntos RTiti1, RTiti2, RCora3 y QE-36 que presentaron valores ≥2,00 bits/individuo; asimismo, los tributarios VIZ-04 y QToto presentaron altos valores de diversidad >3,00 bits/individuo.

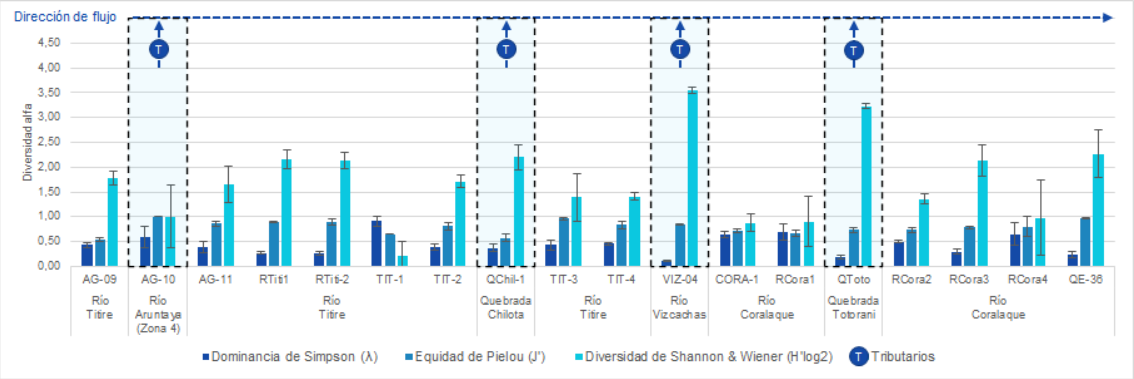


Figura 6.226. Análisis de diversidad alfa del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Titire-Coralaque.

En relación con el análisis de diversidad beta, la prueba de permutación SIMPROF (p=0,05) resultó en la discriminación de dos agrupamientos (A) y (B), resultando estadísticamente semejante su estructura en ambos casos (p=0,281 para el agrupamiento A y p=0,635 para el agrupamiento B). De acuerdo a la Figura 6.227, el agrupamiento (A) presentó una similitud de 40,34%, entre los puntos AG-09 (ubicado en el río Titire, antes del aporte del río Aruntaya), con los puntos ubicados en los tributarios del área de evaluación (QChil-1, VIZ-04 y QToto); por otro lado, el agrupamiento (B) presentó una similitud de 40,23%, entre los puntos AG-10 (ubicado en el río Aruntaya, tributario del río Titire), con los puntos ubicados en los ríos Titire (AG-11, RTit1, RTit2, TIT-1, TIT-2, TIT-3 y TIT-4) y Coralaque (CORA-1, RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36).

Este análisis indicaría que los puntos ubicados en el cuerpo principal (ríos Titire y Coralaque) estarían influenciados por el río Aruntaya, mientras que los tributarios (puntos de mayor

densidad poblacional y diversidad) se asemejarían a las condiciones de las aguas del río Titire, antes del aporte del río Aruntaya.

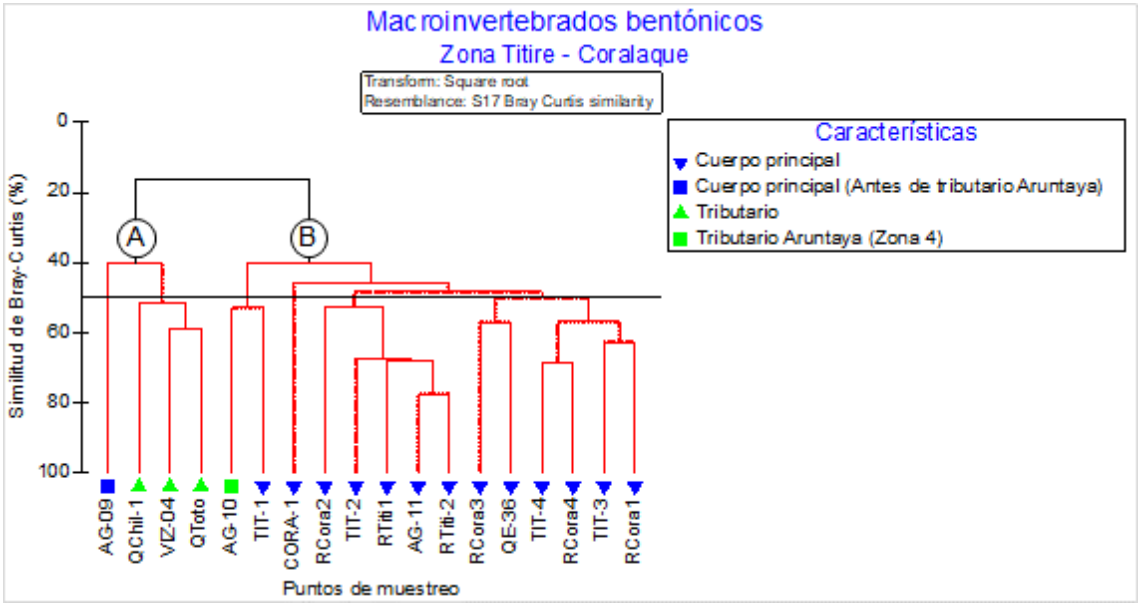


Figura 6.227. Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Titire-Coralaque.

Calidad biológica

En la Figura 6.228 se presentan los resultados de la calidad biológica de acuerdo al índice ABI. Se observó que los puntos evaluados en el río Titire, posterior al aporte del río Aruntaya (AG-10), y los puntos evaluados en el río Coralaque presentaron entre una «pésima a una mala calidad biológica», en comparación al punto aguas arriba del aporte del río Aruntaya (AG-09), el cual presentó una «moderada calidad biológica». Por otro lado, los puntos de los tributarios QChil-1, VIZ-04 y QToto presentaron una «moderada, buena y excelente calidad biológica» respectivamente, asociado a un mayor número de especies bioindicadoras, así como a la presencia de especies sensibles, especificamente en los puntos VIZ-04 y QToto. Cabe señalar que, el aportante del río Aruntaya (AG-10) presentó una «pésima calidad biológica» y este podría estar relacionado a los valores calidad encontrados en el río Titire, y posteriormente en el río Coralaque.

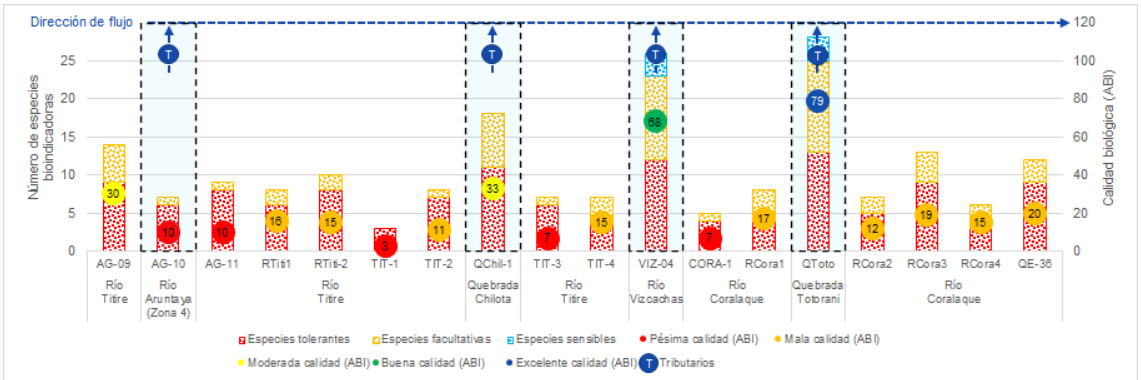


Figura 6.228. Índice Biótico Andino (ABI) del ensamble de macroinvertebrados bentónicos para la zona Titire-Coralaque.

Calidad ecológica

Los resultados de calidad hidromorfológica (Anexo 2) indicaron una «mala calidad» en los puntos AG-09, RTiti2, TIT-1, TIT-3, TIT-4 y RCora2, mientras que los puntos AG-11, RTiti1, TIT-2, QChil-1, VIZ-04, CORA-1, RCora1, QToto, RCora3, RCora4 y QE-36 presentaron una «moderada calidad». Sin embargo, al combinar los resultados de calidad hidromorfológica con los resultados de calida biológica (ABI), los resultados de calidad ecológica señalaron: una «pésima calidad ecológica» en los puntos del río Titire (AG-11, TIT-1 y TIT-3) y Coralaque (CORA-1); una «mala calidad ecológica» en los puntos del río Titire (RTiti1, RTiti2, TIT-2, TIT-4) y Coralaque (RCora1, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36); una «moderada calidad ecológica» en los tributarios QChil-1 y VIZ-04, así como en el río Titire antes del aporte del río Aruntaya (AG-09); finalmente, el tributario QToto presentó una «buena calidad ecológica» (Tabla 6.75).

Tabla 6.75. Calidad ecológica obtenida para la zona Titire-Coralaque.

Ecosistema acuático	Calidad/Punto de muestreo	Calidad biológica	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
R. Titire	AG-09	Moderada	Mala	Moderada
	AG-11	Pésima	Moderada	Pésima
	RTiti1	Mala	Moderada	Mala
	RTiti-2	Mala	Mala	Mala
	TIT-1	Pésima	Mala	Pésima
	TIT-2	Mala	Moderada	Mala
Q. Chilota	QChil-1	Moderada	Moderada	Moderada
R. Titire	TIT-3	Pésima	Mala	Pésima
	TIT-4	Mala	Mala	Mala
R. Vizcachas	VIZ-04	Buena	Moderada	Moderada
R. Coralaque	CORA-1	Pésima	Moderada	Pésima
	RCora1	Mala	Moderada	Mala
Q. Totorani	QToto	Excelente	Moderada	Buena
R. Coralaque	RCora2	Mala	Mala	Mala
	RCora3	Mala	Moderada	Mala
	RCora4	Mala	Moderada	Mala
	QE-36	Mala	Moderada	Mala

Análisis multivariados

Se observaron en los agrupamientos formados mediante el índice de Bray-Curtis (diversidad beta), presentándose diferencias significativas entre el agrupamiento conformado por los puntos ubicados en el cuerpo principal, en comparación al agrupamiento conformado por los tributarios, tanto para la zona Aruntaya, como para la zona Titire-Coralaque.

Hechas estas observaciones, se definieron nuevos agrupamientos en las zonas de evaluación de acuerdo con la Tabla 6.76, con la finalidad de entender si las aguas de la microcuenca Margaritani influyen en la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos hacia la parte baja de la UH Coralaque, debido a la conectividad ecológica existente en el ecosistema acuático.

Tabla 6.76. Agrupamientos definidos, apoyados en los resultados de similitud (diversidad beta).

Agrupamientos	Descripción
A	Zona Margaritani - Sector quebrada Apostoloni
B	Zona Margaritani - Sector quebrada Margaritani
C	Zona Margaritani - Sector río Margaritani
D	Zona Aruntaya (antes del aporte del río Queullirijahuiri)
E	Zona Aruntaya (después del aporte del río Queullirijahuiri)
F	Zona Titire-Coralaque (río Titire, después del aporte del río Aruntaya)
G	Zona Titire-Coralaque (río Coralaque)
H	Zona Titire-Coralaque (río Titire, antes del aporte del río Aruntaya)
I	Zona Paccha-Aruntaya
J	Zona Queullirijahuiri
K	Zona Aruntaya (tributarios)
L	Zona Titire - Coralaque (tributarios)

Para determinar si existen o no diferencias significativas entre los agrupamientos, se realizó el análisis de PERMANOVA, el cual demostró mediante el test principal diferencias significativas (p=0,001) (Tabla 6.26a); asimismo, el test principal se acompañó por un test pareado entre los agrupamientos (Tabla 6.77b), el cual determinó que los agrupamientos que presentaron conectividad hídrica desde la microcuenca Margaritani (agrupamientos «A», «B» y «C»), a través de la zona Aruntaya (agrupamientos «D» y «E»), hasta llegar al tramo del río Titire posterior al aporte del río Aruntaya y previo al aporte del río Vizcachas (agrupamiento «F»), no presentaron diferencias significativas (p>0,05). Cabe señalar que, la conectividad hídrica que presentaron el tramo del río Titire posterior al aporte del río Aruntaya (agrupamiento «F»), con el tramo del río Coralaque (agrupamiento «G»), presentaron diferencias significativas (p=0,018).

Tabla 6.77. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zonas) para la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) test pareado

(a) Test principal				
Origen de variación (Factor)	Pseudo-F	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Agrupamientos	6,7766	0,001	998	0,001

(b) Test pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Zonas	Zona Queullirijahuiri / Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni)	3,917	0,001	998	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani)	3,957	0,001	981	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Margaritani (Sector R. Margaritani)	2,970	0,001	997	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Paccha-Aruntaya	2,679	0,001	979	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya)	3,152	0,001	974	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Aruntaya (Tributarios)	3,692	0,001	970	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri)	2,952	0,001	998	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	2,045	0,01	408	0,009
	Zona Queullirijahuiri / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	3,590	0,001	998	0,001

(b) Test pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
	Zona Queullirijahuiri / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	4,609	0,001	996	0,001
	Zona Queullirijahuiri / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	4,088	0,001	999	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani)	0,710	0,852	515	0,739
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Margaritani (Sector R. Margaritani)	2,176	0,001	983	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Paccha-Aruntaya	3,176	0,001	847	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya)	2,073	0,004	837	0,01
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Aruntaya (Tributarios)	3,529	0,001	834	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri)	1,436	0,086	983	0,1
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	2,734	0,002	161	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	2,791	0,001	998	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	4,367	0,001	984	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	3,762	0,001	999	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Margaritani (Sector R. Margaritani)	1,934	0,016	879	0,015
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Paccha-Aruntaya	3,168	0,001	537	0,002
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya)	2,154	0,003	539	0,005
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Aruntaya (Tributarios)	3,455	0,001	528	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri)	1,442	0,076	927	0,088
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	2,820	0,005	64	0,002
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	2,687	0,001	997	0,002
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	4,224	0,001	908	0,001
	Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	3,533	0,001	999	0,001
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Paccha-Aruntaya	1,961	0,001	911	0,007
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya)	1,037	0,391	877	0,354
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Aruntaya (Tributarios)	2,350	0,002	908	0,001
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri)	1,324	0,12	997	0,136
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	1,785	0,005	218	0,027
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	1,801	0,004	999	0,01
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	2,986	0,001	981	0,001
	Zona Margaritani (Sector R. Margaritani) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	1,929	0,001	999	0,003
	Zona Paccha-Aruntaya / Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya)	2,243	0,001	410	0,005
	Zona Paccha-Aruntaya / Zona Aruntaya (Tributarios)	1,675	0,027	410	0,049
	Zona Paccha-Aruntaya / Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri)	2,167	0,002	960	0,003
	Zona Paccha-Aruntaya / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	1,433	0,059	84	0,12
	Zona Paccha-Aruntaya / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	2,114	0,001	998	0,003
	Zona Paccha-Aruntaya / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	2,489	0,001	897	0,001
	Zona Paccha-Aruntaya / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	2,193	0,001	997	0,003
	Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Aruntaya (Tributarios)	2,928	0,003	411	0,002
	Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri)	1,379	0,101	960	0,11
	Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	2,249	0,018	84	0,007

(b) Test pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
	Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	1,414	0,06	995	0,084
	Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	3,626	0,001	908	0,001
	Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	1,679	0,024	994	0,023
	Zona Aruntaya (Tributarios) / Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri)	2,352	0,001	958	0,001
	Zona Aruntaya (Tributarios) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	1,656	0,03	84	0,069
	Zona Aruntaya (Tributarios) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	2,729	0,001	995	0,001
	Zona Aruntaya (Tributarios) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	1,748	0,007	909	0,02
	Zona Aruntaya (Tributarios) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	2,927	0,001	995	0,001
	Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya)	1,766	0,009	352	0,018
	Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	1,498	0,052	997	0,048
	Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	3,008	0,001	998	0,001
	Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	2,343	0,001	998	0,002
	Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya)	1,876	0,002	789	0,003
	Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	2,114	0,005	218	0,006
	Zona Titire-Coralque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	2,138	0,004	706	0,001
	Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralaque (Tributarios)	3,621	0,001	996	0,001
	Zona Titire-Coralque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	1,632	0,018	999	0,023
	Zona Titire-Coralaque (Tributarios) / Zona Titire-Coralque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas)	3,777	0,001	998	0,001

Valores no significativos (p>0,05)

6.4. Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los lixiviados mineros provenientes del depósito de desmonte y su ampliación; y pozas de soluciones y mayores eventos N.° 1 y 2 de la unidad fiscalizable Florencia - Tucari sobre el suelo, flora y fauna de la microcuenca Margaritani, y los ríos Titire y Coralaque

6.4.1. Suelo

En esta sección se presenta el análisis de los resultados obtenidos en los puntos de muestreo del área de potencial interés I (API I), aledaña al sistema de tratamiento de aguas ácidas del botadero - wetland Norte, así como los puntos de muestro de las áreas de potencial interés II, III, IV, V y VI (API II, API III, API IV, API V y API VI), ubicadas en la zona baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur. Adicionalmente, de las muestras colectados dentro (ESP-5) y al lado norte de la poza de sedimentación N.º 5000 (ESP-22), la cual forma parte del sistema de tratamiento de aguas ácidas - wetland Sur. Por último, se describen los resultados de las muestras obtenidas en un bofedal ubicado en la margen derecha de la quebrada Margaritani, antes de la confluencia con la quebrada Apostoloni.

6.4.1.1. Área de potencial interés en la zona baja del wetland norte

En este ítem se presenta el análisis de los resultados de metales del API I, que comprenden 15 puntos de muestreo (SU-1 al SU-15), comparado con los ECA para suelo de uso industrial (2017) y los valores de la guía canadiense. Además, se presentan el análisis de los resultados de la extracción secuencial por la metodología de Tessier y los parámetros edáficos.

a. Parámetros edáficos

La tabla 6.78, presenta los resultados de pH, materia orgánica, carbonado de calcio y conductividad eléctrica.

Tabla 6.78. Parámetros edáficos obtenidos en el API I

API	Código de muestra	pH	M.O	$CaCO_3$	C.E.	Clase textual
			(%)	(%)	(µS /cm)	
		Valor	Valor	Valor	Valor	
API I	SU-1	2,34	6,39	<0,03	1371	Franco arenosa
	SU-2	4,08	5,14	<0,03	68,40	Franco arenosa
	SU-3	3,04	20,29	<0,03	2490	Franco arenosa
	SU-4	2,22	8,35	<0,03	3300	Franco arenosa
	SU-5	3,2	50,06	<0,03	1764	Franco arenosa
	SU-6	2,51	5,978	<0,03	1724	Franco
	SU-7	2,71	6,19	<0,03	1576	Franco arenosa
	SU-8	3,18	6,8	<0,03	2060	Franco arenosa
	SU-9	3,28	13,08	<0,03	3820	Franco Limosa
	SU-10	4,98	4,54	<0,03	63,30	Franco arenosa
	SU-11	1,93	17,56	<0,03	3840	Franco arenosa
	SU-12	2,61	11,71	<0,03	2610	Franco Limosa
	SU-13	2,5	10,12	<0,03	2470	Franco Limosa
	SU-14	2,98	5,6	<0,03	1149	Franco arenosa
	SU-15	2,91	9,06	<0,03	2630	Franco

En relación con la acidez del suelo en el API I, tiene valores de pH en el rango de 1,93 a 4,98; lo que establecería según la clasificación USDA, suelos ultra ácidos a

extremadamente ácidos[48], indicando de esta forma que el suelo es muy ácido, característicos en la zona evaluada. Mientras que los valores de carbonato de calcio, presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo.

La materia orgánica los puntos evaluados en el API I, presentaron variaciones significativas porcentuales, de entre 4,54% a 50,06%; siendo el punto de muestreo SU-5 el que presentó mayor porcentaje de materia orgánica, lo cual estaría relacionado al tipo de suelo orgánico evidenciado en el área de estudio. Además, se observó que, de 15 puntos evaluados, 10 presentaron clase textural franca arenosa, 3 franco limosa y 2 franco, lo que evidencia un suelo con mayor contenido de suelo arenoso.

Respecto a la conductividad eléctrica (CE) del API I, se registraron valores desde 63,30 µS/cm hasta 3840 µS/cm, lo que indica una variación considerable de este parámetro en los puntos de muestreo del API. Esta variación podría estar relacionada a la acides de suelo puesto que en el área de estudio se registraron valores de pH ultra ácidos.

b. Metales totales

En la Tabla 6.79, se presenta los resultados de las concentraciones de metales totales comparados con la normativa peruana (normadas en el ECA para suelo industial 2017) y guía canadiense (CSQG para suelo industrial) en API I. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo 3 (reporte de resultados).

[48] Ultra ácido: pH <3,5; Extremadamente ácido: pH: 3,5 – 4,4 (Soil Survey Manual, 2017)

Tabla 6.79. Metales totales en el API I comparados con el ECA para suelo de uso industrial 2017 y la guía canadiense CSQG

Código	Parámetro	Arsénico	Bario	Berilio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo	Mercurio	Molibdeno	Níquel	Plata	Plomo	Selenio	Vanadio	Zinc
	Unidad	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS	mg/kg PS
SU-1		114	408,6	< 0,006	0,24392	3,408	62	8,983	0,175	2,035	4,3	0,6393	83,4	1,511	64	33
SU-2		57,6	289,8	< 0,006	0,05045	2,61	45	9,759	< 0,010	1,468	3,84	0,6398	67	1,633	58	23
SU-3		20,5	139,1	< 0,006	0,74224	6,213	1571	7,799	< 0,010	0,798	8,38	0,3994	31	3,569	37	82
SU-4		123	337,6	< 0,006	0,53072	7,314	257	12,8	0,145	1,546	10	0,5568	110	1,183	88	73
SU-5		52	207,3	< 0,006	0,17574	4,017	78	9,309	< 0,010	1,359	5,13	0,4235	75	1,465	59	36
SU-6		108	304,4	< 0,006	0,29427	3,935	84	9,796	0,18	1,386	4,56	0,4039	62,6	1,483	61	41
SU-7		84	317,9	< 0,006	0,14754	2,82	51	9,967	0,195	1,824	3,68	0,6959	87	1,448	57	29
SU-8		82,4	364,2	< 0,006	0,37841	5,986	136	10	0,155	1,666	7,44	0,643	111	1,426	60	59
SU-9		36,8	261,4	0,048	2,4997	19,5	3923	8,106	0,154	3,118	18,3	1,503	127	2,847	40	191
SU-10		72,5	307,6	< 0,006	0,13179	4,061	43	8,004	0,133	3,9	5,36	1,882	168	1,267	48	36
SU-11		672	198,4	< 0,006	0,34349	4,798	139	14,9	0,391	16,6	5,6	1,12	198	2,142	43	44
SU-12		172	393,2	< 0,006	0,25628	5,424	130	12,9	0,298	2,532	7,65	0,6932	141	1,364	66	57
SU-13		119	466,4	0,045	0,30111	6,144	140	12,4	0,303	2,101	8,85	0,7546	170	1,377	67	66
SU-14		46,6	283,9	< 0,006	0,29888	6,455	1085	10,7	0,186	1,344	6,7	0,5605	67,6	1,471	47	56
SU-15		195	317,8	0,01	0,64134	9,98	225	10,5	0,151	3,91	11,2	0,5058	75,8	1,34	73	87
ECA para suelo industrial (2017)		**140**	**2000**	**-**	**22**	**-**	**-**	**1000**	**24**	**-**	**-**	**-**	**800**	**-**	**-**	**-**
CSQG para suelo industrial		12	2000	8	22	300	91	84	50	40	89	40	600	2,9	130	410

Concentración que supera los valores de la CSQG para suelo industrial
Concentración que supera el ECA para suelo industrial (D.S. N.º 011-2017-MINAM) y los valores de la CSQG para suelo industrial
-: No presenta valor

La comparación de los resultados con los valores del ECA para suelo industrial (2017), indican que solo el arsénico presento concentraciones que los puntos de muestreo SU-11, SU-12 y SU-15 excedieron la normativa nacional (Figura 6.229). Por otro lado, el arsénico presento concentraciones que excedieron los valores CSQG de la guía canadiense en todos los puntos del API, mientras que el cobre excedió los valores de la citada guía en 9 puntos (Figura 6.230) y el selenio en un 1 punto de muestreo (Figura 6.231).

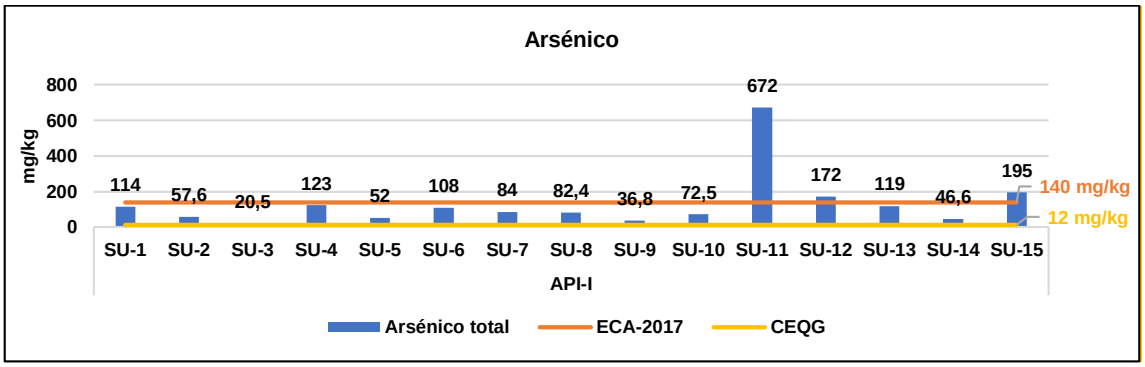


Figura 6.229. Concentraciones de arsénico obtenidas en el API I comparadas con el ECA suelo (2017) y los valores CSQG de la guía canadiense

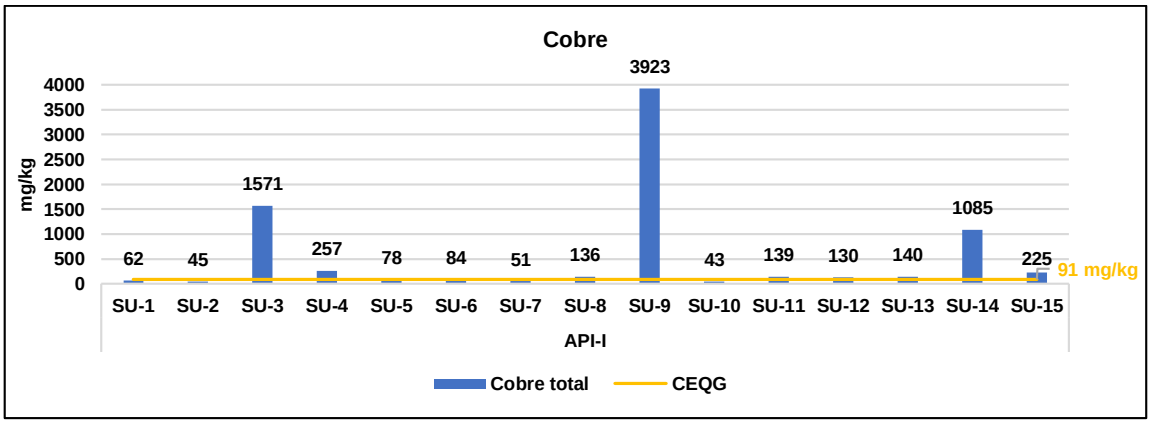


Figura 6.230. Concentraciones de cobre obtenidas en el API I comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense

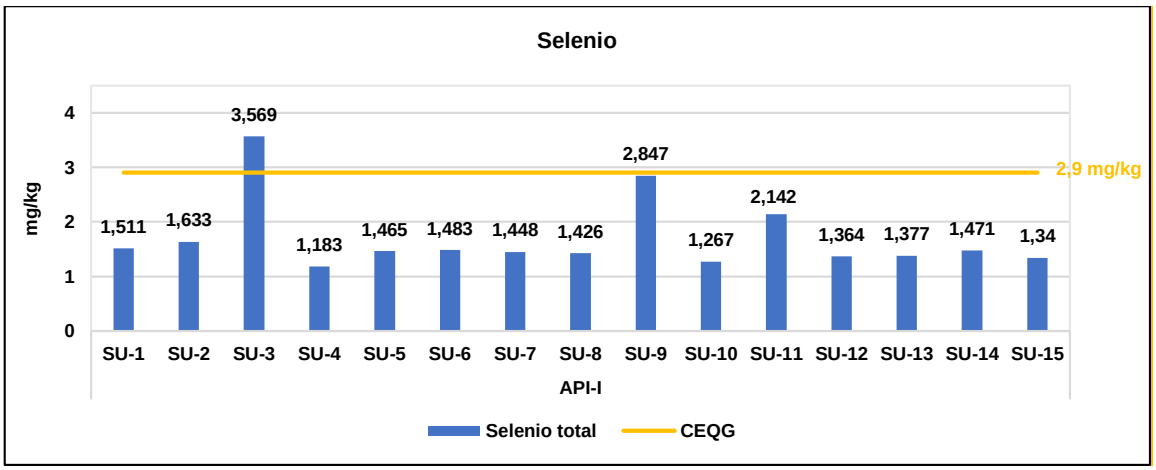


Figura 6.231. Concentraciones de selenio comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense

c. Extracción secuencial

Los resultados de las diferentes fracciones químicas (F1 – F6), basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier para los metales cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo, zinc, hierro y manganeso se muestran en las Tablas 6.80 y 6.81 y las Figuras 6.232 y 6.233. El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento y entre los puntos de muestreo aledaños al wetland Norte.

Tabla 6.80. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I

Fracciones	Cd (mg/kg)				Co (mg/kg)				Cu (mg/kg)				Ni (mg/kg)			
	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12
F1	0,165	0,401	0,105	0,128	1,53	4,16	0,94	1,83	22,5	123,3	90,83	20,01	1,34	3,22	0,78	1,64
F2	0,052	0,073	< 0,05	< 0,05	0,397	0,68	0,326	0,374	8,56	29,45	57,48	6,94	< 0,05	0,53	< 0,05	< 0,05
F3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,165	3,895	12,27	1,273	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
F4	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,208	0,532	0,152	0,272	6,568	21,73	17,05	5,476	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
F5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,404	0,589	0,485	0,153	10,65	35,99	51,3	13,9	0,63	1,15	< 0,050	< 0,050
F6	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,037	1,822	0,441	0,966	15,76	25	9,99	18,97	1,66	3,21	0,68	1,68
Suma de fracciones	0,217	0,474	0,105	0,128	3,576	7,783	2,344	3,595	65,203	239,365	238,92	66,569	3,63	8,11	1,46	3,32

Tabla 6.81. Concentraciones de metales en cada fracción de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I

Fracciones	Pb (mg/kg)				Zn (mg/kg)				Fe (mg/kg)				Mn (mg/kg)			
	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12	SU-1	SU-4	SU-6	SU-12
F1	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	12,8	37,1	9,5	14,6	102,5	396,5	103	206,5	22,73	117,9	16,45	59,73
F2	< 0,05	< 0,05	0,52	< 0,05	< 0,05	6,5	< 0,05	< 0,05	91,6	189,8	80,2	140,3	6,5	23,9	6,1	13,4
F3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1850	1055	207,1	572,2	< 0,05	1,15	< 0,05	< 0,05
F4	0,81	< 0,050	5,45	< 0,050	< 0,050	6,02	< 0,050	< 0,050	12424	16145	3251	47564	13,51	30,19	2,16	25,22
F5	1,25	1,5	9,15	< 0,050	< 0,050	7,82	< 0,050	< 0,050	3515	4130	822,6	3939	7,4	10,57	6,29	2,91
F6	104,2	113,4	51,76	76,85	12,21	22,6	5,74	12,9	23833	20397	4555	19561	26	37,6	10,3	25,4
Suma de fracciones	106,26	114,9	66,88	76,85	25,01	80,04	15,24	27,5	41816,1	42313,3	9018,9	71983	76,14	221,31	41,3	126,66

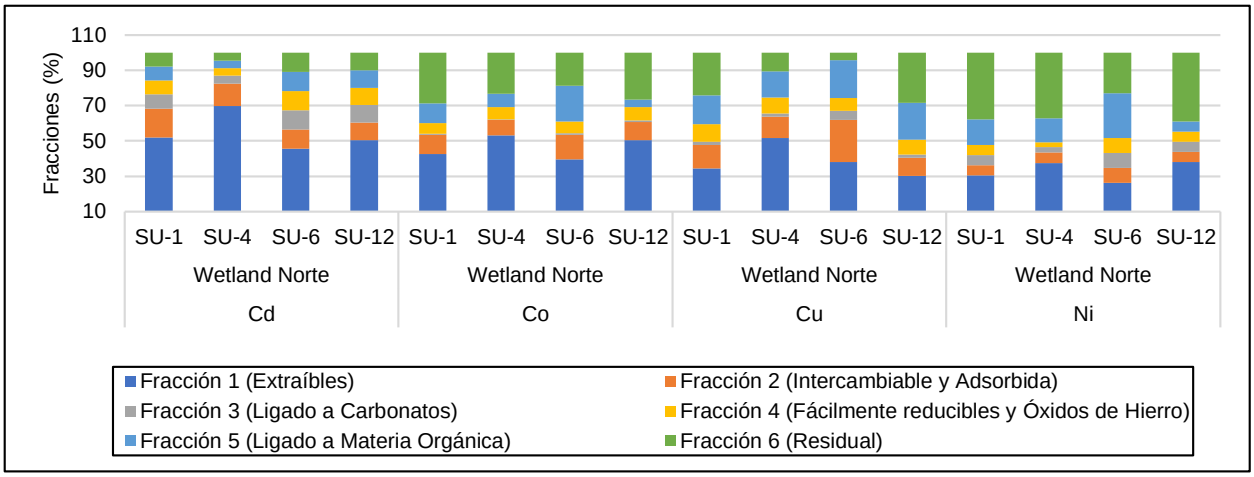


Figura 6.232. Fracciones (%) de los metales Cd, Co, Cu y Ni, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I

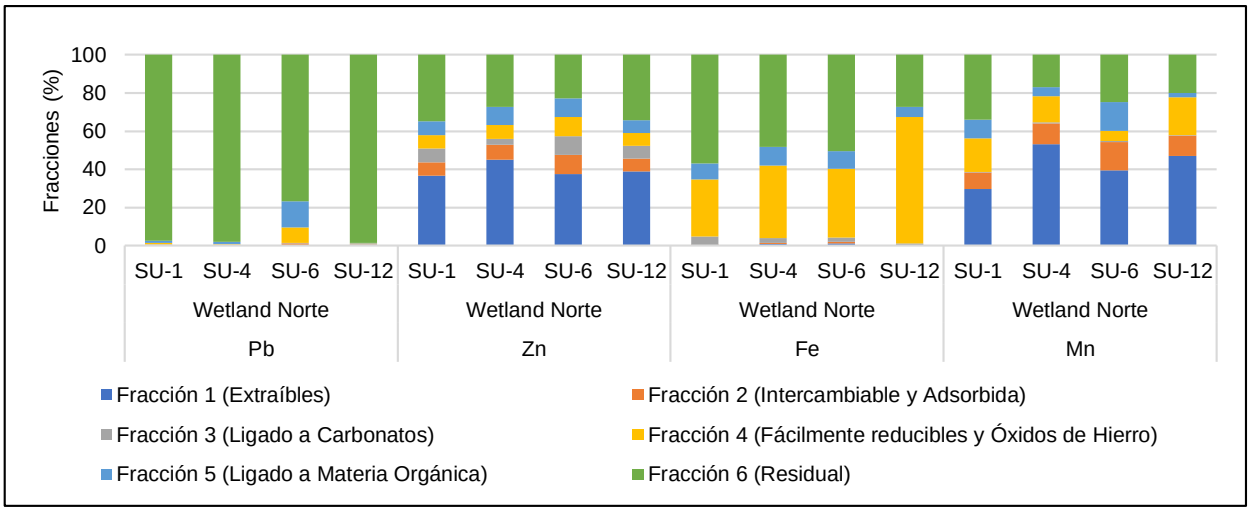


Figura 6.233. Fracciones (%) de los metales Pb, Zn, Fe y Mn, obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en suelo de la API I

6.4.1.2. Área de potencial interés en la zona baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas -wetland sur

En este ítem se presenta el análisis de los resultados reportados en las API II (ESP-1, ESP-2 y ESP-3), API III (ESP-6, ESP-7, ESP-8 y ESP-23), AP IV (ESP-9, ESP-10, ESP-11, ESP-12 y ESP-13), API V (ESP-14, ESP-15, ESP16, ESP17, ESP18, ESP-19, ESP-20) y API VI (ESP-21) ubicados en la zona baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo – wetland Sur.

a. Parámetros edáficos

La tabla 6.82, presenta los resultados de pH, materia orgánica, carbonado de calcio y conductividad eléctrica.

Tabla 6.82. Parámetros edáficos obtenidos en el API II, API III, API IV, API V y API VI

API	Código de muestra	pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O	Clase textual
			(µS/cm)	(%)	(%)	
		Valor	Valor	Valor	Valor	
API II	ESP-1	3,65	180,40	<0,03	5,13	Franco arcilloso arenosa
	ESP-2	3,37	1631,00	<0,03	5,43	Franco arcilloso
	ESP-3	3,62	1754,00	<0,03	5,30	Franco arcilloso arenosa
API III	ESP-6	3,18	1060,00	<0,03	5,26	Franco arcilloso arenosa
	ESP-7	6,75	1700,00	<0,03	6,66	Franco arenosa
	ESP-8	2,69	2990,00	<0,03	5,52	Franco arcilloso arenosa
	ESP-23	2,70	601,00	<0,03	3,34	Arena francosa
API IV	ESP-9	3,21	1546,00	<0,03	5,16	Franco arcilloso arenosa
	ESP-10	7,45	1446,00	<0,03	6,31	Franco limosa
	ESP-11	7,90	1412,00	2,44	6,62	Franco limosa
	ESP-12	7,58	1420,00	<0,03	7,72	Franco limosa
	ESP-13	8,37	1412,00	2,16	7,50	Franco limosa
API V	ESP-14	8,71	1512,00	4,78	8,21	Franco limosa
	ESP-15	7,92	1509,00	1,01	5,71	Franco limosa
	ESP-16	8,21	1466,00	3,21	8,99	Franco limosa
	ESP-17	8,87	1288,00	4,15	7,46	Franco limosa
	ESP-18	7,00	1587,00	<0,03	5,386	Franco limosa
	ESP-19	7,45	1358,00	<0,03	6,11	Franco
	ESP-20	4,36	1825,00	<0,03	11,58	Franco arcilloso arenosa
API VI	ESP-21	3,58	1773,00	<0,03	6,11	Franco arcilloso arenosa

En la Tabla 6.82, se observa que los valores de pH de los puntos del API II, API III y API VI presentaron valores que no varían significativamente, los cuales indicaron un suelo ultra ácido (pH: 2,69 a 3,65) a excepción de punto ESP-7 del API III, presento un pH ligeramente alcalino (pH: 6,75). Asimismo, los API IV y API V presentaron valores de pH que indicando suelos neutros a fuertemente alcalinos (pH: 7 a 8,87) a excepción del punto ESP-9 y ESP-20 que presentaron pH ultra ácidos (3,21) y extremadamente ácido (4,36).

La conductividad eléctrica (C.E.) del API II y el API III, registraron valores desde 180,40 µS/cm hasta 2990 µS/cm, lo que indicaron una variación significativa entre los puntos de las API; sin embargo, en el API IV, API V y API VI, los valores fueron desde 1412 µS/cm hasta 1825 µS/cm indicando valores más uniformes entres los puntos evaluados. Asimismo, se registraron concentraciones de carbonatos de calcio solo en algunos de los puntos de muestreo del API IV (ESP-11 y ESP-13) y API V (ESP-14. ESP-15, ESP-16 y ESP-17), el resto de puntos presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo.

Respecto a los resultados de materia orgánica, los puntos evaluados en el API II y el API III presentaron porcentajes de entre 5,13% a 6,6% lo que significa porcentajes ligeramente uniforme, no obstante, el punto de muestreo ESP-23 del API IV, presento un porcentaje menor (3,34%). Asimismo, los resultados de materia orgánica de las API IV, API V y API VI, presentaron porcentajes entre 5,16% a 11,58%, evidenciando mayor porcentaje de este

parámetro en el API V. También, la clase textural predominante en el API II, API III y el API VI fue franco arcilloso arenosa; mientras que, para el API IV y API V fue franco limoso.

b. Análisis granulométrico

De acuerdo con el análisis granulométrico observada en la Figura 6.234, se muestra que las API presentaron porcentajes de arenas que variaron entre 8,15 % y 61,65 %, mientras que el limo entre 9,19% y 45,06% y la arcilla entre 2,61% y 35 %; lo que indica que los suelos están compuestos en su mayoría por arenas. Cabe resaltar que no se tomó este parámetro en el API II, motivo por el cual no se ha incluido en la figura.

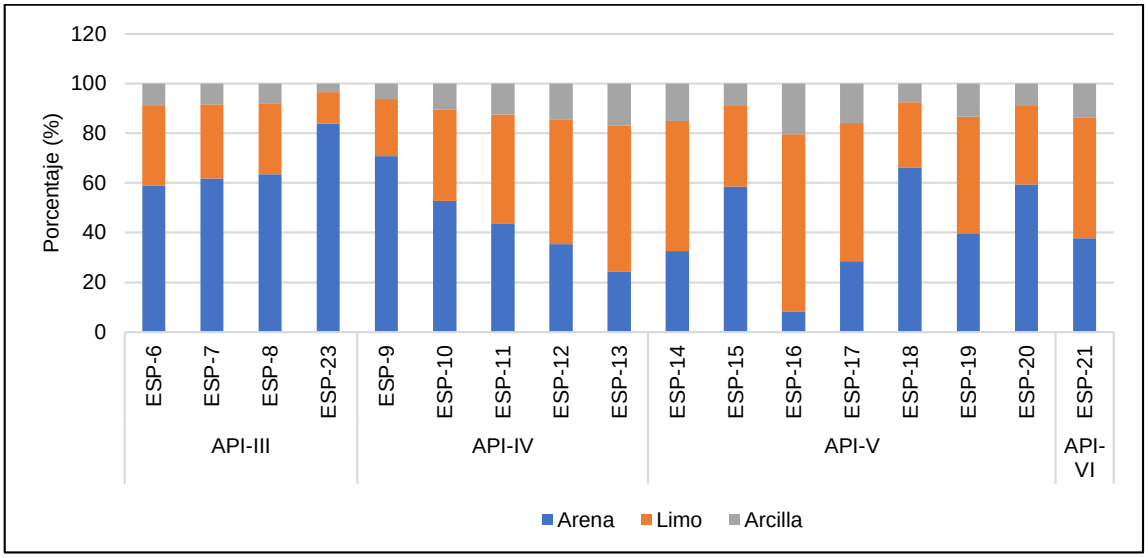


Figura 6.234. Porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidas en las API de la zona baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur

c. Metales totales

En la Tabla 6.83, se presenta los resultados de las concentraciones de metales totales comparados con la normativa con los ECA para suelo industrial (2017) y guía canadiense (CSQG para suelo industrial) en las API II, API III, API IV, API V, API VI. Los resultados de todos los parámetros se encuentran a detalle en el Anexo 3 (reporte de resultados).

Tabla 6.83. Metales totales de las API, comparados con el ECA para suelo de uso industrial 2017 y la guía canadiense CSQG

API	Puntos de muestreo	Parámetro / Unidad	Arsénico mg/kg PS	Bario mg/kg PS	Berilio mg/kg PS	Cadmio mg/kg PS	Cobalto mg/kg PS	Cobre mg/kg PS	Cromo mg/kg PS	Mercurio mg/kg PS	Molibdeno mg/kg PS	Níquel mg/kg PS	Plata mg/kg PS	Plomo mg/kg PS	Selenio mg/kg PS	Vanadio mg/kg PS	Zinc mg/kg PS
API-II	ESP-1		54,3	519,1	< 0,006	0,04698	1,486	32	8,502	0,3	1,657	2,43	0,0093	52,6	1,704	59	38
	ESP-2		56,3	382,3	0,315	0,36868	3,585	117	9,258	0,123	1,578	4,81	0,0685	54,8	1,44	62	60
	ESP-3		88,7	577,4	0,356	0,95487	6,937	226	8,707	0,266	2,365	8,48	0,8007	98,1	1,891	59	113
API-III	ESP-6		80,2	544,3	0,358	0,15825	2,059	70	6,709	0,575	1,838	2,57	0,3616	94,6	1,43	50	44
	ESP-7		140	243,2	0,15	4,2674	25,3	546	10,6	0,19	2,231	35,9	0,0563	42,3	1,365	84	519
	ESP-8		83	316,3	0,302	0,44551	4,829	147	6,747	0,416	3,387	5,56	< 0,0020	17,3	1,21	53	70
	ESP-23		108	436,9	< 0,006	0,33961	5,23	134	10,8	0,281	5,08	6,22	0,4053	107	1,263	67	60
API-IV	ESP-9		96,2	307,4	0,389	0,14073	4,593	76	10,1	0,067	1,311	5,26	< 0,0020	46,4	0,98	64	58
	ESP-10		169	350,6	0,485	4,1369	27,7	560	8,661	0,31	1,83	27,9	0,134	127	1,388	62	416
	ESP-11		166	475,1	0,579	3,0075	20,2	403	13	0,262	1,759	21,2	0,0827	104	1,363	59	277
	ESP-12		178	257,9	0,622	6,6641	45,4	896	8,688	0,401	1,788	44,7	< 0,0020	53,6	1,541	64	632
	ESP-13		248	119,9	0,855	14,344	95,6	1855	10	0,131	1,566	93,1	< 0,0020	26,6	1,349	66	1275
API-V	ESP-14		259	50,92	0,935	16,307	109	2140	9,885	0,042	3,952	107	< 0,0020	13,9	1,228	66	1453
	ESP-15		193	320,5	0,672	8,5815	56,2	1117	9,081	0,288	1,756	55,5	< 0,0020	56,8	1,481	62	787
	ESP-16		251	89,2	0,94	15,697	103	2008	9,928	0,099	1,326	102	< 0,0020	28,3	1,329	65	1386
	ESP-17		183	216,2	0,619	9,3551	61,8	1211	8,12	0,321	1,465	60	0,0124	57,1	1,346	60	842
	ESP-18		114	353,9	0,497	3,5063	22	460	7,689	0,341	1,616	23,9	0,0729	67,9	1,38	57	311
	ESP-19		88,5	382,9	0,023	0,95626	9,989	158	9,085	0,128	1,471	11	0,2851	92,2	1,103	62	106
	ESP-20		91,2	374,9	0,055	0,94975	10,1	162	9,261	0,122	1,62	11,1	0,3331	98	1,235	64	107
API-VI	ESP-21		75,7	499,4	< 0,006	0,28438	5,199	55	8,38	0,353	1,98	5,42	0,4109	91,2	1,279	58	55
Suelo industrial (2017)			140	2000	-	22	-	-	1000	24	-	-	-	800	-	-	-
CSQG para suelo industrial			12	2000	8	22	300	91	84	50	40	89	40	600	2,9	130	410

Concentración que supera los valores de la CSQG para suelo industrial
Concentración que supera el ECA para suelo industrial (D.S. N.º 011-2017-MINAM) y los valores de la CSQG para suelo industrial
-: No presenta valor

La comparación de los resultados de las API con los valores de los ECA para suelo industrial (2017), indican que el arsénico fue el único metaloide que los supera en los puntos del API IV (ESP-10, ESP-11, ESP-12 y ESP-13) y API V (ESP-14, ESP-15, ESP-16 y ESP-17), mientras que, al comparar con los valores establecidos en el CSQG para suelo industrial, lo supera en todos los puntos de muestreo de las API (Figura 6.6). Asimismo, el cobre, excedió los valores establecidos en el CSQG para suelo industrial, en las API II (a excepción del punto ESP-1), III (excepto el punto ESP-6), IV (excepto el punto ESP-9) y V; en el caso del níquel en los puntos ESP-13 (API IV) y ESP-16 (API-V); y por último zinc, en los puntos ESP-7 y del ESP-10 al ESP-17 correspondientes a las API III, IV y V, tal como se observa en las Figuras 6.235, 6.236 y 6.237. Respecto a cianuro libre, todos los puntos evaluados presentaron concentraciones menores al límite de cuantificación del método de ensayo.

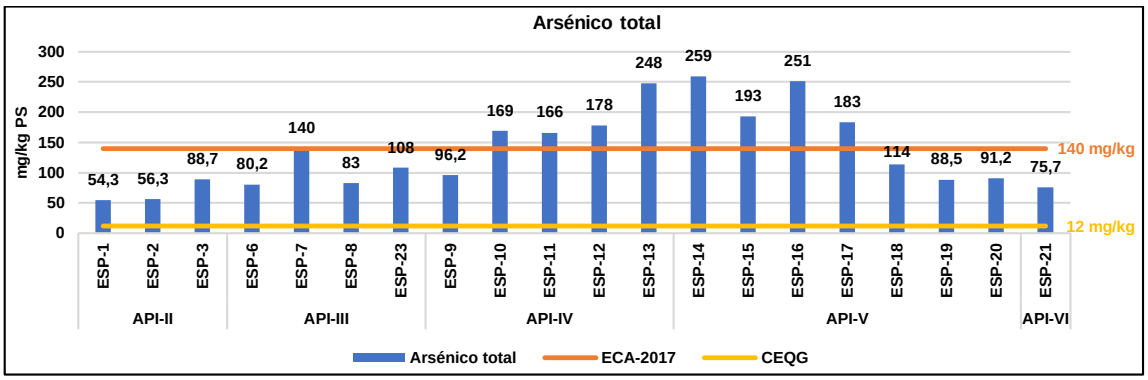


Figura 6.235. Concentraciones de arsénico comparadas con los ECA para suelo de suso industrial (2017) y los valores CSQG de la guía canadiense

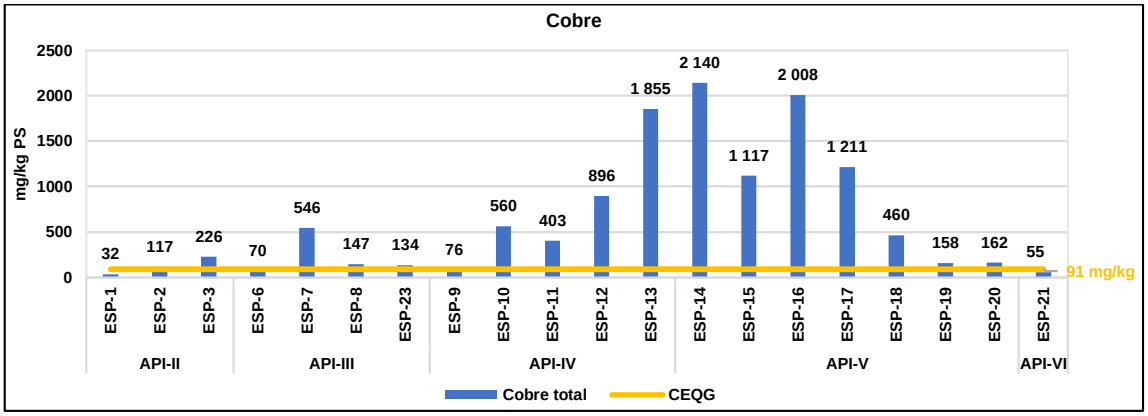


Figura 6.236. Concentraciones de cobre comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense

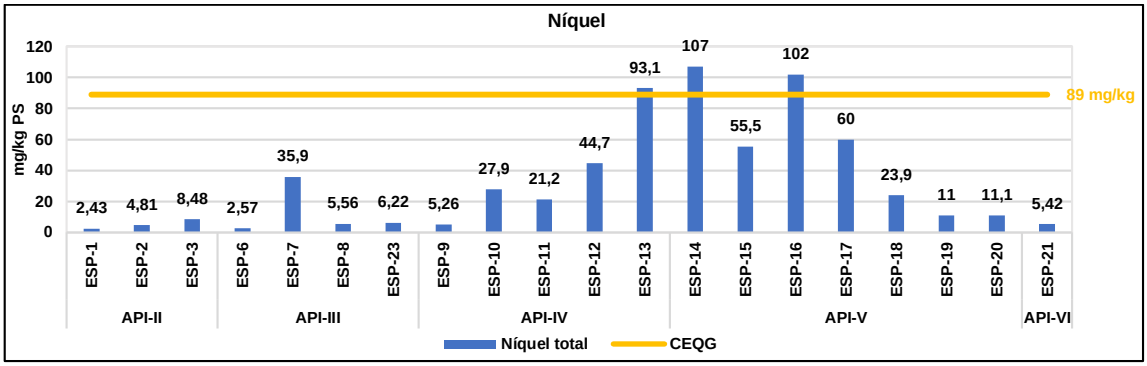


Figura 6.237. Concentraciones de níquel comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense

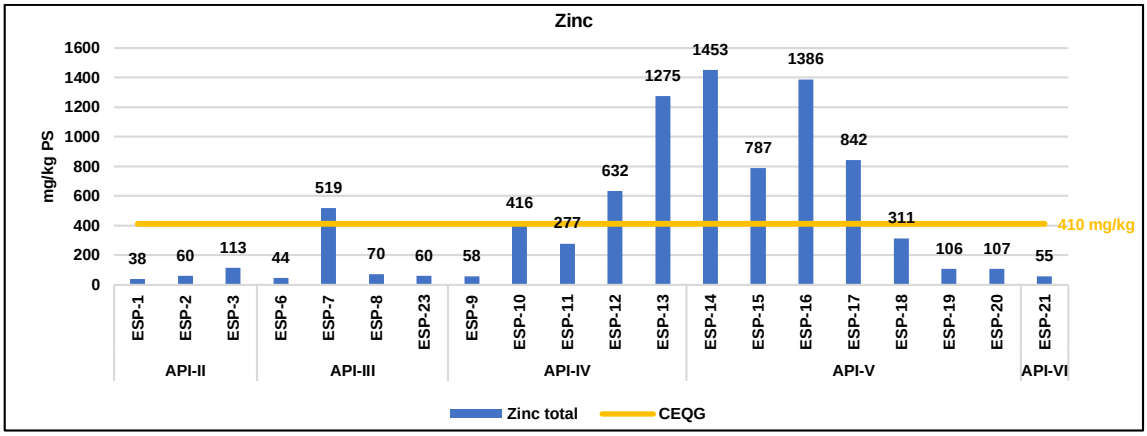


Figura 6.238. Concentraciones de zinc comparadas con los valores CSQG de la guía canadiense

Por otro lado, en la Tabla 6.84, se presenta la comparación de los resultados de los metales con los valores de nivel de fondo y referencia; se observa que todos los puntos de muestreo de las API presentan concentraciones en al menos un metal que exceden los niveles de fondo y/o referencia, a excepción del antimonio, estaño, estroncio y titanio. Cabe resaltar que el calcio, cobalto, cadmio, cobre, níquel y zinc fueron los metales que presentaron elevadas concentraciones en comparación con los valores de nivel de fondo y referencia en la mayoría de los puntos de muestreo, principalmente en las API IV y V.

Tabla 6.84. Resultados metales totales de las API comparados con los valores de nivel de fondo y nivel de referencia

API		API-II			API-III				API-IV					API-V							API-VI	Nivel de fondo	Nivel de referencia
Código		ESP-1	ESP-2	ESP-3	ESP-6	ESP-7	ESP-8	ESP-23	ESP-9	ESP-10	ESP-11	ESP-12	ESP-13	ESP-14	ESP-15	ESP-16	ESP-17	ESP-18	ESP-19	ESP-20	ESP-21		
Parámetro	Unidad																						
Aluminio	mg/kg PS	21618	23481	19805	20416	24919	16824	24719	23354	25059	30933	30743	34307	35459	30003	34647	28016	26990	25928	26307	19491	24892	38456
Antimonio	mg/kg PS	< 0,0030	< 0,0030	0,1307	0,0542	0,1567	0,0397	0,4708	0,0645	0,1438	0,1408	0,0841	0,1811	0,26	0,1336	0,251	0,1075	0,0901	0,4076	0,5078	0,4785	0,53	0,753
Arsénico	mg/kg PS	54,3	56,3	88,7	80,2	140	83	108	96,2	169	166	178	248	259	193	251	183	114	88,5	91,2	75,7	135,4	249,4
Bario	mg/kg PS	519,1	382,3	577,4	544,3	243,2	316,3	436,9	307,4	350,6	475,1	257,9	119,9	50,92	320,5	89,2	216,2	353,9	382,9	374,9	499,4	572	992,8
Berilio	mg/kg PS	< 0,006	0,315	0,356	0,358	0,15	0,302	< 0,006	0,389	0,485	0,579	0,622	0,855	0,935	0,672	0,94	0,619	0,497	0,023	0,055	< 0,006	0,237	0,349
Boro	mg/kg PS	6,566	7,921	5,474	5,326	5,179	4,36	14,07	4,498	5,748	4,68	4,063	3,311	2,612	5,138	3,041	4,43	4,333	9,944	11,16	16,95	11,87	15,8
Cadmio	mg/kg PS	0,04698	0,36868	0,95487	0,15825	4,2674	0,44551	0,33961	0,14073	4,1369	3,0075	6,6641	14,344	16,307	8,5815	15,697	9,3551	3,5063	0,95626	0,94975	0,28438	0,0519	0,116
Calcio	mg/kg PS	664,1	3953	8479	1040	37506	1355	3930	1417	38659	29130	62431	135607	157988	81316	146709	88128	33898	7760	7963	3796	1812	2984
Cobalto	mg/kg PS	1,486	3,585	6,937	2,059	25,3	4,829	5,23	4,593	27,7	20,2	45,4	95,6	109	56,2	103	61,8	22	9,989	10,1	5,199	4,989	10,69
Cobre	mg/kg PS	32	117	226	70	546	147	134	76	560	403	896	1855	2140	1117	2008	1211	460	158	162	55	30,77	42,67
Cromo	mg/kg PS	8,502	9,258	8,707	6,709	10,6	6,747	10,8	10,1	8,661	13	8,688	10	9,885	9,081	9,928	8,12	7,689	9,085	9,261	8,38	11,44	18,42
Estaño	mg/kg PS	0,1544	0,2344	0,3922	0,0486	0,8493	0,2006	0,752	0,7054	0,2002	0,1634	0,4146	0,4123	0,6959	0,2987	0,4903	0,1806	0,2482	0,9205	0,9691	0,5525	1,126	1,6
Estroncio	mg/kg PS	108,2	108,5	78,21	131,8	104,5	135,7	103,4	60,53	83,71	115,6	122,8	132,1	134,4	138	134,6	125,8	114,6	64,2	65,91	120,9	145,9	231,5
Fósforo	mg/kg PS	1	846	922	871	1	723	1	939	964	921	892	780	729	856	744	787	852	1	1	1	0,998	1
Hierro	mg/kg PS	51880	51595	73178	47410	85576	51794	47250	87237	75331	48711	62116	69429	70878	62018	67882	65156	50678	36377	37742	44122	49561	54177
Litio	mg/kg PS	3,012	3,718	3,002	2,781	4,214	2,563	6,432	5,349	4,186	5,362	4,453	5,717	6,757	4,942	6,274	4,686	4,356	9,817	10,15	5,769	4,951	8,106
Magnesio	mg/kg PS	1746	1982	1634	1489	2349	1331	2127	1982	2212	2376	2609	3903	4121	3131	4080	3174	2259	2515	2512	1923	2318	3506
Manganeso	mg/kg PS	43,1	63,6	95,3	53,1	272	69,4	197	200	348	348	381	677	757	435	749	469	269	255	258	327	569	962
Mercurio	mg/kg PS	0,3	0,123	0,266	0,575	0,19	0,416	0,281	0,067	0,31	0,262	0,401	0,131	0,042	0,288	0,099	0,321	0,341	0,128	0,122	0,353	N.D.	N.D.

API		API-II			API-III				API-IV					API-V								API-VI	Nivel de fondo	Nivel de referencia
Código		ESP-1	ESP-2	ESP-3	ESP-6	ESP-7	ESP-8	ESP-23	ESP-9	ESP-10	ESP-11	ESP-12	ESP-13	ESP-14	ESP-15	ESP-16	ESP-17	ESP-18	ESP-19	ESP-20	ESP-21		
Parámetro	Unidad																							
Molibdeno	mg/kg PS	1,657	1,578	2,365	1,838	2,231	3,387	5,08	1,311	1,83	1,759	1,788	1,566	3,952	1,756	1,326	1,465	1,616	1,471	1,62	1,98	1,599	2,253
Níquel	mg/kg PS	2,43	4,81	8,48	2,57	35,9	5,56	6,22	5,26	27,9	21,2	44,7	93,1	107	55,5	102	60	23,9	11	11,1	5,42	4,243	8,557
Plata	mg/kg PS	0,0093	0,0685	0,8007	0,3616	0,0563	< 0,0020	0,4053	< 0,0020	0,134	0,0827	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	0,0124	0,0729	0,2851	0,3331	0,4109	0,206	0,278
Plomo	mg/kg PS	52,6	54,8	98,1	94,6	42,3	17,3	107	46,4	127	104	53,6	26,6	13,9	56,8	28,3	57,1	67,9	92,2	98	91,2	84,2	167,8
Potasio	mg/kg PS	2429	2618	2367	3007	1990	2636	3229	2352	2455	2672	1965	1528	928	2194	1349	1898	2581	2722	2896	3489	2863	3436
Selenio	mg/kg PS	1,704	1,44	1,891	1,43	1,365	1,21	1,263	0,98	1,388	1,363	1,541	1,349	1,228	1,481	1,329	1,346	1,38	1,103	1,235	1,279	1,542	1,762
Sodio	mg/kg PS	241	305	392	299	290	540	394	276	214	218	217	175	147	297	156	217	319	368	379	452	464,4	771,8
Talio	mg/kg PS	1,685	1,667	2,105	3,739	1,778	1,247	3,03	1,848	8,648	3,492	2,644	2,826	2,65	3,577	2,532	4,013	4,031	2,737	2,655	3,97	2,914	4,628
Titanio	mg/kg PS	128	186	180	60	368	123	265	491	97	113	115	66	56	80	44	57	127	337	382	247	393,3	863,8
Vanadio	mg/kg PS	59	62	59	50	84	53	67	64	62	59	64	66	66	62	65	60	57	62	64	58	83,54	106
Zinc	mg/kg PS	38	60	113	44	519	70	60	58	416	277	632	1275	1453	787	1386	842	311	106	107	55	36,46	58,39

Concentración que supera los valores de nivel de fondo
Concentración que supera los valores de nivel de referencia
<: Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo
Fuente: Anexo 8.

6.4.1.3. Puntos blanco determinados en la zona baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur

En este ítem se presenta el análisis de los resultados de los puntos de muestre ESP-BK-1, ESP-BK-2, ESP-BK-3, ESP-BK-4 y ESP-BK-5. Los resultados de metales totales fueron comparados con el ECA para suelo de uso industrial 2017 y, de forma referencial, con los valores de la guía canadiense CSQG para suelo industrial. Asimismo, se presenta en análisis de los resultados de los parámetros edáficos y granulométricos.

a. Parámetros edáficos

Los resultados de los parámetros edáficos de los cinco puntos blancos descritos en la Tabla 6.85, indicaron que tiene pH ultra ácido (3,73) a fuertemente ácido (5,07), una conductividad eléctrica y materia orgánica relativamente baja, a excepción del punto ESP-BK-5 (C.E: 482 µS/cm y M.O.: 8,46%), y textura franco arcilloso arenosa. El porcentaje de carbonato de calcio reportó valores por debajo del límite de detección del método de ensayo.

Tabla 6.85. Parámetros edáficos obtenidos en los puntos blancos

API	Código de muestra	pH	C.E. (µS/cm)	$CaCO_3$ (%)	M.O (%)	Clase textual
		Valor	Valor	Valor	Valor	
Puntos blancos	ESP-BK-1	5,07	62,50	<0,03	3,68	Franco arcilloso arenosa
	ESP-BK-2	4,94	74,30	<0,03	4,91	Franco arcilloso arenosa
	ESP-BK-3	4,25	57,90	<0,03	4,68	Franco arcilloso
	ESP-BK-4	4,07	71,50	<0,03	3,55	Franco arcilloso arenosa
	ESP-BK-5	3,73	482,00	<0,03	8,46	Franco arenosa

b. Análisis granulométrico

De acuerdo con el análisis granulométrico observada en la Figura 6.239, se muestra que las API presentaron porcentajes de arenas que variaron entre 38,17 % y 49,46 % mientras que el limo entre 19% y 43,17% y la arcilla entre 5,51% y 12,27 %, lo que indica que los suelos están compuestos en su mayoría por arenas.

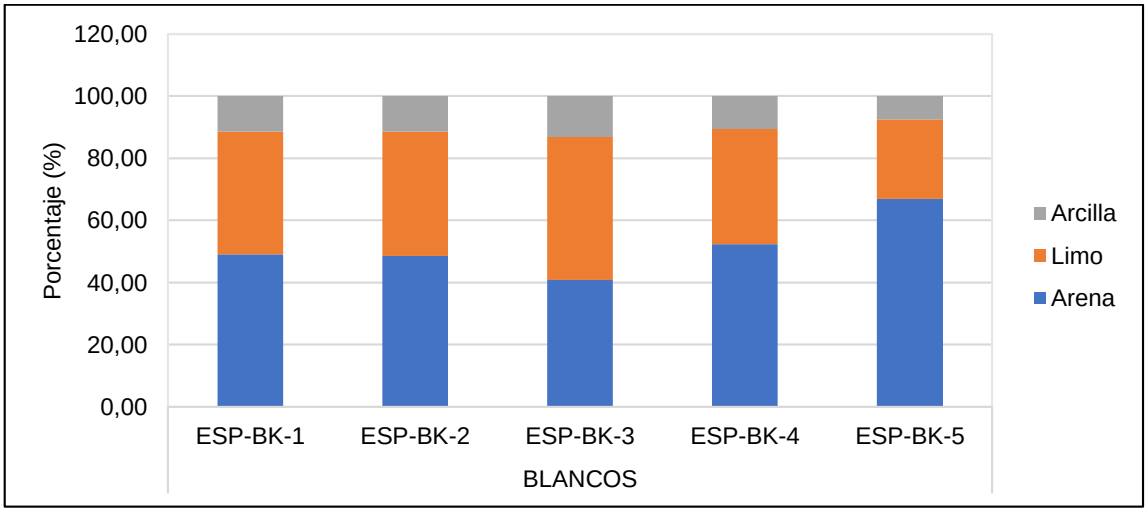


Figura 6.239. Porcentajes de arcilla, limo y arena en puntos blanco

c. Metales totales

En la Tabla 6.86, se presenta los resultados de las concentraciones de metales totales comparados con los ECA para suelo industrial (2017) y guía canadiense (CSQG para suelo industrial); se observó que el punto ESP-BK-5 presentó arsénico en concentraciones que superó la normativa nacional; sin embargo, el arsénico presento concentraciones que excedieron la guía canadiense en todos los puntos blancos.

Tabla 6.86. Concentraciones de metales totales en puntos blanco comparados con los ECA para suelo de uso industrial (2017) y la guía canadiense CSQG

Código		ESP-BK-1	ESP-BK-2	ESP-BK-3	ESP-BK-4	ESP-BK-5	ECA para suelo industrial 2017	CSQG para suelo industrial
Parámetros	Unidades							
Cianuro libre	mg/kg PS	< 0,3	-	< 0,3	-	< 0,3	8	-
Arsénico	mg/kg PS	45	68,6	124	107	146	140	12
Bario	mg/kg PS	354,5	359,3	627	1 071	760,4	2000	2000
Berilio	mg/kg PS	< 0,006	0,114	< 0,006	< 0,006	< 0,006	-	8
Cadmio	mg/kg PS	0,02359	0,04576	0,06824	0,01729	0,00849	22	22
Cobalto	mg/kg PS	1,522	4,601	0,974	0,587	0,631	-	300
Cobre	mg/kg PS	26	31	21	14	17	-	91
Cromo	mg/kg PS	9,418	16,6	5,095	5,5	8,759	1000	84
Mercurio	mg/kg PS	0,354	< 0,010	0,74	0,84	0,937	24	50
Molibdeno	mg/kg PS	3,806	1,031	4,792	1,419	4,318	-	40
Níquel	mg/kg PS	2,38	4,77	1,11	0,629	0,74	-	89
Plata	mg/kg PS	0,0693	0,1111	0,1842	0,7085	0,2985	-	40
Plomo	mg/kg PS	13,4	54,2	83,8	110	126	800	600
Selenio Total	mg/kg PS	1,402	1,129	1,342	1,346	1,91	-	2,9
Vanadio Total	mg/kg PS	68	80	40	37	52	-	130
Zinc Total	mg/kg PS	26	33	37	20	21	-	410

Concentración que supera los valores de la CSQG para suelo industrial
Concentración que supera los ECA para suelo industrial 2017 y los valores de la CSQG para suelo industrial
-: No presenta valor

En la Figura 6.240, se observa la variación de las concentraciones de arsénico en los puntos blancos de muestreo, donde el ESP-BK-1 presento arsénico la menor concentración (45 mg/kg), mientras el ESP-BK-5 la mayor concentración que superó el ECA para suelo de uso industrial (2017). Asimismo, se observó que todos los puntos superaron la normativa canadiense.

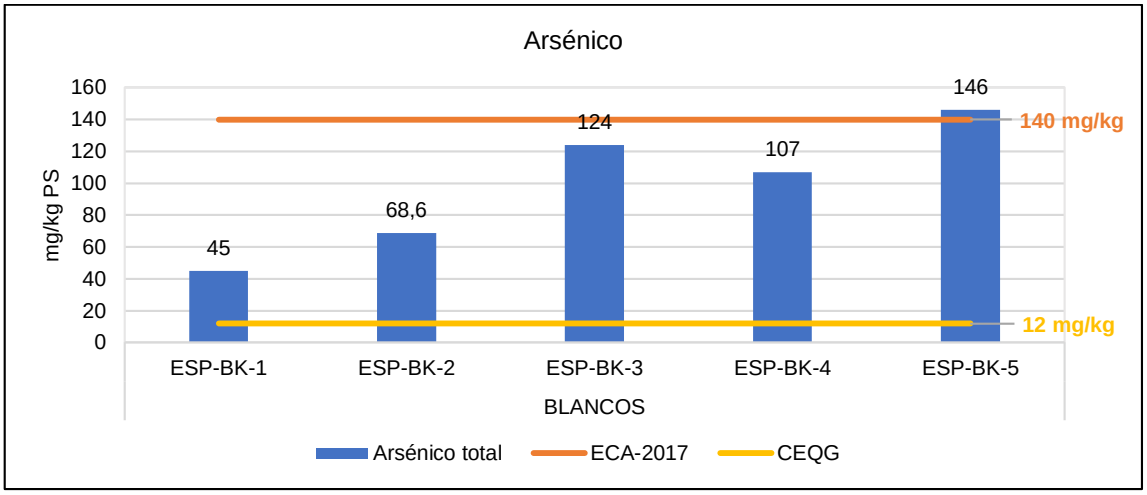


Figura 6.240. Concentraciones de arsénico en puntos blanco comparadas con los ECA para suelo industrial (2017) y los valores de la CSQG para suelo industrial

6.4.1.4. Lodos en la poza de sedimentación 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland sur

a. Parámetros edáficos

En cuanto a los resultados de los parámetros edáficos de los puntos ESP-5 y ESP-22, se registró pH moderadamente alcalino a muy fuertemente alcalinos (pH: 8,34 y 9,48), conductividad eléctrica con una variación significativa (C.E: 1965 µS/cm y 1344 µS/cm), porcentajes de materia orgánica alta para el puntos ESP-5 (10,24%) y relativamente baja para el punto ESP-22 (4,12%); asimismo, clase textural franco limosa y franco arenosa, mientras que los valores de carbonato de calcio ($CaCO_3$) estuvieron entre 3,48 % y 4,12%, respectivamente.

d. Metales totales

Los resultados de las muestras de lodo de la poza de sedimentación N.º 5000 (ESP-5) y de lodo expuesto sobre suelo a 3 m al norte de esta, se presentan en la Tabla 6.87, donde resaltan las elevadas concentraciones de calcio, aluminio y hierro dentro de los elementos mayoritarios y zinc, cobre, arsénico, cobalto, níquel y cadmio dentro de los minoritarios.

Tabla 6.87. Concentraciones de metales totales en muestras de lodo

Metales totales	Unidad	ESP-5	ESP-22
		Lodo	Lodo sobre suelo
		Poza de sedimentación 5000	3 m al norte de la poza de sedimentación 5000
Aluminio Total	mg/kg PS	33872	16708
Arsénico Total	mg/kg PS	295	196
Cadmio Total	mg/kg PS	18,89	9,569
Calcio Total	mg/kg PS	158509	42833
Cobalto Total	mg/kg PS	135	49,9
Cobre Total	mg/kg PS	2 471	630
Cromo Total	mg/kg PS	12,4	7,39
Hierro Total	mg/kg PS	77956	56884

Metales totales	Unidad	ESP-5	ESP-22
		Lodo	Lodo sobre suelo
		Poza de sedimentación 5000	3 m al norte de la poza de sedimentación 5000
Mercurio Total	mg/kg PS	< 0,010	0,735
Níquel Total	mg/kg PS	123	41,1
Plata Total	mg/kg PS	0,2744	1,006
Plomo Total	mg/kg PS	1,89	114,5
Zinc Total	mg/kg PS	1 616	602

Fuente: Reporte de resultados RRE-046-STEC-2020 (Anexo 3).

6.4.1.5. Bofedal margen derecha de la quebrada Margaritani

En los puntos de muestreo SU-16 y SU-17, ubicados en el bofedal de la margen derecha de la quebrada Margaritani, se registró un pH fuertemente ácido (pH: 4,27 y 4,88), conductividad eléctrica variable (C.E: 1341 µS/cm y 244 µS/cm), porcentajes de materia orgánica relativamente alta (M.O.: 11,92% y 14,7%), asimismo, clase textural franco arenosa para ambos puntos, mientras que los valores de carbonato de calcio (CaCO3) estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo.

En cuanto a los metales o metaloides, ninguno excedió los ECA para suelo de uso industrial. Por otro lado, el arsénico en el punto SU-17 (73,5 mg/kg) fue el único elemento que superó el valor de la guía canadiense (12 mg/kg).

6.4.2. Flora

Para determinar la influencia de los drenajes acidos de mina (DAM) y drenajes acidos de roca (DAR) sobre los principales cultivos de los poblados y la flora silvestre de los ecosistemas entorno a las actividades de la UF Florencia – Tucari, el área de estudio se dividió por zonas, considerando la ubicación de las áreas de evaluación de los componentes suelo, agua y sedimentos; asimismo, teniendo en cuenta la cantidad de parcelas evaluadas por zona, se optó por subdivilirlos en sectores, tal como detalla en la Tabla 6.88.

En la Tabla 6.88 se representan los puntos de agua y suelos asociado al componente ambiental evaluado; la descripción y referencia geográfica de cada parcela de evaluación se presenta en el reporte de campo N.° 058-2020-STEC (Anexo 2) y los resultados de dichos análisis se presentan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3).

Tabla 6.88. Distribución del área de estudio por zonas y sectores de evaluación

Área	Zona	Sector	Puntos de suelo y agua asociados
Unidad Fiscalizable Florencia Tucari y Unidad Hidrográfica Coralaque	Queullirijahuiri	- Bo. Blanco 1	Río Queullirijahuiri (naciente) Calidad del Agua superficial AG-14 y MA-15
		- Bo. Blanco 2	Río Queullirijahuiri (naciente) Calidad del Agua superficial MT-35 y MT-32
	Margaritani	- Bo. Wetland Norte	Calidad de Suelos (puntos TU-SU-45, TU-SU-48 y SU-04, SU-05, SU-07, SU-08, SU-09, SU-10, SU-11 Y SU-13), y calidad de Agua, MT-46, M-2 y TU-21.
		- Bo. Botadero Norte	Calidad de Suelos (NF2-1, NF2-8, NF2-10) y Agua Superficial (puntos TU-24, TU-25, TU-26, MT-BO4 y MT-BO5)
		- Sec. Wetland Sur	Calidad de Suelos (TU-SU-01 AL TU-SU-05 y TU-SU-12) Y Agua superficial (FTU)
		- Bo. Qda. Margaritani	Calidad de Suelos (NF1-12, NF1-11, SU-17 y SU-16), Agua superficial (E-3)
		- Sec. Qda. Apostoloni	Calidad de suelos (TU-SU-22 y TU-SU-23)
		- Bo. Qda. Apostoloni	Calidad de Suelos (NF1-1, NF1-2, NF1-3, NF1-4 y NF1-5)
	Aruntaya	- Parte alta de Aruntaya	Río Margaritani Calidad de Agua superficial (AG-19 y RJavi)
		- Parte baja de Aruntaya	Río Margaritani Calidad de Agua (M-3), RArun4 y AG-09)
	Titire - Coralaque (CP Pachas)	- Aguas Qda. Coralaque	Calidad de agua superficial (RCora4)
		- Aguas Qda. Condorama	Calidad de Agua: RCora4

Bo: Bofedal; CP: Centro Poblado y Qda: Quebrada

6.4.2.1 Zona Queullirijahuiri

Esta zona estuvo conformada por 2 sectores (Bo. Blanco 1 y Bo. Blanco 2), ambos corresponden a la formación vegetal denominado bofedal, los cuales sirvieron como zonas de comparación (Blanco) con la zona Margaritani. Estos bofedales son recargados por la naciente de la quebrada y manantiales que tienen como cuerpo principal al río Queullirijahuiri. En la Tabla 6.88 se representan los puntos de agua y suelos asociado al

componente ambiental evaluado; la descripción y ubicación geográfica de cada parcela de evaluación se presenta en el reporte de campo N.° 058-2020-STEC (Anexo 2).

Se evaluaron 24 parcelas (14 en Bo. Blanco 1 y 10 en Bo. Blanco 2) en ellas se determinó la composición y la cobertura vegetal en porcentaje; asimismo, se tomaron 4 muestras de tejido vegetal que corresponden a 2 especies representativas de ambos bofedales, codificadas como TU-TV-OA4-R, TU-TV-OA4-H, TU-TV-CR3-R y TU-TV-CR3-H. Los resultados de dichos análisis se presentan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3).

6.4.2.1.Composición de especies vegetales en la zona Queullirijahuiri.

Los resultados de la composición vegetal, mediante la evaluación de 24 parcelas (14 en Bo. Blanco 1 y 10 en Bo. Blanco 2), son presentados en la Figura 6.241 registrándose 17 especies, 14 géneros y 9 familias, donde las especies *Oxychloe andina* y *Calamagrostis vicunarum* fueron las mas frecuentes (Tabla 6.89).

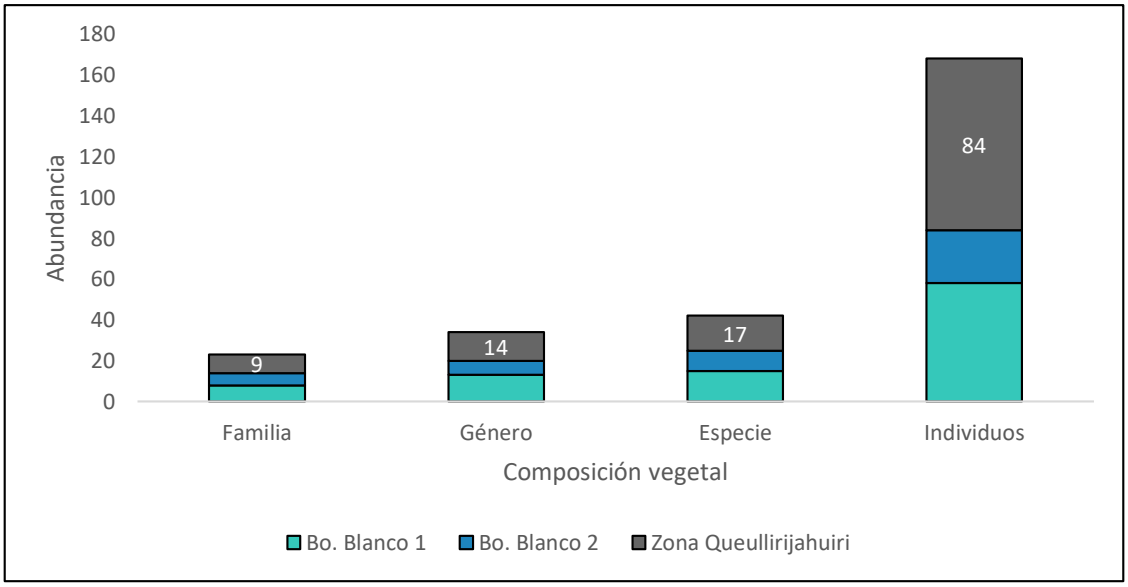


Figura 6.241. Composición vegetal en la zona Queullirijahuiri

La composición vegetal fue clasificada en 3 tipos de asociación vegetal: vegetación arbustiva, vegetación de cojín típico de bofedales y vegetación graminoide. En la Tabla 6.89. se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 6.89. Clasificación de la vegetación en la zona Queullirijahuiri

Zona		Queullirijahuiri	Sectores	
Clasificación de la vegetación	Familia	Especie	Bo. Blanco 1 (14 parcelas)	Bo. Blanco 2 (10 parcelas)
Arbustiva	Asteraceae	*Xenophyllum digitatum*	1	--
Tipo cojin	Caryiophyllaceae	*Arenaria digyna*	--	1
	Asteraceae	*Cuatrecasasiella isernii*	3	--
	Juncaceae	*Distichia muscoides*	3	4
	Gentianaceae	*Gentiana sedifolia*	8	2
	Fabaceae	*Lachemilla diplophylla*	1	--
	Orchidaceae	*Myrosmodes* sp. 1	1	--
	Plantaginaceae	*Ourisia muscosa*	1	--
	Juncaceae	*Oxychloe andina*	12	4

Zona		Queullirijahuiri	Sectores	
Clasificación de la vegetación	Familia	Especie	Bo. Blanco 1 (14 parcelas)	Bo. Blanco 2 (10 parcelas)
	Asteraceae	*Senecio macrorrhizus*	3	1
	Sphagnaceae	*Sphagnum* sp. 1	2	2
	Asteraceae	*Werneria pygmaea*	1	--
Graminoide	Poaceae	*Agrostis breviculmis*	1	--
	Poaceae	*Calamagrostis brevifolia*	1	4
	Poaceae	*Calamagrostis ovata*	--	6
	Poaceae	*Calamagrostis rigescens*	9	1
	Poaceae	*Calamagrostis vicunarum*	11	1

6.4.2.2.Cobertura vegetal en la zona Queullirijahuiri

Se clasificaron 5 tipos de coberturas en cada parcela: medio físico, vegetación muerta, vegetación arbustiva, vegetación de cojín y vegetación graminoide. Los resultados de la cobertura vegetal, evaluados en las 24 parcelas (14 en Bo. Blanco 1 y 10 en Bo. Blanco 2) se presentan en la Tabla 6.90 y Figuras 6.242 y 6.243.

Tabla 6.90. Clasificación de las coberturas en parcelas de la zona Queullirijahuiri

Sector	Parcelas	Clasificación de coberturas (%)				
		Vegetación Muerta	Medio Físico	Vegetación Graminoide	Vegetación de Cojín	Vegetación Arbustiva
Bofedal Blanco-1	TU-FL81	0,0	0,0	36,5	63,5	0,0
	TU-FL82	3,1	0,0	8,5	88,5	0,0
	TU-FL83	2,9	0,0	0,0	97,1	0,0
	TU-FL84	4,9	0,0	61,0	34,1	0,0
	TU-FL85	0,0	0,0	22,0	78,0	0,0
	TU-FL86	0,0	0,0	8,9	91,1	0,0
	TU-FL87	0,0	0,0	7,0	93,0	0,0
	TU-FL88	0,0	0,0	36,7	63,3	0,0
	TU-FL89	1,7	0,0	12,6	85,7	0,0
	TU-FL90	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	TU-FL91	0,0	0,0	28,5	71,5	0,0
	TU-FL92	0,0	0,0	11,6	88,4	0,0
	TU-FL93	0,0	11,3	0,0	88,7	0,0
	TU-FL94	0,0	0,0	70,5	29,5	0,0
Bofedal Blanco-2	TU-FL100	0,0	4,8	80,0	15,2	0,0
	TU-FL101	0,0	0,0	19,4	80,6	0,0
	TU-FL102	0,0	0,0	45,0	55,0	0,0
	TU-FL103	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	TU-FL104	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
	TU-FL95	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
	TU-FL96	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
	TU-FL97	0,0	0,0	18,5	81,5	0,0
	TU-FL98	0,0	0,0	19,5	80,5	0,0
	TU-FL99	0,0	0,0	1,0	99,0	0,0

Asimismo, las Figuras 6.242, 6.243 y 6.244 muestran la dominancia de la cobertura vegetal tipo cojín en ambos bofedales (76,6 % y 61,2 %), seguida de la vegetación graminoide (21,7 % y 38,3 %), las otras coberturas (medio físico, vegetación muerta y vegetación arbustiva) no evidencian valores resaltantes, ya que son bofedales en buenas condiciones.

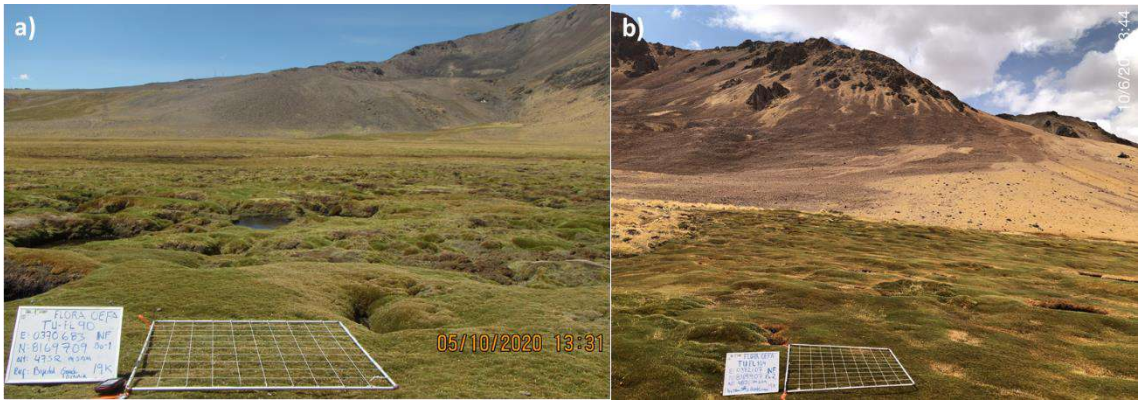


Figura 6.242. Bofedales de la zona Queullirijahuiri – y sectores. a) Bo. Blanco 1 y b) Bo. Blanco 2

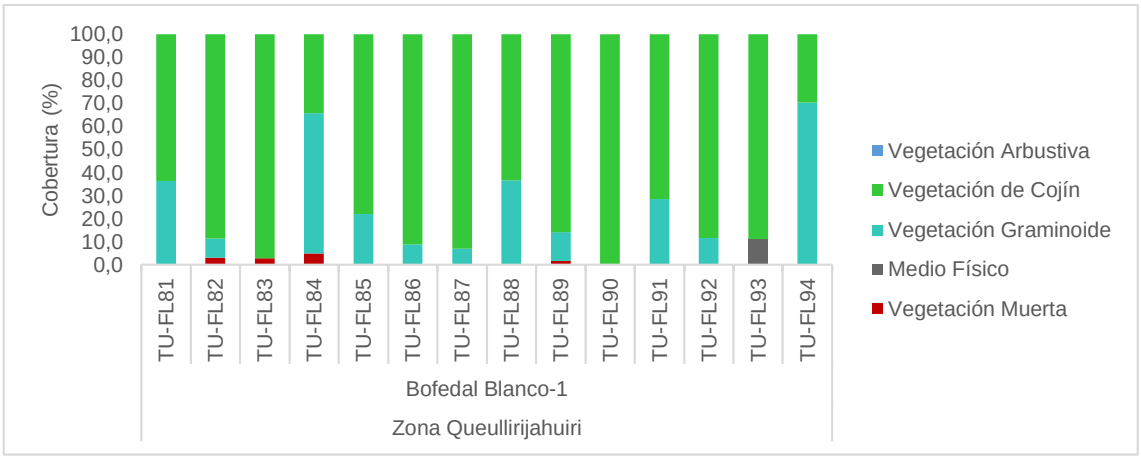


Figura 6.243. Coberturas de las parcelas en el sector Bo Blanco 1

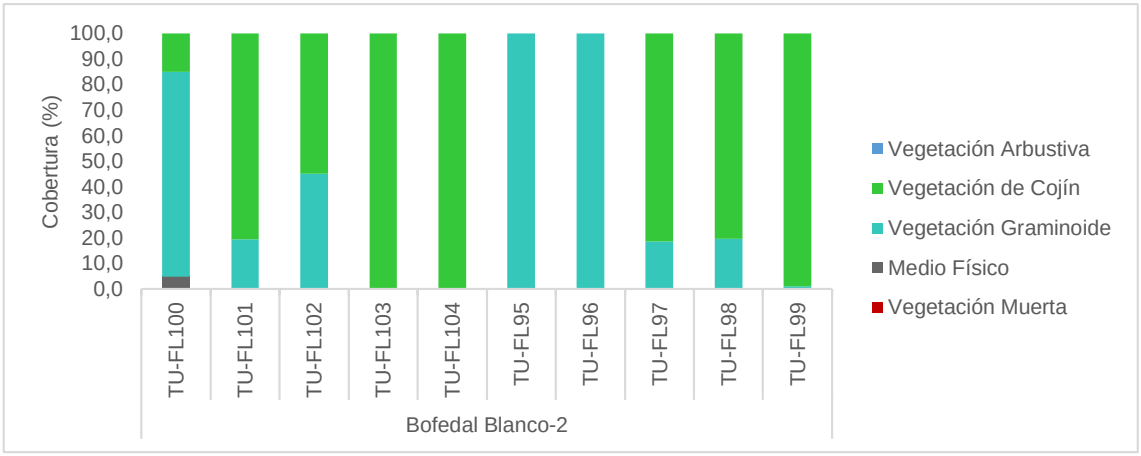


Figura 6.244. Coberturas de las parcelas en el sector Bo Blanco 1

6.4.2.3.Clasificación de coberturas e índice de vegetación de zona Queullirijahuiri

Se clasificó 5 tipos de coberturas en cada sector: medio físico (cuerpo de agua y suelo descubierto), vegetación muerta, vegetación tipo cojín y vegetación graminoide. A continuación, se presentan los resultados de la clasificación de coberturas e indices de vegetación evaluados en 2 sectores (Bo. Blanco 1 y Bo. Blanco 2).

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). Para el Bo. Blanco 1 en la clasificación de coberturas se tiene que, de un total de 34,9 ha el 47,1 % representa vegetación tipo cojín, 37,8 % representa vegetación graminoide, el 9,7 % vegetación muerta, el 1,8 % suelo descubierto y el 3,6 % cuerpos de agua; y para el Bo. Blanco 2 en la clasificación de coberturas se tiene que de un total de 5,0 ha el 35,3 % representa vegetación tipo cojín, 26,6 % representa vegetación graminoide, el 21,2 % vegetación muerta, el 11,7 % suelo descubierto y el 5,2 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación NDRE se aplicó a las coberturas de vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -1 a 1.

En la Figura 6.245 a la izquierda se muestra la clasificación de coberturas del Bo. Blanco 1, así como, el índice de vegetación NDRE de las coberturas vegetación tipo cojín, vegetación graminoide, vegetación muerta y el ortomosaico de alta resolución del Bo. Blanco 1, a la derecha se muestra la clasificación de coberturas del Bo. Blanco 2, así como, el índice de vegetación NDRE de las coberturas vegetación tipo cojín, vegetación graminoide, vegetación muerta y el ortomosaico de alta resolución del Bo. Blanco 2

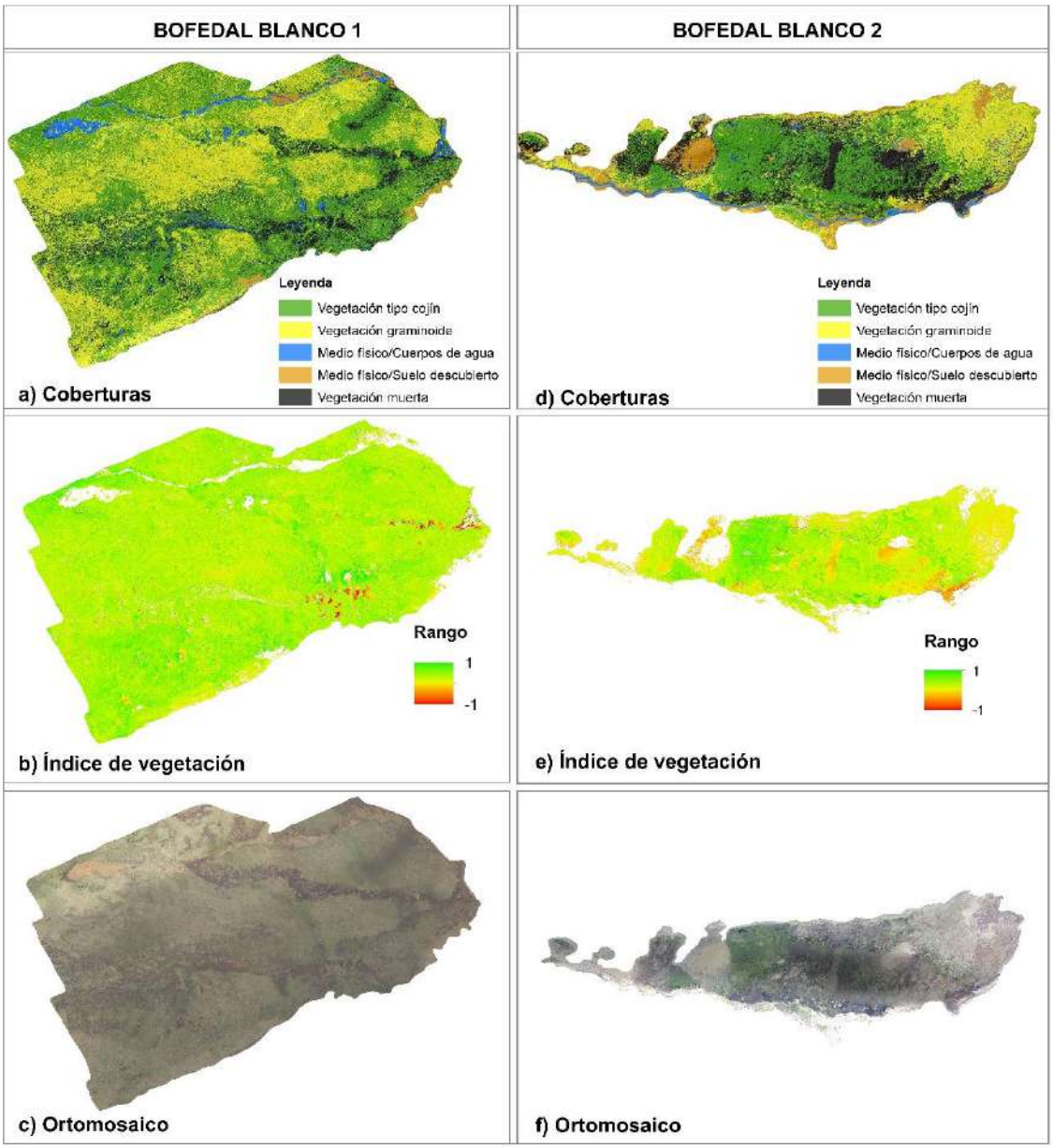


Figura 6.245. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Blanco 1, b) Índices de vegetación en el Bo. Blanco 1, c) Ortomosaico del Bo. Blanco 1, d) Clasificación de coberturas en el Bo. Blanco 2, e) Índices de vegetación en el Bo. Blanco 2 y f) Ortomosaico del Bo. Blanco 2.

En la Tabla 6.91 se muestra la estadística (mínimo, máximo, media y desviación estandar) de los valores de índice de vegetación NDRE por cada parcela muestreada en el Bo. Blanco 1 y el Bo. Blanco 2.

Tabla 6.91. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Bo. Blanco 1 y en el Bo. Blanco 2

Sector	Parcela	Muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estandar
Bo. Blanco 1	TU-TV-OA4	Hoja y raíz	0,014	0,512	0,247	0,058
Bo. Blanco 2	TU-TV-CR3	Hoja y raíz	0,018	0,339	0,220	0,032

6.4.2.4.Tejido vegetal en la zona Queullirijahuiri.

Se realizó la colecta de 4 muestras botánicas para el análisis de tejido vegetal, correspondiente a 2 especies representativas en ambos bofedales (*Oxychloe andina* que forma parte de la vegetación tipo Cojín y *Calamagrostis sp.* como vegetación graminoide) mostrados en la Tabla 6.92 y Figura 6.246. El laboratorio acreditado encargado de analizar las muestras fue AGQ PERÜ S.A.C (informe de ensayo SAA-20-00974). Es preciso indicar que, estas muestras fueron consideradas «blanco» para muestras de la zona Margaritani.

Tabla 6.92. Analisis de tejido vegetal de muestras en la zona Queullirijahuiri

Zona Queullirijahuiri					
Sectores: Bofedal Blanco 1 y Bofedal Blanco 2					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2,0 mg/kg ***	1,0 mg/kg ***	0,10 mg/kg ***	10 mg/kg ***
Oxychloe andina	TU-TV-OA4-R	1,7	0,109	0	3,07
	TU-TV-OA4-H	0,34	0,026	0	0,395
Calamagrostis sp.	TU-TV-CR3-H	6,5	0,099	0	4,51
	TU-TV-CR3-R	24	0,258	0,03	14,4

*** Limite Maximo según Real Decreto de España 465/2003

***Oxychloe andina* (Juncaceae).** Conocida localmente como «Pako Pako», hierba perenne que forma densos cojines hemisféricos inicialmente, presentes en ambientes hidromórficos. Hojas en roseta con ápices agudos y punzantes. Fruto seco, rojizo-purpúreo, que se abre en su madurez (forma parte de la dieta alimenticia de fauna silvestre (principalmente aves), entre ellas el Suri (*Rhea pennata*). Esta especie es dominante en el paisaje que habita y lo caracteriza. Asimismo, pueden ser de ambientes primarios en humedales (bofedales) de altura, y algunas veces indicadoras de ecosistemas en proceso de degradación, Figura 6.246.

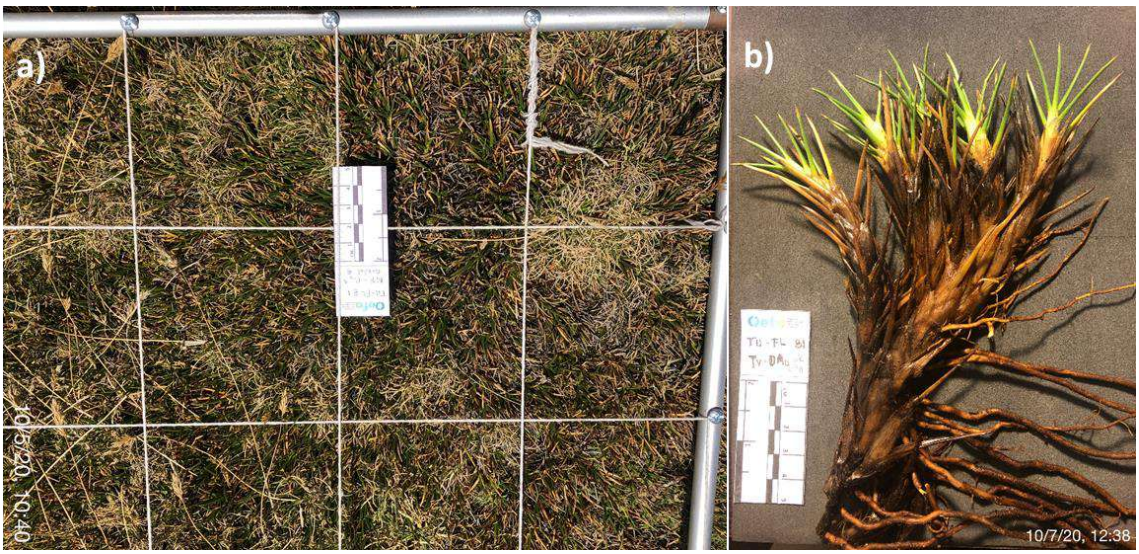


Figura 6.246. Muestra de la especie *Oxychle andina* presentes en el Bofedal Blanco 1 – parcela TU-FL-81, y código de tejido vegetal TU-TV-OA4. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas).

***Calamagrostis* sp. (Poaceae).** Esta especie forma parte de un grupo grande de especies tipo graminoide. Poáceas del grupo Deyeuxia (=Calamagrostis) como las especies *D. rigescens*, *D. eminens*, *D. curvula*, *D. ovata* y *D. vicunarum*. Es una especie presente en las

partes húmedas, bordes de manantiales, lagunas de la puna alta. Su principal uso es, formar parte de la dieta alimenticia de la fauna silvestre en ecosistemas altoandinos, Figura 6.247.

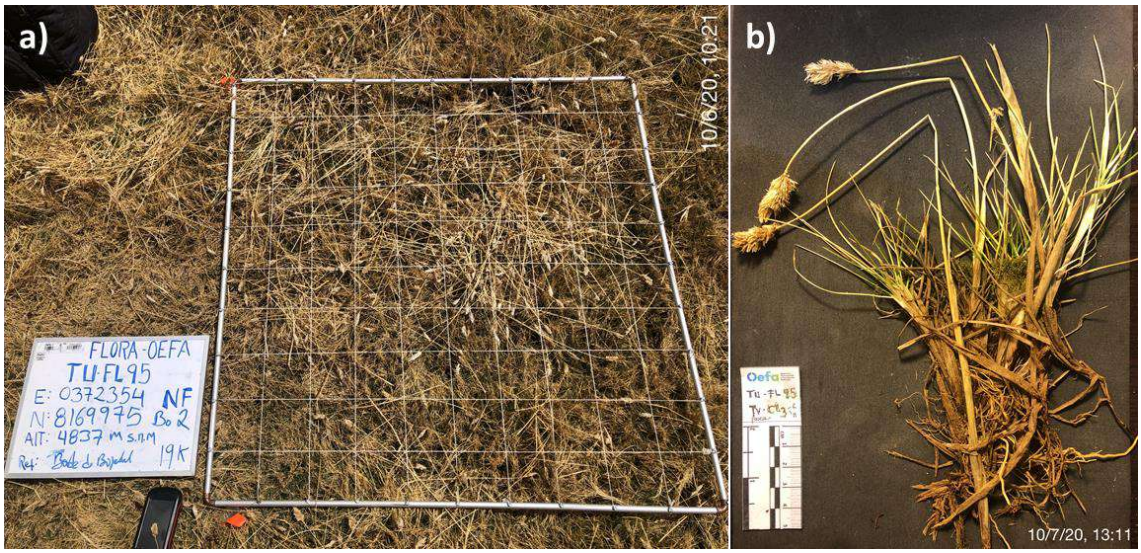


Figura 6.247. Muestra de la especie *Calamagrostis* sp. presentes en el Bofedal Blanco 1 – parcela TU-FL-81, y código de tejido vegetal TU-TV-CR3. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas).

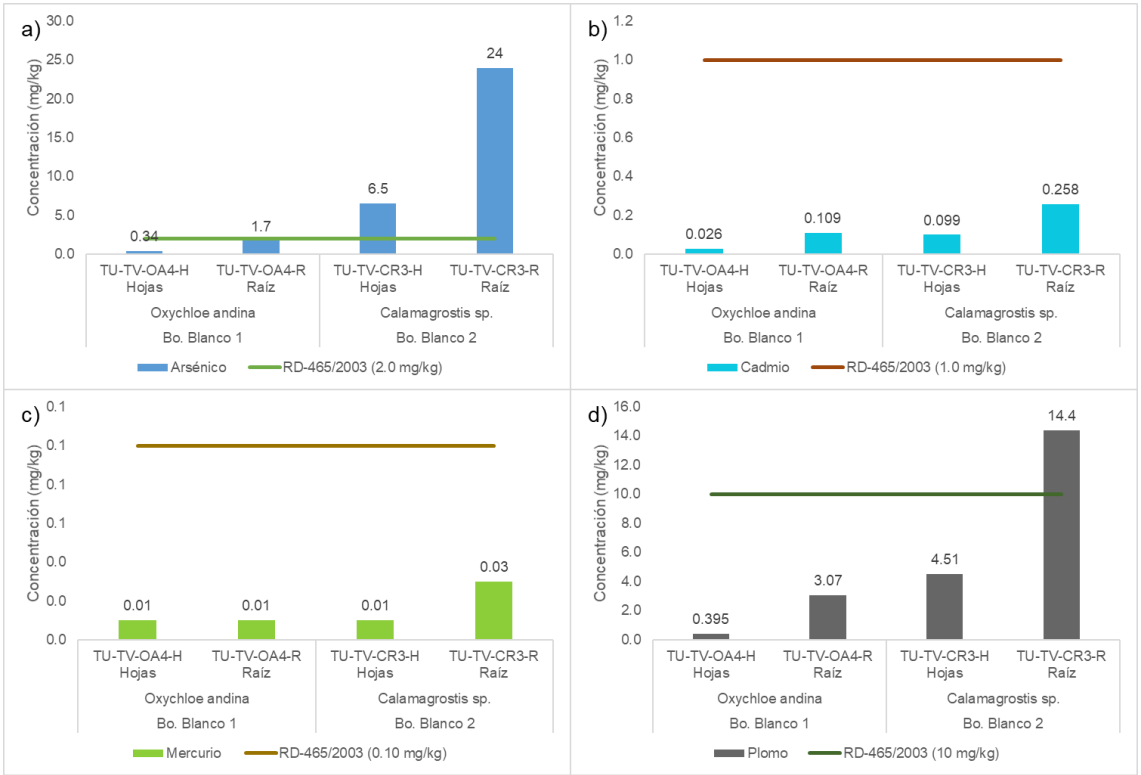


Figura 6.248. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Queullirijahuiri. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Los resultados mostrados en la Tabla 6.92 y Figura 6.248, presentan las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003,

relacionado a las sustancias indeseables para alimento animal; en ese sentido, las muestras que corresponde a la hoja y raíz de la especie *Calamagrostis* sp. (TU-TV-CR3-R y TU-TV-CR3-H) excedieron las concentraciones de Arsénico (As) segun el Real Decreto (2,0 mg/kg); asimismo, el Plomo (Pb) supera las concentraciones en la raíz de la muestra (TU-TV-CV3-R), por encima de los 10 mg/kg que señala el Real Decreto. Por otro lado, la muestras que corresponden a la especie *Oxychloe andina*, no excedieron los niveles máximos según la norma referencial (RD N.° 465/2003).

La concentración de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata), presentados en la Figura 6.249, evidencian los resultados de las concentraciones de metales en la zona Queullirijahuiri (Bo. Blanco 1 y Bo. Blanco 2), que representó a la zona sin impacto, cuando se relacione a la zona Queullirijahuiri.

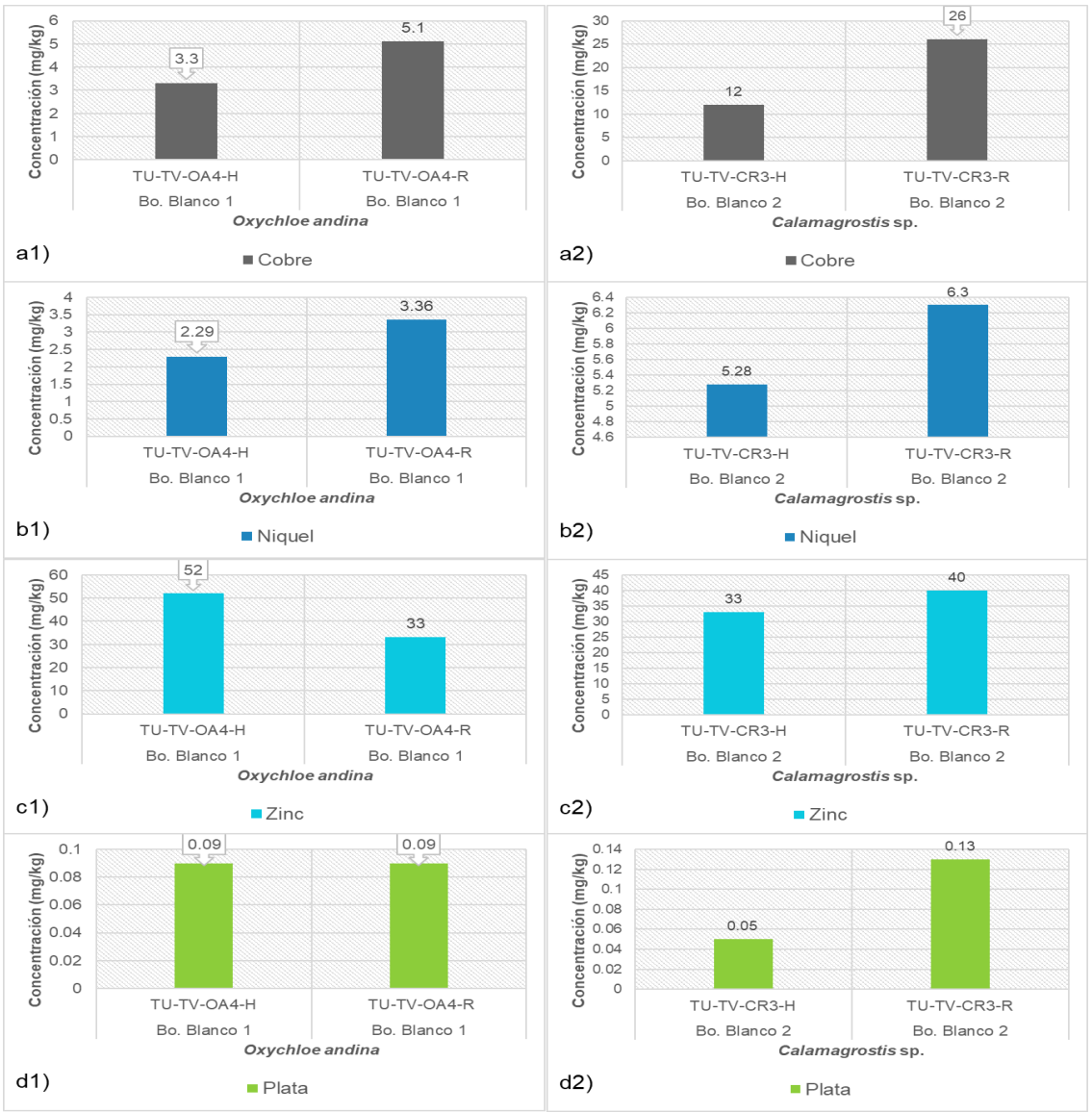


Figura 6.249. Otros metales en las muestras de *Oxychloe andina* y *Calamagrostis* sp. a) Cobre; b) Niquel; c) Zinc y d) Plata

6.4.2.2 Zona Margaritani

Esta zona presenta 5 sectores (Bo. Wetland Norte, Bo. Botadero Norte, Bo. Qda. Margaritani, Sector Wetland Sur y Sector Qda. Apostoloni), donde predomina 2 formaciones vegetales (bofedales y césped de puna con pequeños matorrales), son recargados por la naciente de la quebrada y manantiales que tienen como cuerpo principal al río Margaritani. En la Tabla 6.93 se representan los puntos de agua y suelos asociado al componente ambiental evaluado; la descripción y ubicación geográfica de cada parcela de evaluación se presenta en el reporte de campo N.° 058-2020-STEC (Anexo 2).

Se evaluó 51 parcelas (11 en Bo. Botadero Norte, 11 en Bo. Qda. Margaritani, 14 en Bo. Wetland Norte, 5 en Sec. Qda. Apostoloni y 10 en Sec. Wetland Sur) en las cuales se determino la composición y la cobertura vegetal en porcentaje; Asimismo, se tomo 19 muestras de tejido vegetal que corresponde a 4 especies representativas de cada formación vegetal. Los resultados de dichos análisis se presentan en el reporte de resultado N.° 047-2020-STEC (Anexo 3).

a) Composición de especies vegetales en la zona Margaritani.

Los resultados de la composición vegetal, mediante la evaluación de 51 parcelas (11 en Bo. Botadero Norte, 11 en Bo. Qda. Margaritani, 14 en Bo. Wetland Norte, 5 en Sec. Qda. Apostoloni y 10 en Sec. Wetland Sur) se presentan en la Figura 6.250, registrándose 40 especies, 26 géneros y 10 familias, donde las especies Oxychloe andina, Calamagrostis brevifolia y Parastrephia lucida fueron las mas frecuentes entre otras (Tabla 6.93).

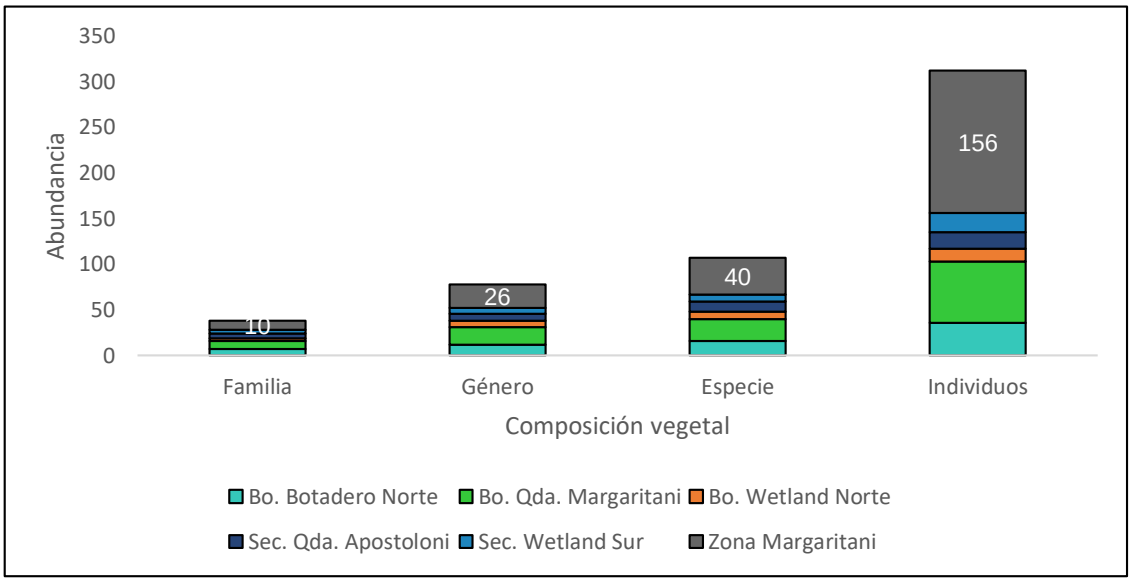


Figura 6.250. Composición vegetal en la zona Margaritani

La composición vegetal fue clasificada en 3 tipos de asociación vegetal: vegetación arbustiva, vegetación de cojín, típico de bofedales y vegetación graminoide. En la Tabla 6.93. se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 6.93. Clasificación de la vegetación en la zona Margaritani

Zona		Margaritani	Sectores				
Clasificación de la vegetación	Familia	Especie	Bo. Botadero. Norte	Bo. Qda. Margaritani	Bo. Wetland. Norte	Sec. Qda. Apostoloni	Sec. Wetland. Sur
Arbustiva	Asteraceae	*Misbrookea strigosissima*	--	1	--	--	--
	Asteraceae	*Parastrephia lucida*	2	4	1	2	1
	Asteraceae	*Senecio adenophyllus*	1	--	1	--	--
	Asteraceae	*Senecio rufescens*	--	--	1	--	--
	Asteraceae	*Xenophyllum ciliolatum*	--	--	--	1	--
	Asteraceae	*Xenophyllum poposum*	--	--	1	--	--
Tipo Cojín	Caryophyllaceae	*Arenaria digyna*	1	--	--	1	--
	Asteraceae	*Belloa* sp. 1	--	1	--	--	--
	Asteraceae	*Cuatrecasasiella isernii*	--	3	--	--	--
	Juncaceae	*Distichia muscoides*	4	3	--	--	--
	Gentianaceae	*Gentiana sedifolia*	2	--	--	--	--
	Gentianaceae	*Gentianella* sp. 1	1	--	--	--	--
	Asteraceae	*Hypochaeris taraxacoides*	--	1	--	--	--
	Fabaceae	*Lachemilla pinnata*	--	1	--	--	--
	Malvaceae	*Nototriche obcuneata*	--	1	--	--	--
	Apiaceae	*Oreomyrrhis andicola*	--	3	--	--	--
	Juncaceae	*Oxychloe andina*	7	8	3	2	3
	Asteraceae	*Perezia pygmaea*	--	1	--	--	--
	Plantaginaceae	*Plantago rigida*	--	--	--	1	--
	Plantaginaceae	*Plantago tubulosa*	1	4	--	--	--
	Caryophyllaceae	*Pycnophyllum* aff. *molle*	--	2	--	2	1
	Asteraceae	*Werneria apiculata*	--	1	--	--	--
	Asteraceae	*Werneria pygmaea*	--	1	--	--	--
Graminoide	Poaceae	*Aciachne pulvinata*	2	--	1	--	3

Zona		Margaritani	Sectores				
Clasificación de la vegetación	Familia	Especie	Bo. Botadero. Norte	Bo. Qda. Margaritani	Bo. Wetland. Norte	Sec. Qda. Apostoloni	Sec. Wetland. Sur
	Poaceae	*Calamagrostis breviaristata*	--	--	--	--	3
	Poaceae	*Calamagrostis brevifolia*	5	8	4	3	7
	Poaceae	*Calamagrostis chrysantha*	--	3	--	--	--
	Poaceae	*Calamagrostis minima*	--	--	--	2	--
	Poaceae	*Calamagrostis ovata*	1	4	--	2	--
	Poaceae	*Calamagrostis rigida*	2	--	--	--	--
	Poaceae	*Calamagrostis sp.*	1	--	--	--	--
	Poaceae	*Calamagrostis vicunarum*	3	3	--	1	2
	Cyperaceae	*Carex aff. ecuadorica*	--	6	--	--	--
	Poaceae	*Festuca rigescens*	--	--	2	--	--
	Poaceae	*Festuca* sp. 1	1	--	--	--	--
	Cyperaceae	*Luzula racemosa*	--	2	--	1	--
	Cyperaceae	*Phylloscirpus acaulis*	2	4	--	--	--
	Poaceae	*Poa aequigluma*	--	--	--	--	1
	Poaceae	*Poa breviculmis*	--	1	--	--	--
	Poaceae	*Poa* sp. 1	--	1	--	--	--

b) Cobertura vegetal en la zona Margaritani

Se clasifico 5 tipos de coberturas en cada parcela: medio físico, vegetación muerta, vegetación arbustiva, vegetación de cojín y vegetación graminoide. Los resultados de la cobertura vegetal, evaluados en las 51 parcelas (11 en Bo. Botadero Norte, 11 en Bo. Qda. Margaritani, 14 en Bo. Wetland Norte, 5 en Sec. Qda. Apostoloni y 10 en Sec. Wetland Sur) se presentan en la Tabla 6.94 y Figuras 6.251 y 6.252.

Tabla 6.94. Clasificación de las coberturas en parcelas de la zona Margaritani

Sector	Parcelas	Clasificación de coberturas (%)				
		Vegetación Muerta	Medio Físico	Vegetación Graminoide	Vegetación de Cojín	Vegetación Arbustiva
Bo. Botadero Norte	TU-FL15	0,0	20,0	20,0	0,0	60,0
	TU-FL16	0,0	42,5	27,6	0,0	29,9
	TU-FL17	0,0	26,2	51,5	22,3	0,0
	TU-FL25	47,8	0,0	47,8	4,3	0,0
	TU-FL26	74,8	0,0	11,7	13,6	0,0
	TU-FL27	19,0	0,0	55,6	25,5	0,0
	TU-FL28	0,0	0,0	76,5	23,5	0,0
	TU-FL29	30,0	49,3	20,7	0,0	0,0
	TU-FL30	24,5	31,1	3,8	40,6	0,0
	TU-FL31	77,3	0,0	13,6	9,1	0,0
	TU-FL32	77,7	0,0	17,0	5,4	0,0
Bo. Qda. Margaritani	TU-FL105	0,0	5,1	26,6	68,4	0,0
	TU-FL106	0,0	4,5	66,2	21,4	7,8
	TU-FL41	7,9	10,5	79,8	1,8	0,0
	TU-FL42	0,0	14,4	85,6	0,0	0,0
	TU-FL43	5,9	7,2	72,5	14,4	0,0
	TU-FL44	0,0	28,6	33,3	3,6	34,5
	TU-FL45	0,0	14,0	46,7	39,3	0,0
	TU-FL46	0,0	19,7	60,6	19,7	0,0
	TU-FL47	5,6	21,4	19,0	54,0	0,0
	TU-FL48	0,0	0,0	60,8	38,6	0,6
	TU-FL49	8,6	13,6	60,5	9,9	7,4
Bo. Wetland Norte	TU-FL1	89,2	10,8	0,0	0,0	0,0
	TU-FL10	85,2	0,0	0,0	14,8	0,0
	TU-FL11	25,3	17,1	47,6	0,0	10,0
	TU-FL12	66,0	34,0	0,0	0,0	0,0
	TU-FL13	94,8	5,2	0,0	0,0	0,0
	TU-FL14	23,2	76,8	0,0	0,0	0,0
	TU-FL2	14,9	25,4	59,6	0,0	0,0
	TU-FL3	35,3	2,3	20,3	42,1	0,0
	TU-FL4	75,7	24,3	0,0	0,0	0,0
	TU-FL5	46,0	5,6	0,0	48,4	0,0
	TU-FL6	41,8	58,2	0,0	0,0	0,0
	TU-FL7	80,5	19,5	0,0	0,0	0,0
	TU-FL8	77,5	22,5	0,0	0,0	0,0
	TU-FL9	49,6	50,4	0,0	0,0	0,0
Sec. Qda. Apostoloni	TU-FL36	0,0	35,0	39,9	23,1	2,1
	TU-FL37	0,0	18,8	70,0	12,5	5,0
	TU-FL38	20,9	0,0	79,1	0,0	0,0
	TU-FL39	66,9	0,0	0,0	33,1	0,0
	TU-FL40	71,0	0,0	0,0	29,0	0,0
Sec. Wetland Sur	TU-FL18	39,1	60,9	0,0	0,0	0,0
	TU-FL19	46,8	32,5	20,6	0,0	0,0
	TU-FL20	0,0	0,0	94,1	0,0	5,9
	TU-FL21	0,0	25,0	54,8	20,2	0,0
	TU-FL22	54,9	30,4	9,8	4,9	0,0
	TU-FL23	36,4	48,6	15,0	0,0	0,0
	TU-FL24	10,5	59,6	29,8	0,0	0,0

Sector	Parcelas	Clasificación de coberturas (%)				
		Vegetación Muerta	Medio Físico	Vegetación Graminoide	Vegetación de Cojín	Vegetación Arbustiva
	TU-FL33	66,9	9,7	2,4	21,0	0,0
	TU-FL34	22,1	31,7	38,5	7,7	0,0
	TU-FL35	57,5	37,2	5,3	0,0	0,0

Asimismo, la Figura 6.251 muestran la dominancia de la vegetación muerta promedio, según las parcelas evaluadas, principalmente en el sector Bo. Wetland Norte (57,5 %), seguida del medio físico que involucra suelo descubierto y espejo de agua (25,1 %), quedando unicamente 9,1 % y 7,5 % para la cobertura vegetal tipo gramínea y cojín respectivamente. Asimismo, el sector Bo. Botadero Norte registra en promedio 31,9 % de vegetación muerta, 15,4 % de medio físico, 31,4 % y 13,1 de vegetación graminoide y cojin respectivamente. Mientras que, para el sector Bo. Qda. Margaritani en promedio la vegetación muerta registra unicamente 2,5 %, y el medio físico 12,6 % de cobertura, por consiguiente, la vegetación tipo graminoide y de cojín evidencia una mayor cobertura vegetal 55,6 % y 24,6 % respectivamente.

Por otro lado, los sectores (Wetland Sur y Qda. Apostoloni) corresponden a la formación vegetal de césped de puna, con pequeños grupos de matorrales, en ambos sectores el patrón de la cobertura es similar; donde, la cobertura vegetal graminoide registra 37,8 % y 27 % respectivamente y la cobertura de la vegetación tipo cojín 5,4 % y 19,5 % respectivamente. Sin embargo, la cobertura de medio físico (suelo descubierto, agua, piedras o rocas) evidencia mayor cobertura porcentual en el Sec. Wetland Sur (33,6 %) y 10,7 % en el Sec. Qda. Apostoloni, como se detalla en la Tabla 6.94.

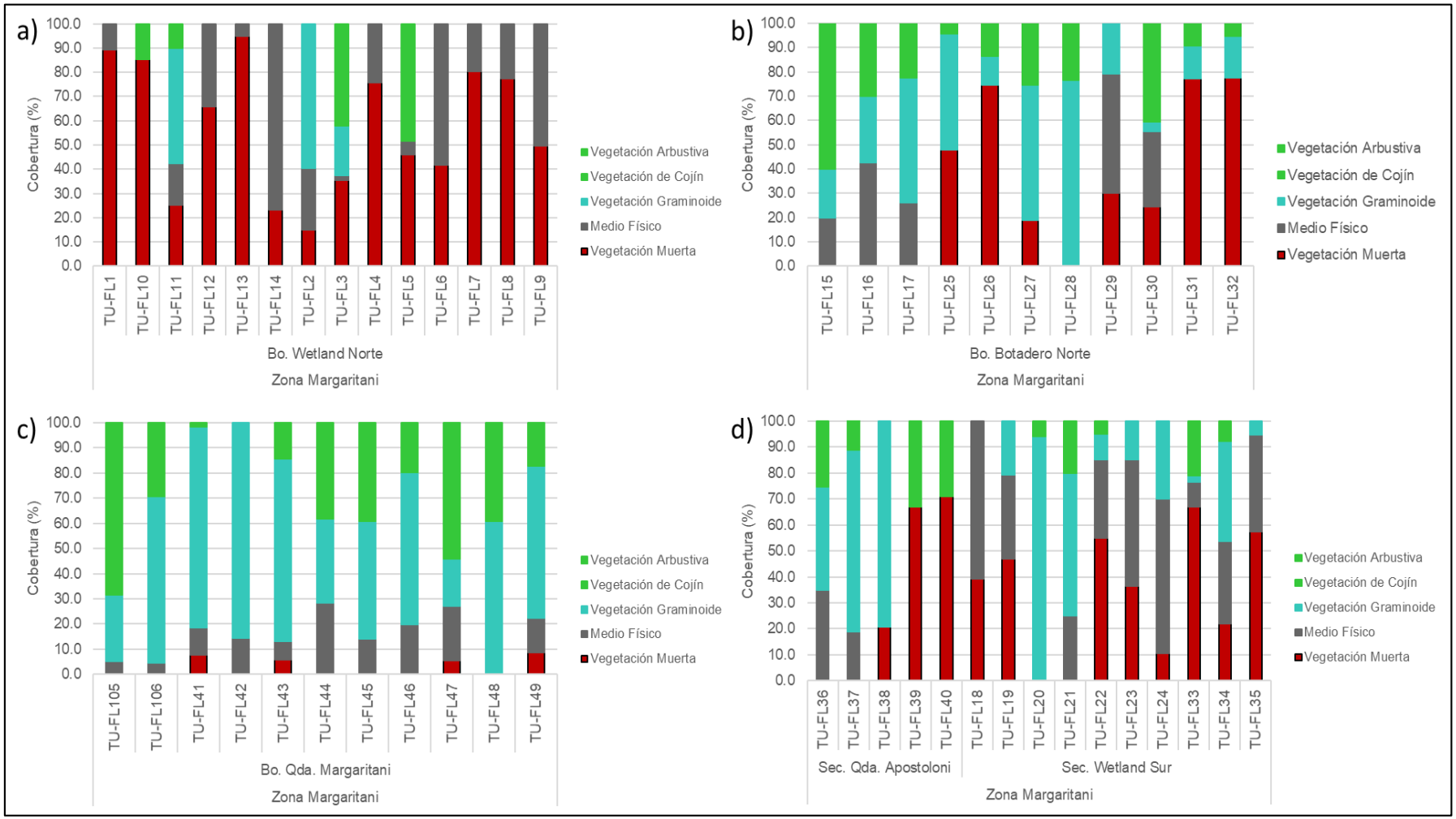


Figura 6.251. Coberturas de las parcelas en la zona Margaritani a) Bo. Wetland Norte; c) Bo Botadero Norte b) Sec. Wetland Sur y Qda. Apostoloni; d) Bo Qda. Maragritani

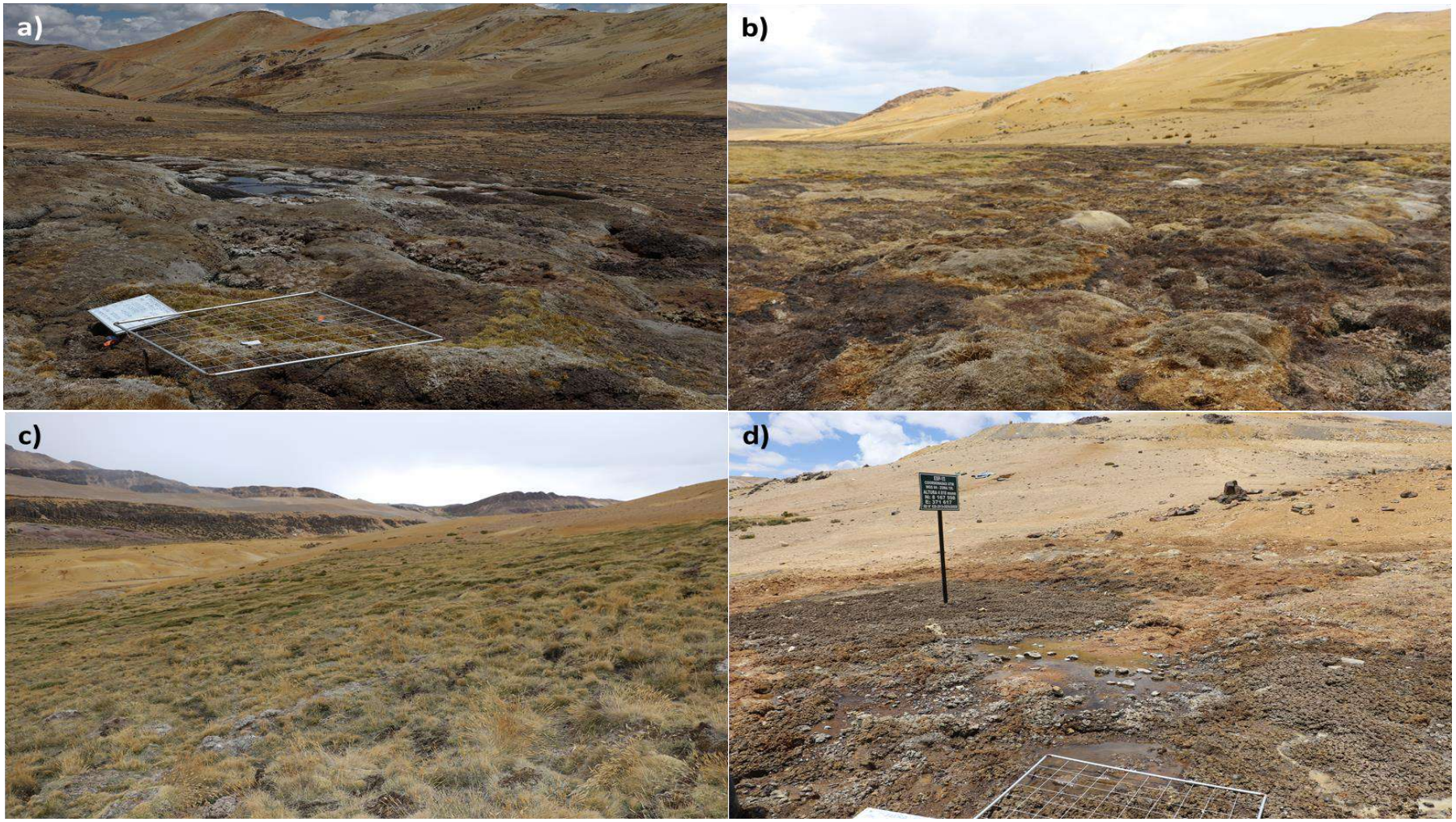


Figura 6.252. Coberturas de las parcelas en la zona Margaritani a) Bo. Wetland Norte; c) Bo Botadero Norte b) Sec. Wetland Sur y Qda. Apostoloni; d) Bo Qda. Maragritani

c) Clasificación de coberturas e índice de vegetación de zona Margaritani

Se clasificó 5 tipos de coberturas en cada sector: medio físico (cuerpo de agua y suelo descubierto), vegetación muerta, vegetación tipo cojín y vegetación graminoide. A continuación, se presentan los resultados de la clasificación de coberturas e indices de vegetación evaluados en 6 sectores (Bo. Wetland Norte, Bo. Botadero Norte, Sec. Wetland Sur, Sec. Qda. Apostoloni, Bo. Qda. Margaritani y Bo. Qda. Apostoloni).

- **Bofedal Wetland Norte**

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 4). Para el Bo. Wetland Norte en la clasificación de coberturas se tiene que de un total de 2,7 ha el 24,0 % representa vegetación graminoide, el 18,6 % vegetación muerta, el 40,7 % suelo descubierto y el 16,7 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación GLI se aplicó a las coberturas de vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -1 a 0,714.

En la Figura 6.253 a la izquierda se muestra la clasificación de coberturas del Bo. Wetland Norte; a la derecha se muestra el índice de vegetación GLI en las coberturas de vegetación graminoide y vegetación muerta; en la parte inferior se muestra el ortomosaico de alta resolución del Bo. Wetland Norte.

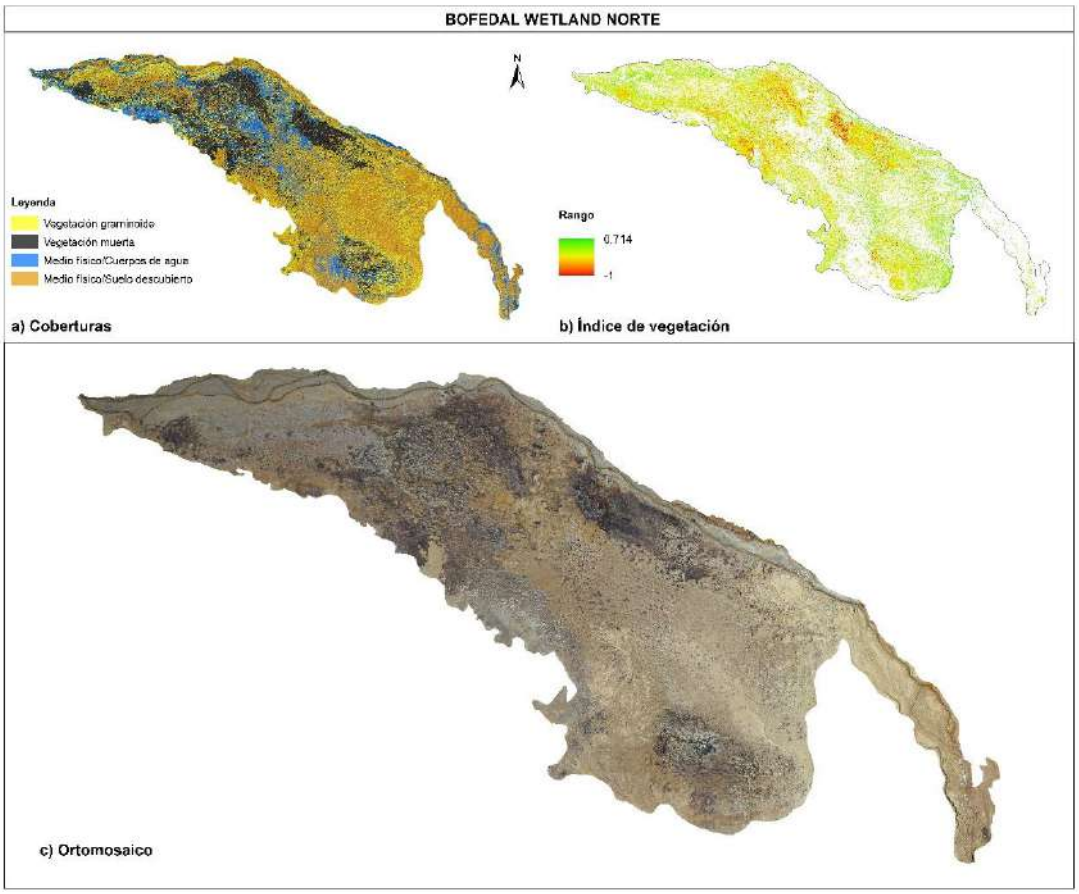


Figura 6.253. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Wetland Norte, b) índices de vegetación en el Bo. Wetland Norte y c) Ortomosaico del Bo. Wetland Norte.

En la Tabla 6.95 se muestra la estadística (mínimo, máximo, media y desviación estandar) de los valores de índice de vegetación GLI por cada parcela muestreada en el Bo. Wetland Norte.

Tabla 6.95. Índices de vegetación GLI de las parcelas muestreadas en el Bo. Wetland Norte

Parcela	Muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estandar
TU-TV-IN1	Hoja	-0,265	0,065	0	0,026
TU-TV-IN2	Hoja	-0,072	0,066	0,009	0,018
TU-TV-IN3	Raíz	-0,150	0,063	-0,012	0,022
TU-TV-IN4	Hoja y raíz	-0,263	0,193	-0,013	0,030
TU-TV-IN5	Hoja	-0,144	0,052	-0,017	0,028
TU-TV-IN6	Hoja y raíz	-0,221	0,061	0,007	0,022
TU-TV-IN7	Hoja y raíz	-1	0,263	-0,039	0,047
TU-TV-IN8	Raíz	-1	0,125	-0,051	0,044
TU-TV-IN10	Hoja	-0,153	0,066	-0,015	0,024

- **Bofedal Botadero Norte**

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). Para el Bo. Botadero Norte en la clasificación de coberturas se tiene que de un total de 6,5 ha el 20,5 % representa vegetación tipo cojín, 10,1 % representa vegetación graminoide, el 51,8 % vegetación muerta, el 13,4 % suelo descubierto y el 4,1 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación NDRE se aplicó a las coberturas de vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -1 a 0,653.

En la Figura 6.254 a la izquierda se muestra la clasificación de coberturas del Bo. Botadero Norte; en el centro se muestra el índice de vegetación NDRE de la cobertura vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta del Bo. Botadero Norte; a la derecha se muestra el ortomosaico de alta resolución del Bo. Botadero Norte

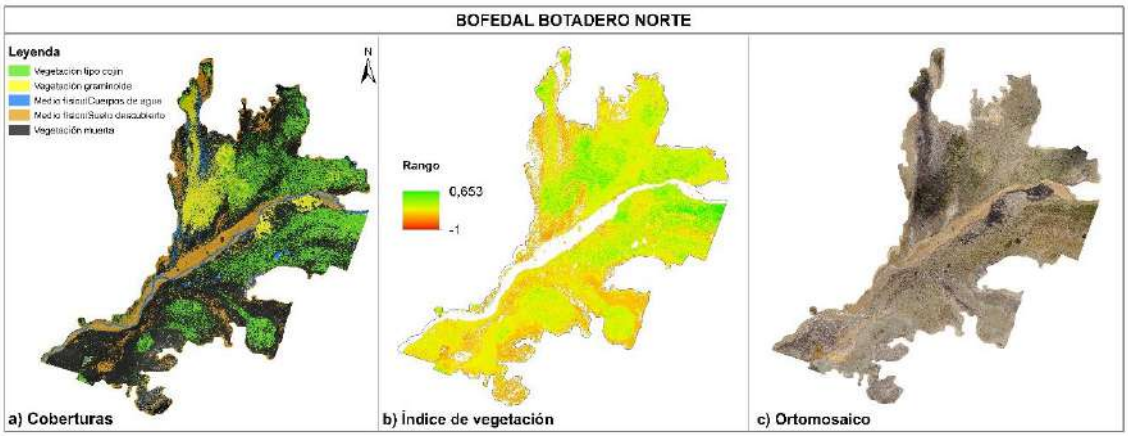


Figura 6.254. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Bofedal Norte, b) Índices de vegetación en el Bo. Botadero Norte y c) Ortomosaico del Bo. Bofedal Norte

En la Tabla 6.96 se muestra la estadística (mínimo, máximo, media y desviación estandar) de los valores de índice de vegetación NDRE por cada parcela muestreada en el Bo. Botadero Norte.

Tabla 6.96. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Bo. Botadero Norte

Parcela	Muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estandar
TU-TV-IN27	Hoja y raíz	0,043	0,501	0,209	0,076

- **Sector Wetland Sur**

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). Para el Sec. Wetland Sur en la clasificación de coberturas se tiene que de un total de 5,3 ha el 5,1 % representa vegetación tipo cojín, 9,5 % representa vegetación graminoide, el 45,9 % vegetación muerta, el 39,1 % suelo descubierto y el 0,3 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación NDRE se aplicó a las coberturas de vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -1 a 1.

En la Figura 6.255 a la izquierda se muestra la clasificación de coberturas del Sec. Wetland Sur; en el centro se muestra el índice de vegetación NDRE de la cobertura vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta del Sec. Wetland Sur; a la derecha se muestra el ortomosaico de alta resolución del Sec. Wetland Sur.

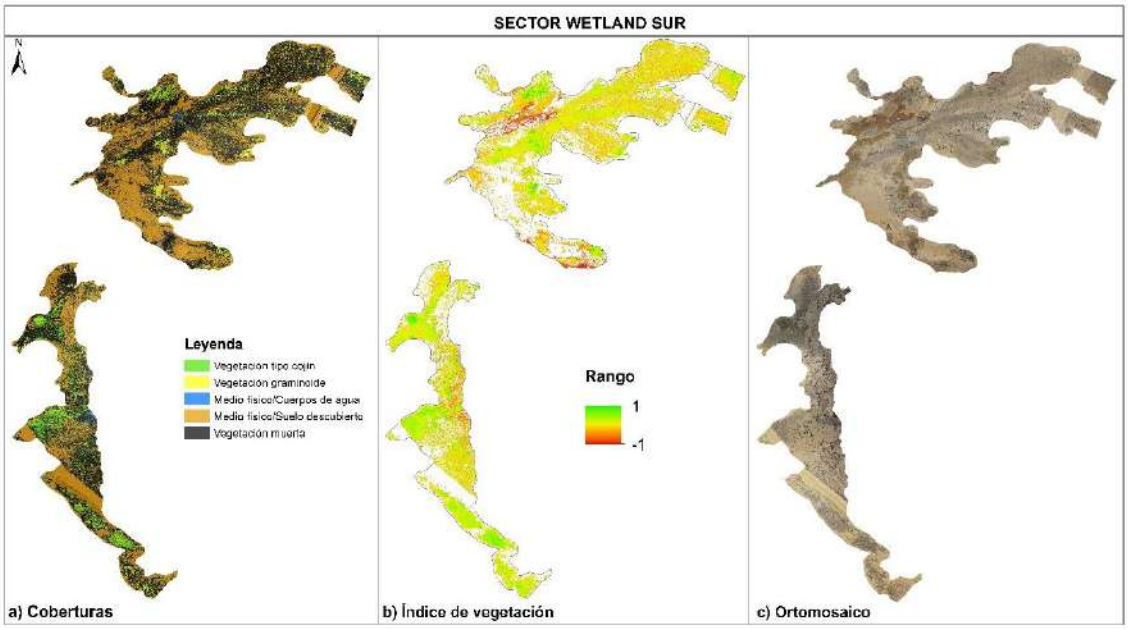


Figura 6.255. a) Clasificación de coberturas en el Sec. Wetland Sur, b) Índices de vegetación en el Sec. Wetland Sur y c) Ortomosaico del Sec. Wetland Sur.

En la Tabla 6.97 se muestra la estadística (mínimo, máximo, media y desviación estandar) de los valores de índice de vegetación NDRE por cada parcela muestreada en el Sec. Wetland Sur.

Tabla 6.97. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Sec. Wetland Sur

Parcela	Muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estandar
TU-TV-IN20	Raíz	-0,0529	0,2018	0,0668	0,0357
TU-TV-IN22	Hoja y raíz	-0,1571	0,3045	0,0673	0,0627
TU-TV-IN23	Raíz	-0,1389	0,1284	0,0217	0,0360

- **Sector Quebrada Apostoloni**

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). Para el Sec. Qda. Apostoloni en la clasificación de coberturas se tiene que de un total de 0,6 ha el 6,6 % representa vegetación tipo cojín, 13,6 % representa vegetación graminoide, el 59,9 % vegetación muerta, el 19,7 % suelo descubierto y el 0,1 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación NDRE se aplicó a las coberturas de vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -1 a 0,595.

En la Figura 6.256 a la izquierda se muestra la clasificación de coberturas del Sec. Qda. Apostoloni; en el centro se muestra el índice de vegetación NDRE de la cobertura vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta del Sec. Qda. Apostoloni; a la derecha se muestra el ortomosaico de alta resolución del Sec. Qda. Apostoloni.

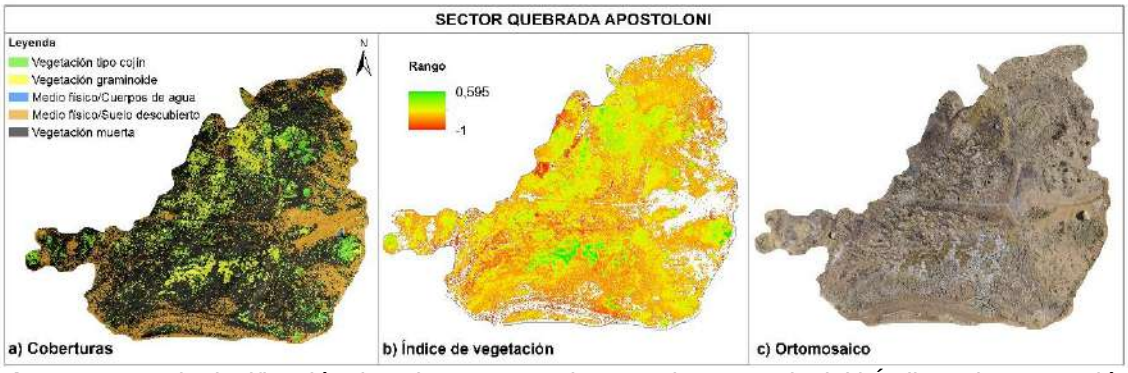


Figura 6.256. a) Clasificación de coberturas en el Sec. Qda. Apostoloni, b) Índices de vegetación en el Sec. Qda. Apostoloni y c) Ortomosaico del Sec. Qda. Apostoloni

En la Tabla 6.98 se muestra la estadística (mínimo, máximo, media y desviación estandar) de los valores de índice de vegetación NDRE por cada parcela muestreada en el Sec. Qda. Apostoloni.

Tabla 6.98. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en el Sec. Qda. Apostoloni

Parcela	Muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estandar
TU-TV-IN38	Hoja	-0,067	0,269	0,123	0,051

- **Bofedal Quebrada Margaritani**

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). Para el Bo. Qda. Margaritani en la clasificación de coberturas se tiene que de un total de 1,8 ha el 14,6 % representa vegetación tipo cojín, 50,5 % representa vegetación graminoide, el 6,9 % vegetación muerta, el 14,4 % suelo descubierto y el 13,6 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación NDRE se aplicó a las coberturas de vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -0,393 a 0,583.

En la Figura 6.257 a la izquierda se muestra la clasificación de coberturas del Bo. Qda. Margaritani; en el centro se muestra el índice de vegetación NDRE de la cobertura vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta del Bo. Qda. Margaritani; a la derecha se muestra el ortomosaico de alta resolución del Bo. Qda. Margaritani.

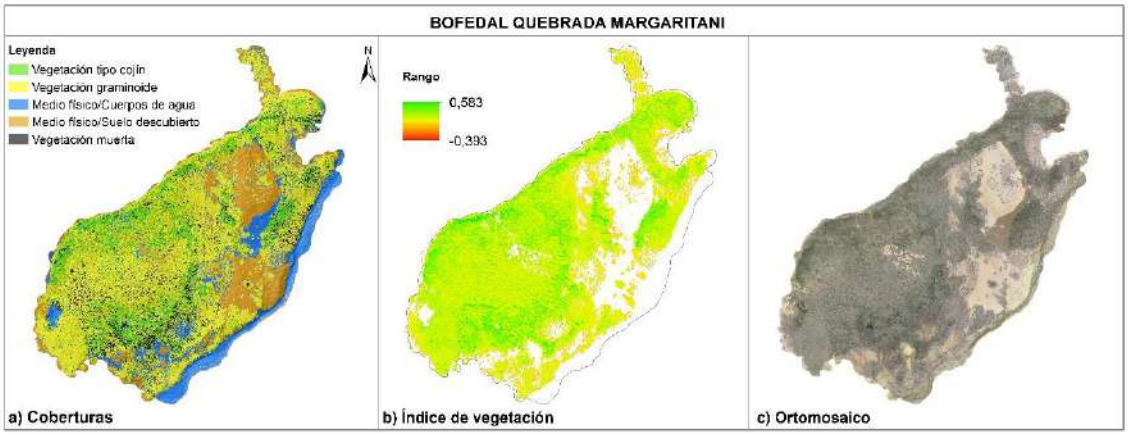


Figura 6.257. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Qda. Margaritani, b) Índices de vegetación en el Bo. Qda. Margaritani y c) Ortomosaico del Bo. Qda. Margaritani

- **Bofedal Quebrada Apostoloni**

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). Para el Bo. Qda. Apostoloni en la clasificación de coberturas se tiene que de un total de 36,5 ha el 13,9 % representa vegetación tipo cojín, 49,8 % representa vegetación graminoide, el 23,5 % vegetación muerta, el 12,3 % suelo descubierto y el 0,5 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación NDRE se aplicó a las coberturas de vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -1 a 1.

En la Figura 6.258 a la izquierda se muestra la clasificación de coberturas del Bo. Qda. Apostoloni; en el centro se muestra el índice de vegetación NDRE de la cobertura vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta del Bo. Qda. Apostoloni; a la derecha se muestra el ortomosaico de alta resolución del Bo. Qda. Apostoloni.

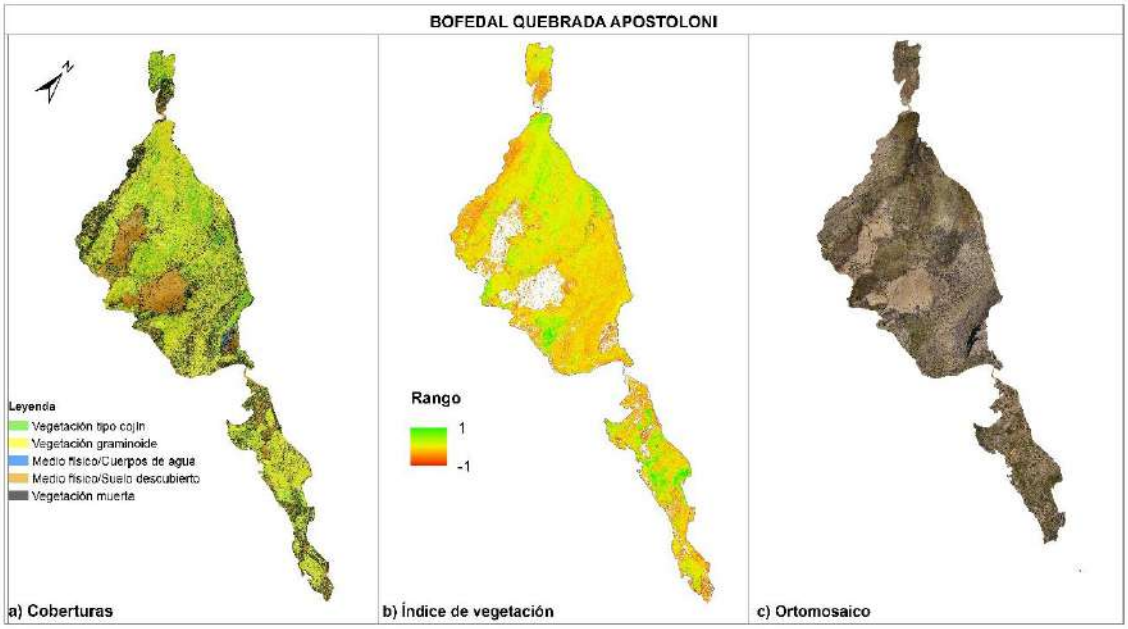


Figura 6.258. a) Clasificación de coberturas en el Bo. Qda. Apostoloni, b) Índices de vegetación en el Bo. Qda. Apostoloni y c) Ortomosaico del Bo. Qda. Apostoloni

d) Tejido vegetal Margaritani

Se realizó la colecta de 19 muestras de tejido vegetal correspondiente a 4 especies representativas de cada formación vegetal (*Oxychloe andina* y *Distichia muscoides* que forma parte de la vegetación tipo Cojín; *Calamagrostis sp.* que corresponde a la vegetación graminoide y *Xenophyllum poposum* para los arbustos), como se detalla en la Tabla 6.99. Los resultados de dichos análisis se presentan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). El laboratorio acreditado encargado de analizar dichas muestras fue AGQ PERÜ S.A.C (informes de ensayos SAA-20-01019; SAA-20-01020; SAA-20-01021, V-20-063270).

- **Bofedal Wetland Norte**

Los resultados para los análisis de tejido vegetal en este sector, dentro de la zona Margaritani fue basada en 12 muestras de tejido vegetal, especies botánicas que son representativas para cada formación vegetal (Calamagrostis sp., Oxychloe andina y Distichia muscoides), detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3) y que según el Real Decreto del gobierno español 464/2003 los metales totales como sustancias indeseables, a ser analizados son Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) que se presenta en la Tabla 6.99-

Por otro lado, las muestras te tejido vegetal de esta zona, fueron comparados con las muestras «blanco» de la zona Queullirijahuire (Bo. Blanco 1 – TU-TV-OA4 y Bo. Blanco 2 – TU-TV-CV3).

Tabla 6.99. Analisis de tejido vegetal de muestras en la zona Margaritani – Sector Bo. Wetland Norte

Bofedal Wetland Norte					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2.0 mg/kg ***	1.0 mg/kg ***	0.1 mg/kg ***	10 mg/kg ***
Calamagrostis sp.	TU-TV-IN5-H	6.6	0.131	0.12	36.2
Calamagrostis sp*	TU-TV-IN1-H	10	0.37	0.27	59
	TU-TV-IN7-H	14	1.68	0.28	51.9
	TU-TV-IN7-R	62	1.07	0	288
Festuca sp.	TU-TV-IN4-H	0.52	0.114	0.04	2.95
	TU-TV-IN4-R	9.8	0.491	0.26	73.2
Festuca sp.*	TU-TV-IN8-R	7	1.85	0.18	12.6
Oxychloe andina	TU-TV-IN2-H	13	0.872	0.27	69.2
	TU-TV-IN3-R	22	2.06	0.42	107
Distichia muscoides	TU-TV-IN6-H	80	1.42	0.66	38.3
	TU-TV-IN6-R	57	0.818	0.69	28.6
Xenophyllum poposum	TU-TV-IN10-H**	0.68	1.03	0.04	0.782

* Vegetación en proceso de descomposición (Calamagrostis sp.)
** Arbusto sin blanco; H: Hojas y R; Raíz
*** Limite Maximo según Real Decreto de España 465/2003

Los resultados mostrados en la Tabla 6.59 asi como en las Figuras 6.260, 6.262 y 6.263, evidencian las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos, según el Real Decreto 465/2003 relacionado a las sustancias indeseables para alimento animal; asimismo, es importante recalcar que la respuesta de las especies sobre la concentración de cada metal (bioacumulación) es distinta para cada caso, por ejemplo.

***Calamagrostis* sp. (Poaceae).** Es una especie impotante en la dieta alimenticia, son utilizados como alimento para el ganado ovino, vacuno y para los camélidos sudamericanos (llama, alpaca y vicuñas). La ganadería es una de las principales actividades económica en los altos andes peruanos.

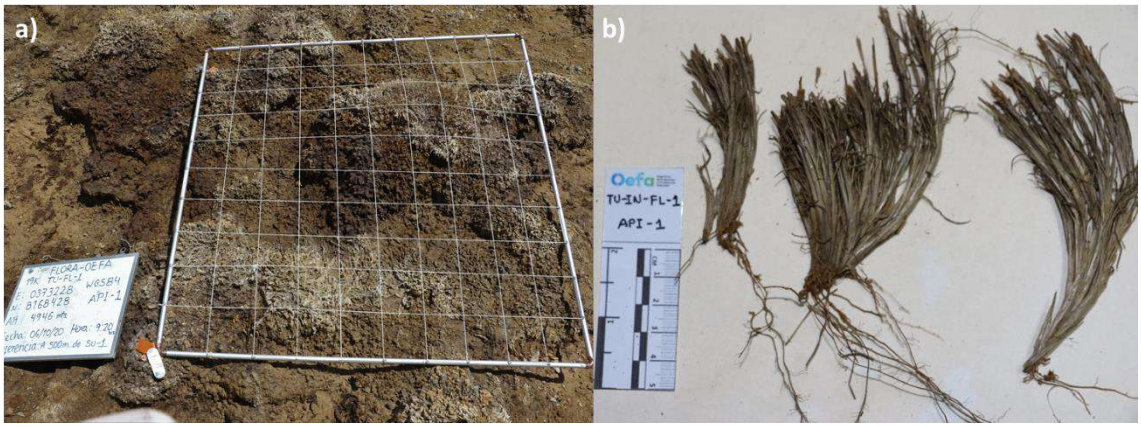


Figura 6.259. *Calamagrostis* sp. – parcela TU-FL1, y código de tejido vegetal TU-TV-IN1. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas).

En las muestras de la especie *Calamagrostis* sp. la concentración del metal Arsénico (As) supera los niveles máximos (5,0 mg/kg) ver Figura 6.260 (a); sin embargo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 10,3 mg/kg en promedio) y sitio blanco (6,5 mg/kg) supera en 58,46 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Mercurio (Hg) en las muestras API supera en 158,3 %.

Para el metal Cadmio (Cd), la concentración supera los niveles máximos (1,0 mg/kg) en la muestra TU-TV-IN7 (1,68 gr/kg) ver Figura 6.260 (b); sin embargo, la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en sitio blanco (0,09 mg/kg) supera en 1766,7 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Cadmio (Cd) en las muestras API supera en 314,7 %.

En las muestras de la especie *Calamagrostis* sp. las concentraciones del metal Mercurio (Hg) supera los niveles máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.260 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en las áreas de potencial de interés (API = 0,22 mg/kg en promedio) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >2100,0 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «blanco» supera en 200 %.

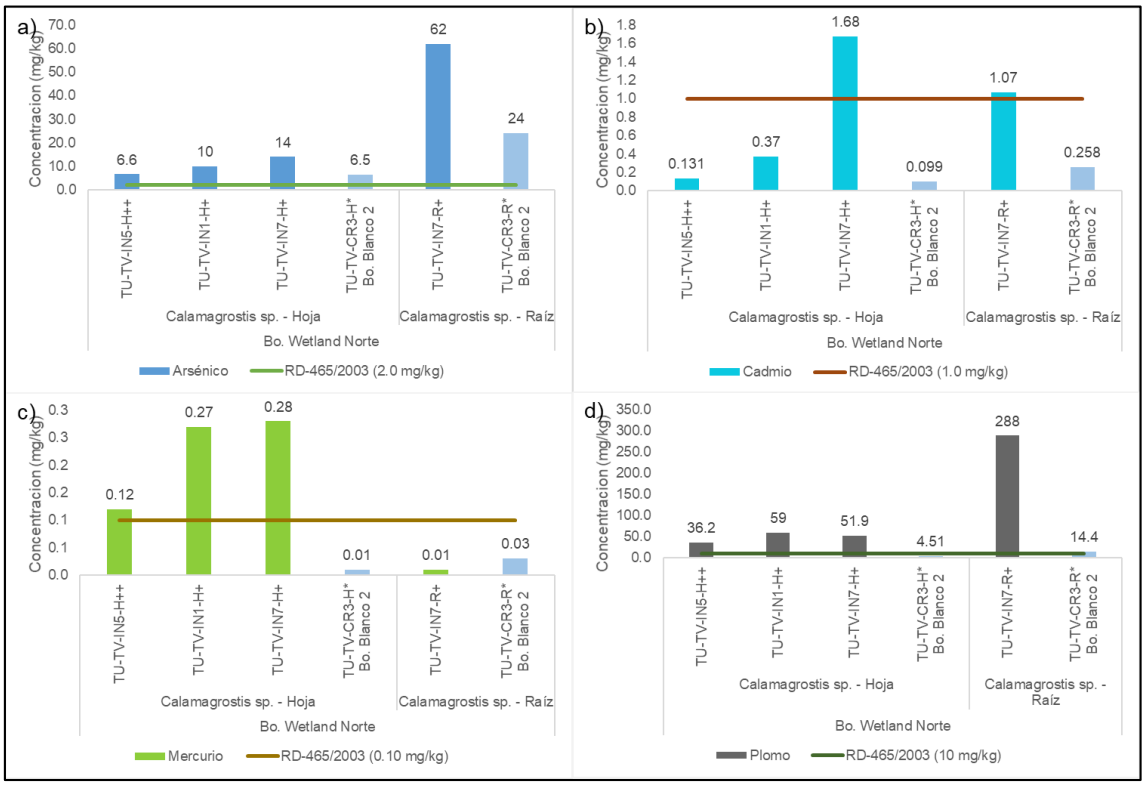


Figura 6.260. Niveles máximos según el RD 465/2003 de *Calamagrostis* sp en Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Para el caso de la concentración del Plomo (Pb), supera los niveles máximos (10.0 mg/kg) ver Figura 6.260 (d); sin embargo, la proporción entre la concentración de Plomo (Pb) en las hojas de Calamagrostis sp. presentes en las áreas de potencial de interés (API = 49,03 mg/kg en promedio) y sitio blanco (4,51 mg/kg) supera en 987,1 %; asimismo, la concentración de Plomo (Pb) en las raíces de *Calamagrostis* sp. en las muestras API supera en 1900 %.

***Distichia muscoides* (Juncaceae).** Esta especie dioica es el componente principal de los bofedales, ecosistema muy importante de la región altoandina. Es una especie perenne, de crecimiento erecto, alcanza una altura de 10 cm. Planta que forma grandes cojinetes o

almohadillas, tallos ramificados, con hojas en forma dística e imbricas con el ápice obtuso calloso, flores solitarias, fruto algo globoso, alargado que sobresale de la masa compacta que forma la planta. Forma parte importante de la dieta alimenticia y es deseable para alpacas y ovinos, poco deseable para llamas y vacunos.



Figura 6.261. *Distichia muscoides* – parcela TU-FL6, y código de tejido vegetal TU-TV-IN6. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas).

En ambas muestras de la especie *Distichia muscoides* las concentraciones del metal Arsénico (As) supera los niveles máximos (5,0 mg/kg) del RD 465/2003 ver Figura 6.262 (a); asimismo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Distichia muscoides* presentes en el área potencial de interés (API = 80,0 mg/kg) y sitio blanco (8,3 mg/kg) supera en 863,9 %; asimismo, en las raíces de *Distichia muscoides* la concentración de Arsénico (As) en la muestra API supera en 418,18 % a la muestra blanco.

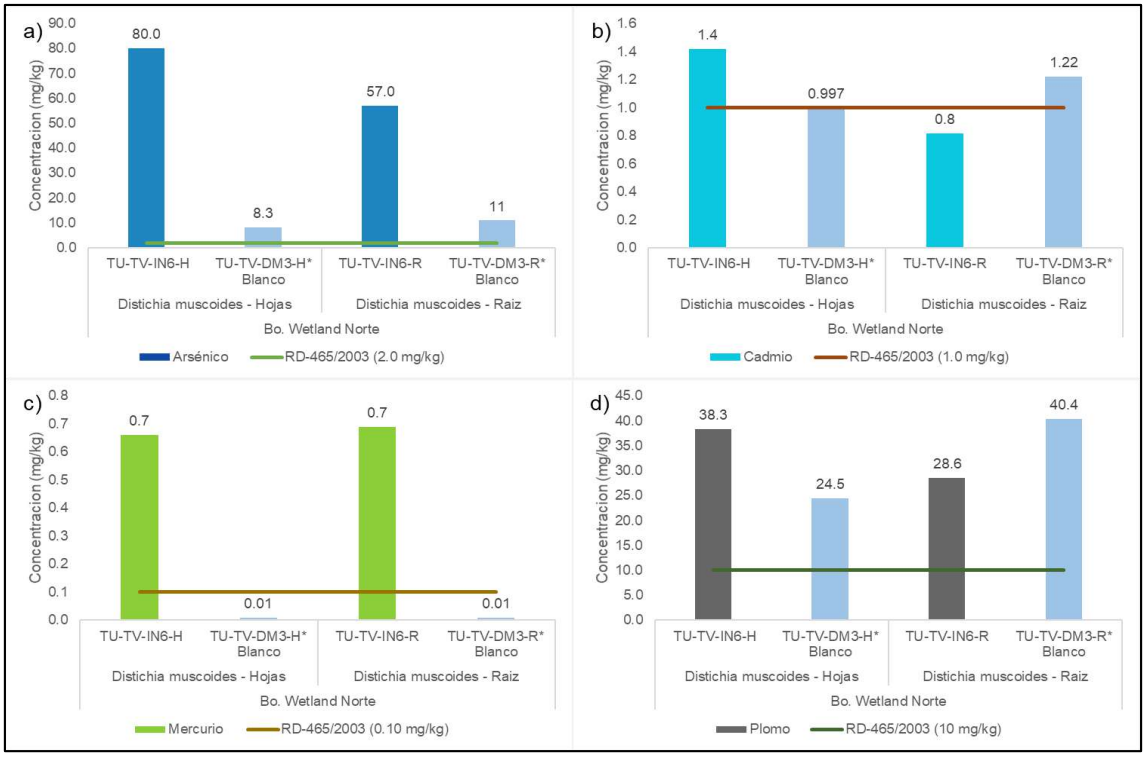


Figura 6.262. *Distichia muscoides*. Niveles máximos según el RD 465/2003 Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Para el metal Cadmio (Cd), la concentración tambien supera los niveles máximos (1,0 mg/kg) en la muestra TU-TV-IN6-H (1,42 gr/kg) ver Figura 6.262 (b); asimismo, la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de Distichia muscoides presentes en el sitio API (1,42 mg/kg) respecto al sitio blanco (0,997 mg/kg) supera en 42,4 %; por otro lado, en las raíces de *Distichia muscoides* la concentración de Cadmio (Cd) en la muestra blanco supera las concentraciones de la muestra API en 52,5 %.

En la muestra TU-TV-IN6-H de la especie *Distichia muscoides* el metal Mercurio (Hg) supera los niveles máximos (0.10 mg/kg) ver Figura 6.262 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Distichia muscoides* presentes en el área de potencial de interés (API = 0,7 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >6900 %; asimismo, en las raíces de *Distichia muscoides* la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra API supera en 6900 % la concentración de la muestra «blanco».

Para el caso del Plomo (Pb) las concentraciones de ambas muestras, superan los niveles máximos (10.0 mg/kg) ver Figura 6.146 (d); sin embargo, la proporción entre la concentración de Plomo (Pb) en las hojas de *Distichia muscoides* presentes en el área potencial de interés (API = 38,3 mg/kg) y sitio blanco (24,5 mg/kg) supera en 56,3 %; asimismo, en las raíces de *Distichia muscoides* la concentración de Plomo (Pb) en las muestras «blanco» supera en 41,3 % la concentración de Plomo (Pb) en sitio API.

La concentración de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) en las especies *Calamagrostis* sp1. y *Distichia muscoides*, los resultados evidencian mayores concentraciobes en la zona API (Bofedal Wetland Norte), respecto a la muestra en zona blanco evidenciando una diferencia considerable ver Figura 6.263.

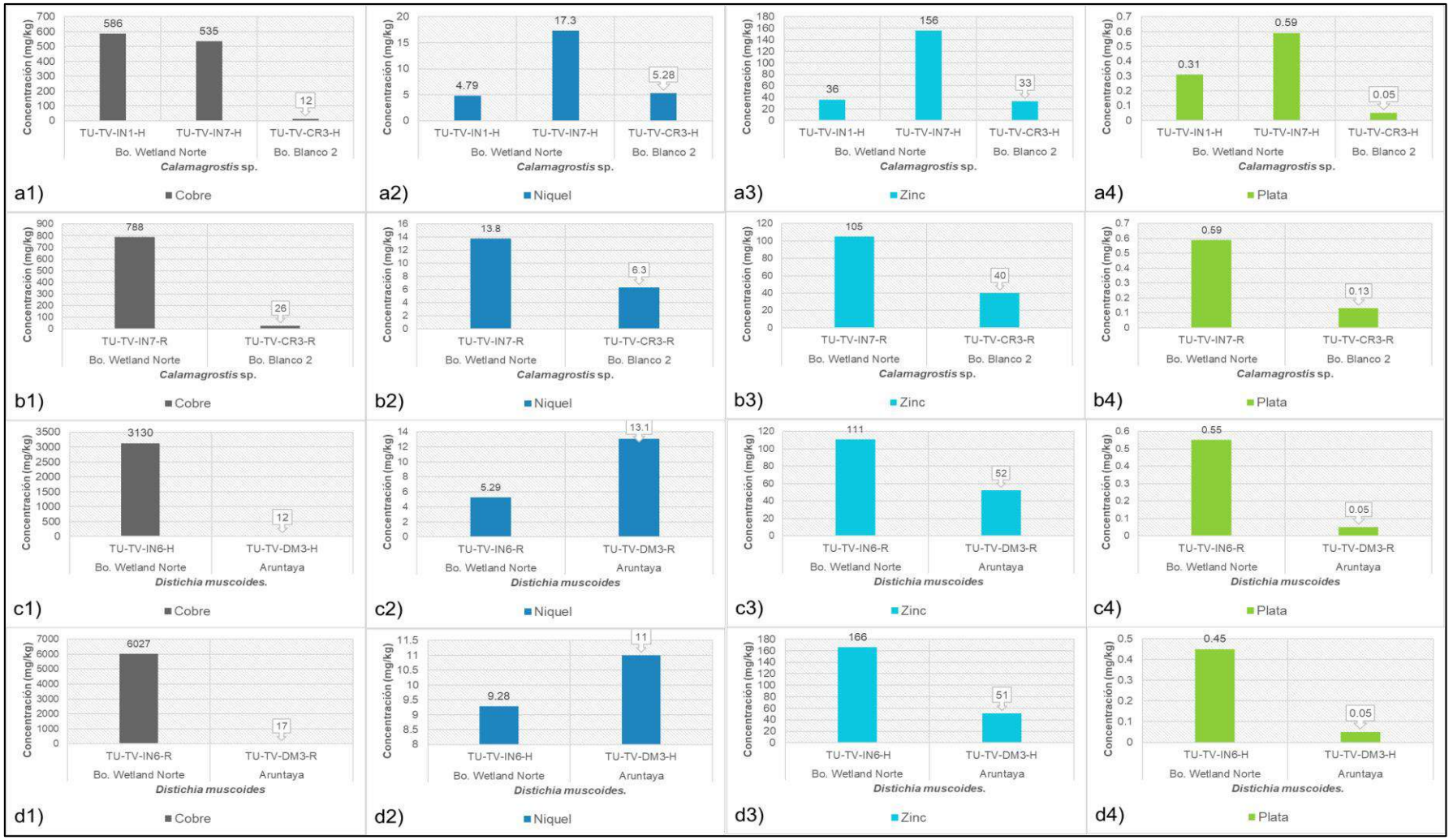


Figura 6.263. Concentracion de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) a) y b) *Calamagrostis* sp. y c) y d) *Distichia muscoides*

***Oxychloe andina* (Juncaceae).** Conocida localmente como «Pako Pako», Hierba perenne que forma densos cojines hemisféricos inicialmente, presentes en ambientes hidromorficos. Asimismo, pueden ser de ambientes primarios en humedales (bofedales) de altura, y algunas veces indicadoras de ecosistemas en proceso de degradación. Tambien pueden ser considerados especies acumuladoras de metales pesados, sin embargo cantidades industriales de estas pueden llegar a causar su degradación gradual en el tiempo. Figura 6.264.



Figura 6.264. *Oxychloe andina* – parcela TU-FL2, y código de tejido vegetal TU-TV-IN2. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas).

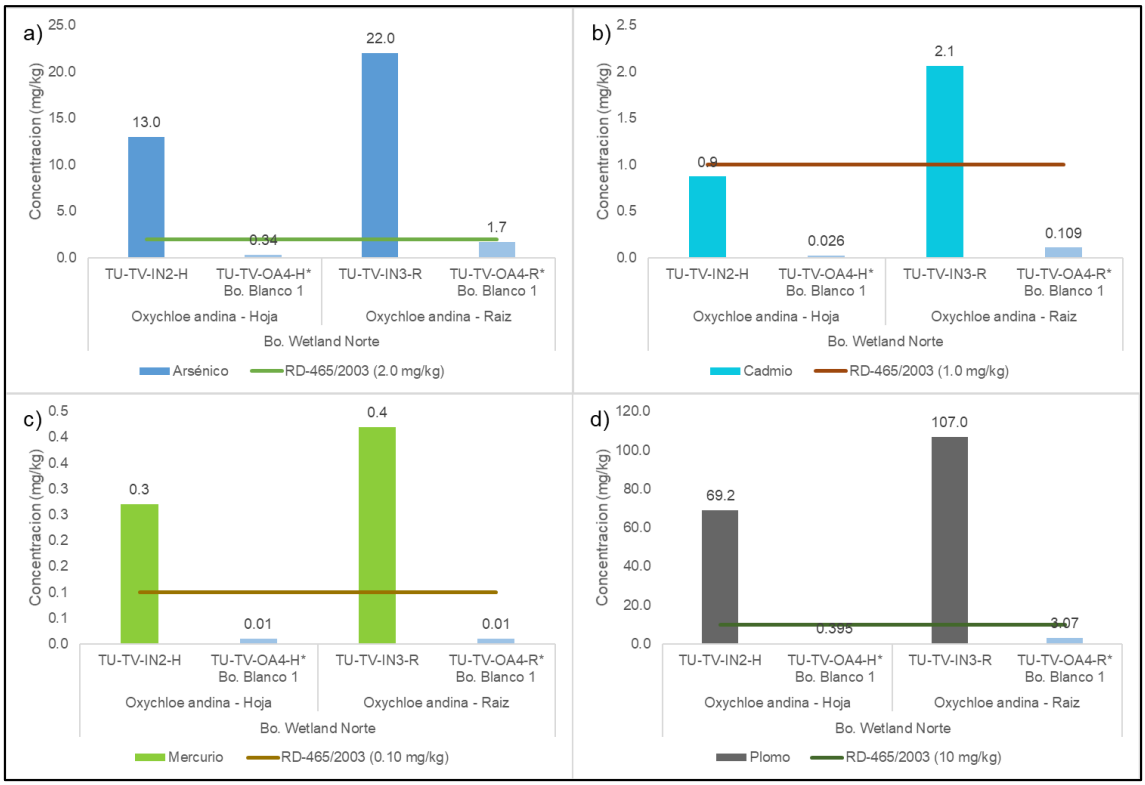


Figura 6.265. *Oxychloe andina*. Niveles máximos según el RD 465/2003 Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo.

En relación con la especie *Oxychloe andina* las concentraciones del metal Arsénico (As) presentes en las hojas de TU-TV-IN2-H (13,8 mg/kg), superan los niveles máximos (2,0 mg/kg) del RD 465/2003, respecto a la muestra blanco (0,34 mg/kg) evidenciando una

diferencia considerable ver Figura 6.265 (a); del mismo modo las concentraciones de Arsénico (As) en las raíces de *Oxychloe andina* supera las concentraciones de sitio blanco.

Para el metal Cadmio (Cd), la concentración en las hojas de *Oxychloe andina* TU-TV-IN2-H (0,87 gr/kg) ver Figura 6.265 (b) no supera los niveles máximos (1,0 mg/kg); sin embargo, la proporción de la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas presentes en sitio API (0,87 mg/kg) respecto al sitio blanco (0,026 mg/kg) supera en 3246 %; del mismo modo, la concentración de Cadmio (Cd) en las raíces de la muestra API supera a la muestra blanco en 1826,6 %.

Asimismo, la muestra de la especie *Oxychloe andina* TU-TV-IN2-H para el metal Mercurio (Hg) supera los limites máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.265 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Oxychloe andina* presentes en el área de potencial de interés (API = 0,3 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >2900 %; asimismo, en las raíces de *Oxychloe andina* la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «API» supera en 3900 %.

Las concentraciones del Plomo (Pb) supera los niveles máximos (10,0 mg/kg) en la muestra TU-TV-IN2-H (69,2 mg/kg) ver Figura 6.265 (d); sin embargo, la proporción entre la concentración de Plomo (Pb) en las hojas de *Oxychloe andina* presentes en el área de potencial de interés (API = 69,2 mg/kg) y sitio blanco (0,395 mg/kg) supera en 17000 %; lo mismo ocurre en la concentración de Plomo (Pb) para las raíces de *Oxychloe andina*.

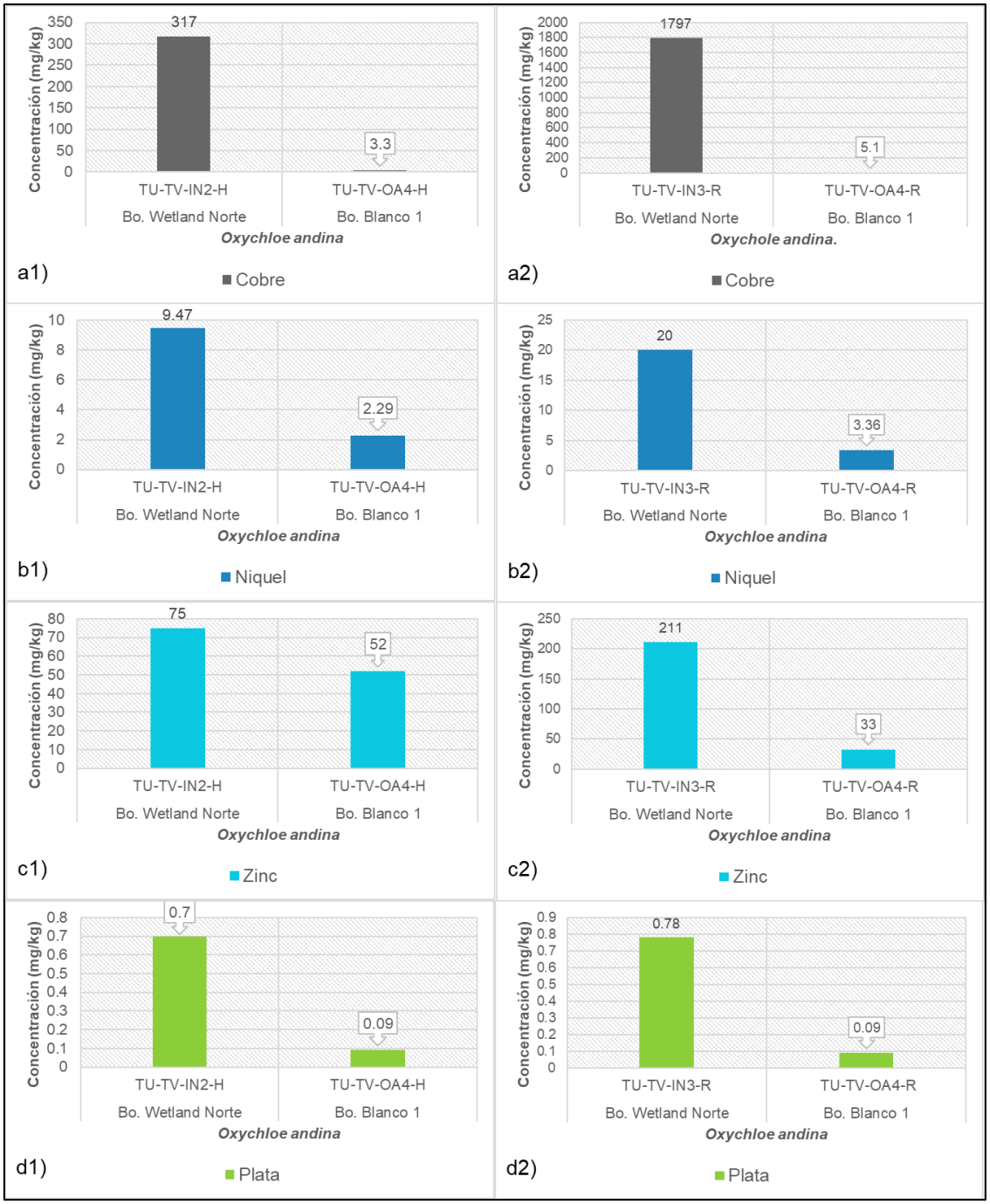


Figura 6.266. Concentracion de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) a) y b) *Calamagrostis* sp. y c) y d) *Distichia muscoides*

La concentración de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) en la especie *Oxychloe andina*, los resultados evidencian mayores concentraciobes en la zona API (Bofedal Wetland Norte), respecto a la muestra en zona blanco evidenciando una diferencia considerable ver Figura 6.266.

- **Bofedal Botadero Norte**

Los resultados para los análisis de tejido vegetal en este sector, dentro de la zona Margaritani se basaron en 2 muestras de tejido vegetal (*Oxychloe andina*) detallados en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3), que según el Real Decreto del gobierno español 464/2003 los metales totales como sustancias indeseables, y a ser analizados son Arsenico (Ar), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) que se detalla en la Tabla 6.100.

Por otro lado, las muestras te tejido vegetal de esta zona, son comparados con las muestras «blanco» de la zona Queullirijahuire (Bo. Blanco 1 – TU-TV-OA4 = *Oxychloe andina*).

Tabla 6.100. Analisis de tejido vegetal en la zona Margaritani – Sector Bo. Botadero Norte

Bofedal Botadero Norte					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2,0 mg/kg ***	1,0 mg/kg ***	0,10 mg/kg ***	10 mg/kg ***
Oxychloe andina	TU-TV-IN27-H	14	1,47	0,32	68,4
	TU-TV-IN27-R	1,5	0,287	0,1	4,8

*** Limite Maximo según Real Decreto de España 465/2003

Los resultados mostrados en la Tabla 6.100 asi como la Figura 6.267, evidencian las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 relacionado a las sustancias indeseables para alimento animal.

Oxychloe andina (Juncaceae). En relación a las muestras de la especie *Oxychloe andina* del sector Bofedal Botadero Norte (Bo. Botadero Norte), las concentraciones del metal Arsénico (As) presentes en las hojas de la muestra TU-TV-IN27-H (API = 14,0 mg/kg), superan los niveles máximos (5,0 mg/kg) del RD 465/2003, respecto a la muestra blanco (0,34 mg/kg) excediendo las concentraciones en 4017 %, evidenciando una diferencia considerable ver Figura 6.267 (a); sin embargo, las concentraciones de Arsénico (As) en las raíces de *Oxychloe andina* no superan los niveles máximos del Real Decreto 465/2003.

Para el metal Cadmio (Cd), la concentración en las hojas de *Oxychloe andina* TU-TV-IN27-H (1,47 gr/kg) ver Figura 6.267 (b) supera los niveles máximos (1,0 mg/kg); asi mismo, la proporción de la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas, presentes en sitio API (1,47 mg/kg) respecto al sitio blanco (0,026 mg/kg) supera en 5553,8 %; del mismo modo, la concentración de Cadmio (Cd) en las raíces de la muestra API supera a las concentraciones en 263,3 %.

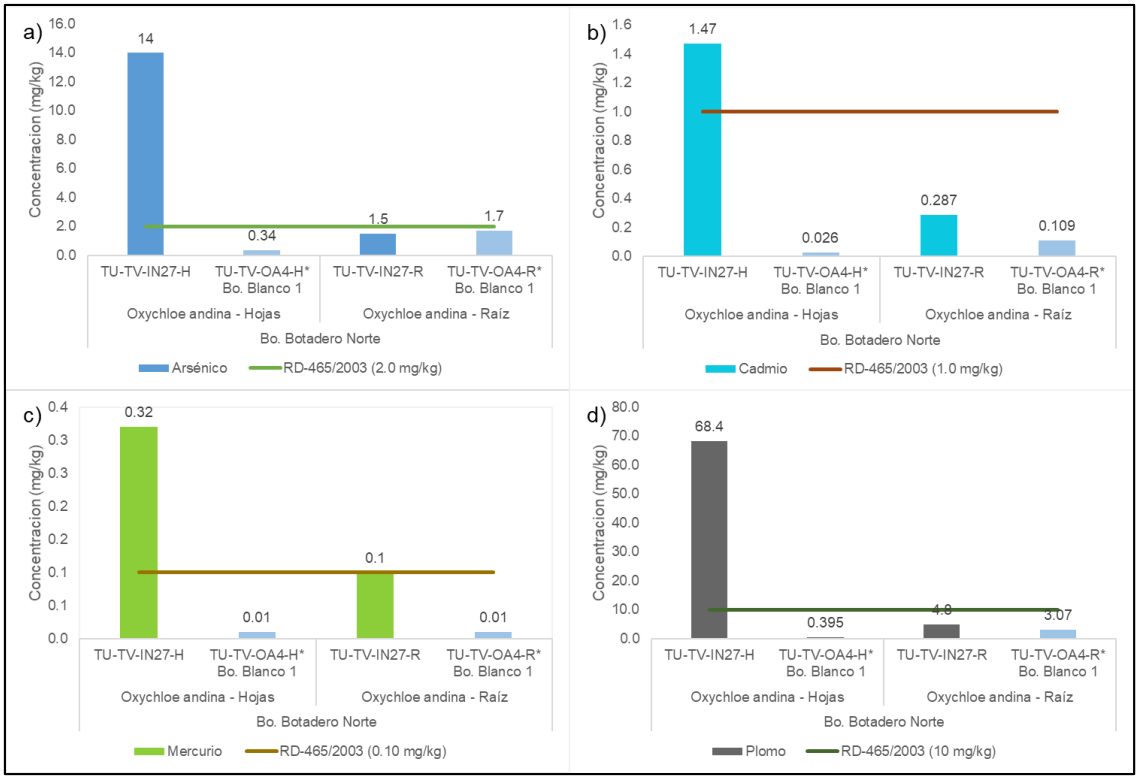


Figura 6.267. Niveles máximos según el RD 465/2003 de *Oxychloe andina* en Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Respecto a la muestra de la especie *Oxychloe andina* (TU-TV-IN27-H) para el metal Mercurio (Hg), las concentraciones superan los niveles máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.267 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Oxychloe andina* presentes en el área de potencial de interés (API = 0,32 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >2900 %; asimismo, en las raíces de *Oxychloe andina* la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «API» supera en 900 %.

Por otro lado, las concentraciones del metal Plomo (Pb) supera los niveles máximos (10.0 mg/kg) en la muestra TU-TV-IN27-H (68,4 mg/kg) ver Figura 6.267 (d); sin embargo, la proporción entre la concentración de Plomo (Pb) en las hojas de *Oxychloe andina* presentes en el área de potencial de interés (API = 68,4 mg/kg) y sitio blanco (0,395 mg/kg) supera en 7200 %; sin embargo, la concentración de Plomo (Pb) para las raíces no supera los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003.

Por otro lado, la concentración de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) en la especie *Oxychloe andina*, los resultados evidencian mayores concentraciobes en la zona API (Bofedal Botadero Norte), respecto a la muestra en zona blanco evidenciando una diferencia considerable ver Figura 6.268

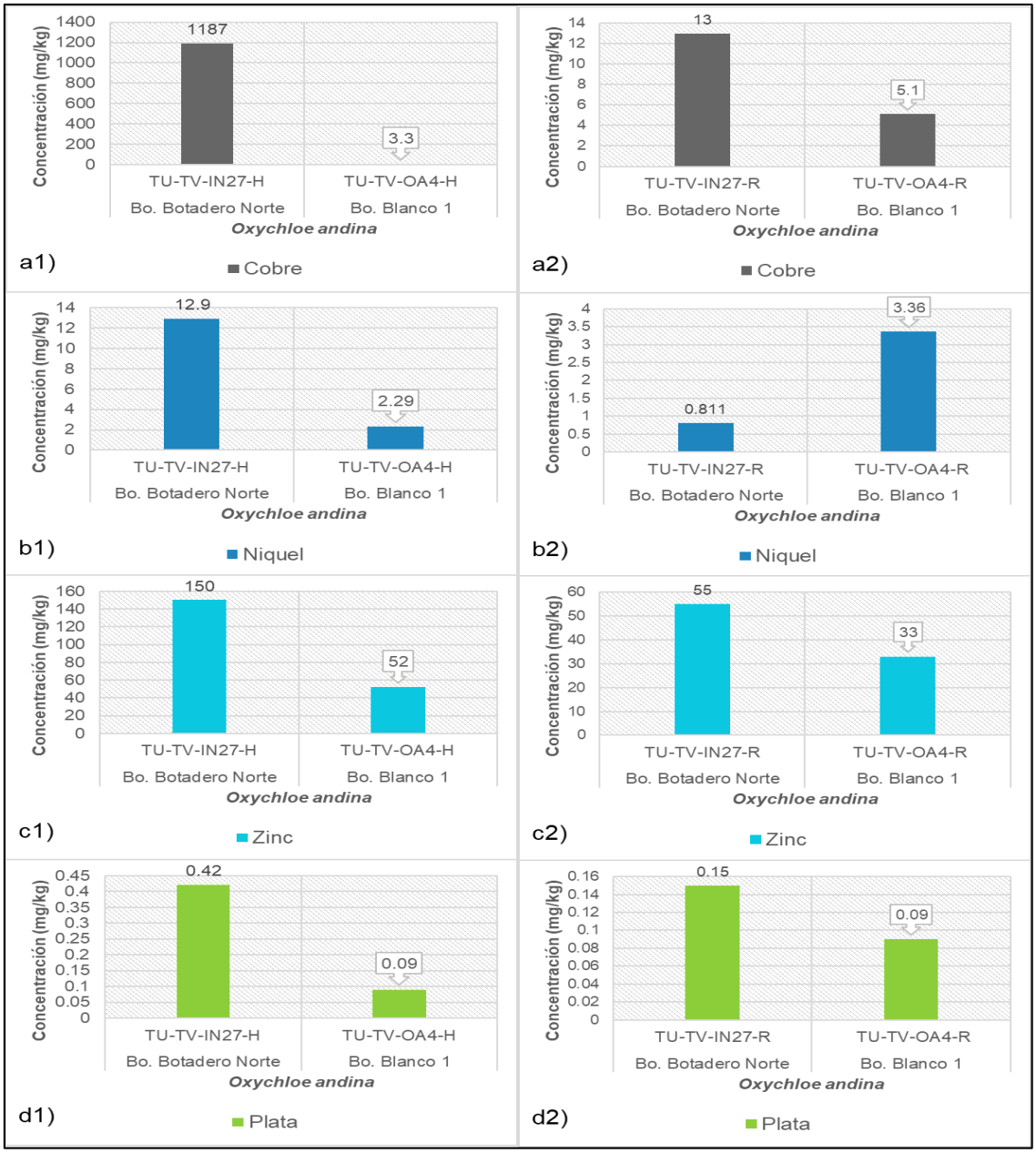


Figura 6.268. Otros metales en Sector Bo. Botadero Norte. a) Cobre; b) Niquel; c) Zinc y d) Plata

- **Sector Wetland Sur**

Los resultados de los análisis para tejido vegetal en este sector, dentro de la zona Margaritani se basaron en 4 muestras que se detallan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3), que según el Real Decreto 465/2003 los metales totales como sustancias indeseables a ser analizados son; Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) que se detallan en la Tabla 6.101 y Figura 6.

Por otro lado, las muestras te tejido vegetal de esta zona, son comparados con las muestras «blanco» de la zona Queullirijahuire (Bo. Blanco 1 – TU-TV-OA4 = *Oxychloe andina*, Bo. Blanco 2 – TU-TV-CR3 = *Calamagrostis* sp.

Tabla 6.101. Analisis de tejido vegetal en la zona Margaritani – Sector Wetland Sur

Sector Wetland Sur					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2,0 mg/kg ***	1,0 mg/kg ***	0,10 mg/kg ***	10 mg/kg ***
Calamagrostis sp*	TU-TV-IN22-H	19	7,43	0,17	21,2
	TU-TV-IN22-R	20	3,45	0,12	11,8
	TU-TV-IN23-R	36	0,658	0,3	39,8
Oxychloe andina	TU-TV-IN20-R	5,2	1,69	0,05	8,26

* Vegetación en proceso de descomposición (Calamagrostis sp.)
*** Limite Máximo según Real Decreto de España 465/2003

Los resultados mostrados en la Tabla 6.101 asi como la Figura 6.269, evidencian las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 relacionado a las sustancias indeseables para alimento animal.

Calamagrostis sp. (Poaceae)

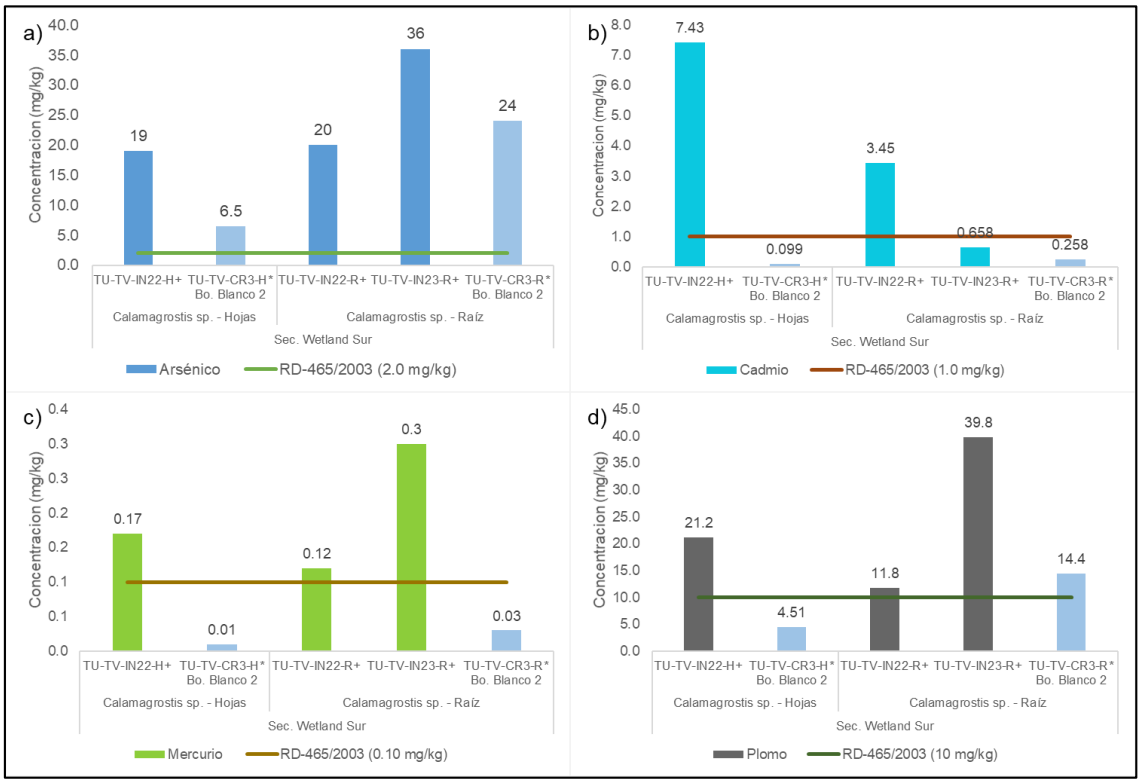


Figura 6.269. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Calamagrostis* sp. en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Margaritani, Sector Wetland Sur. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

En ambas muestras (API y Blanco) de la especie *Calamagrostis* sp. correspondiente al Sector Wetland Sur, la concentración del metal Arsénico (As) supera los niveles máximos (5,0 mg/kg) ver Figura 6.269 (a); sin embargo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 19 mg/kg en promedio) y sitio blanco (6,5 mg/kg) supera en 192,3 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Arsenico (As) en las muestras API supera en 16,7 % en promedio.

Respecto al metal Cadmio (Cd), la concentración supera los niveles máximos (1,0 mg/kg) en la muestra TU-TV-IN22 (7,43 gr/kg) ver Figura 6.269 (b); sin embargo, la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de Calamagrostis sp. presentes en sitio blanco (0,09 mg/kg) es superado en 7405,1 %; asimismo, en las raíces de Calamagrostis sp. la concentración de Cadmio (Cd) en las muestras API supera en 1237,2 % en promedio.

En las muestras de la especie *Calamagrostis* sp. (TU-TV-IN22-H) las concentraciones del metal Mercurio (Hg) supera los niveles máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.269 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 0,17 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >1600,0 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «API» supera en 700 % en promedio.

Para el caso de la concentración del metal Plomo (Pb), la muestra TU-TV-IN22-H supera los niveles máximos (10,0 mg/kg) ver Figura 6.269 (d); sin embargo, la proporción entre la concentración de Plomo (Pb) en las hojas de Calamagrostis sp. presentes en las áreas de potencial de interés (API = 21,2 mg/kg en promedio) y sitio blanco (4,51 mg/kg) supera en 370,06 %; asimismo, la concentración de Plomo (Pb) en las raíces de *Calamagrostis* sp. en las muestras API supera en 79,16 %.

***Oxychloe andina* (Juncaceae)**

En relación con las muestras de la especie *Oxychloe andina* para el Sector Wetland Sur (Sec. Wetland Sur), las concentraciones del metal Arsénico (As) y Cadmio (Cd) presentes en las raíces de la muestra TU-TV-IN20-R (API = 5,2 mg/kg), superan los niveles máximos (5,0 y 1,5 mg/kg respectivamente) del Real Decreto 465/2003. Por otro lado, las concentraciones de Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) en las raíces de la muestra, no superaron los niveles máximos según el Real Decreto Figura 6.270; sin embargo, la proporción entre las muestras de sitio API y blanco para Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) es de 400 y 169,7 % respectivamente.

Por otro lado, las concentraciones de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) en la especie *Calamagrostis* sp. y *Oxychloe andina*, los resultados evidencian mayores concentraciobes en la zona API (Sec. Wetland Sur), respecto a la muestra en zona blanco evidenciando una diferencia considerable en el aumento de estos metales en las estructuras (raiz y hojas de las especies vegetales ver Figura 6.270.

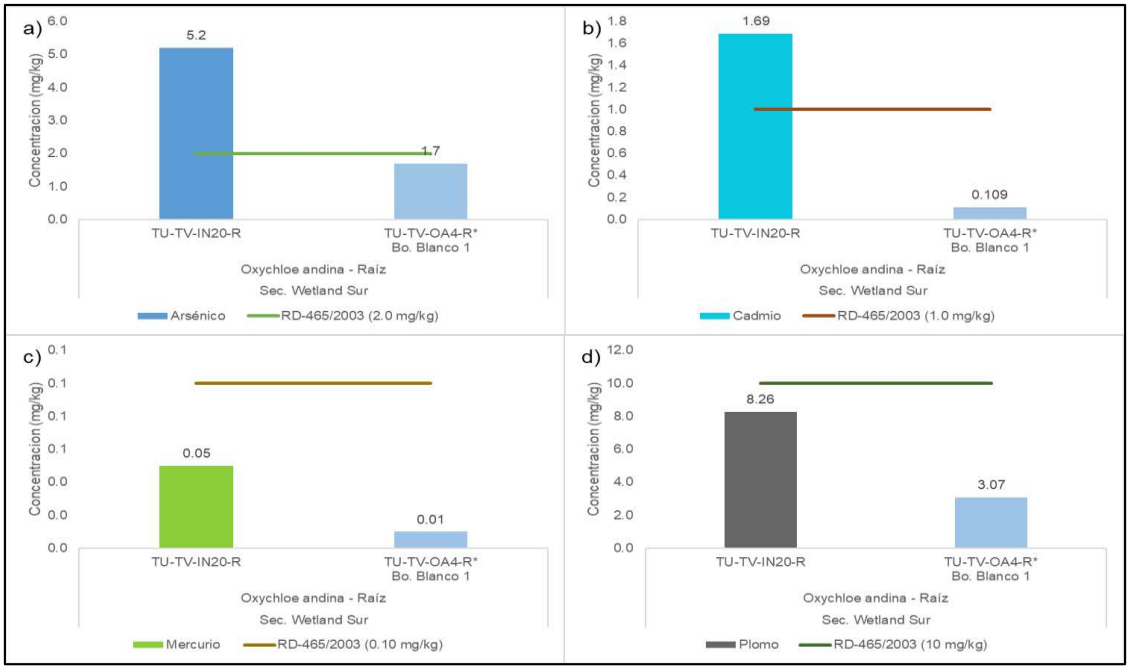


Figura 6.270. Niveles máximos según el RD 465/2003 de *Oxychloe andina* en Sector Bo. Wetland Norte. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

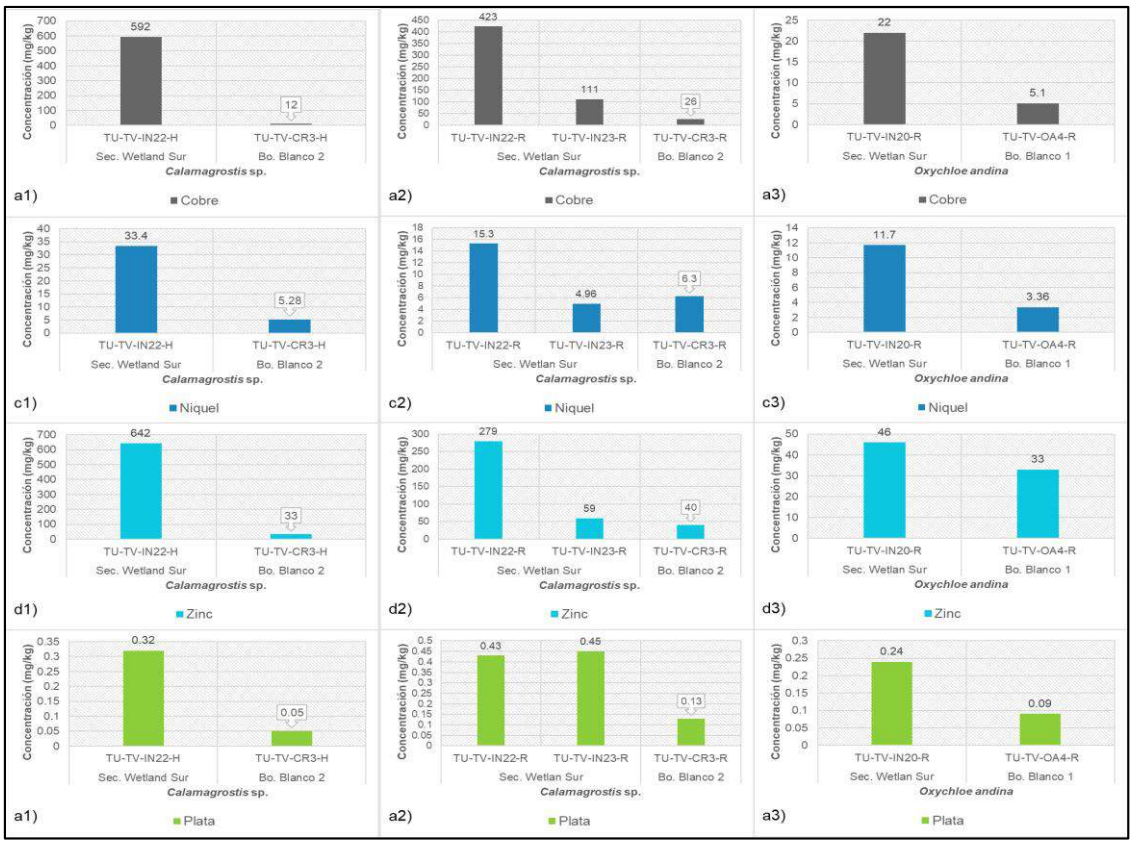


Figura 6.271. Concentracion de otros metales (Cobre, Niquel, Zinc y Plata) en *Calamagrostis* sp. y *Oxychloe andina*

.

- **Sector Qda. Apostoloni**

Los resultados para los análisis de tejido vegetal en este sector, dentro de la zona Margaritani se basaron en 1 muestra de tejido vegetal detallada en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3), que según el Real Decreto del gobierno español 464/2003 los metales totales como sustancias indeseables a ser analizados son Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) que se detallan en la Tabla 6.102 y Figura 6.272

Por otro lado, las muestras te tejido vegetal de este sector, no tiene una muestra especifica con cual comparar, sin embargo, sus valores superan los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003.

Tabla 6.102. Analisis de tejido vegetal en la zona Margaritani – Sector Wetland Sur

Sector Qda. Apostoloni					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2,0 mg/kg ***	1,0 mg/kg ***	0,10 mg/kg ***	10 mg/kg ***
Festuca sp*	TU-TV-IN38-H	5,6	3,71	0,34	22

* Vegetación en proceso de descomposición (*Festuca* sp.)
*** Niveles máximos según Real Decreto de España 465/2003

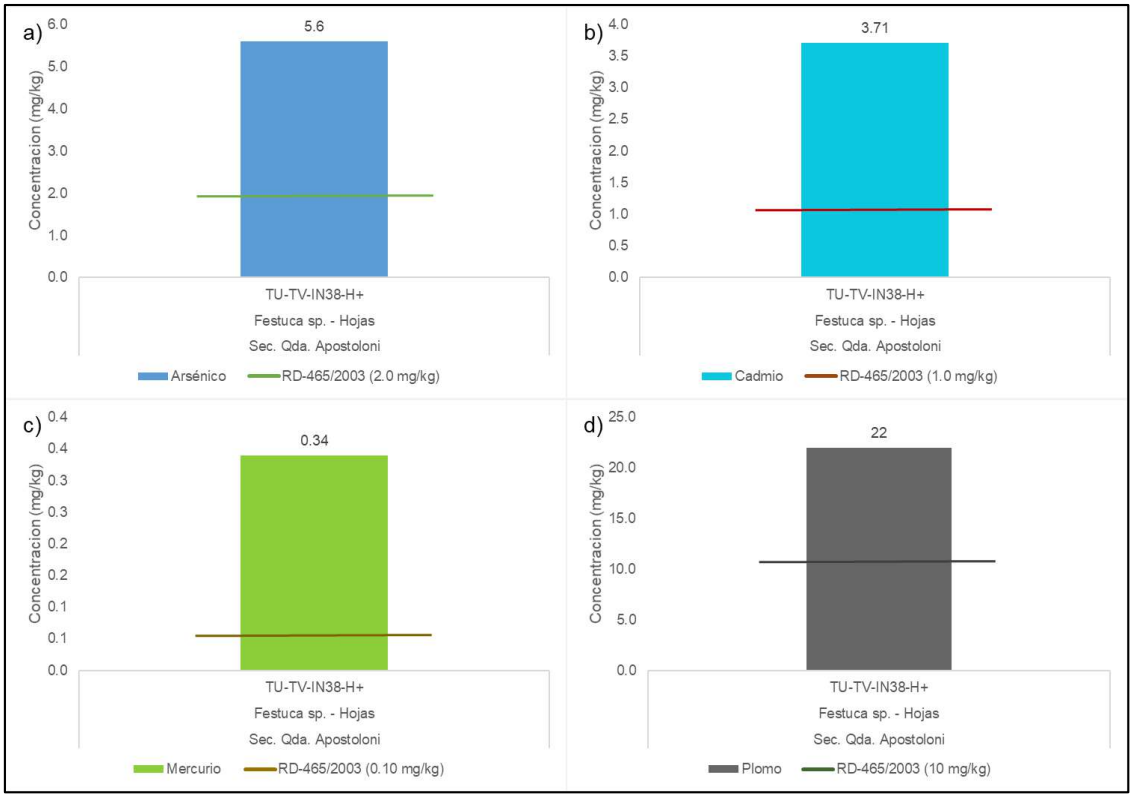


Figura 6.272. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Festuca* sp. sustancias indeseables para alimento animal en la zona Margaritani, Sector Qda Apostoloni. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Los resultados mostrados en la Tabla 6.102 y Figura 6.272, evidencia las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos para Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb), según el Real Decreto 465/2003. Respecto a la especie *Festuca* sp. (Poaceae), relacionado a las sustancias indeseables para alimento animal; en ese

sentido, la muestra TU-TV-IN38-H excede los niveles máximos para los 4 metales descritos en el Real Decreto del gobierno español.

6.4.2.3 Zona Aruntaya

El área de estudio para esta zona incluye unicamente vegetación ribereña en ambos márgenes, e islotes que forma los meandros del rio Margaritani, que principalmente esta conformada por 3 formaciones vegetales (césped de puna, pajonal y bofedales), la zona se dividio en dos sectores (parte alta y parte baja de Aruntaya). En la Figura 6.273 se representan los puntos de agua y suelos asociado al componente ambiental evaluado; la descripción y ubicación geográfica de cada parcela de evaluación se presenta en el reporte de campo N.° 058-2020-STEC (Anexo 2).

Se evaluó 31 parcelas (17 en la parte alta y 14 en parte baja) en las cuales se evaluó la composición (riqueza) y la cobertura vegetal en porcentaje; Asimismo, se tomo 31 muestras de tejido vegetal (25 en la parte alta y 6 en parte baja) que corresponde a 6 especies representativas de cada formación vegetal (césped de puna, pajonal y bofedales). Los resultados de dichos análisis se presentan en el reporte de resultado N.° 047-2020-STEC (Anexo 3).

a) Composición de especies vegetales en la zona Aruntaya

Los resultados de la composción vegetal, mediante la evaluación de 31 parcelas (17 en la parte alta y 14 en parte baja) se presenta en la Figura 6.273, registrándose 32 especies, 21 géneros y 10 familias, donde las especies de la familia Poaceae fueron las mas frecuentes, entre ellas *Calamagrostis* aff. *brevifolia*, *Calamagrostis* aff. *vicunarum* y *Festuca orthophylla*, que forman parte del tipo de vegetación graminoide. Asimismo, *Oxychloe andina*, *Distichia muscoides* y *Phycnophyllum* aff. *filiforme* para la vegetación tipo cojín, quienes fueron las mas frecuentes y son presentados a detalle en la Tabla 6.103.

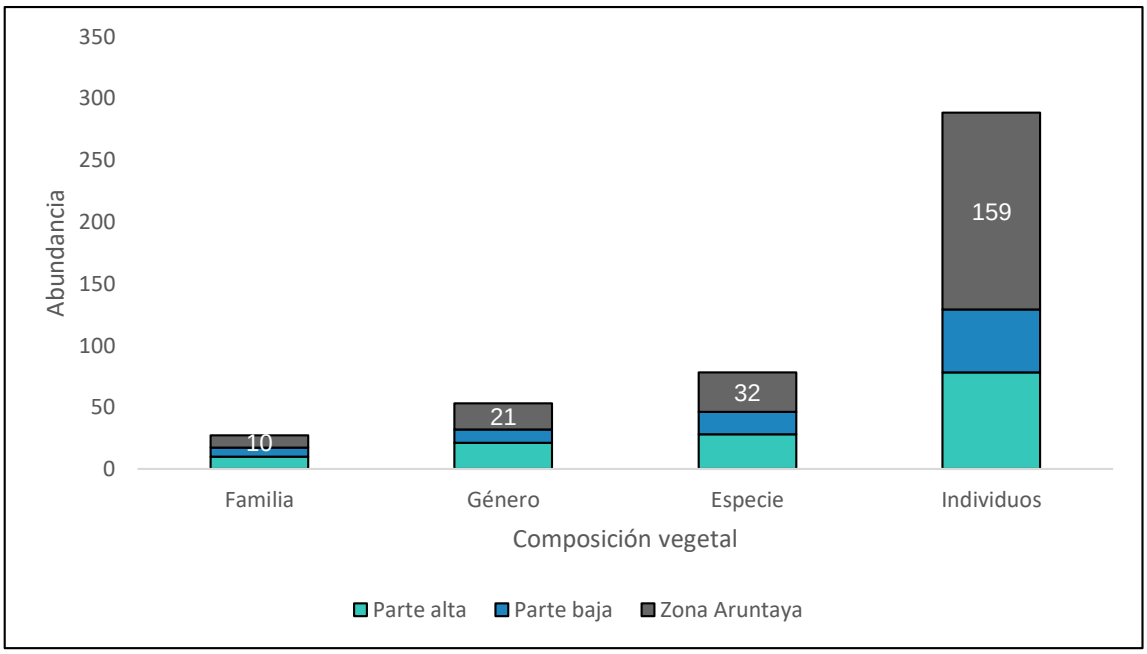


Figura 6.273. Composición vegetal en la zona Aruntaya

La composición vegetal fue clasificada en 3 tipos de asociación vegetal: vegetación arbustiva, vegetación de cojín típico de bofedales y vegetación graminoide, como se detalla en la Tabla 6.103.

Tabla 6.103. Clasificación de la vegetación en la zona Aruntaya

Zona		Aruntaya	Sectores	
Clasificación de la vegetación	Familia	Especie	Parte Alta 17 parcelas	Parte baja 14 parcelas
Arbustiva	Asteraceae	*Senecio spinosus*	1	1
Tipo Cojín	Cayophyllaceae	*Arenaria digyna*	1	--
	Apiaceae	*Azorella diapensoides*	3	4
	Cyperaceae	*Cotula mexicana*	1	--
	Asteraceae	*Cuatrecasasiella isernii*	5	1
	Juncaceae	*Distichia muscoides*	3	--
	Gentianaceae	*Gentiana sedifolia*	1	--
	Fabaceae	*Lachemilla diplophylla*	4	1
	Fabaceae	*Lachemilla pinnata*	--	1
	Apiaceae	*Lilaeopsis macloviana*	1	--
	Malvaceae	*Nototriche sp.*	1	--
	Malvaceae	*Nototriche sp. 2*	--	2
	Plantaginaceae	*Ourisia muscosa*	2	--
	Juncaceae	*Oxychloe andina*	4	--
	Plantaginaceae	*Plantago rigida*	--	1
	Plantaginaceae	*Plantago tubulosa*	5	1
	Caryophyllaceae	*Pycnophyllum* aff. *filiforme*	4	5
	Asteraceae	*Werneria pygmaea*	5	2
	Asteraceae	*Werneria solivifolia*	2	--
Graminoide	Poaceae	*Aciachne pulvinata*	1	2
	Poaceae	*Agrostis breviculmis*	1	--
	Poaceae	*Calamagrostis brevifolia*	6	4
	Poaceae	*Calamagrostis minima*	2	3
	Poaceae	*Calamagrostis ovata*	1	--
	Poaceae	*Calamagrostis rigescens*	4	1
	Poaceae	*Calamagrostis* sp.	--	2
	Poaceae	*Calamagrostis vicunarum*	11	12
	Cyperaceae	*Carex boliviensis*	1	--
	Cyperaceae	*Carex* sp. 1	1	--
	Poaceae	*Festuca orthophylla*	1	7
	Poaceae	*Festuca* sp. 2	2	1
	Cyperaceae	*Phylloscirpus acaulis*	4	--

b) Cobertura vegetal en la zona Aruntaya

En esta zona se clasificaron 5 tipos de coberturas en cada parcela: medio físico, vegetación muerta, vegetación arbustiva, vegetación de cojín y vegetación graminoide. Los resultados de la cobertura vegetal, evaluados en las 31 parcelas (17 en la parte alta y 14 en la parte baja) se presentan en la Tabla 6.104 y Figuras 6.274, 275 y 6.276.

Tabla 6.104. Clasificación de las coberturas en parcelas de la zona Aruntaya

Sectores	Parcelas	Clasificación de coberturas (%)				
		Vegetación Muerta	Medio Físico	Vegetación Graminoide	Vegetación de Cojín	Vegetación Arbustiva
Parte alta de Aruntaya	TU-FL50	0,0	1,2	2,9	95,9	0,0
	TU-FL51	0,0	0,0	11,3	88,8	0,0
	TU-FL52	85,0	7,1	7,1	0,9	0,0
	TU-FL53	78,9	18,3	2,8	0,0	0,0
	TU-FL54	53,6	11,6	11,6	23,2	0,0
	TU-FL55	0,0	0,8	20,8	78,5	0,0
	TU-FL56	0,0	11,1	81,5	7,4	0,0
	TU-FL57	76,1	5,3	6,2	12,4	0,0
	TU-FL58	75,4	3,5	8,8	12,3	0,0

Sectores	Parcelas	Clasificación de coberturas (%)				
		Vegetación Muerta	Medio Físico	Vegetación Graminoide	Vegetación de Cojín	Vegetación Arbustiva
	TU-FL59	0,0	2,1	22,4	75,5	0,0
	TU-FL60	70,7	18,1	11,2	0,0	0,0
	TU-FL61	84,6	15,4	0,0	0,0	0,0
	TU-FL62	0,0	0,0	48,2	51,8	0,0
	TU-FL63	90,6	9,4	0,0	0,0	0,0
	TU-FL64	0,0	0,0	35,8	64,2	0,0
	TU-FL65	5,5	1,0	5,0	87,9	0,5
	TU-FL66	89,8	5,6	4,6	0,0	0,0
Parte baja de Aruntaya	TU-FL67	62,5	5,8	31,7	0,0	0,0
	TU-FL68	54,7	6,3	7,8	31,3	0,0
	TU-FL69	0,0	11,9	22,2	65,1	0,8
	TU-FL70	78,0	8,3	13,8	0,0	0,0
	TU-FL71	27,0	6,6	9,8	56,6	0,0
	TU-FL72	11,9	2,1	14,0	72,0	0,0
	TU-FL73	66,7	8,1	25,2	0,0	0,0
	TU-FL74	27,9	55,8	16,3	0,0	0,0
	TU-FL75	11,3	0,0	14,2	74,5	0,0
	TU-FL76	61,3	19,8	18,9	0,0	0,0
	TU-FL77	0,0	1,9	31,3	66,9	0,0
	TU-FL78	0,0	10,1	84,0	5,9	0,0
	TU-FL79	0,0	12,3	87,7	0,0	0,0
	TU-FL80	20,0	22,9	57,1	0,0	0,0

Asimismo, las Figuras 6.274 y 6.275 muestran el porcentaje de perdida de cobertura vegetal por parcela y tipo de vegetación dominante (graminoide, cojín o arbustiva). El sector que corresponde a la parte alta de Aruntaya presenta valores que muestran degradación de la cobertura vegetal; donde, 9 de 17 parcelas evidencian en promedio la perdida cobertura vegetal (vegetación muerta 78,3 %), quedando unicamente 5,9 % de vegetación graminoide y 6,1 % del tipo cojín en promedio, siendo el restante medio físico (suelo descubierto). Por otro lado, 8 parcelas son consideradas «blanco», y en promedio presentan vegetación tipo cojín (68,16 %) y 28,48 % de vegetación graminoide.

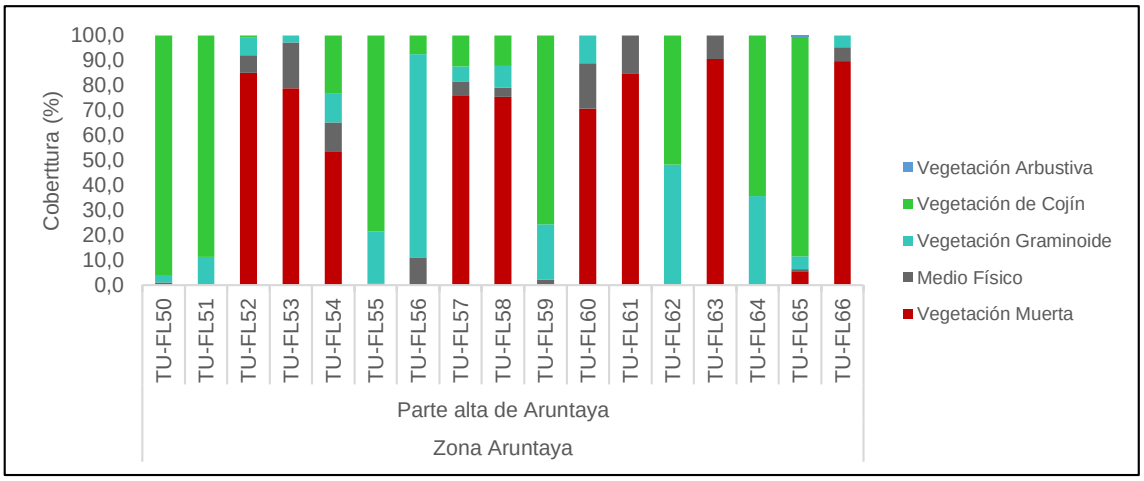


Figura 6.274. Coberturas de las parcelas en el sector Parte alta de Aruntaya

Asimismo, el análisis de la cobertura vegetal de las 14 parcelas evaluadas en la parte baja de Aruntaya, evidencian el mismo patrón de la parte alta, donde la suma de la vegetación muerta en promedio (49,76 %) con el medio físico (suelo descubierto, 16,69 %) registran en promedio 66,45 %, quedando un 33,55 % para la vegetación, donde el 22,57 % corresponde al tipo graminoide Figura 6.158.

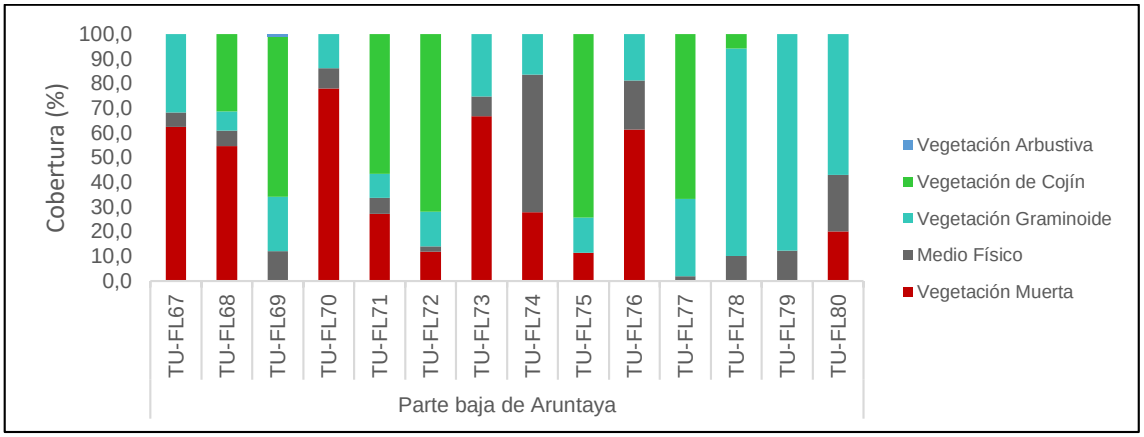


Figura 6.275. Coberturas de las parcelas en el sector, parte baja de Aruntaya

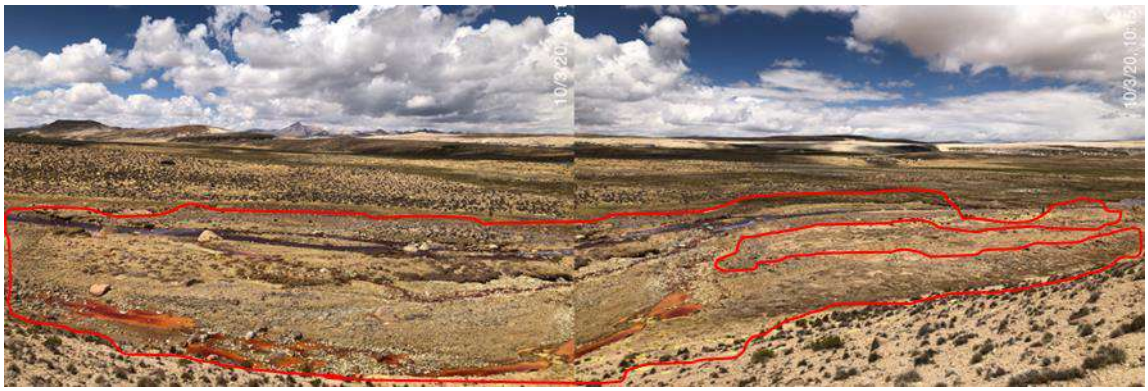


Figura 6.276. Vegetación de ribera alterado por concentraciones de metales en sector, parte baja de Aruntaya

c) Clasificación de coberturas e índice de vegetación de zona Aruntaya

Se clasificó 5 tipos de coberturas en cada sector: medio físico (cuerpo de agua y suelo descubierto), vegetación muerta, vegetación tipo cojín y vegetación graminoide. A continuación, se presentan los resultados de la clasificación de coberturas e indices de vegetación evaluados en la parte baja de Aruntaya.

Por los resultados obtenidos, el ortomosaico representa una amplia vista actualizada del relieve superficial en alta resolución, resultado del procesamiento fotogramétrico que se encuentran detalladas en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). Para la parte baja de Aruntaya en la clasificación de coberturas se tiene que, de un total de 1,9 ha el 4,1 % representa vegetación tipo cojín, 7,4 % representa vegetación graminoide, el 29,3 % vegetación muerta, el 47,6 % suelo descubierto y el 11,7 % cuerpos de agua.

Por otro lado, el índice de vegetación NDRE se aplicó a las coberturas de vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta, presentando valores en el rango de -1 a 1.

En la Figura 6.277 a la parte superior se muestra la clasificación de coberturas de la parte baja de Aruntaya; en el centro se muestra el índice de vegetación NDRE de la cobertura vegetación tipo cojín, vegetación graminoide y vegetación muerta de la parte baja de Aruntaya; en la parte inferios se muestra el ortomosaico de alta resolución de la parte baja de Aruntaya.

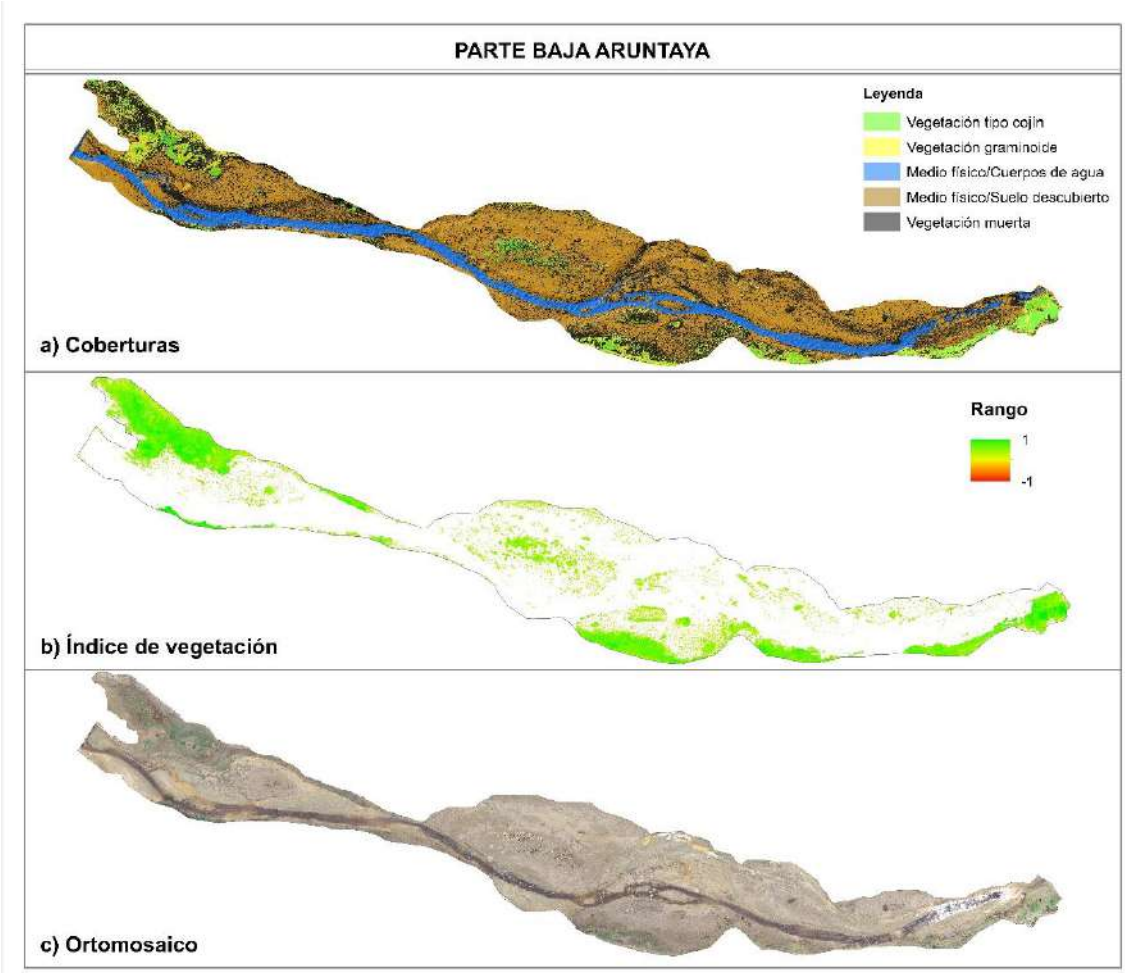


Figura 6.277. a) Clasificación de coberturas en parte baja de Aruntaya, b) Índices de vegetación en parte baja de Aruntaya y c) Ortomosaico de la parte baja de Aruntaya

En la Tabla 6.105 se muestra la estadística (mínimo, máximo, media y desviación estandar) de los valores de índice de vegetación NDRE por cada parcela muestreada en parte baja de Aruntaya.

Tabla 6.105. Índices de vegetación NDRE de las parcelas muestreadas en parte baja de Aruntaya

Parcela	Muestreo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estandar
TU-TV-CV4	Hoja y raíz	-0,137	0,179	0,046	0,063

d) Tejido vegetal Aruntaya

Se colectarón 31 muestras para el análisis de tejido vegetal (25 en la parte alta y 6 en parte baja) correspondiente a 6 especies representativas de cada formación vegetal (Calamagrostis sp. y Festuca orthophylla para el tipo graminoide y Distichia muscoides, Oxychlore andina y Pycnophyllum aff. filiforme para el tipo cojín). Los resultados de dichos análisis se presentan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3). El laboratorio acreditado encargado de analizar las muestras fue AGQ PERÜ S.A.C (informes de ensayos SAA-20-00962, SAA-20-00963, SAA-20-00964 y SAA-20-00974).

- **Sector – Parte alta de Aruntaya**

Los resultados para los análisis de tejido vegetal en este sector, dentro de la zona Aruntaya se basaron en 17 muestras de tejido vegetal (*Calamagrostis* sp., *Festuca orthophylla*, *Oxychloe andina, Pycnophyllum aff. filiforme* y *Distichia muscoides*) que se detalla en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3), y según el Real Decreto del gobierno español 464/2003 los metales totales como sustancias indeseables, a ser analizados son Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) que se detallan en la Tabla 6.106

Tabla 6.106. Análisis de tejido vegetal en la zona Aruntaya – Sector Parte alta de Aruntaya

Parte alta de Aruntaya					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2,0 mg/kg ***	1,0 mg/kg ***	0,10 mg/kg***	10 mg/kg ***
Calamagrostis sp.	TU-TV-CV1-Hb+	6,5	0,381	0	9,17
	TU-TV-CV2-H	8	2,15	0,09	3,73
	TU-TV-CV3-H	31	3,13	0,24	16,4
	TU-TV-CV1-Rb+	7,9	1,66	0,05	14,7
	TU-TV-CV2-R	19	1,5	0,12	11,3
	TU-TV-CV3-R	42	2,4	0,55	25,1
Distichia muscoides	TU-TV-DM1-H	47	0,379	0,1	20,6
	TU-TV-DM3-H+	8,3	0,997	0	24,5
	TU-TV-DM1-R	45	0,282	0,17	30,8
	TU-TV-DM3-R+	11	1,22	0	40,4
Oychloe andina	TU-TV-OA1-H	4,5	0,202	0,02	2,15
	TU-TV-OA2-H	21	2,43	0,16	4
	TU-TV-OA3-H	2,1	1,36	0	3,4
	TU-TV-OA1-R	23	0,458	0,1	9,35
	TU-TV-OA2-R	81	0,544	0,77	33,7
	TU-TV-OA3-R	1,7	0,767	0	2,78
Pycnophyllum aff. *filiforme*	TU-TV-AC1-H	43	0,371	0,19	17,1
	TU-TV-AC2-H	28	1,96	0,17	10,8
	TU-TV-AC3-H	7,2	0,436	0,11	15,5
	TU-TV-AC1-R	14	0,935	0,15	5,43
	TU-TV-AC2-R	9,1	1,5	0,1	6,78
	TU-TV-AC3-R	6	1,33	0,04	13,3
Lilaeopsis macloviana	TU-TV-LM1	50	0,847	0,07	7,2
Calamagrostis sp. 1**	TU-TV-SPP1-H	409	1,42	2,7	26,8
	TU-TV-SPP1-R	209	0,454	1,7	25,2

* Vegetación en proceso de descomposición (*Calamagrostis* sp.)
** Vegetación en proceso de descomposición (*Calamagrostis* sp. 1)
*** Limite Máximo según Real Decreto de España 465/2003

Los resultados de la zona Aruntaya, sector parte alta mostrados en la Tabla 6.63 asi como las Figura 6.161, Figura 6.162 y Figura 6.163, muestran las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos, según el Real Decreto 465/2003 relacionado a las sustancias indeseables para alimento animal; asimismo, es importante recalcar que la respuesta de las especies sobre la concentración de cada metal (bioacumulación) es distinta para cada caso, por ejemplo.

***Oxychloe andina* (Poaceae)**

En relación a los análisis de tejido vegetal en el sector que corresponde a la parte alta de Aruntaya, en las muestras de la especie *Oxychloe andina* las concentraciones del metal Arsénico (As), presente en las hojas de TU-TV-OA1-H y TU-TV-OA2 (API = 12,5 mg/kg en

promedio), superan los niveles máximos (2,0 mg/kg) del RD 465/2003, respecto a la muestra blanco (2,1 mg/kg) en 507, 1 % evidenciando una diferencia considerable ver Figura 6.278 (a); del mismo modo las concentraciones de Arsénico (As) en las raíces de *Oxychloe andina* supera las concentraciones de sitio blanco en 2958,8 %.

Para el metal Cadmio (Cd), la concentración en las hojas de *Oxychloe andina* TU-TV-OA2-H (2,43 gr/kg) y la muestra blanco TU-TV-OA3-H (1,36 mg/kg) ver Figura 6.278 (b) supera los niveles máximos (1,0 mg/kg); sin embargo, la proporción de la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas presentes en sitio API (2,43 mg/kg) respecto al sitio blanco (1,36 mg/kg) supera en 78,7 %; sin embargo, la concentración de Cadmio (Cd) en las raíces de la muestra API y la muestra blanco no superan las niveles máximos según el Real Decreto.

Asimismo, la muestra de la especie *Oxychloe andina* TU-TV-OA2-H para el metal Mercurio (Hg) supera los limites máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.278 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Oxychloe andina* presentes en el área de potencial de interés (API = 0,16 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >1500 %; asimismo, en las raíces de *Oxychloe andina* la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «API» supera en 7600 %.

Las concentraciones del Plomo (Pb) en las hojas de *Oxychloe andina* no supera los niveles máximos (10,0 mg/kg) en la hoja en todas las muestras ver Figura 6.278 (d); sin embargo, la muestra de raíz TU-TV-OA2-R excede los niveles máximos en la concentración de Plomo (Pb).

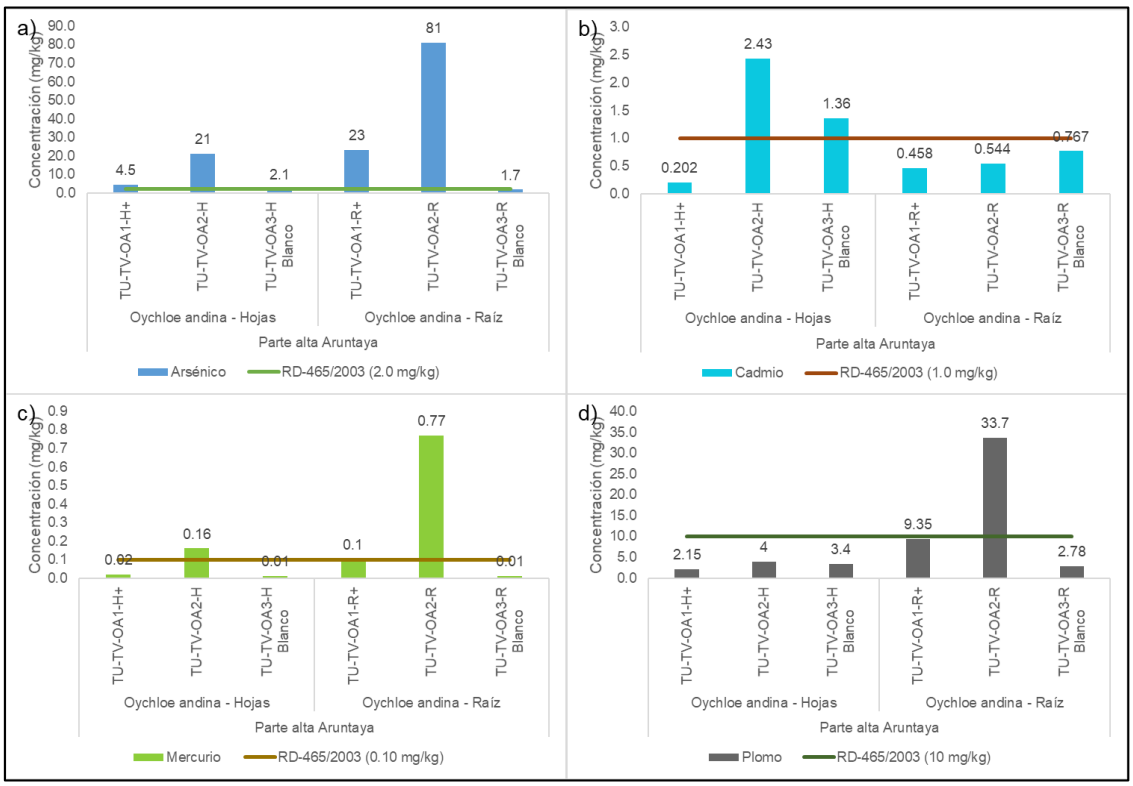


Figura 6.278. *Oxychloe andina*. Niveles máximos según el RD 465/2003 Parte alta de Aruntaya. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo.

Calamagrostis sp. (Poaceae)

Para la especie *Calamagrostis* sp. correspondiente a la parte alta de Aruntaya, la concentración del metal Arsénico (As) supera los niveles máximos (2,0 mg/kg) ver Figura 6.279 (a); sin embargo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 19,5 mg/kg en promedio) y sitio blanco (6,5 mg/kg) supera en 200 % el valor; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Arsenico (As) en las muestras API supera en 286,1 % en promedio.

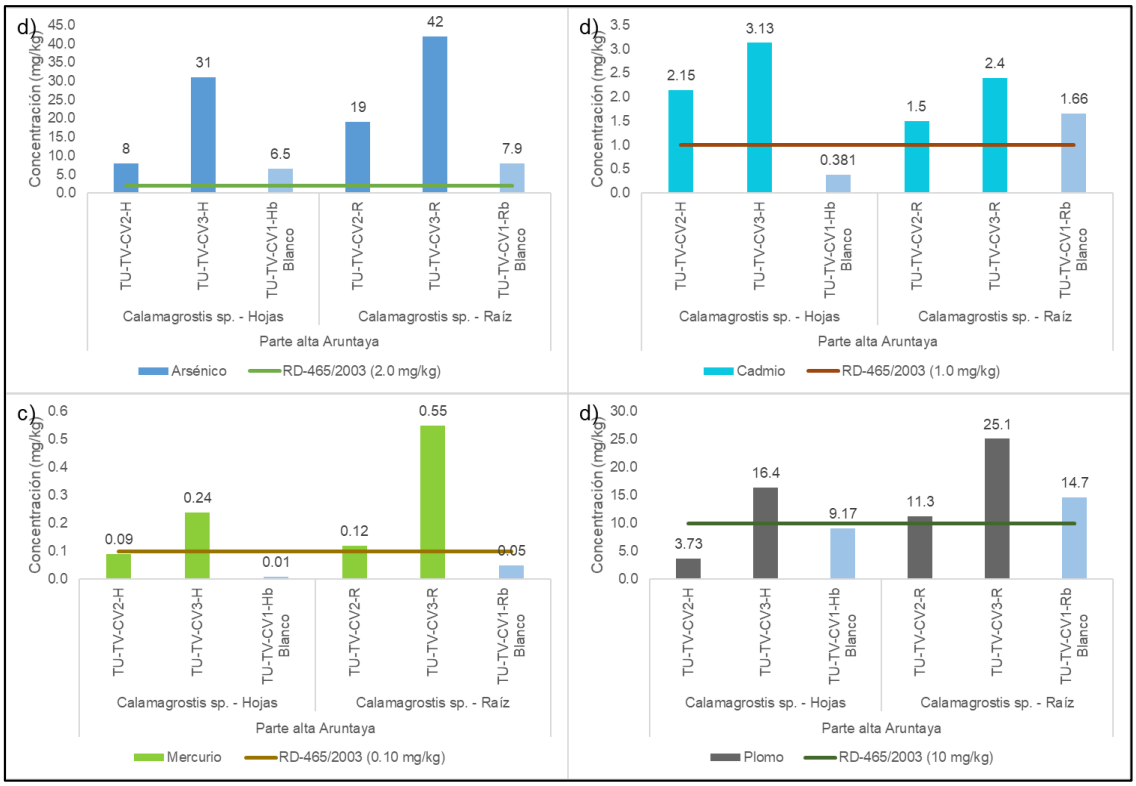


Figura 6.279. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Calamagrostis* sp. en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte alta de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Respecto al metal Cadmio (Cd), la concentración en las hojas de las muestras supera los niveles máximos (1,0 mg/kg) ver Figura 6.279 (b); sin embargo, la proporción entre la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 2,64 mg/kg en promedio) y sitio blanco (0,381 mg/kg) supera en 592,9 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Cadmio (Cd) en las muestras API supera en 17,46 % en promedio.

Asimismo, en las muestras de la especie *Calamagrostis* sp. las concentraciones del metal Mercurio (Hg) supera los niveles máximos (0,10 mg/kg) en la muestra TU-TV-CV3-H ver Figura 6.279 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 0,24 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >2300 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «API» supera en 570 % en promedio la concentración de zona blanco.

Para el caso de la concentración del Plomo (Pb), la muestra TU-TV-CV3-H supera los niveles máximos (10,0 mg/kg) ver Figura 6.279 (d); sin embargo, la proporción entre la concentración de Plomo (Pb) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 16,4 mg/kg) y sitio blanco (9,17 mg/kg) supera en 78,8 %; asimismo, la concentración de Plomo (Pb) en las raíces de *Calamagrostis* sp. en las muestras API supera en 23,8 %.

***Distichia muscoides* (Juncaceae)**

Las concentraciones del metal Arsénico (As) en la especie *Distichia muscoides* (muestra API y Blanco) superan los niveles máximos (2,0 mg/kg) del RD 465/2003 ver Figura 6.280 (a); sin embargo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Distichia muscoides* presentes en el área potencial de interés (API = 47,0 mg/kg) y sitio blanco (8,3 mg/kg) supera en 466,3 %; asimismo, en las raíces de *Distichia muscoides* la concentración de Arsénico (As) en la muestra API supera en 309,1 % a la muestra blanco.

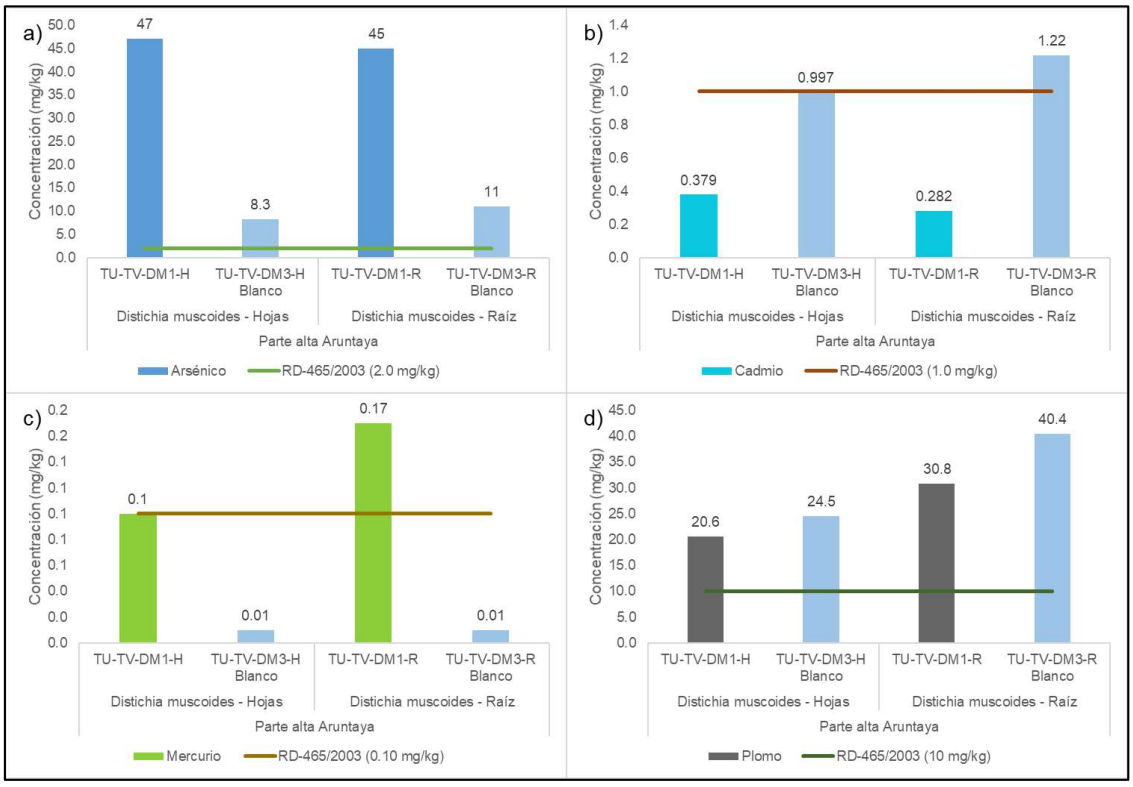


Figura 6.280. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Distichia muscoides* en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte alta de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

La concentración del metal Cadmio (Cd), en las hojas de *Distichia muscoides* no superó los niveles máximos (1,0 mg/kg) ver Figura 6.280 (b); sin embargo, la concentración de Cadmio (Cd) en las raíces de *Distichia muscoides* presentes en el sitio API (0,99 mg/kg) respecto al sitio blanco (1,22 mg/kg) evidencia mayor concentración de Cadmio (Cd) en la muestra de raíz de la zona «blanco».

En la muestra TU-TV-DM1- H de la especie *Distichia muscoides* el metal Mercurio (Hg) esta en los niveles máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.280 (c); sin embargo, la proporción entre

la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Distichia muscoides* presentes en el área de potencial de interés (API = 0,1 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >900 %; asimismo, en las raíces de *Distichia muscoides* la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra API supera los niveles máximos en 1700 % la concentración de la muestra «blanco».

Para el caso del Plomo (Pb), las concentraciones en hojas y raíces de ambas muestras superan los niveles máximos (10,0 mg/kg) ver Figura 6.280 (d).

***Pycnophyllum* aff. *filiforme* (Caryophyllaceae).** Hierba perenne, de crecimiento almohadillado, de 5 a 10 cm. El tallo se ramifica de forma flexible. Hojas escamiformes con ápice acuminado, imbricadas, dispuestas helicoidalmente, de color verde amarillento, sólo en el centro de la hoja se acumula el pigmento clorofiliano, de tal forma que la coloración de la planta suele ser verde amarillento. Uso, principalmente forrajero, apetecida por alpacas y llamas, algunos autores señalan buena aceptabilidad y regular valor (Lara y Alzerréca 1976), otros como Tapia y Flores (1984), indican que sería indeseada por el ganado. Los lugareños le atribuyen propiedades detergentes (Vargas 1988).

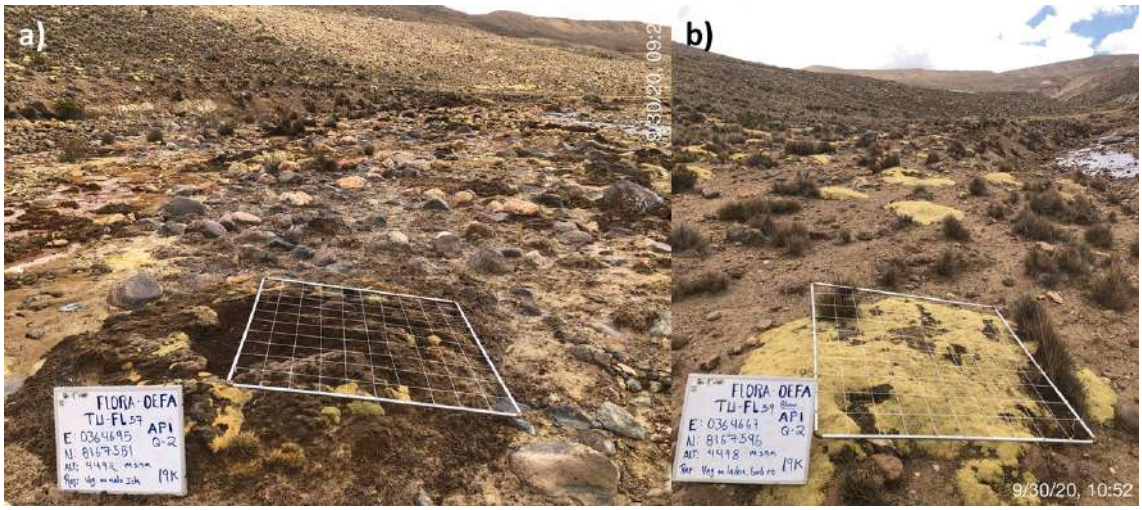


Figura 6.281. *Pycnophyllum* aff. *filiforme* – parcela TU-FL7 y TU-FL59, y código de tejido vegetal TU-TV-AC1 y TU-TV-CV3. a) ecosistema impactado y b) sitio blanco (raíz y hojas).

Las concentraciones del metal Arsénico (As) en la especie *Pycnophyllum* aff. *filiforme* (muestra API y Blanco) superan los niveles máximos (2,0 mg/kg) del RD 465/2003 ver Figura 6.282 (a); sin embargo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Pycnophyllum* aff. *filiforme*, presentes en el área potencial de interés (API = 57,0 mg/kg en promedio) y sitio blanco (7,2 mg/kg) supera en 691,6 %; asimismo, en las raíces de *Pycnophyllum* aff. *filiforme* la concentración de Arsénico (As) en la muestra API supera en 92,5 % a la muestra blanco, en promedio.

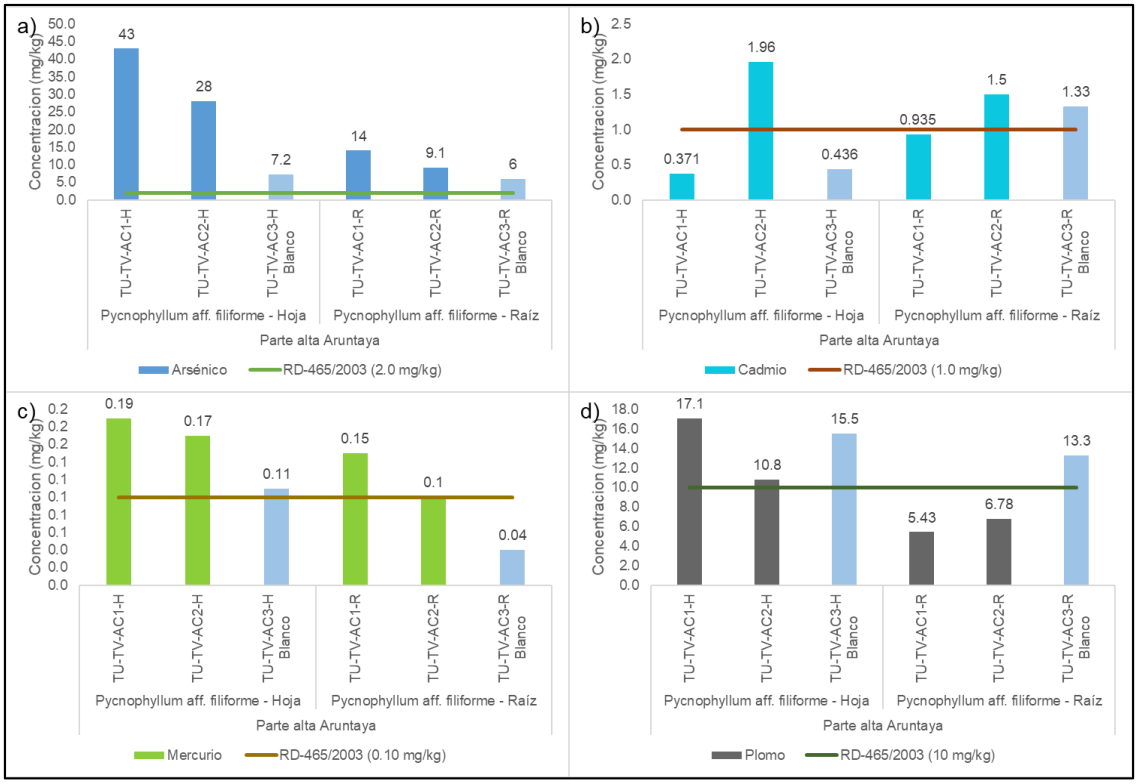


Figura 6.282. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Pycnophyllum* aff. *filiforme* en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte alta de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

La concentración del metal Cadmio (Cd), en las hojas de la muestra TU-TV-AC3-H, que corresponde a *Pycnophyllum* aff. *filiforme* excede los niveles máximos (1,0 mg/kg) ver Figura 6.162 (b); sin embargo, la proporción entre la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de *Pycnophyllum* aff. *filiforme*, presentes en el área potencial de interés (API = 1,96 mg/kg) y sitio blanco (0,436 mg/kg) supera en 349,5 %; asimismo, en las raíces de *Pycnophyllum* aff. *filiforme* la concentración de Cadmio (Cd) en la muestra API supera en 12,78 % a la muestra blanco.

En relación con la concentración de Mercurio (Hg) en la especie *Pycnophyllum* aff. *filiforme* las muestras API y Blanco, superan los niveles máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.282 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Pycnophyllum* aff. *filiforme*, presentes en el área de potencial de interés (API = 0,18 mg/kg en promedio) y sitio blanco (0,11 mg/kg) supera en 63,6 %; asimismo, en las raíces de *Pycnophyllum* aff. *filiforme* la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra API supera en 212.5 % la concentración de la muestra «blanco».

Para el caso del metal Plomo (Pb), las concentraciones en hojas las de todas las muestras de *Pycnophyllum* aff. *filiforme* analizadas, superan los niveles máximos (10.0 mg/kg) ver Figura 6.282 (d).

- **Sector – Parte baja de Aruntaya**

Los resultados de los análisis en tejido vegetal para este sector (parte baja de Aruntaya) dentro de la zona Aruntaya, se basaron en 6 muestras de las especies *Calamagrostis* sp. y *Festuca orthophylla* que se detallan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3), y según el Real Decreto del gobierno español 465/2003, los metales totales como sustancias indeseables a ser analizados son Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) que se detalla en la Tabla 6.107.

Es preciso indicar que la muestra analizada en la parte baja de Aruntaya, correspondiente a la especie *Calamagrostis* sp., fueron comparadas con las muestras blanco de la parte alta de Aruntaya (TU-TV-CV1-Hb y TU-TV-CV1-Rb = *Calamagrostis* sp.).

Tabla 6.107. Análisis de tejido vegetal en la zona Aruntaya – Sector Parte baja de Aruntaya

Parte baja de Aruntaya					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2,0 mg/kg *	1,0 mg/kg *	0,10 mg/kg *	10 mg/kg *
Calamagrostis sp.	TU-TV-CV4-H	36	1,64	0,21	5,99
	TU-TV-CV4-R	28	2,28	0,69	8,67
Festuca orthophylla	TU-TV-F01-H+	12	0,122	0	2,44
	TU-TV-F01-R+	11	0,193	0	6,19
	TU-TV-F02-H	500	0,352	1,4	8,29
	TU-TV-F02-R	118	0,176	1,2	22,2

+ Parcela blanco para *Festuca Orthophylla*, sin influencia de río Margaritani
** Vegetación en proceso de descomposición (*Calamagrostis* sp.)
*** Limite Máximo según Real Decreto de España 465/2003

Calamagrostis sp. (Poaceae)

Para la especie *Calamagrostis* sp. en la parte baja de Aruntaya, la concentración del metal Arsénico (As) superó los niveles máximos (2,0 mg/kg) ver Figura 6.283 (a); sin embargo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 36 mg/kg) y sitio blanco (6,5 mg/kg) execede en 453,8 % a la muestra blanco; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Arsénico (As) en las muestras API supera en 254,4 % las muestras blanco.

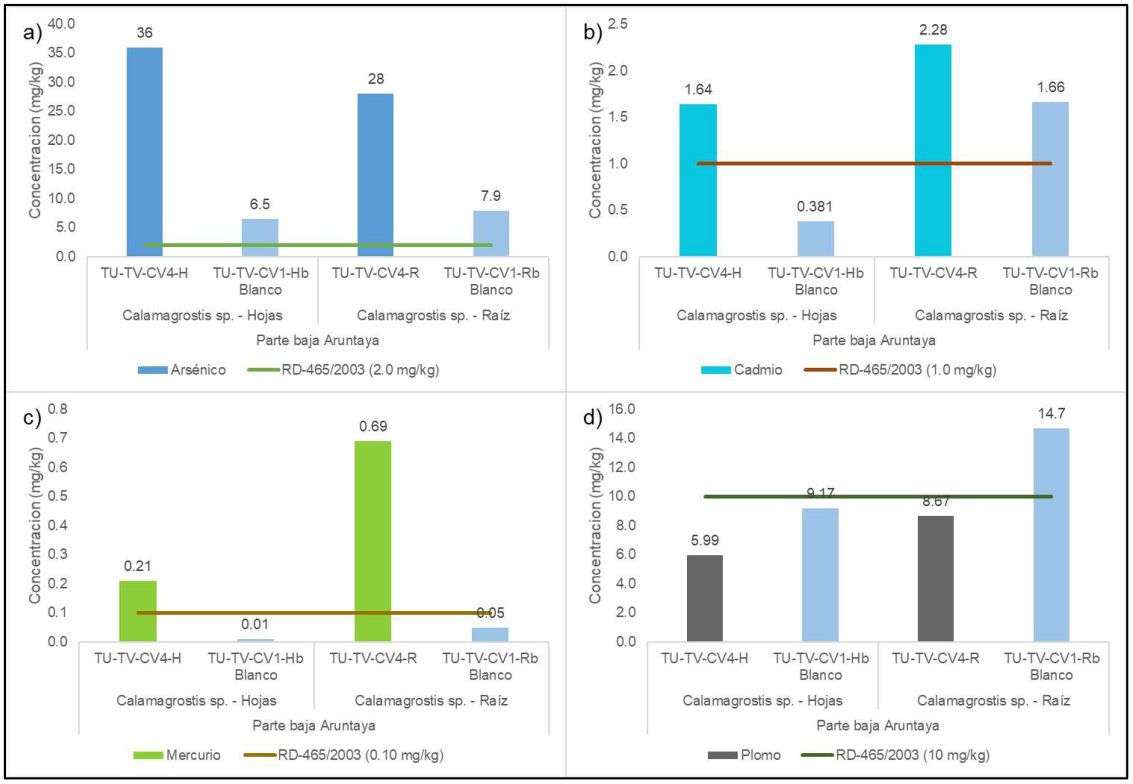


Figura 6.283. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 de *Calamagrostis* sp. en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte baja de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Para el metal Cadmio (Cd), la concentración en las hojas de la muestra API supera los niveles máximos (1.0 mg/kg) ver Figura 6.283 (b); sin embargo, la proporción entre la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 1,64 mg/kg en promedio) y sitio blanco (0,381 mg/kg) supera en 330,4 % las concentraciones del sitio blanco; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Cadmio (Cd) en las muestras API supera en 37,4 %.

Asimismo, en las muestras de la especie *Calamagrostis* sp. las concentraciones del metal Mercurio (Hg) supera los niveles máximos (0,10 mg/kg) en la muestra TU-TV-CV4-H ver Figura 6.283 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Calamagrostis* sp. presentes en el área de potencial de interés (API = 0,21 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) superó en >2000 %; asimismo, en las raíces de *Calamagrostis* sp. la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «API» superó en 1280 % la concentración de zona blanco.

Para el caso de la concentración del Plomo (Pb), la muestra que corresponden a las hojas de *Calamagrostis* sp. TU-TV-CV4-H y TU-TV-CV1-H no superó los niveles máximos (10,0 mg/kg) ver Figura 6.283 (d); sin embargo, en la muestra TU-TV-CV1-Rb, superó la concentración de Plomo (Pb) sobre lo niveles máximos, en las raíces de *Calamagrostis* sp.

***Festuca orthophylla* (Poaceae).** Forma parde la formación vegetal denominado Pajonal, es el tipo de vegetación que ocupa mayor extensión en la zona altoandina, está dominado por gramíneas altas o ichus como la chilligua (Festuca dolichophylla), el iro ichu (*Festuca ortophylla*), ichu (*Stipa ichu*), hatun porke (*Calamagrostis antoniana*) y el huaylla ichu

(*Calamagrostis rígida*), entre otras. Las gramíneas duras conforman el mayor componente de la dieta seleccionada por llamas y ovinos a lo largo del año, Figura 6.284.

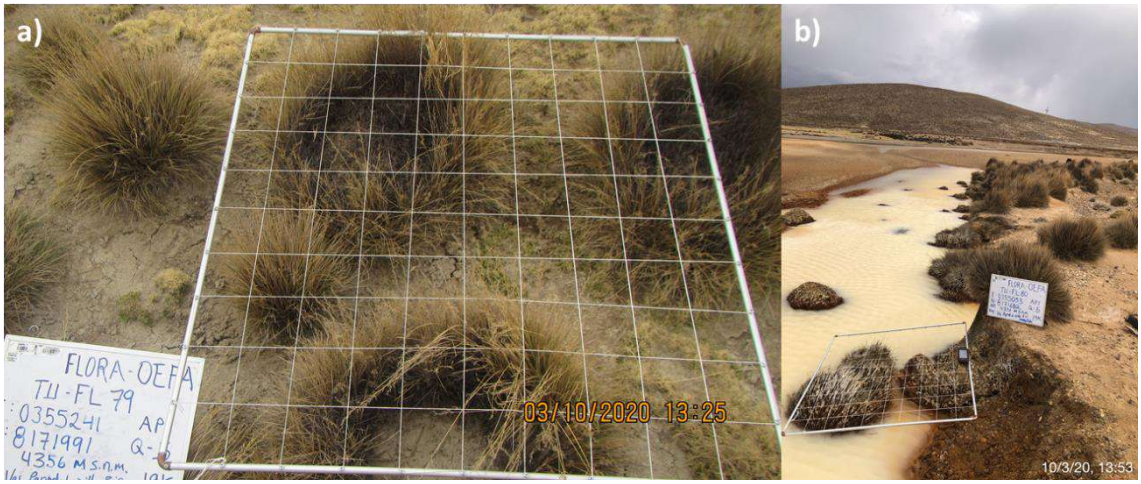


Figura 6.284. *Festuca orthophylla* – parcela TU-FL9, y TU-FL80 código de tejido vegetal TU-TV-FO1 y TU-TV-FO2. a) en sitio blanco y b) borde de quebrada Margaritani (raíz y hojas).

Para la especie *Festuca orthophylla* la concentración del metal Arsénico (As) supera los niveles máximos (2,0 mg/kg) ver Figura 6.285 (a); sin embargo, la proporción entre la concentración de Arsénico (As) en las hojas de *Festuca orthophylla* presentes en el área potencial de interés (API = 500 mg/kg) y sitio blanco (12 mg/kg) excede en 4066,7 % la concentración en la muestra blanco; asimismo, en las raíces de *Festuca orthophylla* la concentración de Arsénico (As) en las muestras API supera en 972,7 % la concentración de la muestra blanco.

Para el metal Cadmio (Cd), la concentración en las hojas de la muestra API y blanco, no supera los niveles máximos (1,0 mg/kg) ver Figura 6.285 (b); sin embargo, la proporción entre la concentración de Cadmio (Cd) en las hojas de *Festuca orthophylla* presentes en el área de potencial de interés (API = 0,352 mg/kg) y sitio blanco (0,122 mg/kg) supera en 188,52 % las concentraciones del sitio blanco; mientras que, en las raíces de *Festuca orthophylla* la concentración de Cadmio (Cd) en ambas muestras, la proporción es similar.

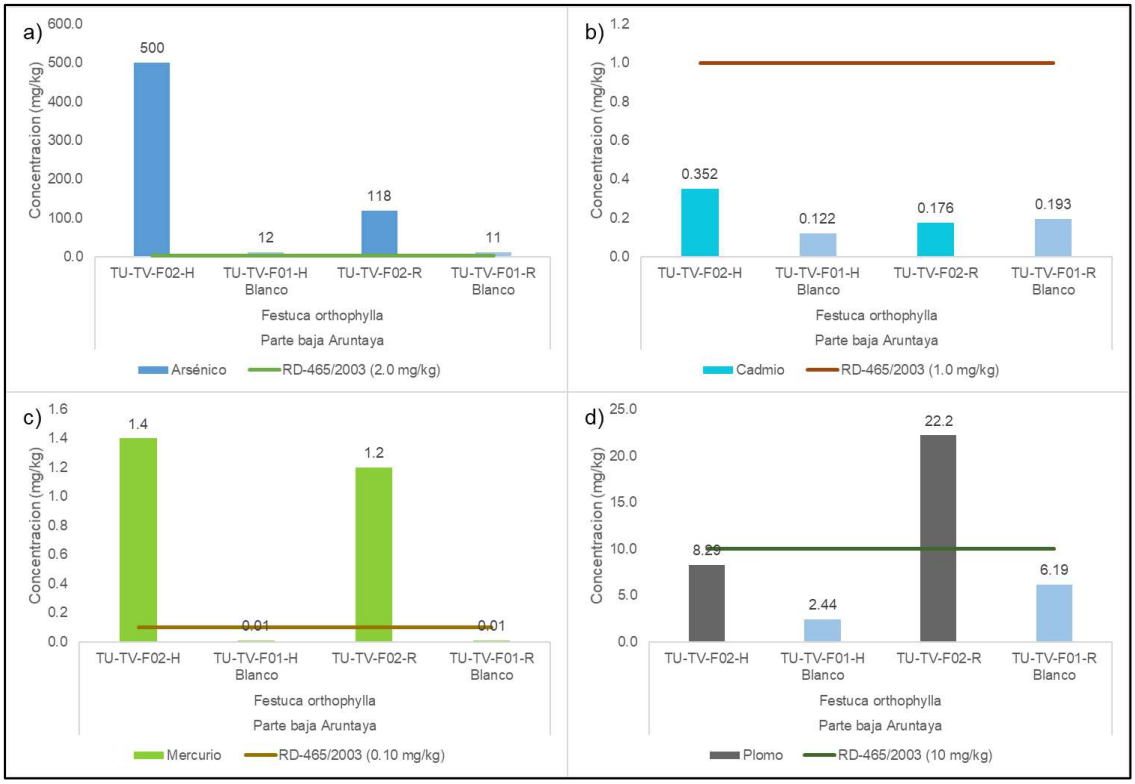


Figura 6.285. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2g003 de *Festuca orthophylla* en sustancias indeseables para alimento animal en la zona Aruntaya, parte baja de Aruntaya. a) Arsénico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Asimismo, las concentraciones del metal Mercurio (Hg) supera los niveles máximos (0,10 mg/kg) ver Figura 6.285 (c); sin embargo, la proporción entre la concentración de Mercurio (Hg) en las hojas de *Festuca orthophylla* presentes en el área de potencial de interés (API = 1,14 mg/kg) y sitio blanco (<0,01 mg/kg) supera en >11300 %; asimismo, en las raíces de *Festuca orthophylla* la concentración de Mercurio (Hg) en la muestra «API» supera en 11900 % la concentración de la muestra blanco.

Respecto a la concentración del metal Plomo (Pb), en ambas muestras, no supera los niveles máximos (10.0 mg/kg) ver Figura 6.285 (d); sin embargo, las proporciones entre las concentraciones de la muestra API (8,29 mg/kg) y la muestra Blanco (2,44 gr/kg), la muestra API supera en 239,76 %. Asimismo, en las raíces de *Festuca orthophylla* (TU-TV-FO2-R), la concentración de Plomo (Pb) excede los niveles máximos,

a. Especies amenazadas y endémicas

De las especies registradas e identificadas en la presente evaluación, se tiene que 11 de ellas se encuentran en alguna categoria de flora silvestre protegida, sobre la base de la última recategorización de flora silvestre para el Perú, realizada por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (Decreto Supremo N.º 043-2006-AG), en la Tabla 6.108 se detalla las especies.

Tabla 6.108. Especies amenzadas en el área de estudio.

Especie	Hábito	Nombre común	IUCN-2020	DS:043-2006-AG	CITES - 2020	Sector
Werneria solivifolia	Hierba		NT			Parte alta Aruntaya
Xenophyllum ciliolatum	Arbusto		LC			Sec. Qda. Apostoloni
Xenophyllum digitatum	Arbusto		NT			Bo. Blanco 1
Xenophyllum poposum	Arbusto		LC			Bo. Wetland Norte
Pycnophyllum aff. *Mole*	Hierba	cuncush, tacsana, takcsana	LC			Bo. Wetland Norte,
						Sec. Qda. Apostoloni,
						Sec. Wetland Sur
Phylloscirpus acaulis	Hierba		LC			Bo. Botadero Norte
						Bo. Qda. Margaritani
						Parte alta Aruntaya
Plantago rigida	Hierba	champa estrella, punpunya	LC			Sec. Qda. Apostoloni
						Parte baja de Aruntaya
Azorella diapensoides	Hierba	yareta, yarita, rayita, kkota		VU		Parte alta Aruntaya
						Parte baja de Aruntaya
Parastrephia lucida	Hierba			NT		Bo. Wetland Norte
						Sec. Qda. Apostoloni
						Sec. Wetland Sur
						Bo. Qda. Margaritani
						Sec. Wetland Sur
Distichia muscoides	Hierba	champa, lacsa-lacsa, huarichia, ñajcha-ñajcha, palkash		NT		Bo. Botadero Norte
						Parte alta Aruntaya
						Bo. Blanco 1
						Bo. Blanco 2
						Bo. Qda. Margaritani
Myrosmodes sp. 1	Hierba	Orquidea			II	Bo. Blanco 1

En la Tabla 6.65. Se presenta el detalle de las especies registradas que están categorizadas en algun grado de amenaza o protección, según la UICN, se han registrado 7 especies, en alguna categoría de conservación, donde 4 tienen la categoría de LC (preocupación menor) sin embargo, es preciso tener en cuenta planes de manejo ambiental para dichas especies y asegurar su presencia en estos ecosistemas. Por otro lado, la legislación nacional (DS. 043-2006-AG) a 3 especies, 1 (VU = vulnerable) y 2 especies (NT= Casi amenazado), y dentro de las especies CITES, se tiene el registro de una Orquidea, listada en el Apendice II.

6.4.2.4 Zona Titire Coralaque

La evaluación de esta zona se restringió al centro poblado Pachas y unicamente a la calidad de los principales cultivos (análisis de tejido vegetal) que desarrollan como actividad principal. Entre los cultivos seleccionados, están el maíz, habas, cebolla, zanahoria y alfalfa. Las áreas de cultivos son regados por aguas de quebradas distintas. 1. De la Qda. Coralaque (principalmente) y 2. Qda. Condorani (toma q'ucho). En la Figura 6.286 se

representan los puntos de agua y suelos asociado al componente ambiental evaluado; la descripción y ubicación geográfica de cada parcela de evaluación se presenta en el reporte de campo N.° 058-2020-STEC (Anexo 2).

a. Tejido vegetal Titire – Coralaque (CP Pachas)

Se evaluaron 16 muestras de diferentes cultivos (2 muestras de cebolla, 2 de zanahoria, 2 de alfa alfa, 1 de papa, 2 de habas y 5 de maíz). Con informes de ensayos SAA-20-01018, SAA-20-01019, SAA-20-01017 como parte de los resultados entregados por AGQ PERÚ S.A.C, códigos de muestra TU-CUL1-H, TU-CUL1-R, TU-CUL2-H, TU-CUL2-R, TU-CUL3-H, TU-CUL4-H, TU-CUL4-R, TU-CUL5-H, TU-CUL5-R, TU-CUL6-H, TU-CUL7-H, TU-CUL7-R, TU-CUL8-H, TU-CUL8-R, TU-CUL10-H y TU-CUL10-R). Los resultados de dichos análisis se presentan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3).

- **Real Decreto 465/2003 (BOE-A2003-8717)**

Los resultados para los análisis de tejido vegetal en este sector, dentro de la zona Titire - Coralaque se basaron en 16 muestras de tejido vegetal que se detallan en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3), que según el Real Decreto 465/2003 los metales totales como sustancias indeseables a ser analizados son Arsénico (Ar), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb); Codex Alimentarius (Codex Stan 193-2019), según la Norma General para los Contaminantes y las Toxinas presentes en los alimentos y Piensos que se detalla en la Tabla 6.109 y Figura 6.286. Asimismo, se compara con la Norma de Comunidad Europea (CE), Reglamento (CE) N° 1881/2006 (DO L 364 de 20.12.2006, p. %).

Tabla 6.109. Real Decreto 465/2003 en zona Titire Coralaque – SectoSe vuelve a repetirr CP Pachas

Zona Titire - Coralaque (CP Pachas)					
Especie	Parcela	Arsénico Total	Cadmio Total	Mercurio Total	Plomo Total
		2,0 mg/kg *	1,0 mg/kg *	0,10 mg/kg *	10 mg/kg *
Allium cepa (Cebolla)	TU-CULT2-H+	0,31	0,044	0	0,18
	TU-CULT2-R+	2,1	0,158	0,01	0,597
Daucus carota (Zanahoria)	TU-CULT1-H+	1	0,108	0,04	0,706
	TU-CULT1-R+	1,3	0,126	0,01	0,543
Medicago sativa (Alfa alfa)	TU-CULT5-H+	0,51	0,059	0	0
	TU-CULT5-R+	35	1,32	0,05	6,05
	TU-CULT8-H++	0,3	0,019	0,01	0,047
	TU-CULT8-R++	6,9	0,071	0,03	2,17
Solanum tuberosum (Papa)	TU-CULT3-H+	1,2	0,265	0,02	0,411
Vicia faba (habas)	TU-CULT4-H+	1,5	0,031	0	0,511
	TU-CULT4-R+	19	0,296	0,02	7,73
Zea maiz Maíz)	TU-CULT10-H++	0,31	0,018	0	0,103
	TU-CULT10-R++	4,2	0,053	0	1,59
	TU-CULT6-H+	1,5	0,129	0	0,962
	TU-CULT7-H+	0,54	0,032	0	0,434
	TU-CULT7-R+	2,7	0,15	0,02	1,02

+ Cultivos regados por aguas de la Qda. Coralaque
++ Cultivos regados por aguas de Qda. Condorani (Sin influencia de Qda. Coralaque)
* Limite Maximo según Real Decreto de España 465/2003

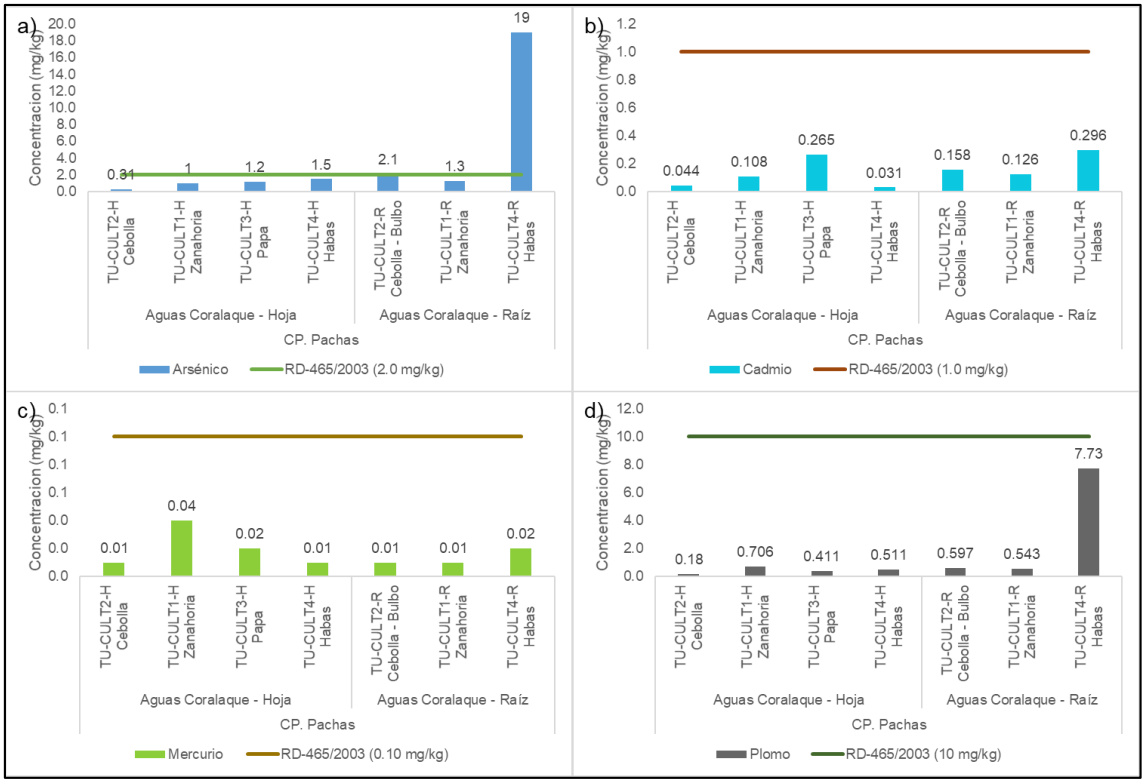


Figura 6.286. Niveles máximos s según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en hortalizas. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Los resultados mostrados en la Tabla 6.66 y las Figuras 6.286, 6.287 y 6.288, presenta las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos, según el Real Decreto 465/2003 relacionado a las sustancias indeseables para alimento animal; en ese sentido, las muestras analizadas para el metal se describen a continuación.

Arsénico (As). Las muestras de cultivos analizadas que exceden las concentraciones de Arsénico (As), Tabla 6.109, Figura 6.286 y Figura 6.287, conocidas como; habas, cebolla y alfalfa (TU-CULT4-R, TU-CULT2-R y TU-CULT5-R) exceden los niveles máximos que se listan en el Real Decreto (2,0 mg/kg). Del mismo modo, los cultivos maíz y alfalfa (TU-CULT8-R y TU-CULT10-R) regados por aguas de la Qda. Condorani también superan los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003, pero la proporción es de 500 % menos, que lo regado por la Qda. Coralaque.

Cadmio (Cd). Por otro lado, de las 6 especies analizadas, el metal Cadmio (Cd) es el único metal que supera las concentraciones de niveles máximos en el cultivo alfalfa (TU-CULT5-R) segun los limites que se listan en el Real Decreto (1,0 mg/kg), asimismo, la proporción entre las concentraciones de la muestra (1,32 mg/kg) regada por aguas de la Qda. Coralaque y la muestra (0,071 mg/kg) regada por la Qda. Condorani es 1759,2 % más en las muestras de la Qda. Coralaque.

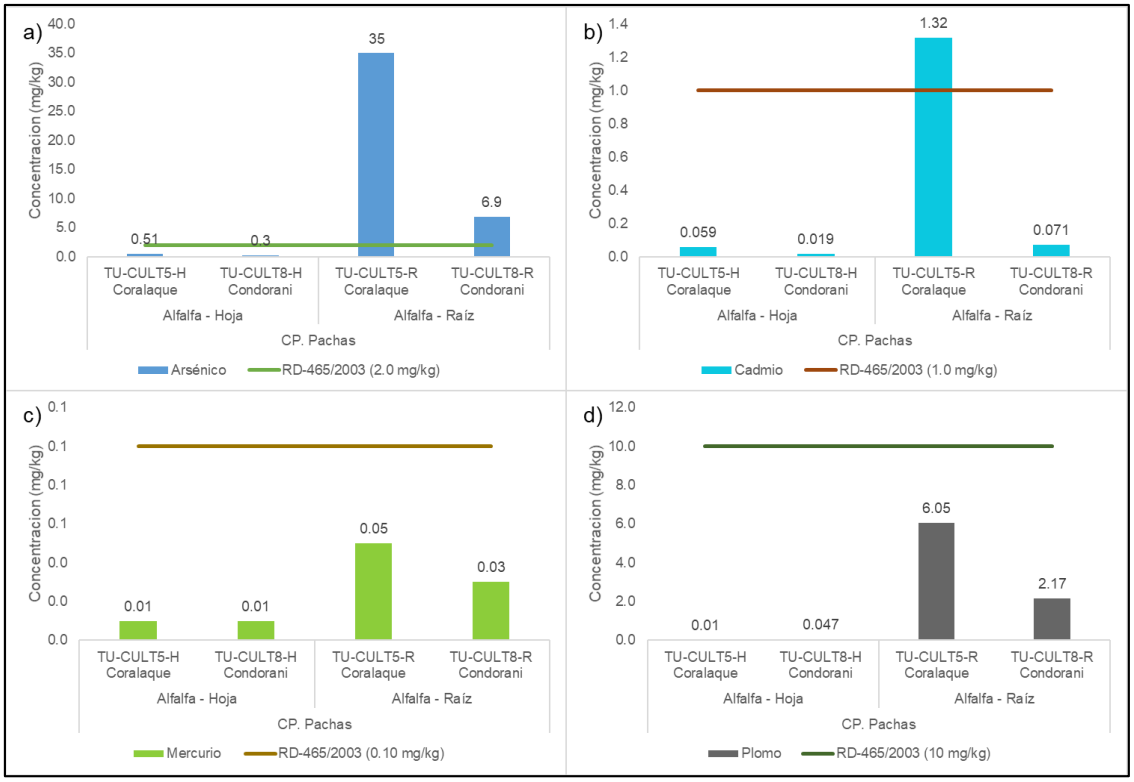


Figura 6.287. Niveles máximos s según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en cultivos de Alfalfa a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

Mercurio (Hg). La concentración de metales en los 6 cultivos, relacionados a los metales Mercurio (Hg), no superaron la norma referencial (RD 465/2003). Sin embargo, la proporción entre las concentraciones de la muestra (0,05 mg/kg) regada por aguas de la Qda. Coralaque y la muestra (0,03 mg/kg) regada por la Qda. Condorani es 66,7 % más en las muestras de la Qda. Coralaque.

Plomo (Pb). La concentración de metales en los 6 cultivos, relacionados a los metales Plomo (Pb) no superaron la norma referencial (RD 465/2003). Sin embargo, la proporción entre las concentraciones de la muestra (6,05 mg/kg) regada por aguas de la Qda. Coralaque y la muestra (2,17 mg/kg) regada por la Qda. Condorani, es 178,8 % más en las muestras de la Qda. Coralaque.

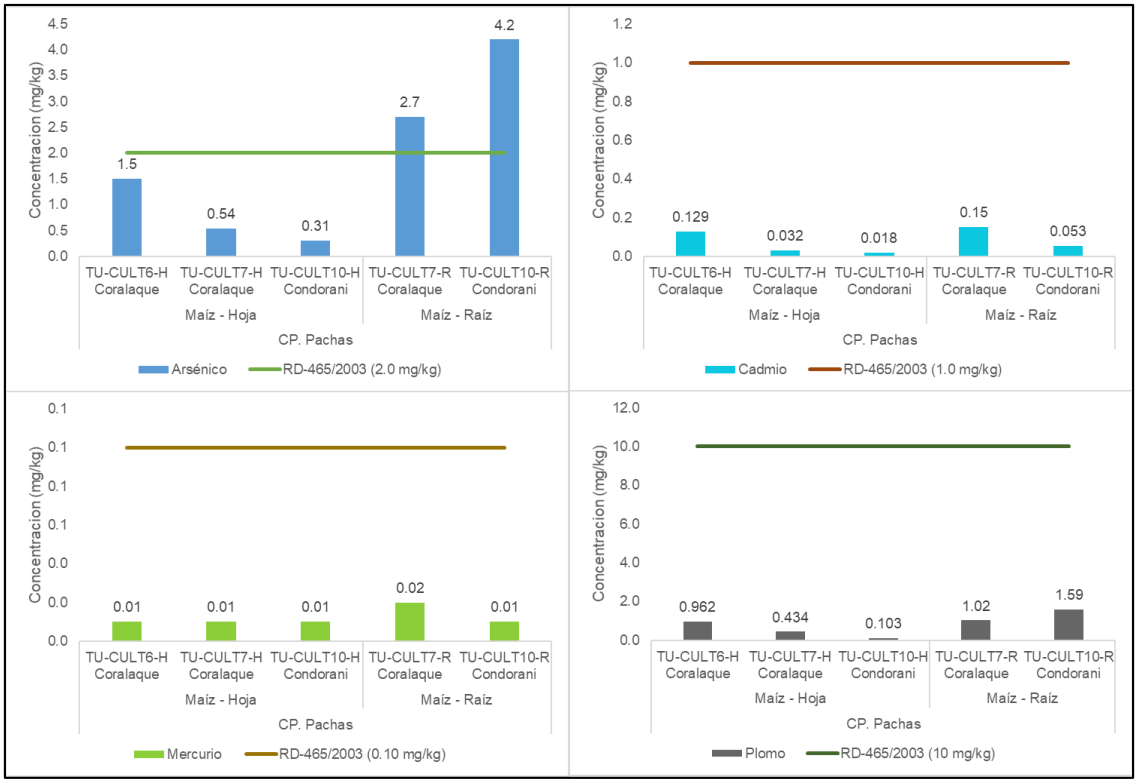


Figura 6.288. Niveles máximos según el Real Decreto 465/2003 sustancias indeseables para alimento animal en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en cultivos de Maíz. a) Arsenico; b) Cadmio; c) Mercurio y d) Plomo

- **Codex alimentario (Codex Stan 193-195, 2019)**

Los resultados para los análisis de tejido vegetal en este sector, dentro de la zona Titire - Coralaque se basaron en 16 muestras de tejido vegetal que se detalla en el reporte de resultados N.° 047-2020-STEC (Anexo 3), siendo el Codex la normativa referencial, para determinar cuales especies están excedendo los niveles máximos, estipulados en la misma (Norma General para los Contaminantes y las Toxinas presentes en los alimentos y Piensos) que se detalla en la Tabla 6.110 y Figura 6.89. Donde, los metales totales como sustancias indeseables a ser analizados fueron Arsénico (Ar), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb).

Tabla 6.110. Codex Stan 193-2019 - Zona Titire Coralaque – Sector CP Pachas

Zona Titire - Coralaque (CP Pachas)								
Especie	Parcela	NM-As mg/kg	Arsénico Total	NM-Cd mg/kg	Cadmio Total	Mercurio Total	NM-Pb mg/kg	Plomo Total
Allium cepa (Cebolla)	TU-CULT2-H+	N/A	0,31	0,05	0,044	0	0,1	0,18
	TU-CULT2-R+		2,1		0,158	0,01		0,597
Daucus carota (Zanahoria)	TU-CULT1-H+		1	0,1	0,108	0,04	0,1	0,706
	TU-CULT1-R+		1,3		0,126	0,01		0,543
Medicago sativa (Alfalfa)	TU-CULT5-H+		0,51	0,1	0,059	0	0,3	0
	TU-CULT5-R+		35		1,32	0,05		6,05
	TU-CULT8-H++		0,3		0,019	0,01		0,047
	TU-CULT8-R++		6,9		0,071	0,03		2,17
Solanum tuberosum (Papa)	TU-CULT3-H+		1,2	0,1	0,265	0,02	0,1	0,411
Vicia faba (habas)	TU-CULT4-H+		1,5	0,1	0,031	0	0,3	0,511
	TU-CULT4-R+		19		0,296	0,02		7,73

Zona Titire - Coralaque (CP Pachas)								
Especie	Parcela	NM-As mg/kg	Arsénico Total	NM-Cd mg/kg	Cadmio Total	Mercurio Total	NM-Pb mg/kg	Plomo Total
Zea maiz (Maíz)	TU-CULT10-H++	0,35 mg/kg	0,31	0,4	0,018	0	0,3	0,103
	TU-CULT10-R++		4,2		0,053	0		1,59
	TU-CULT6-H+		1,5		0,129	0		0,962
	TU-CULT7-H+		0,54		0,032	0		0,434
	TU-CULT7-R+		2,7		0,15	0,02		1,02

+ Cultivos regados por aguas de la Qda. Coralaque
++ Cultivos regados por aguas de Qda. Condorani (Sin influencia de Qda. Coralaque)
NM: Nivel Maximo en mg/kg según Codex Stan 193-2019
Alfalfa: Todo el producto que se comercializa después de eliminar las partes claramente descompuestas o marchitas
Maíz: El valor de NM (0,35 mg/kg) es referencial, este valor fue tomado del arroz, ya que pertenecen a la misma Familia de la especie (Posicion Taxonomica), ambas POACEAE.

Los resultados mostrados en la Tabla 6.110, presenta las concentraciones de metales totales que superan los niveles máximos, según Codex relacionado a las sustancias indeseables para alimento; en ese sentido, las muestras analizadas para cada metal se describen a continuación.

Maiz (*Zea mayz*)

La especie de cultivo analizada presenta 2 tratamientos; 1. Regados por las aguas de la Qda. Coralaque (TU-CULT6-H y TU-CULT7-H, TU-CULT7-R) y 2. Regadas por aguas de la Qda. Condorani (TU-CULT10-H, TU-CULT10-R).

Arsénico (As). Dichas muestras exceden las concentraciones de Arsénico (As) segun los niveles máximos que se listan en el Codex (0,35 mg/kg) como se detalla en la Figura 6.289 (a). Sin embargo, la diferencia de concentraciones entre ambas muestras (Qda. Coralque = 35 mg/kg y Qda. Condorani = 6,90 mg/kg) es considerable, llegando a ser 438,5 % mas que la muestra de la Qda. Coralaque.

Cadmio (Cd). Las concentraciones de Cadmio (Cd) en la muestra de maíz (TU-CULT7-H = 1,32 mg/kg), regadas por aguas de la Qda. Coralaque exceden los niveles máximos (0,4 mg/kg = valor referencial). Por oro lado, los cultivos regados por la Qda. Condorani (TU-CULT10-H = 0,06), no superan los niveles máximos, ver Figura 6.289 (b) según el Codex Stan 193-2019 (0,4 mg/kg) valor referencial del producto arroz.

Plomo (Pb). La concentración del metal Plomo (Pb) para las muestras de maíz, superan los niveles máximos detallados en las normas referenciales según el Codex (0,3 mg/kg) *se usó valores referenciales a las hojas de hortalizas*. Asimismo, la concentración en ambas muestras evidencia valores distintos, donde, la concentración de la muestra regada por aguas de la Qda. Coralaque, es mas alta que la muestra regada por las aguas de la Qda. Condorani como se presenta en la Figura 6.289 (c).

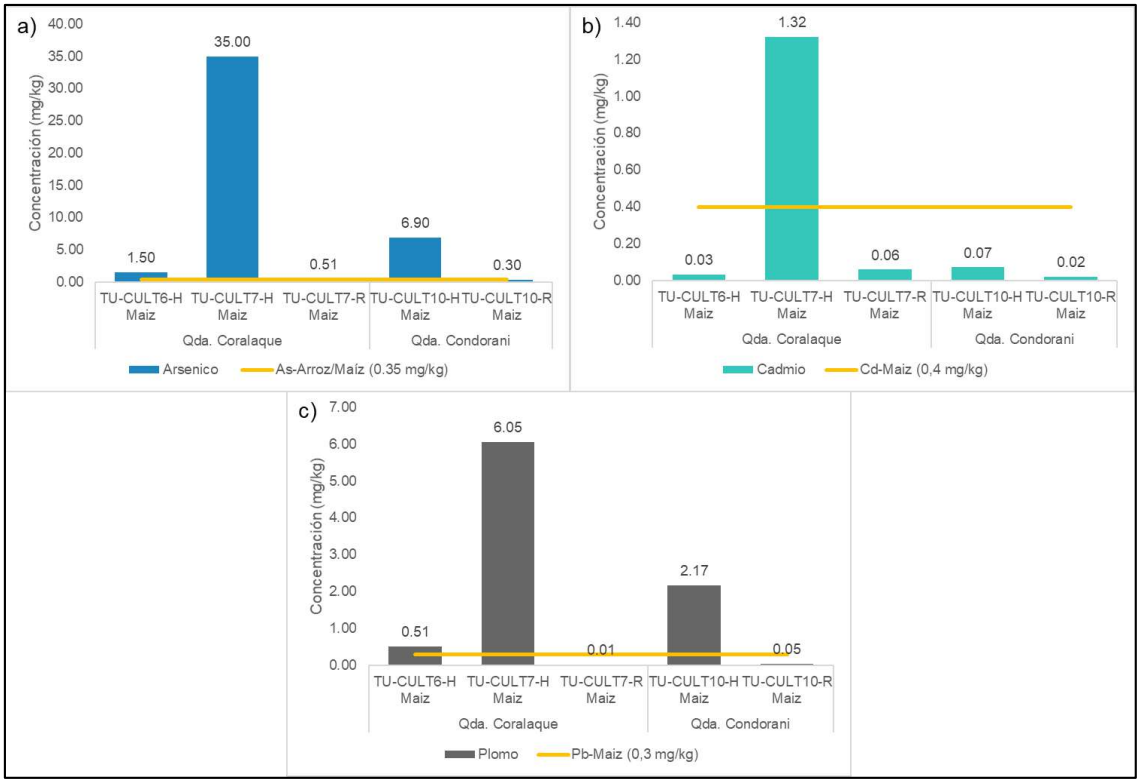


Figura 6.289. Niveles máximos del Codex Stan 193-2019 en Maíz (*Zea mayz*) sustancias indeseables para alimento en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas a) Arsenico (As).

Alfalfa (*Medicago sativa*)

La especie de cultivo analizada presenta 2 tratamientos; 1. Regados por las aguas de la Qda. Coralaque (TU-CULT5-H y TU-CULT5-R) y 2. Regadas por aguas de la Qda. Condorani (TU-CULT8-H, TU-CULT8-R).

Cadmio (Cd). Las muestras que son regadas por aguas de la Qda. coralaque exceden las concentraciones de Cadmio (Cd) segun los niveles máximos que se listan en el Codex alimentario 193/2019 (0,1 mg/kg) como se detalla en la Figura 6.290 (a). Sin embargo, la diferencia entre las concentraciones de ambas muestras (Qda. Coralque = 0,13 en hojas y 0,30 en raíces mg/kg) y (Qda. Condorani = 0,05 mg/kg en hojas y 0,02 mg/kg en raices) son considerablemente distintos, llegando a ser 160 % mas que la muestra de alfalfa (en las hojas) de la Qda. Condorani.

Plomo (Pb). Ambas muestras, que son regadas por aguas de la Qda. Coralaque y Qda. Condorani exceden las concentraciones de Cadmio (Cd) segun los niveles máximos que se listan en el Codex (0,3 mg/kg) como se detalla en la Figura 6.290 (b). Sin embargo, la diferencia entre las concentraciones de ambas muestras para la raíz, son considerablemente marcadas (Qda. Coralque = 7,73 mg/kg en raíces) y (Qda. Condorani = 0,10 mg/kg en raices), llegando a ser 7630 % mas que la muestra de alfalfa (en las raices) en la Qda. Condorani.

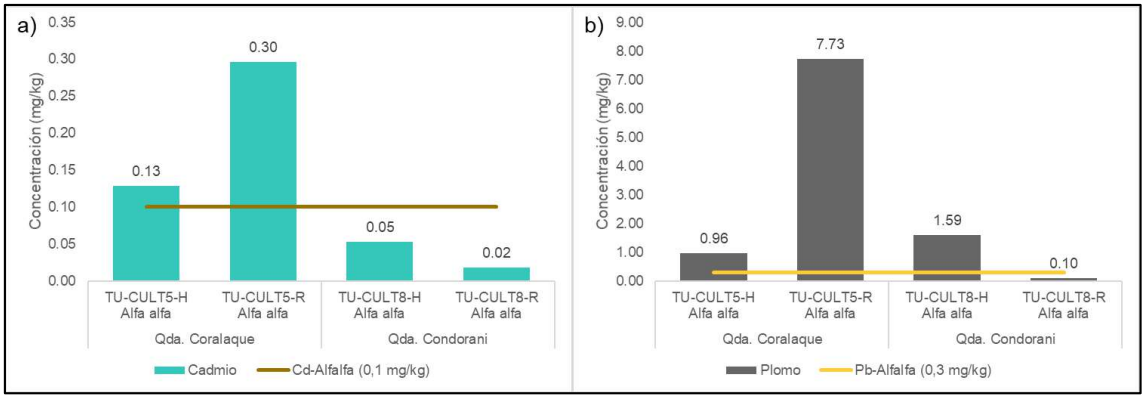


Figura 6.290. Niveles máximos del Codex Stan 193-2019 en Alfalfa y sustancias indeseables para alimento en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en Cadmio (Cd).

Zanahoria (*Daucus carota*)

Los resultados del cultivo analizado (muestra TU-CULT1-H y TU-CULT1-R), corresponde a zonas de cultivo regados por aguas de la Qda. Coralaque.

Cadmio (Cd). La concentración de Cadmio (Cd) en los tejidos (hojas y raíces) de la especie zanahoria (*Daucus carota*), superan los niveles máximos (0,1 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (a). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,1 mg/kg) y los resultados mostrados (0,27 mg/kg) para los tejidos en las hojas, evidencia una concentración que excede en 170 % los niveles máximos. Asimismo, en las raíces de zanahoria, excede la concentración según la norma referencial en 60 %.

Plomo (Pb). La concentración de Plomo (Pb) en los tejidos (hojas y raíces) de la especie zanahoria (*Daucus carota*), también superan los niveles máximos (0,1 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (b). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,1 mg/kg) y los resultados mostrados (0,60 mg/kg), para los tejidos en la raíz, evidencia una concentración que excede en 500 % los niveles máximos. Asimismo, en las hojas de zanahoria, excede la concentración según la norma referencial en 310 %.

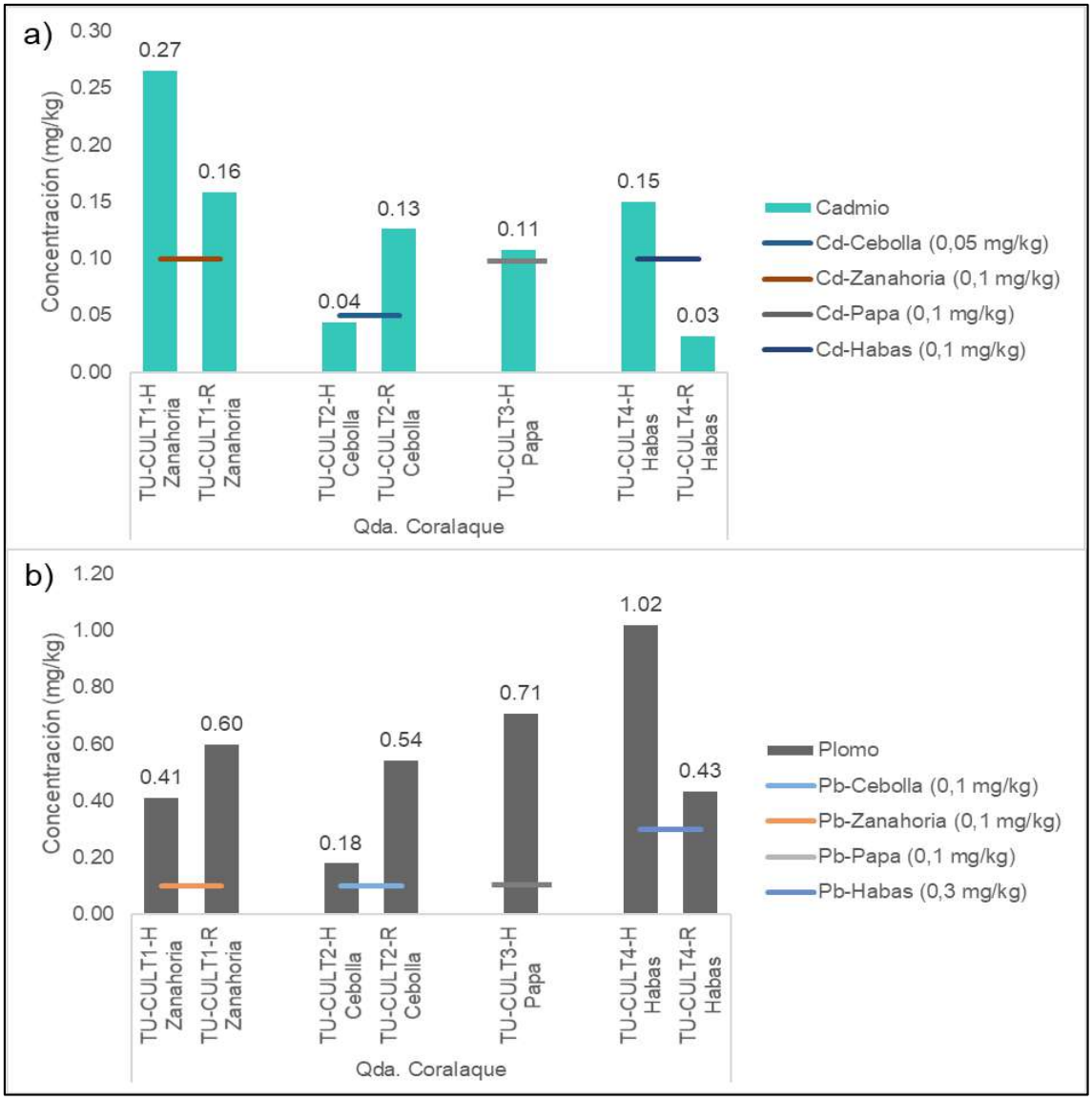


Figura 6.291. Niveles máximos del Codex Stan 193-2019 sustancias indeseables para alimento en la zona Tucari – Coralaque – CP Pachas en el metal Plomo (Pb)

Cebolla (*Allium cepa*)

Los resultados del cultivo analizado (muestra TU-CULT2-H y TU-CULT2-R), corresponde a zonas de cultivo regados por aguas de la Qda. Coralaque.

Cadmio (Cd). La concentración de Cadmio (Cd) en los tejidos (bulbo) de la especie cebolla (*Allium cepa*), superan los niveles máximos (0,1 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (a). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,1 mg/kg) y los resultados mostrados (0,13 mg/kg) para los tejidos en el bulbo de la cebolla, evidencia una concentración que excede en 30 % los niveles máximos. Por otro lado, en las hojas de cebolla, no excede la concentración según la norma referencial.

Plomo (Pb). La concentración de Plomo (Pb) en los tejidos (hojas y raíces) de la especie cebolla (*Allium cepa*), también superan los niveles máximos (0,1 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (b). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,1 mg/kg) y los resultados mostrados (0,54 mg/kg), para los tejidos en el bulbo, evidencia una concentración que excede en 440 % los niveles máximos. Asimismo, en las hojas de cebolla, excede la concentración según la norma referencial en 80 %.

Habas (*Vicia faba*)

Los resultados del cultivo analizado (muestra TU-CULT2-H y TU-CULT2-R), corresponden a zonas de cultivo regados por aguas de la Qda. Coralaque.

Cadmio (Cd). La concentración de Cadmio (Cd) en los tejidos (hojas) de la especie habas (*Vicia faba*), superan los niveles máximos (0,1 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (a). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,1 mg/kg) y los resultados mostrados (0,15 mg/kg) en los tejidos de las hojas, evidencia una concentración que excede en 50 % los niveles máximos. Por otro lado, en las raíces de las habas, no excede la concentración según la norma referencial.

Plomo (Pb). La concentración de Plomo (Pb) en los tejidos (hojas y raíces) de la especie habas (*Vicia faba*), también superan los niveles máximos (0,3 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex Stan 193-2019, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (b). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,3 mg/kg) y los resultados mostrados (1,02 mg/kg), para los tejidos en la hoja, evidencia una concentración que excede en 240 % los niveles máximos. Asimismo, en las raíces de las habas, excede la concentración según la norma referencial en 43,3 %.

Papa (*Solanum tuberosum*)

Los resultados del cultivo analizado (muestra TU-CULT3-H), corresponde a zonas de cultivo regados por aguas de la Qda. Coralaque.

Cadmio (Cd). La concentración de Cadmio (Cd) en los tejidos (hojas) de la especie papa (*Solanum tuberosum*), superan los niveles máximos (0,1 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (a). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,1 mg/kg) y los resultados mostrados (0,11 mg/kg) en los tejidos de las hojas, evidencia una concentración que excede en 10 % los niveles máximos.

Plomo (Pb). La concentración de Plomo (Pb) en los tejidos (hojas) de la especie papa (*Solanum tuberosum*), también superan los niveles máximos (0,1 mg/kg) detallado en la norma referencial según el Codex, tal como se evidencia en la Figura 6.291 (b). Asimismo, la proporción entre el nivel máximo según la norma referencial (0,1 mg/kg) y los resultados mostrados (0,71 mg/kg), para los tejidos en la hoja, evidencia una concentración que excede en 610 % los niveles máximos.

6.4.3. Fauna

6.4.3.1 Anfibios y reptiles

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de anfibios y reptiles realizada con las metodologías explicadas anteriormente.

a) Composicion y riqueza de especies

Como resultado de la evaluación herpetológica realizada en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque, se registraron 3 especies de anfibios distribuidos en 3 familias y géneros distintos; asimismo, 2 especies de reptiles representantes de la misma familia y género, los cuales se describen en la Tabla 6.111.

Tabla 6.111. Riqueza de anfibios y reptiles registrados durante las evaluaciones realizadas en la UF-Florencia Tucari y UH Coralaque

Clase	Orden	Familia	Especies	Nombre común	Tipo de registro*
Reptilia	Squamata	Liolaemidae	*Liolaemus tacnae*	Lagartija	V
			Liolaemus cf. *signifer*	Lagartija	V, RO
Amphibia	Anura	Bufonidae	*Rhinella spinulosa*	Sapo verrugoso	V
		Leptodactylidae	*Pleurodema marmoratum*	Rana marmoleada de cuatro ojos	V, RO
		Telmatobiidae	*Telmatobius marmoratus*	Rana acuática jaspeada	V

*V: Visual, RO: Registro Oportuno.

b) Abundancia de especies

Se obtuvieron 62 registros de anfibios y reptiles, entre adultos y juveniles, durante las evaluaciones, siendo los reptiles los representantes con mayores abundancias (47 registros). *Liolaemus* cf. *signifer* fue la especie más abundante en toda el área de evaluación, con una abundancia relativa de 72,58 %. Cabe señalar que las abundancias presentadas no incluyen los registros oportunos, ya que estas observaciones solo deben ser incluidas para las evaluaciones cualitativas (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). En la Figura 6.292 se detallan las abundancias relativas de todas las especies de anfibios y reptiles registradas durante las evaluaciones.

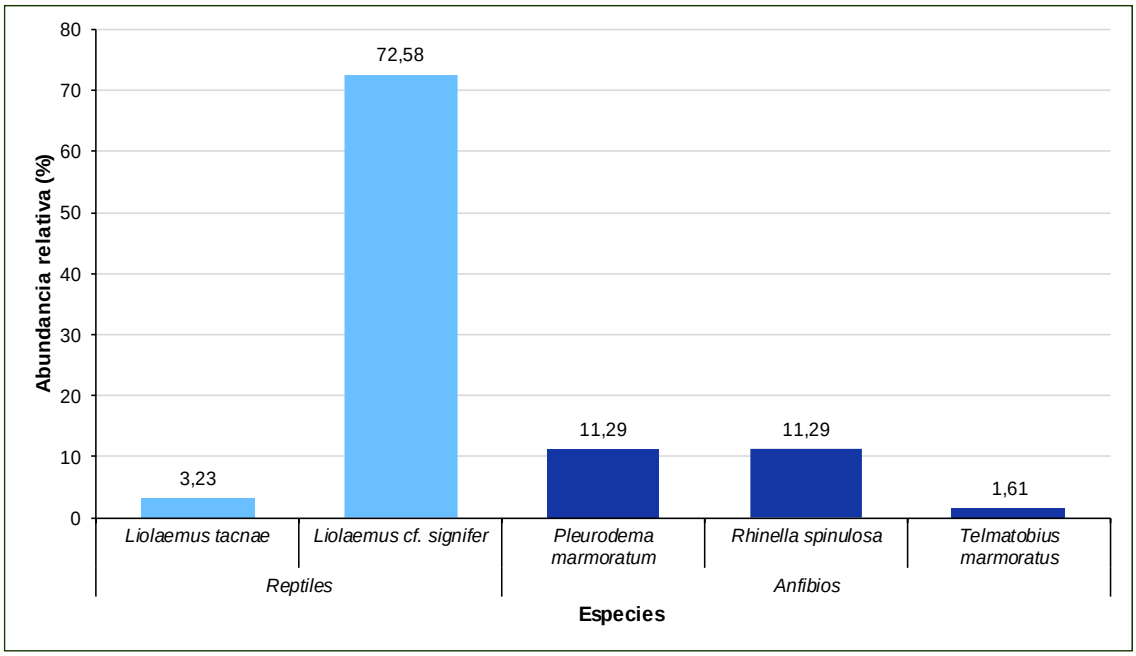


Figura 6.292. Abundancia relativa de las especies de anfibios y reptiles registrados en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque

Cabe señalar que durante las evaluaciones se registraron abundantes renacuajos de la especie *Rhinella spinulosa* en pozas formadas por la filtración de agua del río Coralaque y a lo largo todo de su recorrido. Asimismo, renacuajos de la especie *Telmatobius marmoratus* en el bofedal ubicado en las inmediaciones del río Queullirijahuiri. Debido al tipo de desarrollo que estas presentan, no fueron considerados en la abundancia total; sin embargo, su presencia aporta datos importantes respecto a la presencia de estas especies en el área de evaluación.

c) Curva de acumulación de especies

Debido a la reducida cantidad de especies registradas durante la evaluación, se optó por realizar una curva de acumulación de especies que represente a los anfibios y reptiles presentes en conjunto; asimismo, se eligió el modelo exponencial negativo como método de análisis debido a la reducida extensión del área evaluada donde todas las especies tienen altas probabilidades de ser registradas (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

Los resultados obtenidos mediante el modelo exponencial negativo para los anfibios y reptiles registrados en las 68 evaluaciones mostraron que las especies esperadas en este estudio coinciden con el número de especies observadas en campo (5 especies), obteniéndose los parámetros de la función (a= 0,202 y b= 0,039).

El valor de la asíntota de la curva, que representa la riqueza máxima esperada de anfibios y reptiles durante las evaluaciones, fue de aproximadamente de 5 especies (a/b); por lo cual se puede deducir que, mediante el esfuerzo realizado, se ha representado a toda la comunidad de especies presentes en el área del proyecto; asimismo, el coeficiente de determinación R^2 tuvo un valor de 0,977 que representa un ajuste aceptable al modelo exponencial negativo cercano a 1 (Figura 6.293).

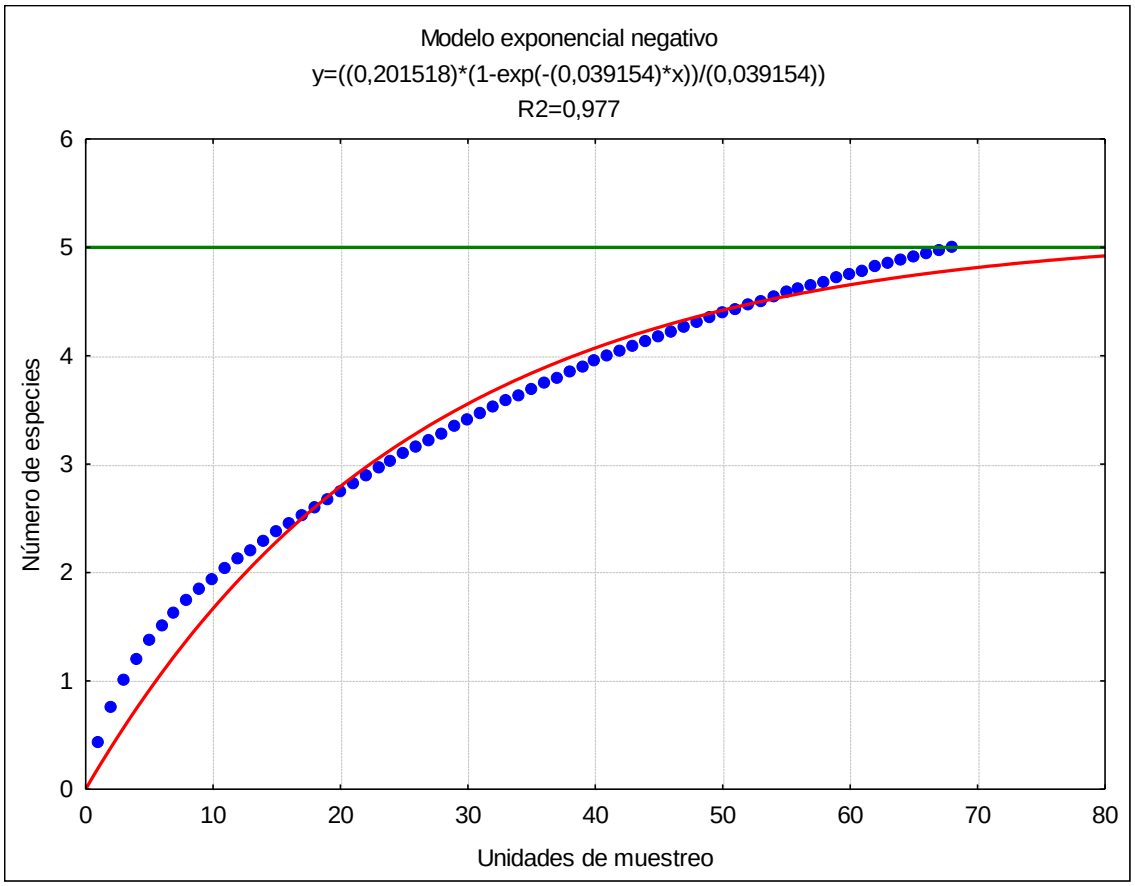


Figura 6.293. Curva de acumulación de especies de anfibios y reptiles en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque

d) Composición y abundancia por zona de evaluación

Se determinaron 4 zonas (Queullirijahuiri, Margaritani, Aruntaya y Titire-Coralaque) con la finalidad de evaluar los anfibios y reptiles presentes en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque, distribuyendose unidades de evaluación en los distintos tipos de hábitats, de modo que se pueda obtener una muestra representativa de las poblaciones presentes en el área de estudio.

Los resultados muestran una mayor riqueza de anfibios y reptiles en la zona Titire-Coralaque (3 especies); mientras que las zonas Aruntaya, Queullirijahuiri y Margaritani registraron la presencia de 1 especie de anfibio y reptil. La especie *Liolaemus* cf. *signifer* estuvo presente en las 4 zonas evaluadas, siendo el representante de mayor abundancia.

A continuación, se presentan de forma detallada las riquezas y abundancias de las especies de anfibios y reptiles registrados en cada zona de evaluación.

- **Zona Queullirijahuiri**

Esta zona abarca la parte alta del rio Queullirijahuiri, cuyas aguas son alimentadas por bofedales de gran extensión en todo su recorrido, los cuales no presentan una interacción directa con los componentes mineros de la UF Florencia-Tucari; considerándose esta zona como un blanco que permite la comparación de los resultados obtenidos. En ese sentido, durante las evaluaciones realizadas (9 transectos en hábitats acuáticos y 4 búsquedas por encuentros visuales) se registró la presencia del anfibio *Telmatobius marmoratus* en sus diferentes estadios de desarrollo (renacuajo y adulto) en los cuerpos de agua del bofedal.

Asimismo, los pajonales y afloramientos rocosos circundantes permitieron la presencia de la lagartija *Liolaemus* cf. *signifer* en mayor abundancia. En la Figura 6.294 se detallan los valores de riqueza y abundancia de especies de anfibios y reptiles registrados en la zona de evaluación.

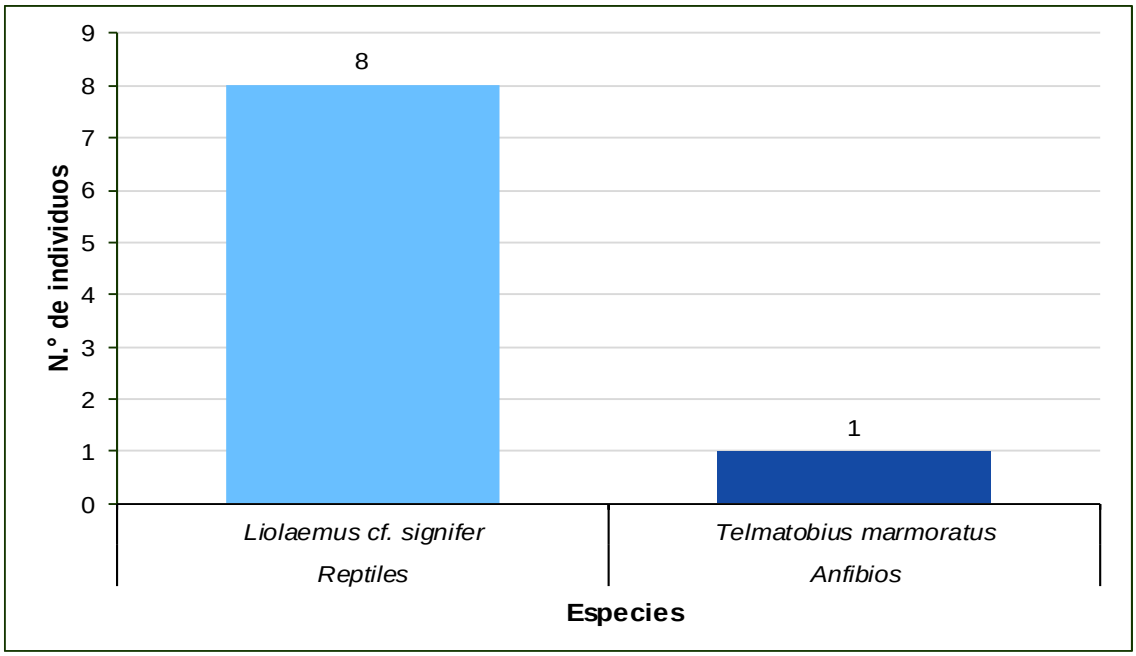


Figura 6.294. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Queullirijahuiri

- **Zona Margaritani**

Esta zona de evaluación corresponde al área de influencia de la UM Tucari, la cual presenta un ecosistema típico de puna altoandina, con presencia de bofedales de diferentes tamaños, césped de puna, pajonales y afloramientos rocosos; destacando las quebradas Margaritani y Apostoloni, aportantes principales en la formación del rio Margaritani. En las inmediaciones de esta zona se realizaron 23 evaluaciones (8 transectos en hábitats acuáticos y 15 búsquedas por encuentros visuales), las cuales estuvieron enfocadas en los cuerpos de agua presentes y en las formaciones vegetales cercanas, teniendo a la lagartija *Liolaemus* cf. *signifer* como la especie más abundante en toda el área; no obstante, se logró el registro del anfibio *Pleurodema marmoratum* en las inmediaciones de la quebrada Margaritani. En la Figura 6.295 se detallan los valores de riqueza y abundancia de especies de anfibios y reptiles registrados en la zona de evaluación.

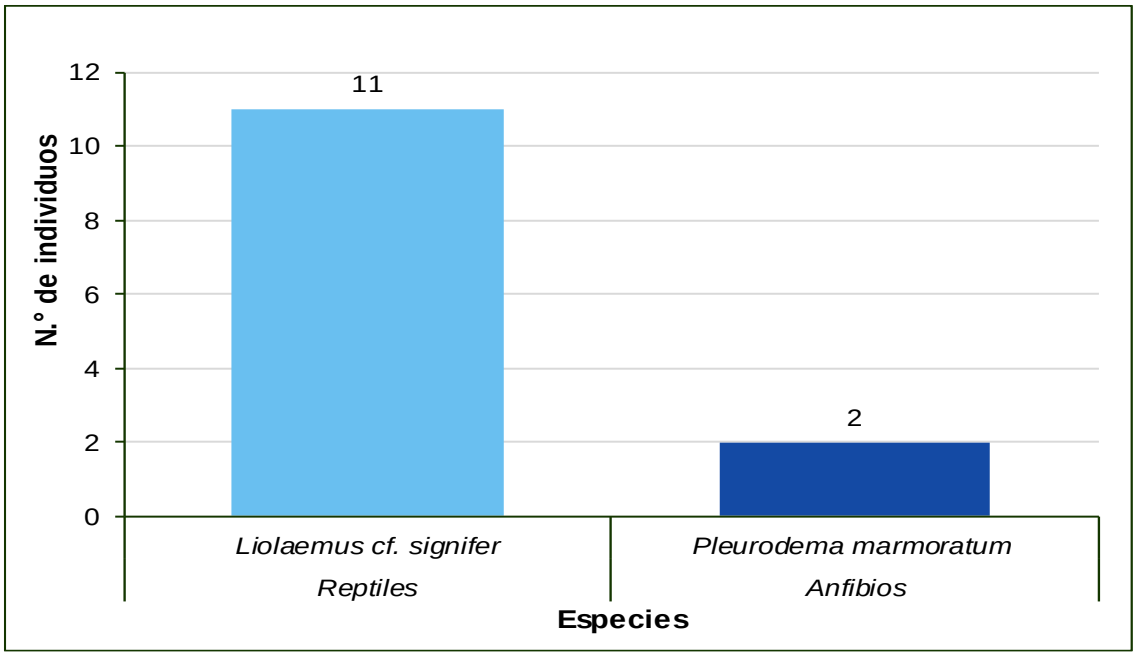


Figura 6.295. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Margaritani

- **Zona Aruntaya**

Esta zona comprende la unión de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, donde se evaluaron 3 transectos en hábitats acuáticos y 1 búsqueda por encuentro visual, registrando la presencia de las especies *Pleurodema marmoratum* y *Liolaemus* cf. *signifer*, las cuales estuvieron restringidas a los hábitats de bofedal y pajonal respectivamente. Asimismo, se evaluó una laguna ubicada en la parte media del río Queullirijahuiri, mediante 1 transecto en hábitat acuático y 4 búsquedas por encuentros visuales, que permitieron el registro de individuos de la especie *Liolaemus* cf. *signifer* ocupando diferentes hábitats. En la figura 6.296 se presentan las abundancias de las especies de anfibios y reptiles registradas en esta zona.

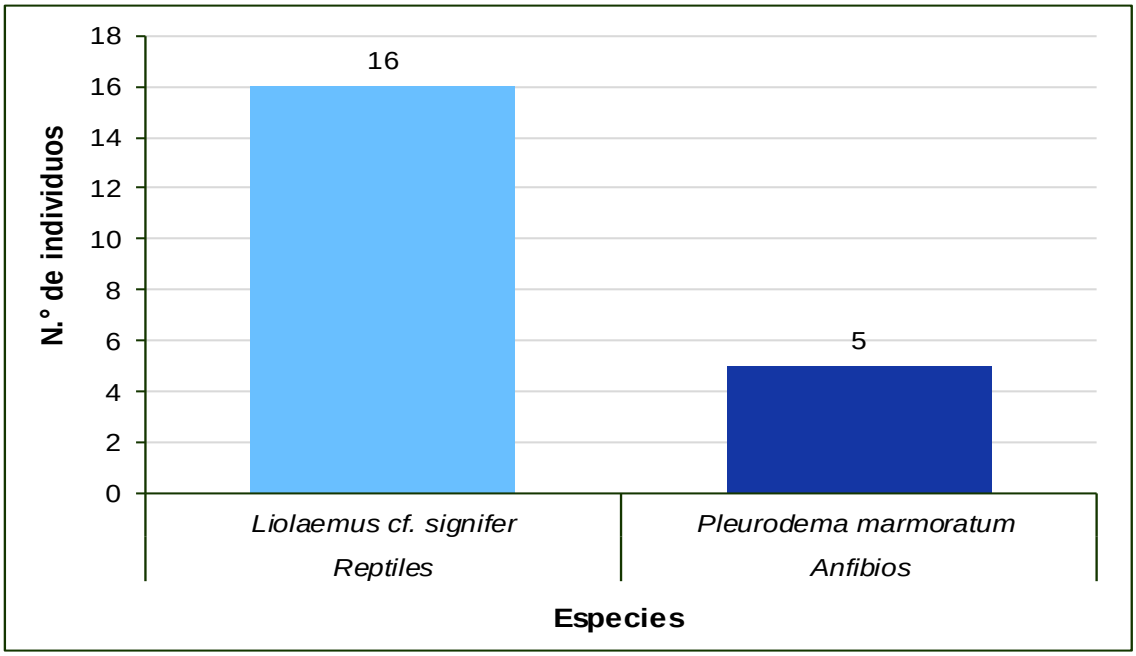


Figura 6.296. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Aruntaya

- **Zona Titire-Coralaque**

Esta zona abarca los recorridos del río Titire, desde su unión con el río Aruntaya, y el río Coralaque, en las cercanías del centro poblado Pachas; para lo cual se establecieron 17 transectos en hábitats acuáticos y 4 búsquedas por encuentros visuales, distribuidos a lo largo de ambos ríos. Como resultado de las evaluaciones, se registró la presencia del anfibio *Rhinella spinulosa* en sus diferentes estadios de desarrollo (renacuajos, juveniles y adultos) y el reptil *Liolaemus tacnae* en hábitats cercanos a la orilla del río Coralaque; mientras que la largatija *Liolaemus* cf. *signifer* estuvo restringida a lo largo del río Titire. En la figura 6.297 se presentan las abundancias de las especies de anfibios y reptiles registradas en esta zona.

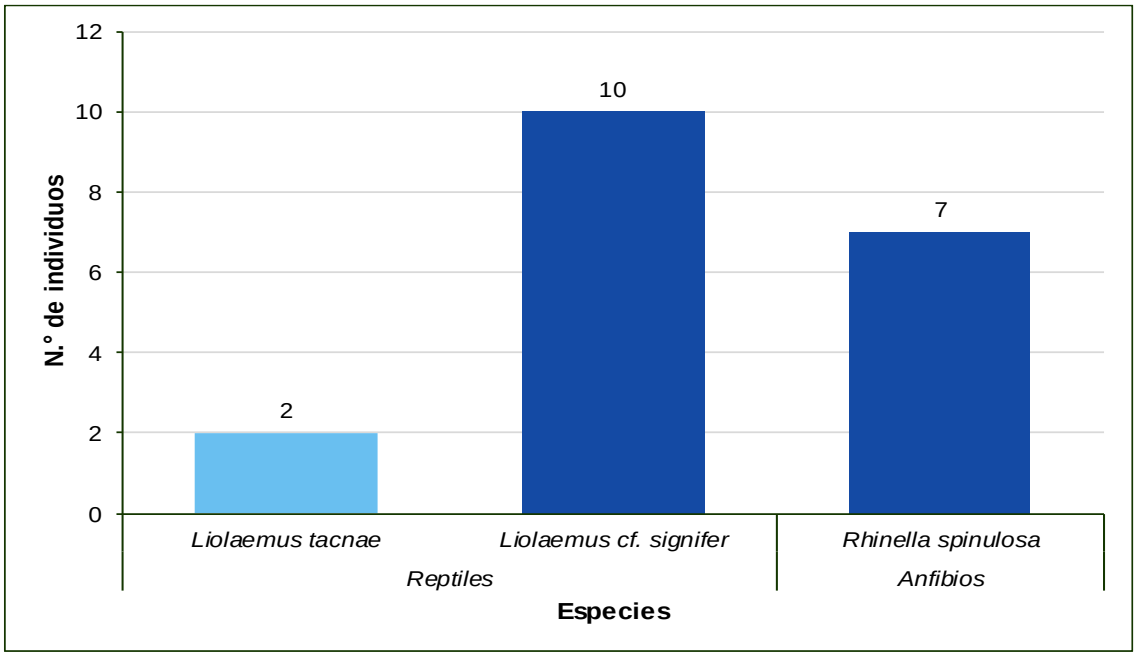


Figura 6.297. Riqueza y abundancia de anfibios y reptiles en la Zona Titire-Coralaque

e) Diversidad

La zona de evaluación Titire – Coralaque presentó la mayor riqueza de anfibios y reptiles con 3 especies, presentando unos números efectivos o números de Hill con valores N1= 2,567 y N2= 2,359; mientras que, las zonas Aruntaya, Queullirijahuiri y Margaritani reportaron similares valores de diversidad (Tabla 6.112). Es importante indicar, que N1, indica el número de las especies abundantes, mientras que el N2, indica el número de especies muy abundantes.

Tabla 6.112. Valores de diversidad de las anfibios y reptiles por zona evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Número de Hill	Titire-Coralaque	Aruntaya	Queullirijahuiri	Margaritani
N0	3	2	2	2
N1	2,567	1,731	1,417	1,536
N2	2,359	1,569	1,246	1,352

N0: Número de especies, N1: Número de especies abundantes, N2: Número de especies muy abundantes

Los resultados muestran diferencias en las abundancias de las zonas Aruntaya, Queullirijahuiri y Margaritani, a pesar de contar con el mismo número de especies. Cabe señalar que las especies *Pleurodema marmoratum* y *Liolaemus* cf. *signifer* fueron registradas en las zonas Aruntaya y Margaritani; en cambio la zona Queullirijahuiri presentó

en sus inmediaciones a las especies *Telmatobius marmoratus* y *Liolaemus* cf. *signifer* (Figura 6.298).

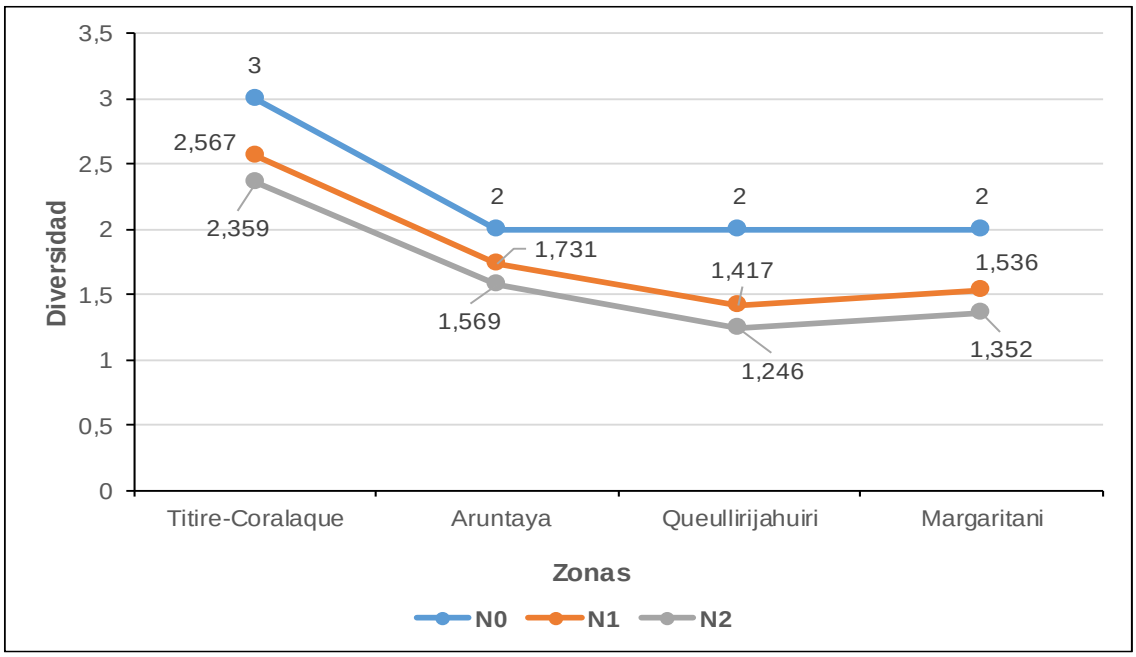


Figura 6.298. Diversidad de especies de anfibios y reptiles en las zonas evaluadas

f) Especies incluidas en categorías de conservación, endémicas o migratorias registradas en el área de estudio

Los resultados, muestran que, de las 5 especies registradas durante las evaluaciones, el anfibio *Telmatobius marmoratus* y la lagartija *Liolaemus tacnae* se encuentran en la categoría de Vulnerable (VU) por el Estado Peruano (D.S. N.° 004-2014-MINAGRI); mientras que, la IUCN (2020) las incluye en las categorías de Vulnerable (VU) y Casi Amenazado (NT), respectivamente. Asimismo, la lagartija *Liolaemus* cf. *signifer* se encuentra bajo la categoría de Casi Amenazado (NT) por la IUCN (2020). Respecto al endemismo, la especie *Liolaemus tacnae* presenta una distribución restringida a los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna; en tanto que, el resto de las especies registradas presentan una distribución geográfica amplia que abarca zonas andinas de Perú, Argentina, Bolivia y Chile. No se registraron especies de anfibios y reptiles incluidas en los apéndices CITES (2019). Los detalles se muestran en la Tabla 6.113.

Tabla 6.113. Lista de especies de anfibios y reptiles incluidos en categorías de conservación o endémicos registradas en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque

Familia	Especies	Nombre común	CITES	IUCN	D.S. 004-2014-MINAGRI	Especies endémicas
Liolaemidae	*Liolaemus tacnae*	Lagartija	-	NT	VU	X
	Liolaemus cf. *signifer*	Lagartija	-	NT	-	-
Telmatobiidae	*Telmatobius marmoratus*	Rana acuática jaspeada	-	VU	VU	-

NT: Casi Amenazado; VU: Vulnerable

g) Usos actuales y potenciales de los anfibios y reptiles

Los pobladores de las comunidades cercanas a la UF Florencia-Tucari mencionan el uso de la especie *Telmatobius marmoratus* como fuente de alimento tradicional; sin embargo, en

los últimos años las poblaciones de estas ranas se han reducido drásticamente, haciendo difícil su búsqueda y captura.

h) Metales en tejidos de anfibios y reptiles

Con la finalidad de conocer el posible impacto de las actividades de la UF Florencia-Tucari sobre las comunidades de anfibios y reptiles, se realizó el análisis de metales totales y cianuro en muestras de tejidos (músculo e hígado) obtenidas durante las evaluaciones realizadas, distinguiendo aquellas zonas que se encuentran cercanas a la unidad minera (zonas Queullirijahuiri, Margaritani y Aruntaya) y las que involucran alguna afectación en la UH Coralaque (zona Titire - Coralaque).

Debido a las diferencias en los tipos de hábitats utilizados por las especies de anfibios y reptiles, las muestras fueron analizadas de forma separada, teniendo como referencia aquellos metales que excedieron los estándares de calidad ambiental en las matrices relacionadas directamente a estas especies (agua superficial y sedimento). Los metales analizados fueron: Arsénico (As), Cobalto (Co), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). En el Anexo A.1 se encuentra el detalle de los resultados de todos los parámetros evaluados.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de las muestras de tejido de los anfibios y reptiles colectados en cada zona de evaluación.

- **Anfibios**

Respecto los anfibios presentes en las zonas cercanas a la UF Florencia-Tucari, los resultados muestran una mayor concentración de los metales arsénico (0,7491 mg/kg), cadmio (0,2135 mg/kg), cobre (6,005 mg/kg), plomo (0,9673 mg/kg) y zinc (28,72 mg/kg) en los tejidos colectados de la especie *Pleurodema marmoratum* (TU-HE-T5) dentro de la UF Florencia-Tucari (zona Margaritani), a diferencia de la muestra de la misma especie (AR-HE-RO2) colectada en la zona Aruntaya y del anfibio *Telmatobius marmoratus* (BL-HE-T1), cuya muestra fue colectada en el bofedal de gran extensión ubicado en la parte alta del río Queullirijahuiri (zona Queullirijahuiri). Asimismo, la concentración de cianuro en las muestras evaluadas fue mayor en la zona Margaritani (6,501 mg CN/kg) (Figura 6.299).

El anfibio *Rhinella spinulosa*, registrado en la zona Titire – Coralaque, presentó marcadas diferencias entre los diferentes tipos de muestras analizadas. La concentración de los metales arsénico (60,01 mg/kg), cadmio (0,37 mg/kg) y cobre (89,11 mg/kg) fue mayor en la muestra de tejido correspondiente al juvenil de esta especie (CO-HE-V6); mientras que, la concentración de cobalto (5,26 mg/kg) fue mayor en los renacuajos (Co-He-V1) presentes en los márgenes del río Coralaque. Por otro lado, los metales plomo y zinc registraron concentraciones similares entre las muestras de tejido del juvenil y los renacuajos. Cabe señalar que el espécimen encontrado muerto (CO-HE-V11) presentó concentraciones menores en los metales analizados (Figura 6.300)

Los resultados respecto a la concentración de cianuro en los representantes de la especie *Rhinella spinulosa* fue considerablemente superior en las muestras de tejido del juvenil y especimen muerto (7,56 y 4,951 mg CN/kg respectivamente); mientras que, los renacuajos registraron concentraciones menores a 0,036 mg CN/kg (Figura 6.301).

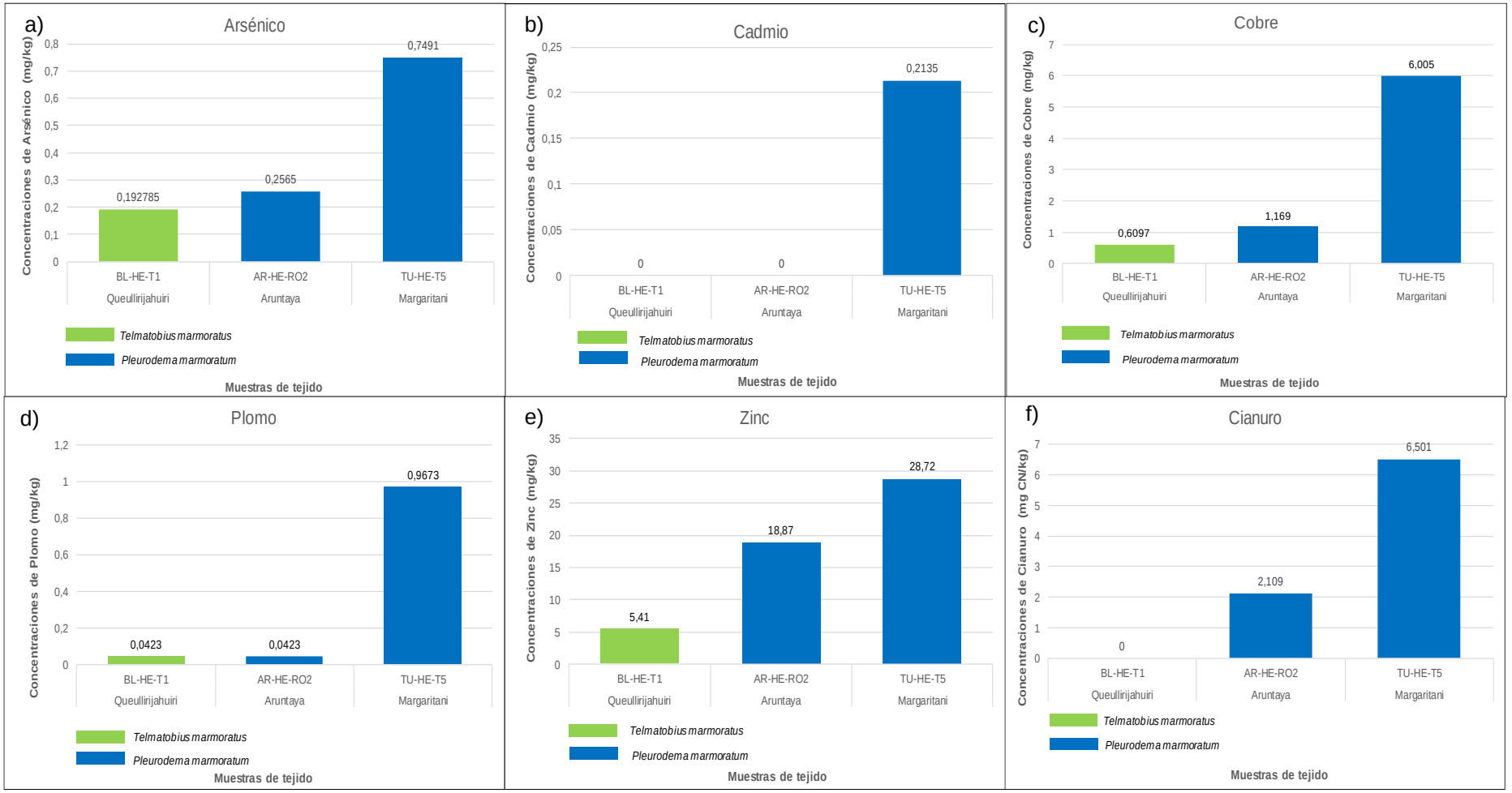


Figura 6.299. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de anfibios las zonas aledañas a la UF Florencia-Tucari: a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) plomo, e) Zinc y f) cianuro.

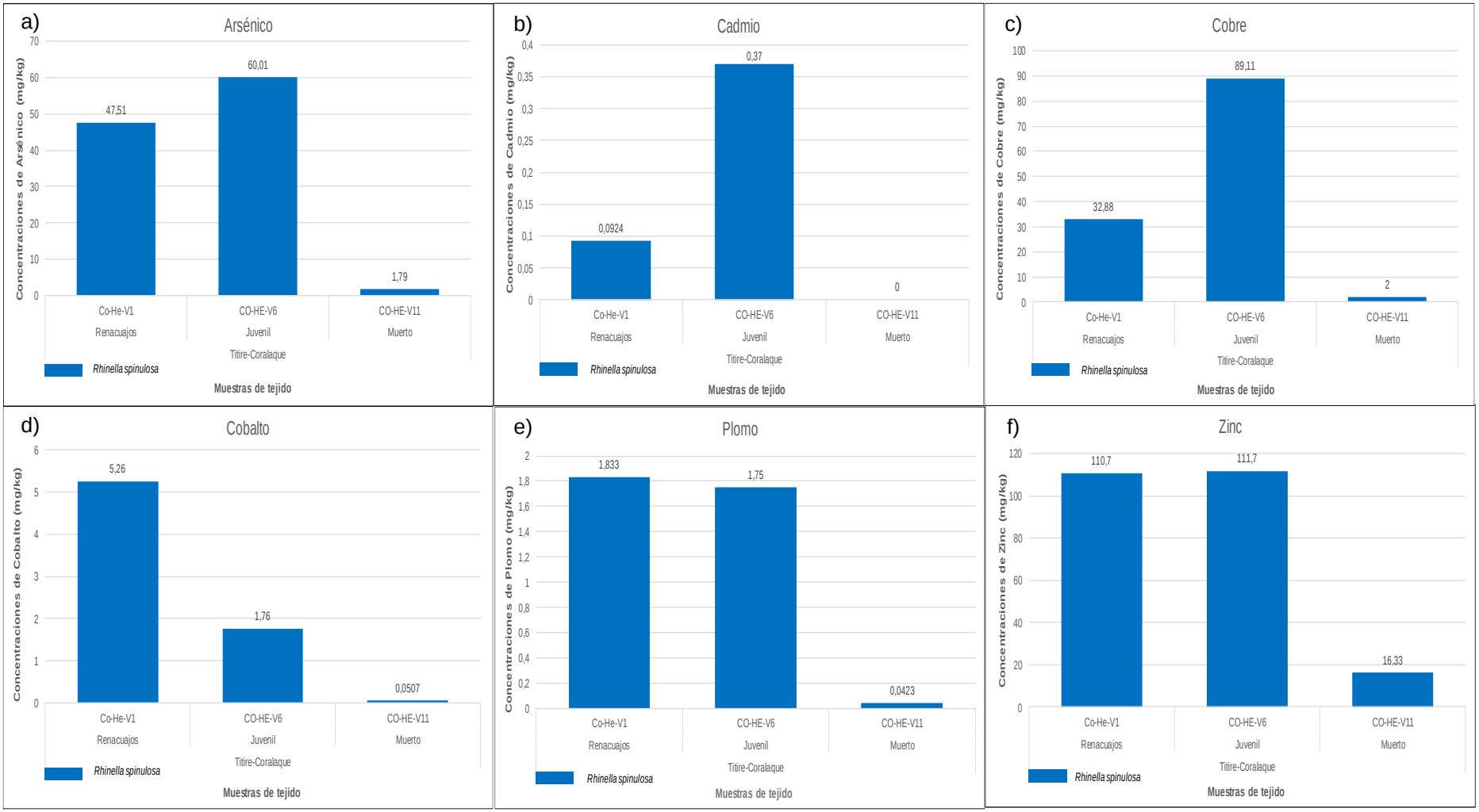


Figura 6.300. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de anfibios la zona Titire - Coralaque: a) arsénico, b) cadmio, c) cobre, d) cobalto, e) plomo y f) zinc.

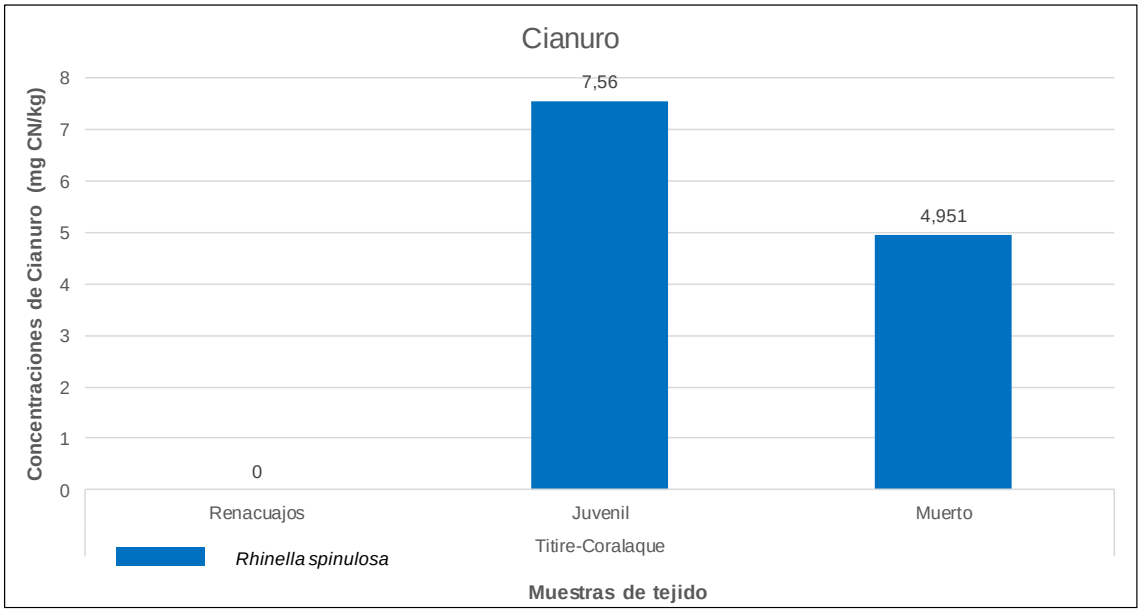


Figura 6.301. Concentraciones de cianuro en las muestras de tejido de anfibios presentes en la zona Titire – Coralaque

- **Reptiles**

Las muestras de tejido correspondiente a la especie *Liolaemus* cf. *signifer* presentaron concentraciones de metales que variaron de acuerdo a cada zona de evaluación. Los valores de arsénico en las muestras colectadas en la zona Queullirijahuiri (BL-HE-V3/M1, BL-HE-V3/M2 y BL-HE-V4) estuvieron entre los rangos de 0,2462 y 0,8473 mg/kg; mientras que, las 14 muestras de la zona Margaritani presentaron valores desde 0,0461 hasta 0,2372 mg/kg. Por su parte, los reptiles registrados en la zona Aruntaya (9 muestras) presentaron concentraciones que variaron desde 0,0461 hasta 0,1342 mg/kg.

En el caso del cadmio, los resultados muestran concentraciones de 0,0924 mg/kg en 4 muestras de reptiles presentes en la zona Margaritani, asi como en las muestras BL-HE-V3/M1 y BL-HE-V5/M3, pertenecientes a las zonas Queullirijahuiri y Aruntaya respectivamente. Los valores del cobalto por su parte estuvieron presentes en la mayoría de las muestras de reptiles evaluados, con una concentración promedio de 0,0507 mg/kg; no obstante, la muestra TU-HE-V2/M2 presentó un valor de 0,0799 mg/kg.

Las concentraciones de cobre en las muestras analizadas de *Liolaemus* cf. *signifer* no presentaron diferencias entre las zonas evaluadas. Los valores estuvieron desde 0,3363 hasta 1,24 mg/kg en la zona Margaritani; mientras que, las muestras analizadas de la zona Aruntaya presentaron valores desde 0,4752 hasta 0,9082 mg/kg. Por su parte, los reptiles registrados en la zona Queullirijahuiri presentaron concentraciones que variaron desde 0,7336 hasta 0,8301 mg/kg.

Con relación al plomo, las muestras de reptiles analizadas en la zona Margaritani presentaron valores máximos de 0,3988 mg/kg; mientras que, en la zona Queullirijahuiri se registraron concentraciones de 0,0423 hasta 0,1097 mg/kg. Asimismo, las concentraciones de las muestras colectadas en la zona Aruntaya se encontraron entre los valores desde 0,0423 hasta 0,1918 mg/kg.

El análisis de zinc en los tejidos de reptiles muestra concentraciones que variaron desde 10,2 hasta 29,89 mg/kg en la zona Margaritani; mientras que, los valores en la zona Queullirijahuiri se encuentran desde 12,11 hasta 34,48 mg/kg. Por otro lado, la zona Aruntaya presentó valores desde 9,76 hasta 27,66 mg/kg. Los resultados de las concentraciones de metales en las muestras de reptiles registrados en las zonas aledañas a la UM Tucari se presentan en las Figuras 6.302 y 6.303.

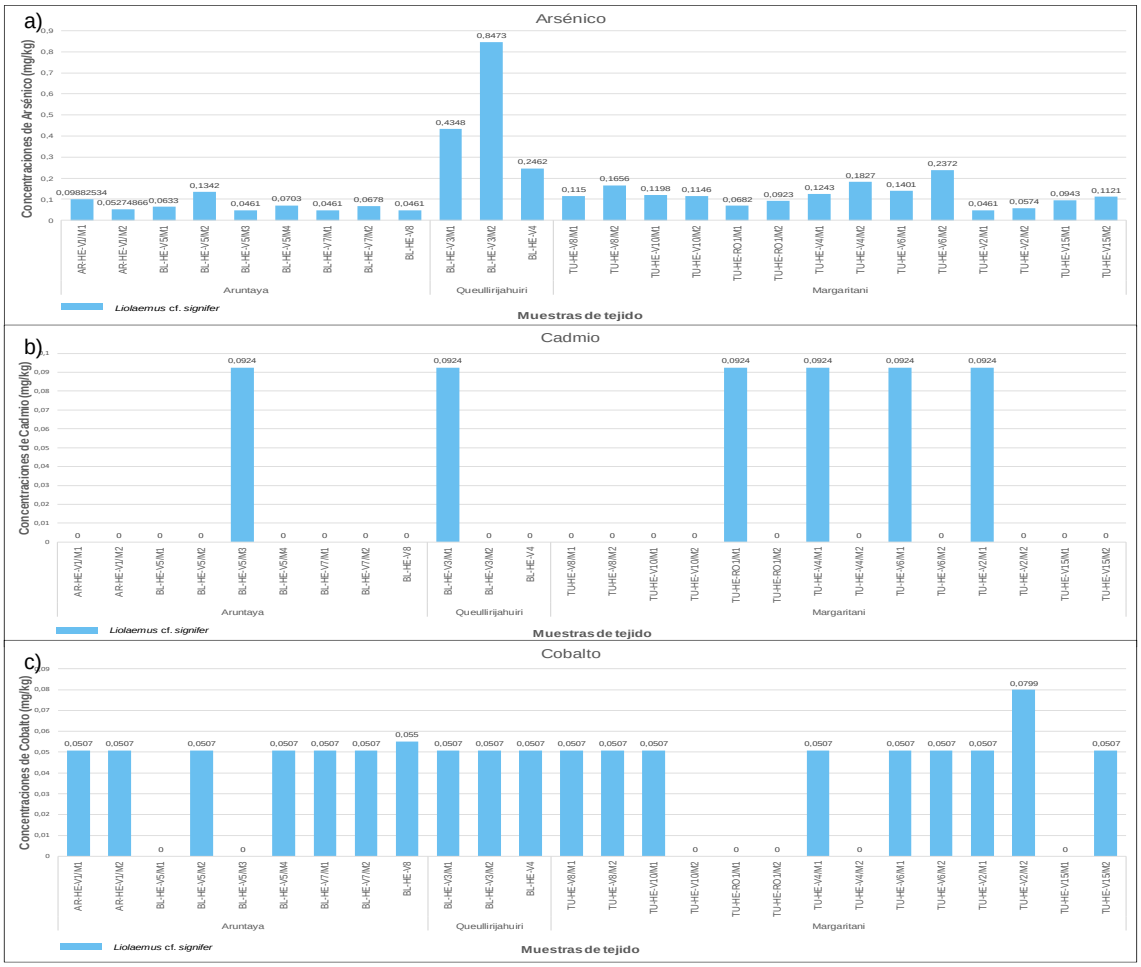


Figura 6.302. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de reptiles en las zonas aledañas a la UF Florencia -Tucari: a) arsénico, b) cadmio y c) cobalto



Figura 6.303. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de reptiles en las zonas aledañas a la UF Florencia-Tucari Tucari: a) cobre, b) plomo y c) zinc.

La muestra TU-HE-V12, correspondiente al especimen muerto de *Liolaemus* cf. *signifer* resgistrado en la zona Margaritani, presentó concentraciones elevadas de zinc (78,88 mg/kg), plomo (7,25 mg/kg) y cianuro (6,49 mg/kg) (Figura 6.304).

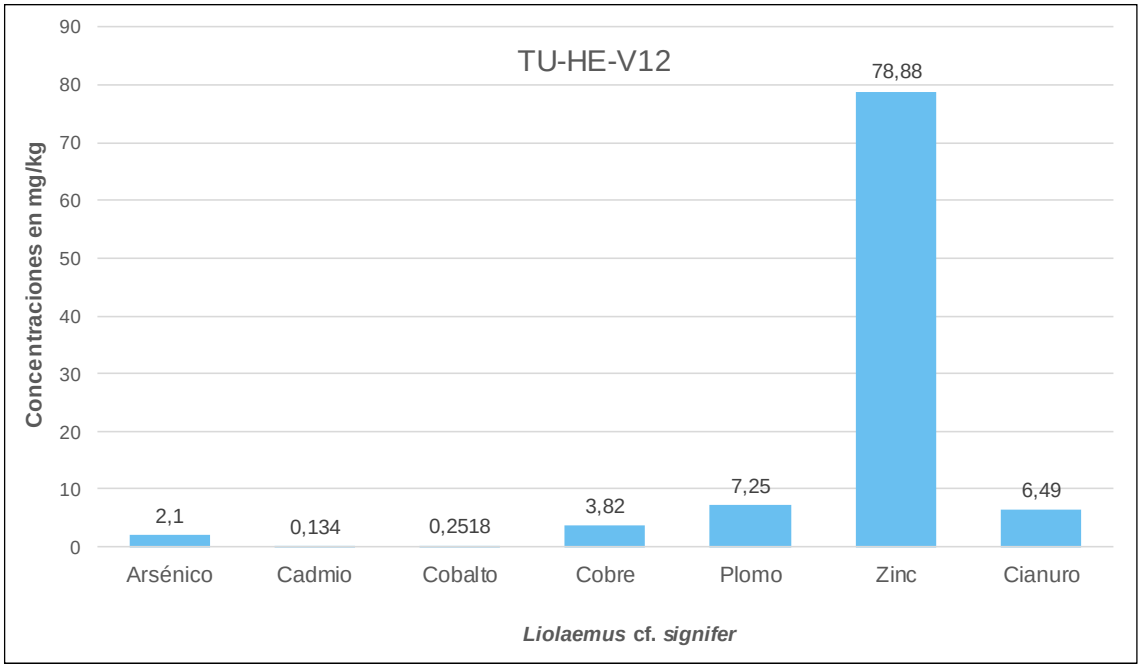


Figura 6.304. Concentraciones de metales y cianuro reportadas en las muestras de tejido del reptil *Liolaemus* cf. *signifer* (TU-HE-V12)

En la zona de evaluación Titire – Coralaque se analizaron las muestras de tejido de las especies *Liolaemus tacnae* (Co-He-V2) y *Liolaemus* cf. *signifer* (HE-V1, Ti-HE-V2/M1 y Ti-HE-V2/M2), presentando diferencias significativas en las concentraciones de metales analizados. Los valores de los metales arsénico, cadmio, cobalto y plomo fueron mayores en las muestras de tejido de la especie *Liolaemus* cf. *signifer*; mientras que las concentraciones del cobre y zinc presentaron valores simliares entre ambas especies de lagartijas (Figura 6.305). Cabe señalar que las muestras de *Liolaemus* cf. *signifer* fueron colectadas cerca a la confluencia de los ríos Aruntaya y Titire, a diferencia de la muestra de *Liolaemus tacnae*, que fue colectada en la parte baja del río Coralaque.

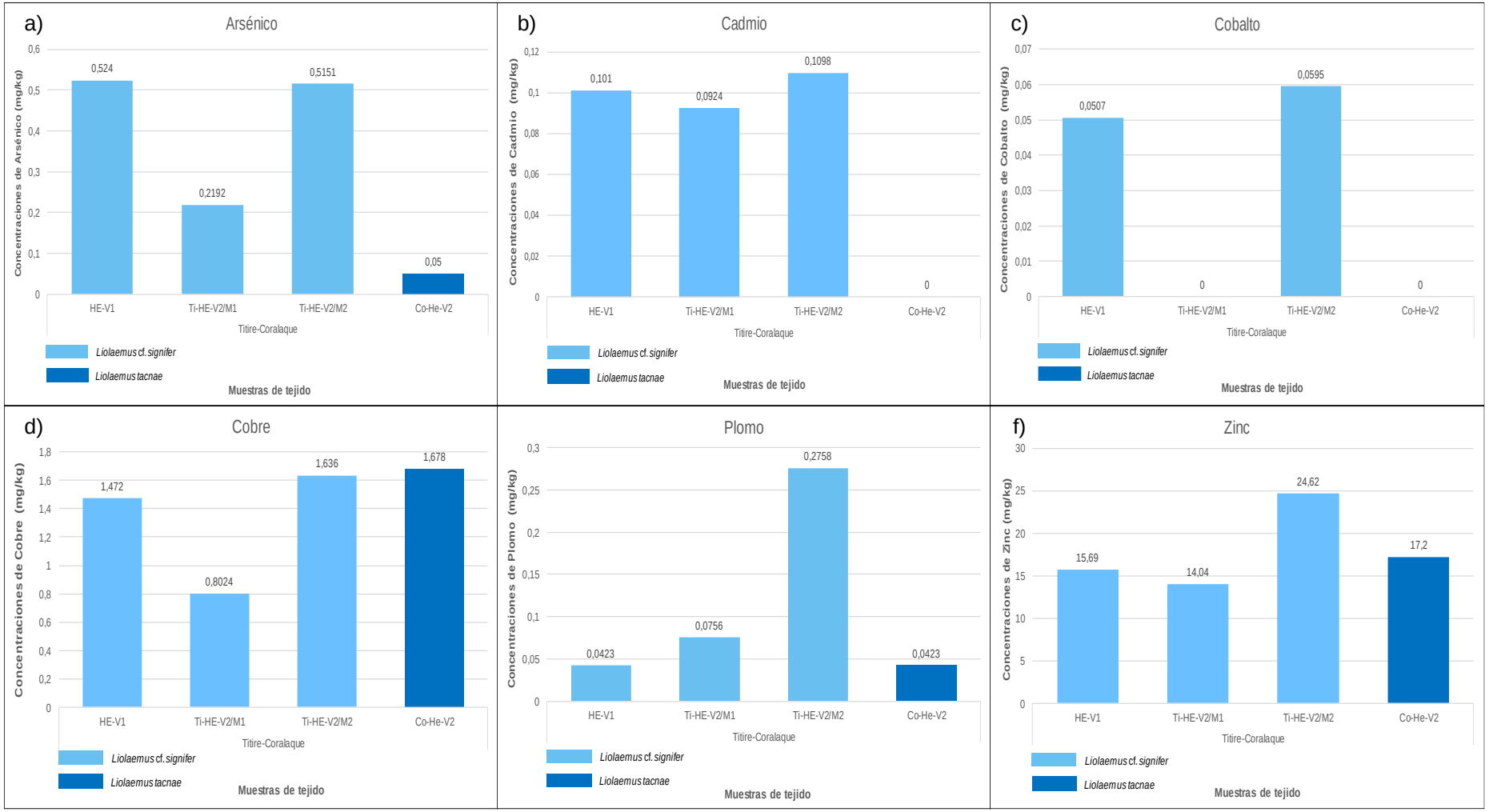


Figura 6.305. Concentraciones de metales reportadas en las muestras de tejido de reptiles la zona Titire - Coralaque: a) arsénico, b) cadmio, c) cobalto, d) cobre, e) plomo y e) zinc

Respecto a la presencia de cianuro en los reptiles analizados, los resultados muestran mayores concentraciones en aquellas muestras presentes en las zonas Margaritani y Queullirijahuiri, a diferencia de lo valores encontrados en las zonas Aruntaya y Titire-Coralaque (Figura 6.306).

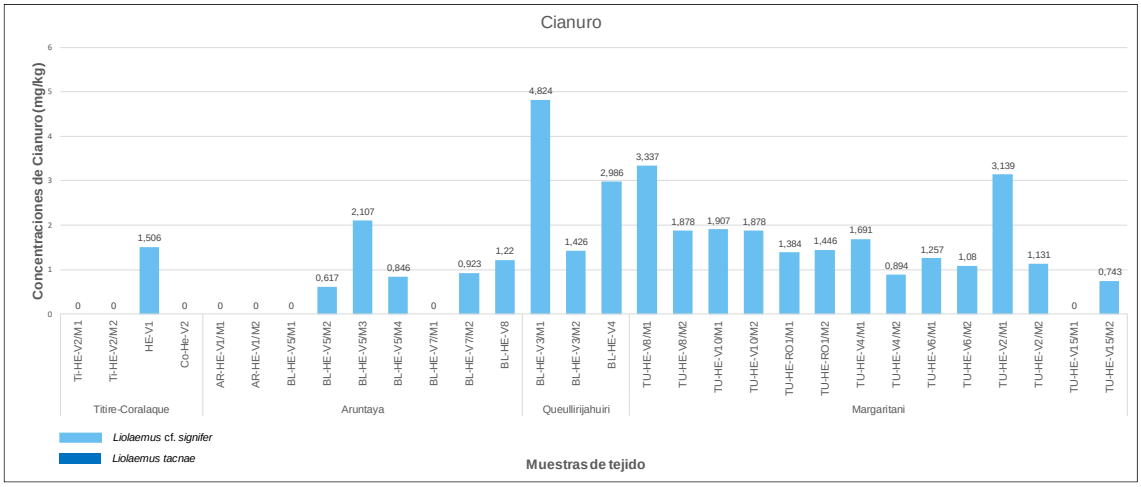


Figura 6.306. Concentraciones de cianuro en las muestras de tejido de reptiles presentes en las zonas evaluadas en la UF Florencia-Tucari y UH Coralaque

6.4.3.2 Aves

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de aves realizada con las metodologías explicadas anteriormente.

a) Composicion y riqueza de especies

Durante la evaluación ambiental de causalidad en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y la unidad hidrográfica Coralaque, se registró un total de 50 especies de aves pertenecientes a 22 familias y 12 órdenes taxonómicos, todos estos registros se obtuvieron mediante la aplicación de 3 diferentes métodos de evaluación: búsquedas intensivas, conteos totales y redes niebla. El orden taxonómico con el mayor número de especies fue Passeriformes con 30 especies registradas que representaron el 60 %, seguido del orden Charadriiformes con 6 especies que representaron el 12 %, en tercer lugar, se encuentra el orden Anseriformes con 3 especies que representaron el 6 %, seguido de los órdenes Columbiformes y Accipitriformes, ambos con 2 especies que representaron el 4 % cada una. Los órdenes restantes presentaron solo 1 especie que representaron el 2 % del total cada una (Tabla 6.114).

Tabla 6.114. Orden, familia y número de especies de aves registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.º	Orden	Nº Familias	Nº Especies	Porcentaje (%)
1	Tinamiformes	1	1	2,00
2	Anseriformes	1	3	6,00
3	Phoenicopteriformes	1	1	2,00
4	Columbiformes	1	2	4,00
5	Apodiformes	1	1	2,00
6	Gruiformes	1	1	2,00
7	Charadriiformes	5	6	12,00
8	Pelecaniformes	1	1	2,00
9	Accipitriformes	1	2	4,00
10	Piciformes	1	1	2,00

N.º	Orden	Nº Familias	Nº Especies	Porcentaje (%)
11	Falconiformes	1	1	2,00
12	Passeriformes	7	30	60,00
Total		22	50	100

Analizando los datos por familia, se tiene que la familia más representativa fue Tyrannidae (dormilonas, pitajos) con 12 especies registradas que representaron el 24 %, seguido de la familia Thraupidae (fringilos, diucas) con 8 especies que representaron el 16 %, en tercer lugar se encuentra la familia Furnariidae (mineros, churretes) con 6 individuos que representaron el 12 %. La familia Anatidae (patos) es la siguiente con 3 especies que representaron el 6 %, seguido de las familias Columbidae (palomas), Scolopacidae (playeros) y Accipitridae (gavilanes), todas con 2 especies que representaron el 4 % (Figura 6.115 y Figura 6.307).

Tabla 6.115. Familias y números de especies registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.º	Familia	Nº Especies	Porcentaje
1	Tinamidae	1	2,00
2	Anatidae	3	6,00
3	Phoenicopteridae	1	2,00
4	Columbidae	2	4,00
5	Trochilidae	1	2,00
6	Rallidae	1	2,00
7	Charadriidae	1	2,00
8	Recurvirostridae	1	2,00
9	Scolopacidae	2	4,00
10	Thinocoridae	1	2,00
11	Laridae	1	2,00
12	Threskiornithidae	1	2,00
13	Accipitridae	2	4,00
14	Picidae	1	2,00
15	Falconidae	1	2,00
16	Furnariidae	6	12,00
17	Tyrannidae	12	24,00
18	Hirundinidae	1	2,00
19	Turdidae	1	2,00
20	Fringillidae	1	2,00
21	Passerellidae	1	2,00
22	Thraupidae	8	16,00
Total		50	100

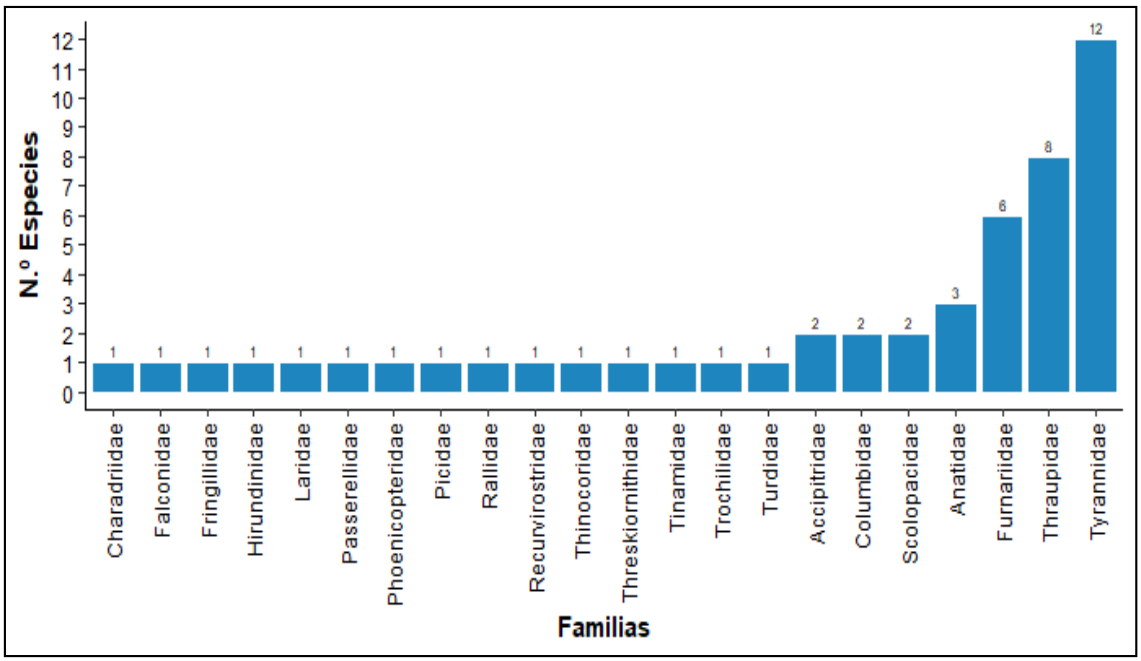


Figura 6.307. Familias con mayor riqueza de especies registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

En la ejecución de la presente evaluación se aplicaron 3 métodos diferentes. El primer método utilizado fue búsquedas intensivas, este método fue aplicado para la evaluación de aves en ambientes terrestres, registrándose 514 individuos pertenecientes a 49 especies. El segundo método fue conteo total, este método fue aplicado para la evaluación de aves en ambientes acuáticos específicamente en las lagunas ubicadas en el área de influencia, con este método se registraron 89 individuos pertenecientes a 8 especies, por último, mediante el método de redes niebla, se registraron 36 individuos pertenecientes a 17 especies (Tabla 6.116).

Tabla 6.116. Composición de especies de aves registradas según los métodos de evaluación empleados en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Nº	Familia	Especie	Métodos		
			Búsquedas intensivas	Conteo Total	Redes niebla
1	Tinamidae	*Tinamotis pentlandii*	3	-	-
2	Anatidae	*Oressochen melanopterus*	46	3	-
3	Anatidae	*Lophonetta specularioides*	27	17	-
4	Anatidae	*Anas flavirostris*	42	38	1
5	Phoenicopteridae	*Phoenicopterus chilensis*	1	-	-
6	Columbidae	*Metriopelia ceciliae*	4	-	3
7	Columbidae	*Metriopelia melanoptera*	2	-	-
8	Trochilidae	*Metallura phoebe*	1	-	1
9	Rallidae	*Fulica gigantea*	-	18	1
10	Charadriidae	*Vanellus resplendens*	3	1	-
11	Recurvirostridae	*Recurvirostra andina*	5	-	-
12	Scolopacidae	*Calidris bairdii*	12	-	-
13	Scolopacidae	*Gallinago andina*	3	-	-
14	Thinocoridae	*Attagis gayi*	16	8	-
15	Laridae	*Chroicocephalus serranus*	17	1	-
16	Threskiornithidae	*Plegadis ridgwayi*	14	5	-
17	Accipitridae	*Geranoaetus polyosoma*	2	-	-
18	Accipitridae	*Geranoaetus melanoleucus*	1	-	-

Nº	Familia	Especie	Métodos		
			Búsquedas intensivas	Conteo Total	Redes niebla
19	Picidae	*Colaptes rupicola*	3	-	-
20	Falconidae	*Phalcoboenus megalopterus*	2	-	-
21	Furnariidae	*Geositta punensis*	6	-	-
22	Furnariidae	*Upucerthia validirostris*	2	-	-
23	Furnariidae	*Cinclodes albiventris*	25	-	1
24	Furnariidae	*Cinclodes atacamensis*	1	-	-
25	Furnariidae	*Asthenes dorbignyi*	2	-	2
26	Furnariidae	*Asthenes modesta*	9	-	2
27	Tyrannidae	*Anairetes flavirostris*	1	-	-
28	Tyrannidae	*Ochthoeca oenanthoides*	2	-	
29	Tyrannidae	*Ochthoeca leucophrys*	2	-	1
30	Tyrannidae	*Lessonia oreas*	20	-	-
31	Tyrannidae	*Muscisaxicola maculirostris*	2	-	-
32	Tyrannidae	*Muscisaxicola juninensis*	15	-	2
33	Tyrannidae	*Muscisaxicola cinereus*	8	-	-
34	Tyrannidae	*Muscisaxicola albifrons*	4	-	3
35	Tyrannidae	*Muscisaxicola flavinucha*	14	-	-
36	Tyrannidae	*Muscisaxicola rufivertex*	1	-	-
37	Tyrannidae	*Muscisaxicola frontalis*	2	-	-
38	Tyrannidae	*Agriornis albicauda*	1	-	-
39	Hirundinidae	*Orochelidon andecola*	22	-	2
40	Turdidae	*Turdus chiguanco*	2	-	-
41	Fringillidae	*Spinus atratus*	9	-	3
42	Passerellidae	*Zonotrichia capensis*	11	-	2
43	Thraupidae	*Sicalis uropygialis*	96	-	3
44	Thraupidae	*Phrygilus punensis*	1	-	-
45	Thraupidae	*Geospizopsis unicolor*	15	-	5
46	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	15	-	3
47	Thraupidae	*Idiopsar speculifera*	14	-	1
48	Thraupidae	*Catamenia analis*	5	-	-
49	Thraupidae	*Catamenia inornata*	1	-	-
50	Thraupidae	*Diglossa brunneiventris*	2	-	-
Riqueza de especies			49	8	17
Abundancia			514	91	36

b) Abundancia de especies

En la presente evaluación se registraron 605 individuos pertenecientes a 50 especies, es importante indicar que para determinar la abundancia total registrada solo se emplean los resultados obtenidos de las búsquedas intensivas y los conteos totales. Mediante las búsquedas intensivas se registraron 514 individuos y por medio de los conteos totales, se registraron 91 individuos (Tabla 6.117).

Tabla 6.117. Abundancia total y relativa de las aves registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Nº	Especie	Nombre común	Ab. Total	Ab. Relativa
1	*Tinamotis pentlandii*	Perdiz de la Puna	3	0,50
2	*Oressochen melanopterus*	Cauquén Huallata	49	8,10
3	*Lophonetta specularioides*	Pato Crestón	44	7,27
4	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	80	13,22
5	*Phoenicopterus chilensis*	Flamenco Chileno	1	0,17
6	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	4	0,66
7	*Metriopelia melanoptera*	Tortolita de Ala Negra	2	0,33

Nº	Especie	Nombre común	Ab. Total	Ab. Relativa
8	*Metallura phoebe*	Colibrí Negro	1	0,17
9	*Fulica gigantea*	Gallareta Gigante	18	2,98
10	*Vanellus resplendens*	Avefría Andina	4	0,66
11	*Recurvirostra andina*	Avoceta Andina	5	0,83
12	*Calidris bairdii*	Playerito de Baird	12	1,98
13	*Gallinago andina*	Becasina de la Puna	3	0,50
14	*Attagis gayi*	Agachona de Vientre Rufo	24	3,97
15	*Chroicocephalus serranus*	Gaviota Andina	18	2,98
16	*Plegadis ridgwayi*	Ibis de la Puna	19	3,14
17	*Geranoaetus polyosoma*	Aguilucho Variable	2	0,33
18	*Geranoaetus melanoleucus*	Aguilucho de Pecho Negro	1	0,17
19	*Colaptes rupicola*	Carpintero andino	3	0,50
20	*Phalcoboenus megalopterus*	Caracara Cordillerano	2	0,33
21	*Geositta punensis*	Minero de la Puna	6	0,99
22	*Upucerthia validirostris*	Bandurrita de Pecho Anteado	2	0,33
23	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	25	4,13
24	*Cinclodes atacamensis*	Churrete de Ala Blanca	1	0,17
25	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	2	0,33
26	*Asthenes modesta*	Canastero Cordillerano	9	1,49
27	*Anairetes flavirostris*	Torito de Pico Amarillo	1	0,17
28	*Ochthoeca oenanthoides*	Pitajo de d'Orbigny	2	0,33
29	*Ochthoeca leucophrys*	Pitajo de Ceja Blanca	2	0,33
30	*Lessonia oreas*	Negrito Andino	20	3,31
31	*Muscisaxicola maculirostris*	Dormilona Chica	2	0,33
32	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	15	2,48
33	*Muscisaxicola cinereus*	Dormilona Cinérea	8	1,32
34	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	4	0,66
35	*Muscisaxicola flavinucha*	Dormilona de Nuca Ocrácea	14	2,31
36	*Muscisaxicola rufivertex*	Dormilona de Nuca Rojiza	1	0,17
37	*Muscisaxicola frontalis*	Dormilona de Frente Negra	2	0,33
38	*Agriornis albicauda*	Arriero de Cola Blanca	1	0,17
39	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	22	3,64
40	*Turdus chiguanco*	Zorzal Chiguanco	2	0,33
41	*Spinus atratus*	Jilguero Negro	9	1,49
42	*Zonotrichia capensis*	Gorrión de Collar Rufo	11	1,82
43	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	96	15,87
44	*Phrygilus punensis*	Fringilo Peruano	1	0,17
45	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	15	2,48
46	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	15	2,48
47	*Idiopsar speculifera*	Diuca de Ala Blanca	14	2,31
48	*Catamenia analis*	Semillero de Cola Bandeada	5	0,83
49	*Catamenia inornata*	Semillero Simple	1	0,17
50	*Diglossa brunneiventris*	Pincha-Flor de Garganta Negra	2	0,33
Total			605	100

La especie más abundante fue *Sicalis uropygialis* «chirigüe de lomo brillante» con 96 individuos que representaron el 15,87 %, seguido de la especie *Anas flavirostris* «pato barcino» con 80 individuos que representaron el 13,22 %, en tercer lugar, está la especie *Oressochen melanopterus* «cauquén huallata» con 49 individuos que representaron el 8,10 %, seguido de la especie *Lophonetta specularioides* «pato crestón» con 44 individuos registrados que representaron el 7,27 % (Tabla 6.117 y Figura 6.308)

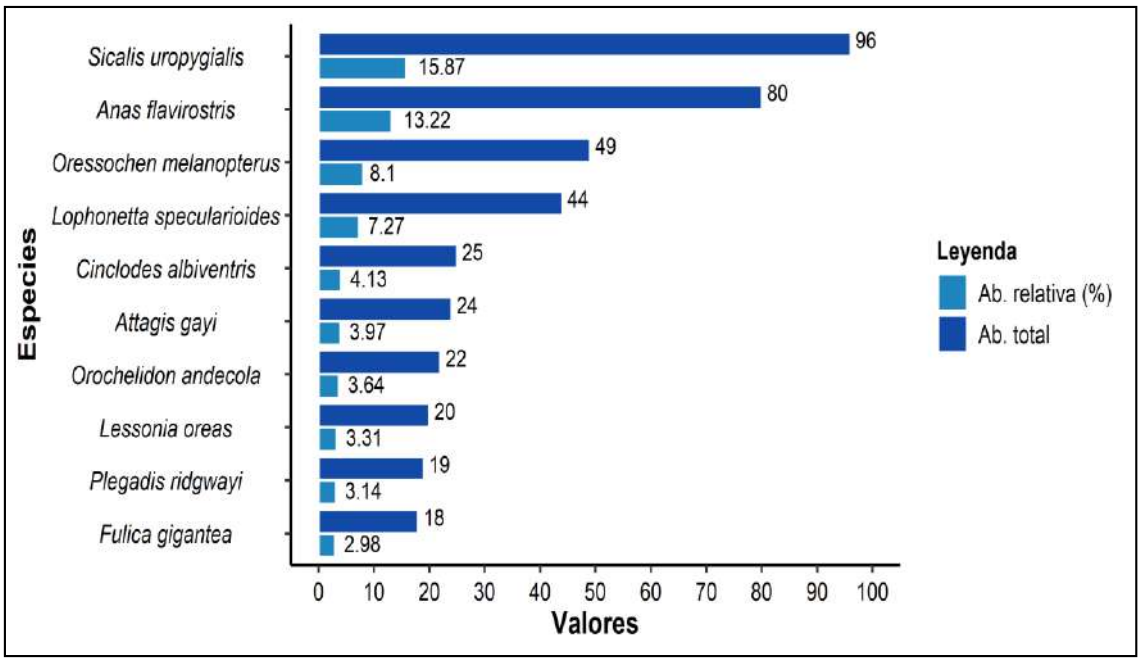


Figura 6.308. Especies con mayor abundancia registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

c) Curva de acumulación de especies

La curva de acumulación de especies registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque, fue calculada en base al modelo de la ecuación de Clench utilizando los datos obtenidos de las unidades de muestreo (búsquedas intensivas y conteos totales). En el área de estudio se registraron 50 especies, las cuales representaron el 70,47 % del total esperado por el modelo (71 especies). Jiménez y Hortal (2003) indican que los modelos con un valor porcentual mayor al 70 %, muestran una estimación de riqueza asintótica estable, lo que significa que el esfuerzo de muestreo realizado fue adecuado y que el inventario de aves obtenido es bastante completo y altamente confiable. El coeficiente de determinación R^2 fue de 0,999, lo cual representa un ajuste altamente aceptable del modelo (Figura 6.309)

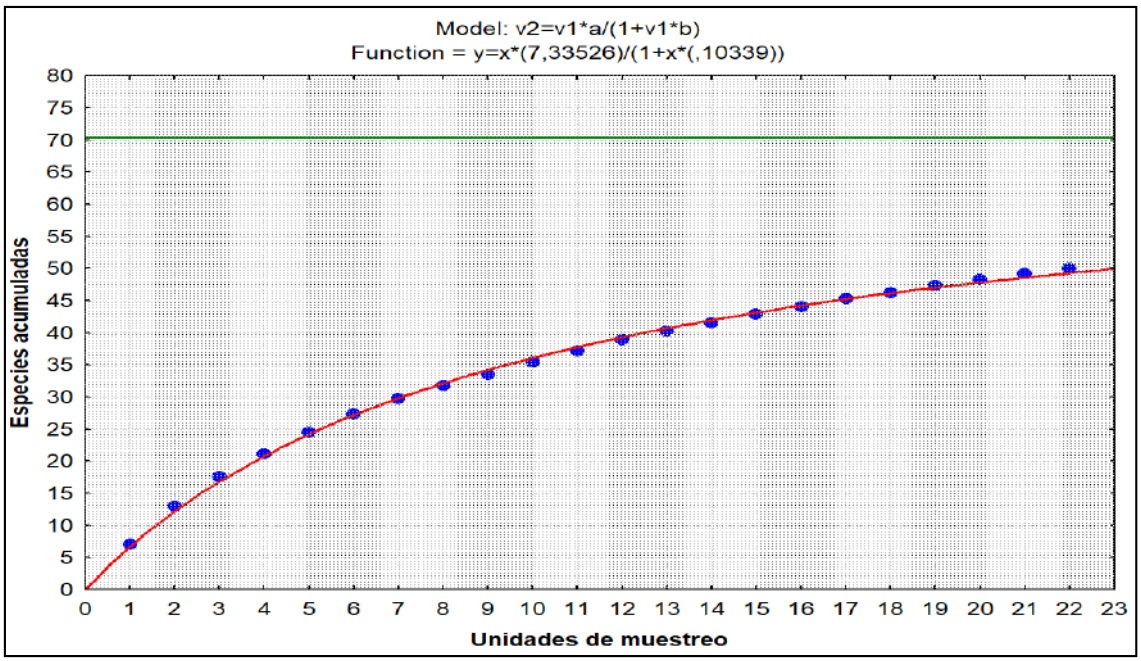


Figura 6.309. Curva de acumulación de especies generada de la evaluación de aves en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Las especies que, según el modelo, teniendo en cuenta las especies esperadas, no fueron registradas probablemente correspondan a un grupo de especies de hábitos nocturnos o crepusculares, quizás ocasionales o con algún tipo migración sea altitudinal, latitudinal o estacional.

d) Composición y abundancia de especies por zona

El área de evaluación de la avifauna en el presente proyecto abarcó 4 zonas: Queullirijahuiri, Margaritani, Aruntaya y Titire – Coralaque.

Los datos obtenidos en la presente evaluación indican que la zona con la mayor riqueza de especies fue Titire – Coralaque con 34 especies registradas, seguido de la zona Queullirijahuiri con 21 especies, en tercer lugar, la zona Aruntaya con 18 especies y, por último, la zona Margaritani con 15 especies (Figura 6.310).

Por otro lado, según la abundancia de las especies registradas, la zona más abundante fue Aruntaya con 279 individuos, seguido de la zona Titire – Coralaque con 183 individuos, en tercer lugar, la zona Margaritani con 84 individuos y, por último, la zona Queullirijahuiri con tan sólo 59 individuos (Figura 6.310).

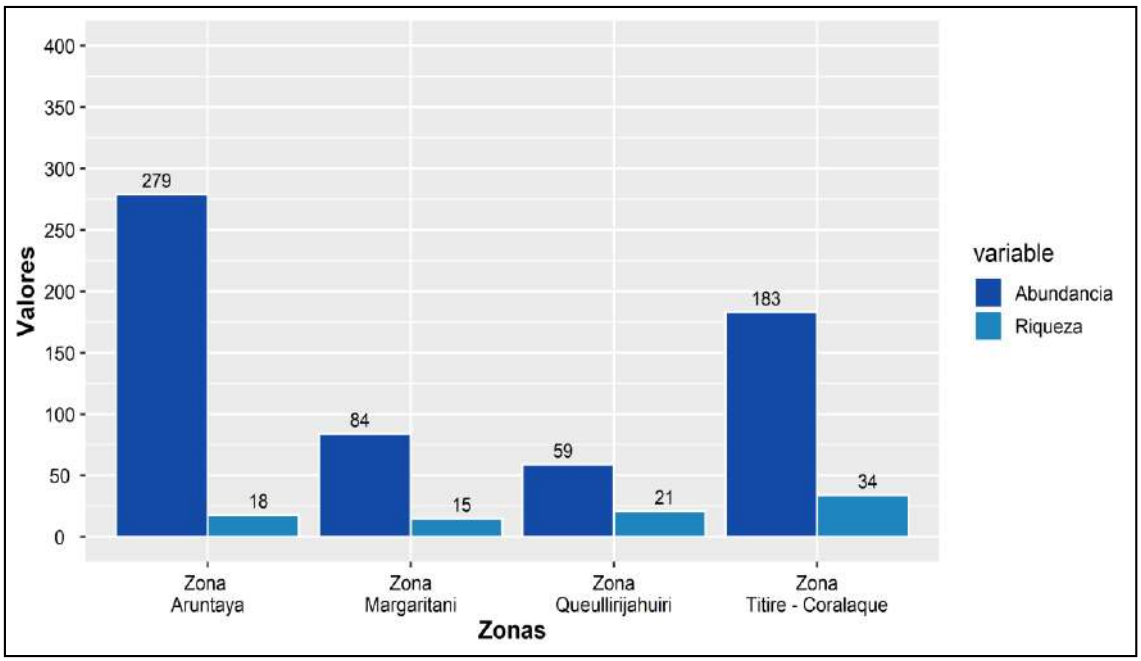


Figura 6.310. Comparación de la riqueza y abundancia de especies registradas por zonas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

A continuación, se presentan los datos de riqueza y abundancia de las aves registradas por zona en el área de estudio.

- **Zona Queullirijahuiri**

Esta zona está ubicada en la parte alta de la quebrada Queullirijahuiri, en la parte exterior de la UM Florencia - Tucari, corresponde a una parte de la zona blanco considerada para el estudio. En esta zona mediante la aplicación de 3 búsquedas intensivas, se registraron 59 individuos pertenecientes a 21 especies, 13 familias y 7 órdenes taxonómicos. El orden más representativo fue Passeriformes con 11 especies que representaron el 52,38 % seguido del orden Charadriiformes con 4 especies que representaron el 19,05 %, en tercer lugar, se encuentra el orden Anseriformes con 2 especies que representaron el 9,52 %.

Analizando los datos por familia, se tiene que la familia más representativa fue Thraupidae (fringilos, semilleros) con 5 especies que representaron el 23,81 %, seguido de la familia Tyrannidae (mosqueritos, dormilonas) con 4 especies que representaron el 19,05 %, seguido por la familia Anatidae (patos) con 2 especies que representaron el 9,52 % (Tabla 6.118).

Tabla 6.118. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Queullirijahuiri

Nº	Especie	Nombre común	Ab. Total	Ab. Relativa (%)
1	*Oressochen melanopterus*	Cauquén Huallata	1	1,69
2	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	2	3,39
3	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	2	3,39
4	*Vanellus resplendens*	Avefría Andina	2	3,39
5	*Gallinago andina*	Becasina de la Puna	1	1,69
6	*Attagis gayi*	Agachona de Vientre Rufo	2	3,39
7	*Chroicocephalus serranus*	Gaviota Andina	2	3,39
8	*Plegadis ridgwayi*	Ibis de la Puna	1	1,69

Nº	Especie	Nombre común	Ab. Total	Ab. Relativa (%)
9	*Geranoaetus polyosoma*	Aguilucho Variable	1	1,69
10	*Colaptes rupicola*	Carpintero andino	3	5,08
11	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	1	1,69
12	*Lessonia oreas*	Negrito Andino	3	5,08
13	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	2	3,39
14	*Muscisaxicola cinereus*	Dormilona Cinérea	1	1,69
15	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	4	6,78
16	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	15	25,42
17	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	2	3,39
18	*Phrygilus punensis*	Fringilo Peruano	1	1,69
19	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	4	6,78
20	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	2	3,39
21	*Idiopsar speculifera*	Diuca de Ala Blanca	7	11,86
Riqueza de especies			21	
Abundancia			59	

La especie con la mayor abundancia registrada fue *Orochelidon andecola* «golondrina andina» con 15 individuos que representaron el 25,42 %, seguido de la especie *Idiopsar speculifera* «diuca de ala blanca» con 7 individuos que representaron el 11,86 %, seguido de las especies *Muscisaxicola albifrons* «dormilona de frente blanca» y *Geospizopsis unicolor* «fringilo plomizo» ambas con 4 individuos que representaron el 6,78 % (Tabla 6.118 y Figura 6.311).

La especie *Orochelidon andecola* «golondrina andina» es una especie que se alimenta sobre pastizales y ciénagas en la puna. Puede estar en pueblos y villas, anida debajo de techeros de edificios o en huecos en laderas y cortes de camino. Es de contextura robusta, opaca, con cola relativamente roma con garganta gris marrón, de abdomen claro y rabadilla color oscura (Schulenberg *et al*. 2010).

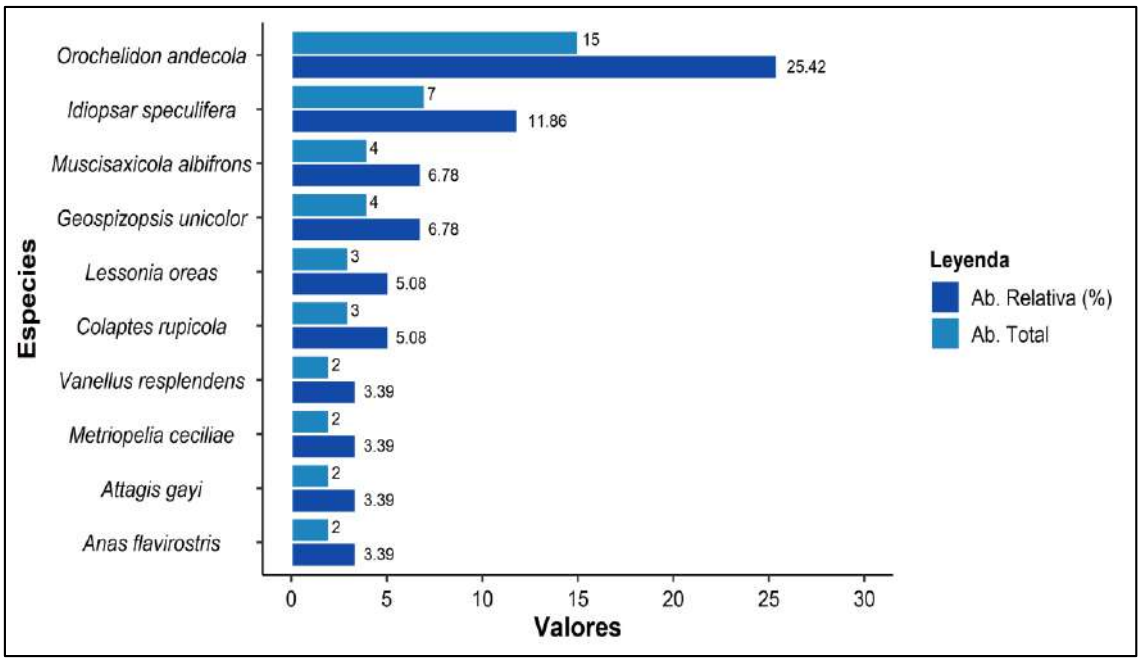


Figura 6.311. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Queullirijahuiri

- **Zona Margaritani**

Esta zona corresponde al área de influencia directa de la unidad minera Florencia – Tucari. En esta zona se realizaron 8 búsquedas intensivas con las cuales se registraron 84 individuos pertenecientes a 15 especies, 7 familias y 3 órdenes taxonómicos. El orden más representativo fue Passeriformes con 13 especies que representaron el 86,67 %, seguido de los órdenes Tinamiformes y Charadriiformes con tan sólo 1 especie que representó el 6,67 %.

Analizando los datos por familia, se tiene que las familias más representativas fueron Thraupidae (fringilos, diucas) y Tyrannidae (dormilonas, pitajos), ambas con 4 especies que representaron el 26,67 %, seguido de la familia Furnariidae (canasteros, mineros) con 3 especies que representaron el 20 % (Tabla 6.119).

Tabla 6.119. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Margaritani

N. º	Especie	Nombre común	Zona 1 / UM Tucari	
			Ab. Total	Ab. Relativa
1	*Tinamotis pentlandii*	Perdiz de la Puna	3	3,57
2	*Attagis gayi*	Agachona de Vientre Rufo	14	16,67
3	*Upucerthia validirostris*	Bandurrita de Pecho Anteado	2	2,38
4	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	2	2,38
5	*Asthenes modesta*	Canastero Cordillerano	9	10,71
6	*Lessonia oreas*	Negrito Andino	1	1,19
7	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	5	5,95
8	*Muscisaxicola cinereus*	Dormilona Cinérea	7	8,33
9	*Muscisaxicola flavinucha*	Dormilona de Nuca Ocrácea	2	2,38
10	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	5	5,95
11	*Spinus atratus*	Jilguero Negro	9	10,71
12	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	9	10,71
13	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	7	8,33
14	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	2	2,38

N. º	Especie	Nombre común	Zona 1 / UM Tucari	
			Ab. Total	Ab. Relativa
15	*Idiopsar speculifera*	Diuca de Ala Blanca	7	8,33
Riqueza de especies			15	
Abundancia			84	

Ab: Abundancia

La especie más abundante fue *Attagis gayi* «agachona de vientre rufo» con 14 individuos que representaron el 21,54 %, seguido de las especies *Asthenes modesta* «canastero cordillerano», *Spinus atratus* «jilguero negro» y *Sicalis uropygialis* «chirigüe de lomo brillante», todos con 7 individuos registrados que representaron el 10,77 % (Tabla 6.119 y Figura 6.312).

Las agachonas de vientre rufo son especies territoriales, que habitan en laderas rocosas, roquedales de gran tamaño o zonas desoladas, cercanas a pequeños pantanos, lagunas o bofedales a donde descienden para poder encontrar su alimento. Generalmente se le encuentra en parejas o en pequeños grupos. (Fjeldsa y Krabbe, 1990).

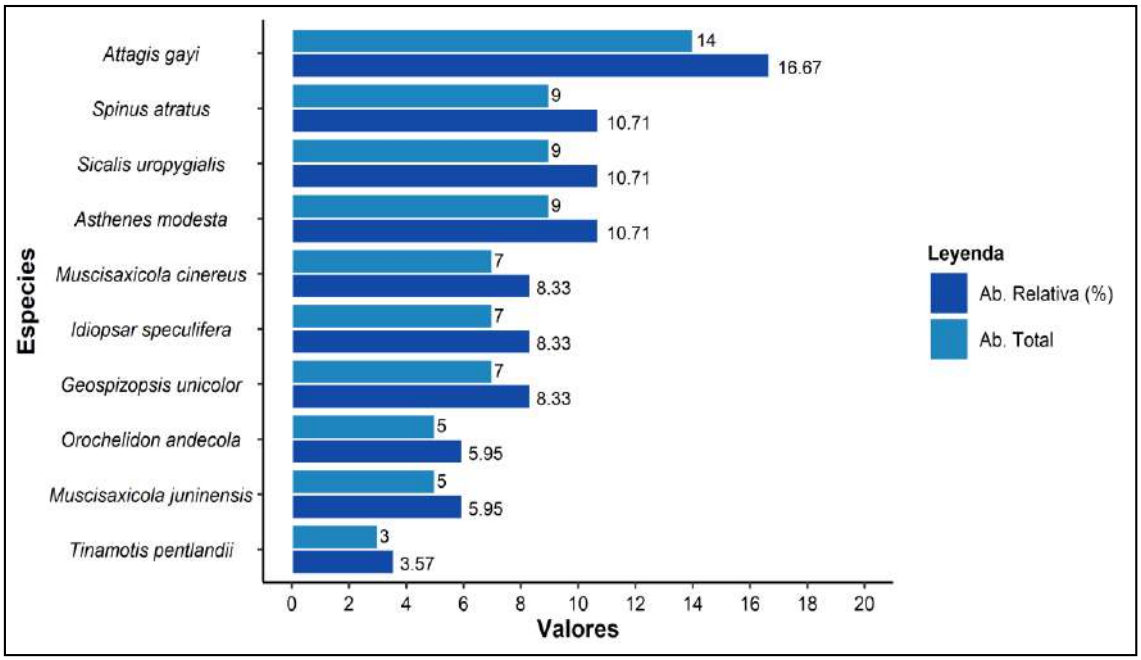


Figura 6.312. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Margaritani

- **Zona Aruntaya**

Esta zona corresponde a la parte alta de Aruntaya, considerada como zona blanco para la evaluación. En esta zona mediante la aplicación de 3 búsquedas intensivas y 2 conteos totales, se registraron 279 individuos pertenecientes a 18 especies, 11 familias y 6 órdenes taxonómicos. El orden más representativo fue Passeriformes con 8 especies que representaron el 44,44 %, seguido del orden Charadriiformes con 4 especies que representaron el 22,22 %, en tercer lugar, se encuentra el orden Anseriformes con 3 especies que representaron el 16,67 %.

Analizando los datos por familia se tiene que, la más representativa fue Tyrannidae (dormilonas, pitajos) con 5 especies registradas que representaron el 27,78 % del total, seguido de la familia Anatidae (patos) con 3 especies que representaron el 16,67 %, en

tercer lugar, se encuentra la familia Furnariidae (canasteros, churretes) con solo 2 especies que representaron el 11,11 % (Tabla 6.120).

Tabla 6.120. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Aruntaya

Nº	Especie	Nombre común	Método		Zona Aruntaya	
			BI	CT	Ab. Total	Ab. Relativa
1	*Oressochen melanopterus*	Cauquén Huallata	x	-	46	16,49
2	*Lophonetta specularioides*	Pato Crestón	x	x	32	11,47
3	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	x	x	39	13,98
4	*Fulica gigantea*	gallareta gigante	-	x	18	6,45
5	*Vanellus resplendens*	Avefría Andina	-	x	1	0,36
6	*Gallinago andina*	Becasina de la Puna	x	-	2	0,72
7	*Attagis gayi*	Agachona de Vientre Rufo	-	x	8	2,87
8	*Chroicocephalus serranus*	Gaviota Andina	x	x	2	0,72
9	*Plegadis ridgwayi*	Ibis de la Puna	x	x	17	6,09
10	*Geranoaetus polyosoma*	Aguilucho Variable	x	-	1	0,36
11	*Geositta punensis*	Minero de la Puna	x	-	5	1,79
12	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	x	-	5	1,79
13	*Lessonia oreas*	Negrito Andino	x	-	5	1,79
14	*Muscisaxicola maculirostris*	Dormilona Chica	x	-	2	0,72
15	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	x	-	2	0,72
16	*Muscisaxicola flavinucha*	Dormilona de Nuca Ocrácea	x	-	12	4,30
17	*Muscisaxicola frontalis*	Dormilona de Frente Negra	x	-	2	0,72
18	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	x	-	80	28,67
Riqueza de especies					18	
Abundancia					279	

Leyenda: BI = Búsqueda intensiva, CT: Conteo total y Ab: Abundancia

La especie con la mayor abundancia registrada en esta zona fue *Sicalis uropygialis* «chirigüe de lomo brillante» con 80 individuos que representaron el 28,67 %, seguido de la especie *Oressochen melanopterus* «cauquén huallata» con 46 individuos que representaron el 16,49 %, en tercer lugar, se observó a la especie *Anas flavirostris* «pato barcino» con solo 39 individuos registrados que representaron el 13,98 % (Figura 6.313).

Sicalis uropygialis «chirigüe de lomo brillantes» es una especie que habita en las montañas, pastizales de puna, pasturas y zonas con agua de la cordillera. Es una especie que se alimenta de semillas, insectos y larvas que encuentra en los diversos hábitats que frecuenta. Este es el chirigüe amarillo más común y ampliamente distribuido. Se le puede encontrar en bandadas de cientos de individuos y algunas veces se le puede observar alimentándose con otros chirigües (Schulenberg *et al.* 2010).

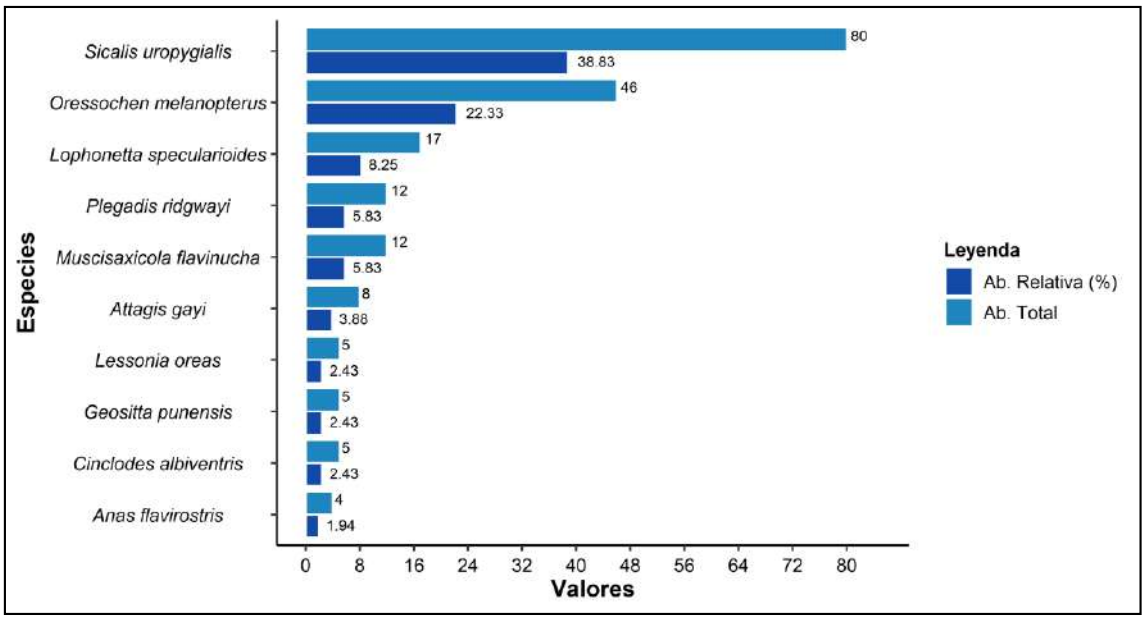


Figura 6.313. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Aruntaya

- **Titire - Coralaque**

Esta zona estuvo conformada por las evaluaciones realizadas a lo largo de los ríos Tirire y Coralaque, mediante la aplicación de 6 búsquedas intensivas, se ha registrado un total de 183 individuos pertenecientes a 34 especies, 17 familias y 9 órdenes taxonómicos. El orden más representativo fue Passeriformes con 20 especies que representaron el 58,82 %, seguido del orden Charadriiformes con 4 especies que representaron el 11,76 %, en tercer lugar, se encuentra el orden Anseriformes con 3 especies que representaron el 8,82 %.

Analizando los datos por familia, se tiene que la más representativa fue Tyrannidae (dormilonas, pitajos) con 7 especies que representaron el 20,59 %, seguido de la familia Thraupidae (fringilos, semilleros) con 6 especies que representaron el 17,65 %, en tercer lugar, se encuentra la familia Furnariidae (canasteros, churretes) con 4 especies que representaron el 11,76 %, seguido de la familia Anatidae (patos) con 3 especies que representaron el 8,82 % cada una.

Tabla 6.121. Riqueza y abundancia de las aves registradas en la zona Titire – Coralaque

Nº	Especie	Nombre común	Zona 5 Titire - Coralaque	
			Ab. Total	Ab. Relativa (%)
1	*Oressochen melanopterus*	Cauquén Huallata	2	1,09
2	*Lophonetta specularioides*	Pato Crestón	12	6,56
3	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	39	21,31
4	*Phoenicopterus chilensis*	Flamenco Chileno	1	0,55
5	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	2	1,09
6	*Metriopelia melanoptera*	Tortolita de Ala Negra	2	1,09
7	*Metallura phoebe*	Colibrí Negro	1	0,55
8	*Vanellus resplendens*	Avefría Andina	1	0,55
9	*Recurvirostra andina*	Avoceta Andina	5	2,73
10	*Calidris bairdii*	Playerito de Baird	12	6,56
11	*Chroicocephalus serranus*	Gaviota Andina	14	7,65
12	*Plegadis ridgwayi*	Ibis de la Puna	1	0,55
13	*Geranoaetus melanoleucus*	Aguilucho de Pecho Negro	1	0,55

Nº	Especie	Nombre común	Zona 5 Titire - Coralaque	
			Ab. Total	Ab. Relativa (%)
14	*Phalcoboenus megalopterus*	Caracara Cordillerano	2	1,09
15	*Geositta punensis*	Minero de la Puna	1	0,55
16	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	17	9,29
17	*Cinclodes atacamensis*	Churrete de Ala Blanca	1	0,55
18	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	2	1,09
19	*Anairetes flavirostris*	Torito de Pico Amarillo	1	0,55
20	*Ochthoeca oenanthoides*	Pitajo de d'Orbigny	2	1,09
21	*Ochthoeca leucophrys*	Pitajo de Ceja Blanca	2	1,09
22	*Lessonia oreas*	Negrito Andino	11	6,01
23	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	6	3,28
24	*Muscisaxicola rufivertex*	Dormilona de Nuca Rojiza	1	0,55
25	*Agriornis albicauda*	Arriero de Cola Blanca	1	0,55
26	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	2	1,09
27	*Turdus chiguanco*	Zorzal Chiguanco	2	1,09
28	*Zonotrichia capensis*	Gorrión de Collar Rufo	11	6,01
29	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	5	2,73
30	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	4	2,19
31	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	11	6,01
32	*Catamenia analis*	Semillero de Cola Bandeada	5	2,73
33	*Catamenia inornata*	Semillero Simple	1	0,55
34	*Diglossa brunneiventris*	Pincha-Flor de Garganta Negra	2	1,09
Riqueza de especies			34	
Abundancia			183	

Ab: Abundancia

La especie con la mayor abundancia registrada fue *Anas flavirostris* «pato barcino» con 39 individuos que representaron el 21,31 %, seguido de la especie *Cinclodes albiventris* «churrete de ala crema» con 17 individuos registrados que representaron el 9,29 %, seguido en tercer lugar, por la especie *Chroicocephalus serranus* «gaviota serrana» con 14 individuos reportados que representaron el 7,65 % (Tabla 6.121 y Figura 6.314).

Anas flavirostris es un pato pequeño, compacto, de color marrón grisáceo, con pico de amarillo con bordes oscuros. Habita en todo tipo de humedales como estuarios fangosos, praderas costeras y pantanos con estanques y arroyo, lagunas altoandinas, pequeños lagos de bosques, ríos (lechos casi secos, de grava o fangosos) y a lo largo de escarpadas orillas de los cuerpos de agua (Fjeldsa y Krabbe, 1990).

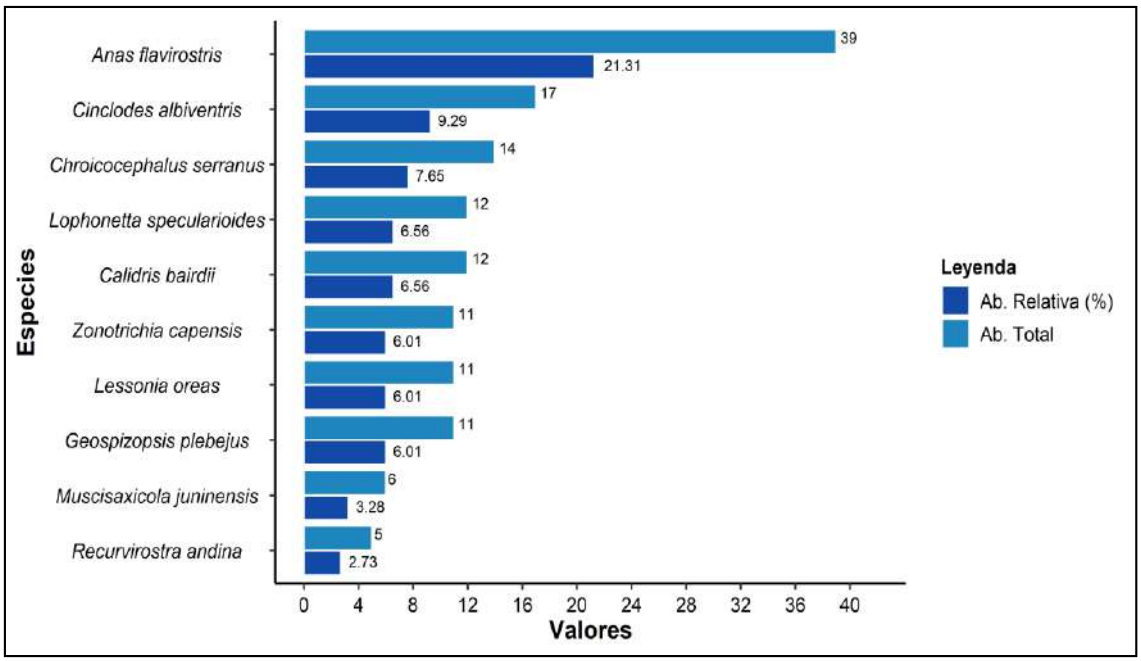


Figura 6.314. Especies de aves con la mayor abundancia total y relativa registradas en la zona Titire - Coralaque

e) Diversidad

Analizando los datos obtenidos en todas las zonas evaluadas se tiene que la mayor riqueza de aves se registró en la zona Titire – Coralaque con 34 especies, según los números de Hill o números efectivos de especies, la zona presentó un valor de 18,33 para el N1, y un valor de 11,81 especies para el N2 (Tabla 6.122). Es importante indicar, que N1, indica el número de las especies abundantes, mientras que el N2, indica el número de especies muy abundantes.

Tabla 6.122. Valores de diversidad de las aves por zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Números de Hill	Zona Queullirijahuiri	Zona Margaritani	Zona Aruntaya	Zona Titire - Coralaque
N0	21	15	18	34
N1	14,45	12,20	9,00	18,33
N2	9,59	10,66	6,50	11,81

N0: Número de especies, N1: Número de especies abundantes, N2: Número de especies muy abundantes

En la Figura 6.9, se observa que entre la Zona Queullirijahuiri y la Zona Margaritani, la riqueza de especies varia en 6 especies, no obstante cuando se incorpora al análisis las abundancias de las especies, en el caso del número de especies abundantes (N1) la diferencia aumenta relativamente, en favor de Queullirijahuiri, esto se da debido a la presencia de especies abundantes como *Orochelidon andecola* «golondrina andina», *Idiopsar speculifera* «diuca de ala blanca», entre otras, mientras que para el caso del número de especies muy abundantes, la diferencia fue a favor de la zona Margaritani, aquí destacan especies como *Attagis gayi* «agachona de vientre rufo», *Sicalis uropygialis* «chirigüe de lomo brillante» o *Asthenes modesta* «canastero cordillerano», las cuales son propios de este tipo de ecosistemas altoandinos (Figura 6.315).

Respecto a las Zonas Aruntaya y Titire - Coralaque, los números de Hill indican que Titire - Corolaque presentó la mayor riqueza de aves, y en general comparando entre ambas zonas, Titire - Coralaque es la que presenta mayor diversidad, debido a la mixtura de hábitats,

mayor área, zonas de alimento, descanso y alimentación, variables que influyen de manera positiva en la presencia de aves.

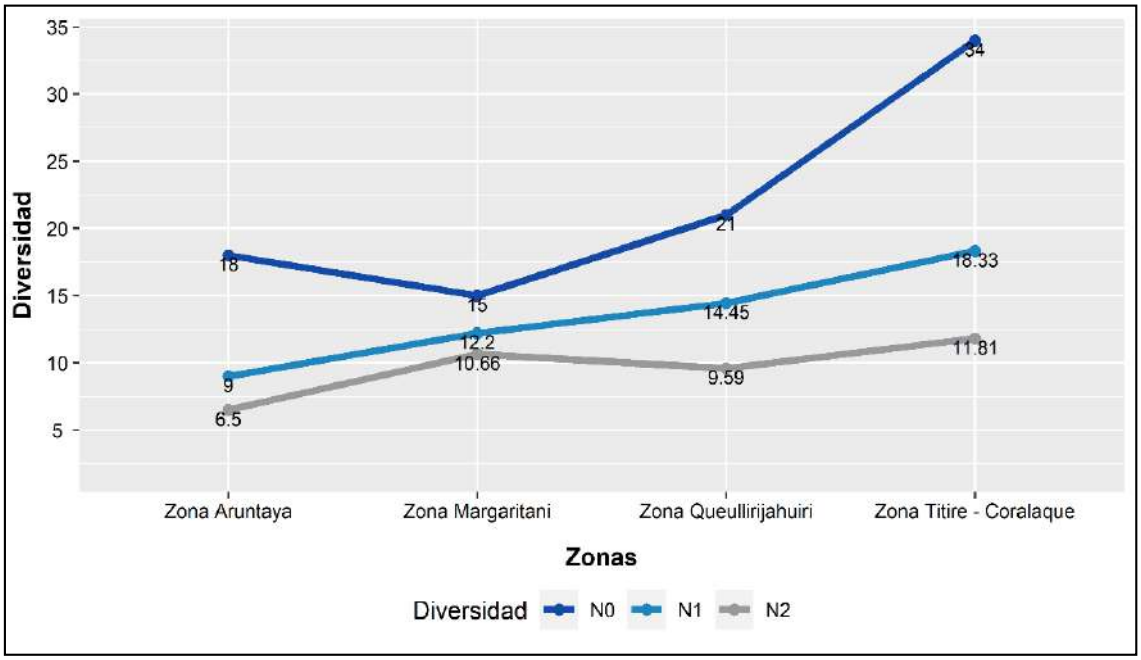


Figura 6.315. Diversidad de las aves registradas en las zonas de evaluación en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

f) Similaridad

Los datos analizados según el índice de Morisita nos indican que las zonas Queullirijahuiri y Margaritani presentan el mayor valor del índice de similaridad (55 %). Esta similitud se debe en primer lugar al tipo de ambientes que comparten entre ellas como bofedales, pajonal de puna semidenso, roquedal entre otras, y en segundo lugar se encuentra ligada a la presencia de especies en ambas zonas, donde destacan: *Cinclodes albiventris* «churrete de ala crema», *Phrygilus plebejus* «fringilo de pecho cenizo», *P. unicolor* «fringilo plomizo», *Muscisaxicola juninensis* «dormilona de la puna», *Attagis gayi* «agachona de vientre rufo», *Idiopsar speculifera* «diuca de ala blanca». Unido a este grupo se encuentra el grupo conformado por la zona Aruntaya y Titire – Coralaque, con una similaridad del 48,82 %, uniéndose ambos grupos en un valor a 0,32 lo que significa que comparten entre sí solo el 32 % de especies registradas en ambas zonas (Tabla 6.123 y Figura 6.316).

Tabla 6.123. Valores del índice de similaridad de Morisita entre las zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Plataformas	Zona Queullirijahuiri	Zona Margaritani	Zona Aruntaya	Zona Titire - Coralaque
Zona Queullirijahuiri	1	-	-	-
Zona Margaritani	0,55	1	-	-
Zona Aruntaya	0,32	0,31	1	-
Zona Titire - Coralaque	0,44	0,26	0,48	1

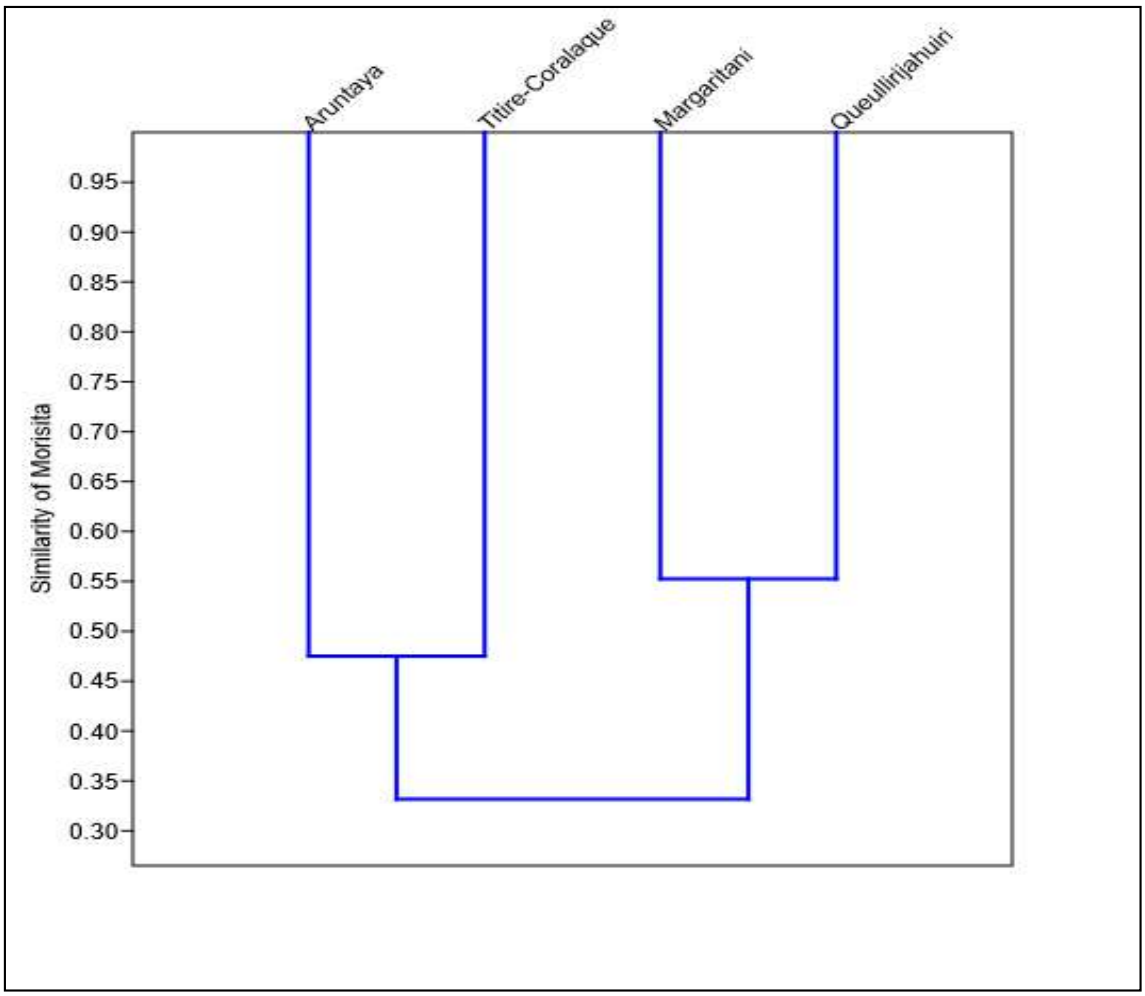


Figura 6.316. Dendrograma de similitud de Morisita entre las zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

g) Especies incluidas en categorías de conservación, endémicas y migratorias

Durante la evaluación realizada se registraron un total de 50 especies, de las cuales 29 de ellas se encuentran incluidas dentro de alguna categoría de conservación o endemismo (Tabla 6.18). Este número de especies representa el 58 % de la riqueza total.

Según la legislación nacional (Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI) se registraron 4 especies. La especie *Agriornis albicauda* "arriero de cola blanca" se encuentra categorizada como Vulnerable (VU); mientras que, las especies *Tinamotis pentlandii* «perdiz de la puna», *Phoenicopterus chilensis* «Flamenco chileno» y *Fulica gigantea* «gallareta gigante» como especies Casi Amenazadas (NT).

Por otro lado, las especies *Agriornis albicauda* «arriero de cola blanca» y *Phoenicopterus chilensis* «flamenco chileno» se encuentran categorizadas como Vulnerable (VU) y Casi Amenazada (NT) respectivamente según legislación internacional (IUCN, 2020) (Tabla 6.124).

Se registraron 5 especies incluidas dentro del apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). Este índice contempla a las especies que no están necesariamente amenazadas de extinción, pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio (CITES,

2019). Estas especies son: *Phoenicopterus chilensis* «flamenco chileno», *Metallura phoebe* «colibrí negro», *Geranoaetus polyosoma* «aguilucho variable», *Geranoaetus melanoleucus* «aguilucho de pecho negro», y *Phalcoboenus megalopterus* «caracara cordillerano».

Es importante indicar que se han registrado 18 especies dentro del BIOMA Andes Centrales, denominado CAN, entre las especies registradas destacan *Tinamotis pentlandii* «perdiz de la puna», *Metallura phoebe* «colibrí negra», *Fulica gigantea* «gallareta gigante», *Recurvirostra andina* «avoceta andina», *Geositta punensis* «minero de la puna», *Asthenes dorbignyi* «canastero de pecho cremoso», *Ochthoeca oenanthoides* «Pitajo de d´Orbigny», *Lessonia oreas* «negrito andino», entre otras.

Por otro lado, según la CMS se han registrado 4 especies dentro del apéndice II, la cual lista a las especies migratorias que tienen un estado de conservación desfavorable y que requieren acuerdos internacionales para su conservación y manejo, así como aquellas que tienen un estado de conservación que se beneficiaría significativamente de la cooperación internacional que podría lograrse mediante un acuerdo internacional. Asimismo, según el libro de Aves de Perú (Schulenberg *et al.* 2010) se han registrado 4 especies migratorias boreales. Por último, la evaluación realizada permitió el registro de 1 especie endémica de Perú, esta especie es *Metallura phoebe* «colibrí negro». En la tabla 6.18 se detallan todas las especies que se encuentra en las diferentes categorías de amenaza.

Tabla 6.124. Lista de especies de aves incluidas en categorías de conservación nacional e internacional y endemismo, registradas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

Nº	Familia	Especie	Nombre común	Categoría de conservación						Endemismo		
				IUCN	CITES	D.S 004-2014 MINAGRI	Serfor (2018)	CMS	Migratorias	EBAs	BIOMA	Perú
1	Tinamidae	*Tinamotis pentlandii*	Perdiz de la Puna	LC	-	NT	-	-	-	-	CAN	-
2	Anatidae	*Lophonetta specularioides*	Pato Crestón	LC	-	-	-	II	-	-	-	-
3	Anatidae	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	LC	-	-	-	II	-	-	-	-
4	Phoenicopteridae	*Phoenicopterus chilensis*	Flamenco Chileno	NT	II	NT	-	II	-	-	-	-
5	Columbidae	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
6	Trochilidae	*Metallura phoebe*	Colibrí Negro	LC	II	-	-	-	-	-	CAN	x
7	Rallidae	*Fulica gigantea*	Gallareta Gigante	LC	-	NT	-	-	-	-	CAN	-
8	Recurvirostridae	*Recurvirostra andina*	Avoceta Andina	LC	-	-	-	II	-	-	CAN	-
9	Scolopacidae	*Calidris bairdii*	Playerito de Baird	LC	-	-	-	-	NB	-	-	-
10	Threskiornithidae	*Plegadis ridgwayi*	Ibis de la Puna	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
11	Accipitridae	*Geranoaetus polyosoma*	Aguilucho Variable	LC	II	-	-	-	-	-	-	-
12	Accipitridae	*Geranoaetus melanoleucus*	Aguilucho de Pecho Negro	LC	II	-	-	-	-	-	-	-
13	Picidae	*Colaptes rupicola*	Carpintero andino	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
14	Falconidae	*Phalcoboenus megalopterus*	Caracara Cordillerano	LC	II	-	-	-	-	-	-	-
15	Furnariidae	*Geositta punensis*	Minero de la Puna	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
16	Furnariidae	*Upucerthia validirostris*	Bandurrita de Pecho Anteado	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
17	Furnariidae	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
18	Tyrannidae	*Ochthoeca oenanthoides*	Pitajo de d'Orbigny	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
19	Tyrannidae	*Lessonia oreas*	Negrito Andino	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
20	Tyrannidae	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
21	Tyrannidae	*Muscisaxicola cinereus*	Dormilona Cinérea	LC	-	-	-	-	NB	-	-	-
22	Tyrannidae	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
23	Tyrannidae	*Muscisaxicola flavinucha*	Dormilona de Nuca Ocrácea	LC	-	-	-	-	NB	-	-	-
24	Tyrannidae	*Muscisaxicola frontalis*	Dormilona de Frente Negra	LC	-	-	-	-	NB	-	-	-
25	Tyrannidae	*Agriornis albicauda*	Arriero de Cola Blanca	VU	-	VU	VU	-	-	-	-	-
26	Hirundinidae	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
27	Thraupidae	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
28	Thraupidae	*Phrygilus punensis*	Fringilo Peruano	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-
29	Thraupidae	*Idiopsar speculifera*	Diuca de Ala Blanca	LC	-	-	-	-	-	-	CAN	-

h) Metales en plumas de aves

Para la determinación de metales en plumas de aves, se obtuvo muestras de 32 individuos pertenecientes a 18 especies, 11 familias y 6 órdenes taxonómicos. Las muestras fueron obtenidas de la siguiente manera: 3 pertencecientes a la zona Queullirijahuiri (Blanco), 4 de la parte alta de la zona Aruntaya, 10 de la zona Margaritani y 15 se obtuvieron en la Zona Titire - Coralaque. La lista de especies capturadas se presenta en la Tabla 6.125.

Tabla 6.125. Lista de muestras de plumas por especie colectada por zonas ubicadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

N.º	Zona	Orden	Familia	Especie	Nombre común	N.º Muestras
1	Queullirijahuiri	Passeriformes	Hirundinidae	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	1
2		Passeriformes	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	1
3		Passeriformes	Thraupidae	*Idiopsar speculifera*	Gallareta Gigante	1
4	Margaritani	Charadriiformes	Thinocoridae	*Attagis gayi*	Agachona de Vientre Rufo	1
5		Passeriformes	Furnariidae	*Asthenes modesta*	Canastero Cordillerano	1
6		Passeriformes	Fringillidae	*Spinus atratus*	Jilguero Negro	1
7		Passeriformes	Thraupidae	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	1
8		Passeriformes	Thraupidae	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	4
9		Passeriformes	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	2
10	Aruntaya	Gruiformes	Rallidae	*Fulica gigantea*	Gallareta gigante	1
11		Passeriformes	Tyrannidae	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	3
12	Titire - Coralaque	Anseriformes	Anatidae	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	2
13		Columbiformes	Columbidae	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	3
14		Apodiformes	Trochilidae	*Metallura phoebe*	Colibrí Negro	1
15		Passeriformes	Furnariidae	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	1
16		Passeriformes	Furnariidae	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	2
17		Passeriformes	Tyrannidae	*Ochthoeca leucophrys*	Pitajo de Ceja Blanca	1
18		Passeriformes	Tyrannidae	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	1
19		Passeriformes	Passerellidae	*Zonotrichia capensis*	Gorrión de Collar Rufo	2
20		Passeriformes	Thraupidae	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	1
21		Passeriformes	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	1
Total		6 órdenes	11 familias	18 especies	4 Zonas	32

Analizando los datos obtenidos, se tiene que del total de muestras colectadas solo 2 especies fueron capturadas en 2 o más zonas, estas especies son: *Sicalis uropygialis* «chirigüe de lomo brillante», capturada en las zonas Titire - Coralaque y Queullirijahuiri, y la especie *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo», capturada en las zonas Queullirijahuiri, Margaritani y Titire - Coralaque.

En las muestras de plumas colectadas se cuantificaron 30 metales totales y cianuro, no obstante, para el análisis de los resultados en plumas se ha tomado en cuenta los metales que según el muestreo de agua y suelo han superado los estándares de calidad ambiental (ECA), estos elementos fueron el Hierro (Fe), Arsénico (As), Cobalto (Co), Cadmio (Cd), Niquel (Ni), Zinc (Zn), Antimonio (Sb) y Calcio (Ca). Del total de ellos se han seleccionado 6 metales (arsénico, plomo, cadmio, cobalto, niquel y cobre) los cuales según el análisis de los resultados de laboratorio presentan una alta concentración y pueden causar efectos nocivos en las aves.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de las muestras de plumas por zona.

- **Zona Queullirijahuiri**

En Queullirijahuiri se obtuvieron 3 muestras de plumas de aves (Tabla 6.12), las cuales presentaron los valores más bajos de acumulación de los metales seleccionados respecto a las demás zonas. Analizando los valores de concentración de metales en las muestras, se tiene que los metales variaron según el siguiente orden: Ca>Fe>Zn>Cu>Pb>As>Ni>Sb>Co>Cd. Es importante indicar que de los 10 metales totales se han escogido solo 6 para observar los efectos sobre las aves. En la Figura 6.126 se pueden ver los valores de cada metal por muestra obtenida.

Tabla 6.126. Datos de las muestras de plumas colectadas por especie en la zona Queullirijahuiri

Orden	Familia	Especies	Nombre Común	Hábito	Código de Muestra
Passeriformes	Hirundinidae	*Orochelidon andecola*	Golondrina Andina	Terrestre	BL-AVE-01
	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	Terrestre	BL-AVE-02
		Idiopsar speculifera	Diuca de Ala Blanca	Terrestre	BL-AVE-03

En la figura 6.317 se puede observar que la muestra BL-AV-01 que corresponde a la especie *Orochelidon andecola* «golondrina andina», fue la que presentó los mayores valores de concentración de los metales cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), cobalto (Co) y niquel (Ni), solo en la concentración de Arsénico (As) esta muestra no es la más representativa, ocupando su lugar la muestra BL-AV-03 que corresponde a la especie *Idiopsar speculifera* «diuca de ala blanca». Como se observa, los valores de concentración para los metales indicados son bajos, indicando que la especie en esta zona no está bioacumulando grandes cantidades de metal en la zona.

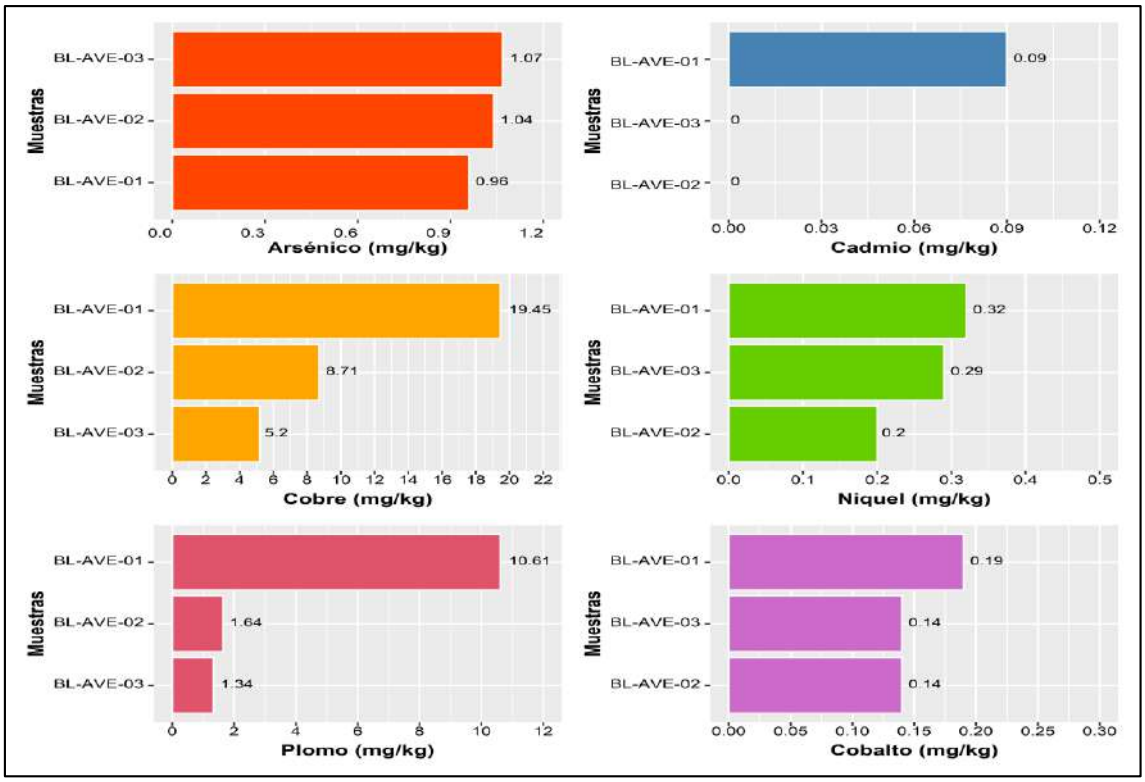


Figura 6.317. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la zona Queullirijahuiri

- **Zona Margaritani**

Esta zona corresponde al área de influencia directa de la unidad minera Tucari, específicamente en la quebrada Apostoloni. En esta zona se obtuvieron un total de 10 muestras de plumas de aves, de las cuales solo 6 fueron analizadas. Las muestras analizadas presentaron valores elevados de concentración de ciertos elementos, los cuales debido a su concentración variaron teniendo en cuenta el siguiente orden: Ca>Fe>Zn>>Cu>Pb>As>Ni>Co>Sb>Cd (Tabla 6.127) .

Tabla 6.127. Datos de las muestras de plumas colectadas por especie en la zona Margaritani

Zona	Familia	Especies	Nombre Común	Hábito	Código de Muestra
Margaritani	Thinocoridae	*Attagis gayi*	Agachona de Vientre Rufo	Terrestre	TU-AVE-01
Margaritani	Thraupidae	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	Terrestre	TU-AVE-02
Margaritani	Furnariidae	*Asthenes modesta*	Canastero Cordillerano	Terrestre	TU-AVE-03
Margaritani	Thraupidae	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	Terrestre	TU-AVE-04
Margaritani	Thraupidae	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	Terrestre	TU-AVE-05
Margaritani	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	Terrestre	TU-AVE-06
Margaritani	Thraupidae	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	Terrestre	TU-AVE-07*
Margaritani	Thraupidae	*Geospizopsis unicolor*	Fringilo Plomizo	Terrestre	TU-AVE-08*
Margaritani	Fringillidae	*Spinus atratus*	Jilguero Negro	Terrestre	TU-AVE-09*
Margaritani	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	Terrestre	TU-AVE-10*

*Muestra no analizada

En la figura 6.318 se muestran los valores de concentración de los metales seleccionados para el análisis, donde se observa que la muestra TU-AVE-03, correspondiente a la especie *Asthenes modesta* «canastero cordillerano», presentó los mayores valores de concentración de arsénico (4,46 mg/kg), cobre (26,42 mg/kg) y cobalto (0,72 mg/kg).

La concentracion de cadmio oscilo entre 0,09 y 0,1 mg/kg, siendo la muestra TU-AVE-04, que corresponde a la especie *Geospizopsis unicolor* «fringilo plomizo», la más representativa.

Revisando los valores de acumulación de niquel en las muestras, vemos que los valores van de 0,26 a 1,36 mg/kg, siendo la muestra TU-AVE-01, que corresponde a la especie *Attagis gayi,* la que presentó mayo acumulación de este elemento.

Por último, analizando la presencia de plomo en las muestras, vemos existe mayor acumulación del elemento en esta zona, presentando valores elevados de concentración, siendo la muestra TU-AVE-06, que corresponde a la especie *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo» la que presentó la mayor acumulación con 11,74 mg/kg.

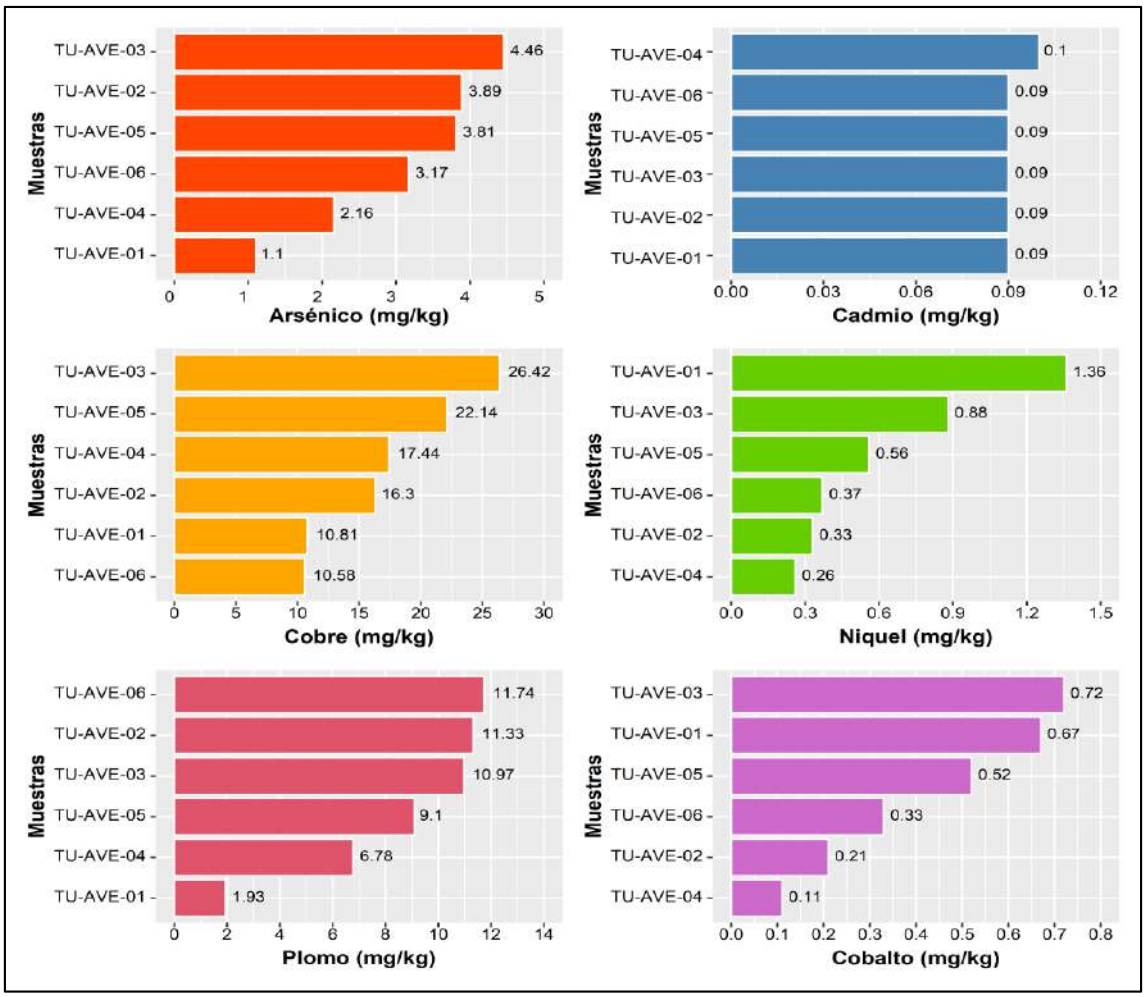


Figura 6.318. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la zona Margaritani

- **Zona Aruntaya**

La evaluación realizada en esta zona corresponde a la parte alta de Aruntaya, específicamente a los alrededores de la laguna sin nombre cercana a la UM Tucari colindante con el bofedal Queullirijahuiri (blanco), por lo cual corresponde a un área blanco. En esta zona se obtuvo un total de 4 muestras de plumas; no obstante, solo 3 fueron analizadas. Analizando los valores de concentración de los metales totales encontrados en la muestra, los metales se presentaron teniendo el siguiente orden: Ca>Fe>Zn>Cu>Pb>As>Ni>Sb>Co>Cd (Tabla 6.128).

Tabla 6.128. Datos de las muestras de plumas colectadas por especie en la zona Aruntaya

Zona	Familia	Especies	Nombre Común	Hábito	Código de Muestra
Aruntaya	Rallidae	*Fulica gigantea*	Gallareta Gigante	Acuática	BL-AVE-04
Aruntaya	Tyrannidae	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	Terrestre	BL-AVE-05
Aruntaya	Tyrannidae	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	Terrestre	BL-AVE-06
Aruntaya	Tyrannidae	*Muscisaxicola albifrons*	Dormilona de Frente Blanca	Terrestre	BL-AVE-07*

*Muestra no analizada

En la Figura 6.319 se muestran los valores de los 6 metales elegidos para los análisis, en esta figura se observa que la muestra BL-AVE-04, que corresponde a la especie *Fulica*

gigantea «gallareta gigante», fue la que presentó los mayores valores de concentración para el arsénico (2,51 mg/kg), cobre (17,89 m/kg), niquel (0,47 mg/kg) y cobalto (0,26 mg/kg). Es importante recalcar que esta es una especie de hábitos acuáticos, que habita en lagos y lagunas altoandinas, bofedales, entre otros; las cuales utilizan todas las fuentes de agua como una unidad agrupada, esto quiere decir, que hacen uso común de todas las fuentes de agua.

En la figura 6.319, También se puede observar, que las muestras de esta zona no presentan valores de concentración de cadmio, lo que indica la no presencia de este metal en la zona. Por último, analizando los valores de concentración de plomo en las muestras, vemos que sus concentraciones oscilan desde 2,98 hasta 5,16 mg/kg, siendo la muestra BL-AVE-06, la correspondiente a la especie *Muscisaxicola albifrons* «dormilona de frente blanca», la más representativa.

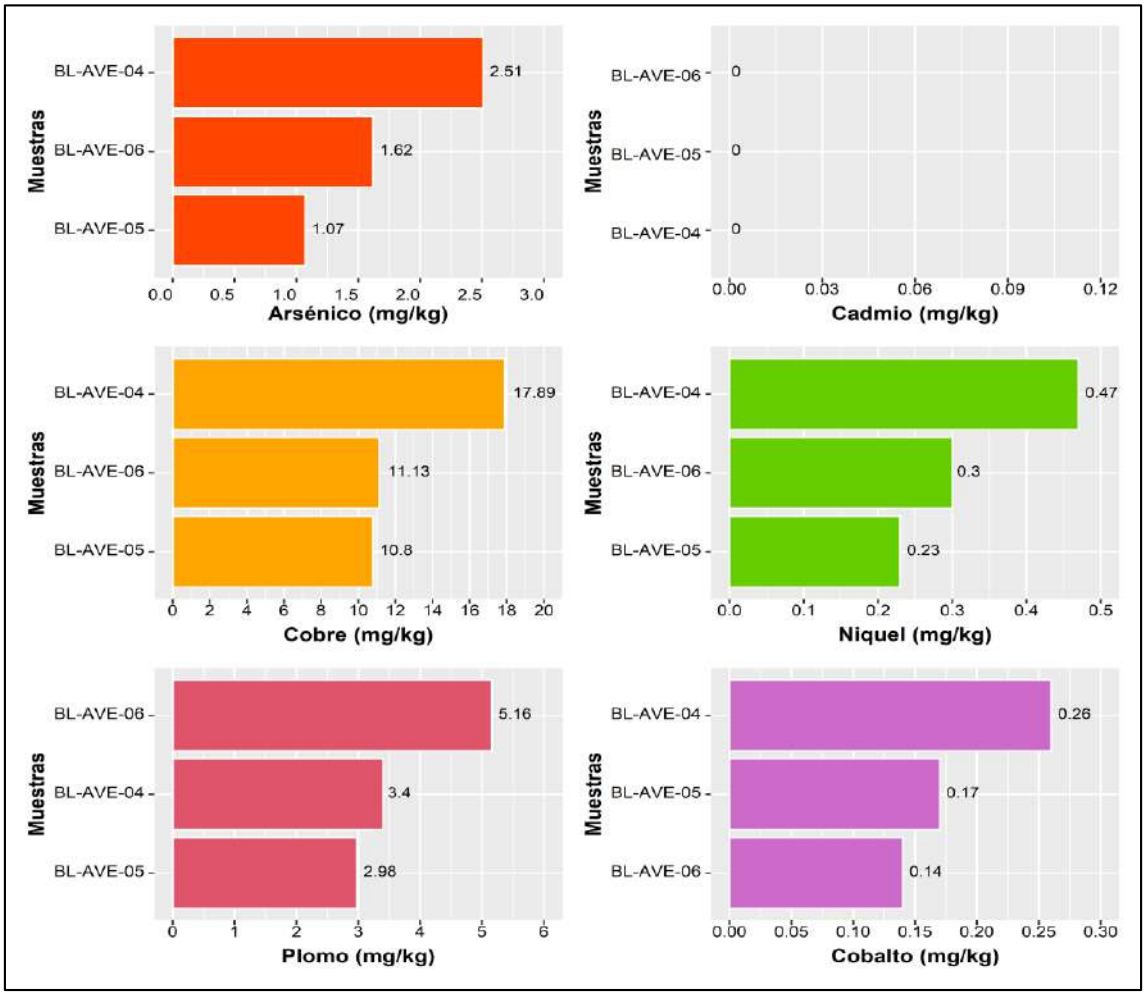


Figura 6.319. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la Zona Aruntaya

- **Zona Titire - Coralaque**

En esta zona se obtuvieron un total de 15 muestras de plumas de aves, de las cuales 9 pertenecen a Coralaque y 6 a Titire. Analizando los datos obtenidos de la concentración de metales en las plumas, notamos que los valores de los metales variaron teniendo en cuenta

el siguiente orden: Ca>Fe>Zn>Cu>Pb>As>Ni>Co>Sb>Cd. En la Tabla 6.129 se observan las especies y los códigos de muestras referidos a cada una de ellas.

Tabla 6.129. Lista de muestras colectadas por especie en la zona Titire – Coralaque

Zona	Familia	Especies	Nombre Común	Hábito	Código de Muestra
Coralaque	Trochilidae	*Metallura phoebe*	Colibrí Negro	Terrestre	CO-AVE-01
Coralaque	Columbidae	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	Terrestre	CO-AVE-02
Coralaque	Passerellidae	*Zonotrichia capensis*	Gorrión de Collar Rufo	Terrestre	CO-AVE-03
Coralaque	Columbidae	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	Terrestre	CO-AVE-04
Coralaque	Furnariidae	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	Terrestre	CO-AVE-05
Coralaque	Passerellidae	*Zonotrichia capensis*	Gorrión de Collar Rufo	Terrestre	CO-AVE-06
Coralaque	Columbidae	*Metriopelia ceciliae*	Tortolita Moteada	Terrestre	CO-AVE-07
Coralaque	Furnariidae	*Asthenes dorbignyi*	Canastero de Pecho Cremoso	Terrestre	CO-AVE-08
Coralaque	Tyrannidae	*Ochthoeca leucophrys*	Pitajo de Ceja Blanca	Terrestre	CO-AVE-09
Titire	Anatidae	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	Acuático	TI-AVE-01
Titire	Furnariidae	*Cinclodes albiventris*	Churrete de Ala Crema	Terrestre	TI-AVE-02
Titire	Thraupidae	*Geospizopsis plebejus*	Fringilo de Pecho Cenizo	Terrestre	TI-AVE-03
Titire	Thraupidae	*Sicalis uropygialis*	Chirigüe de Lomo Brillante	Terrestre	TI-AVE-04
Titire	Tyrannidae	*Muscisaxicola juninensis*	Dormilona de la Puna	Terrestre	TI-AVE-05
Titire	Anatidae	*Anas flavirostris*	Pato Barcino	Acuático	TI-AVE-06

En la Figura 6.320 se muestran los valores de concentración de los metales elegidos para el análisis, el primer elemento visible es el arsénico, se observa que los mayores valores de concentración de este metal lo presentan las muestras TI-AVE-01 y TI-AVE-06, ambas muestras corresponden a la especie *Anas flavirostris* «pato barcino», con valores de 115,1 y 77,95 mg/kg respectivamente, seguido de la muestra TI-AVE-02 con un valor de 22,25 mg/kg.

En el caso del cadmio, solo 10 muestras presentaron el elemento, las muestras con mayor concentración del metal fueron CO-AVE-01 (0,25 mg/kg), TI-AV-01 (0,19 mg/kg), TI-AVE-06 (0,14 mg/kg). Cabe señalar que, 4 muestras de la zona Titire y 1 muestra de Coralaque, no presentaron valores de concentración para este metal.

Respecto al análisis de la presencia de cobre, todas las muestras presentaron acumulación de este elemento, siendo la muestra TI-AVE-06 la más representativa con un valor de 42,91 mg/kg, seguido de la muestra TI-AVE-01 con 40,03 mg/kg.

El niquel, es otro de los elementos con mayor concentración en la muestra, sus valores se encuentran desde 0,25 hasta 2,02 mg/kg, siendo la muestra CO-AVE-01, que corresponde al colibrí *Metallura phoebe*, la que presentó el mayor valor de este elemento, seguido de la muestra CO-AVE-07 con 1,77 mg/kg.

El plomo, al igual que el cobre, también ha podido se rastreado en las muestras, los valores encontrados varian desde 1,76 hasta 14.04 mg/kg, siendo la muestra de código CO-AVE-01 la de mayor concentración.

Analizando los datos obtenidos del cobalto, se tiene que todas las muestras presentan concentración de este elemento, siendo la muestra CO-AVE-07 la que presentó la mayor concentración con 1,56 mg/kg, seguido de la muestra CO-AVE-04, con 0,85 mg/kg. Ambas muestran corresponde a la especie *Metriopelia ceciliae* «tortolita moteada»

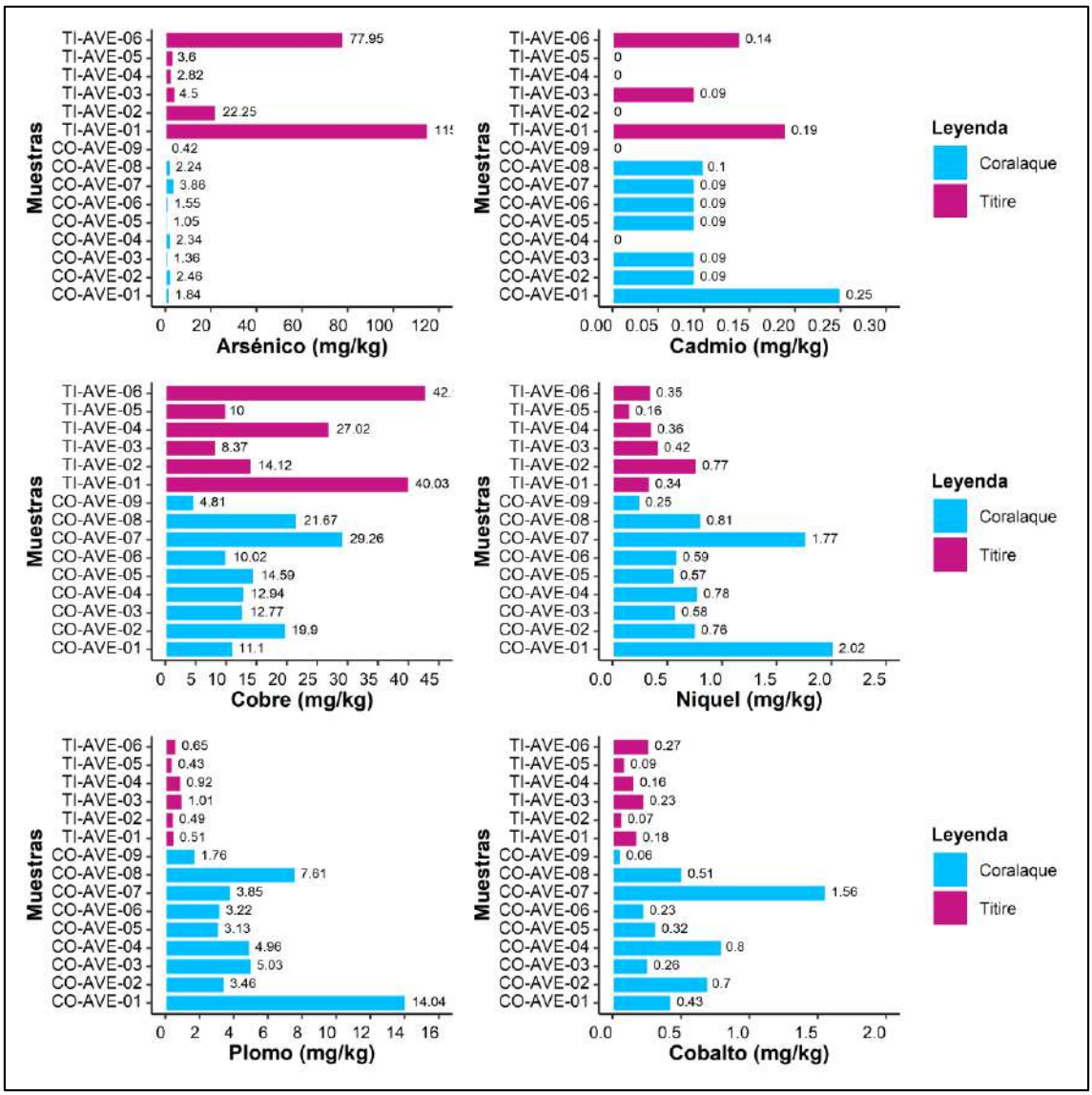


Figura 6.320. Acumulación de metales en muestras de plumas de aves obtenidas en la Titire - Coralaque

i) Análisis Multivariado

Para establecer la influencia de los metales pesados encontrados sobre las muestras de plumas de aves obtenidas, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) tomando en cuenta solo los valores obtenidos de las muestras de las zonas Queullirijahuiri, Aruntaya y Margaritani, para lo cual se establecieron 2 grupos, el primero denominado Blanco conformado por las muestras de las zonas Queullirijahuiri y Aruntaya, y el segundo denominado Tucari conformado por las muestras de la zona Margaritani.

En la figura 6.321, se observa que el PCA generado muestra 2 dimensiones que explican más del 70 % de la varianza de los datos, lo cual nos indica que es un buen modelo. Asimismo, se observa la formación de 2 grupos, conformados cada uno por las muestras de plumas de aves que comparten presencia (acumulación) de metales similares para su grupo (Blanco o Tucari). Analizando más a detalle, se observa, según las dimensiones obtenidas, las variables correspondientes a los metales pesados como calcio, niquel, hierro, cobalto, cadmio, arsénico, cobre, y plomo, están influenciando fuertemente a las muestras obtenidas

en Tucari (zona Margaritani); por otro lado, la variable Zinc, está influenciando a las muestras obtenidas en el Blanco (zona Queullirijahuiri y Aruntaya), y una muestra de Tucari.

Esta figura refuerza lo observado en los resultados de laboratorio, donde se ha podido visualizar una mayor acumulación de metales pesados en las aves de la zona Margaritani, la cual corresponde al área de influencia directa de la mina.

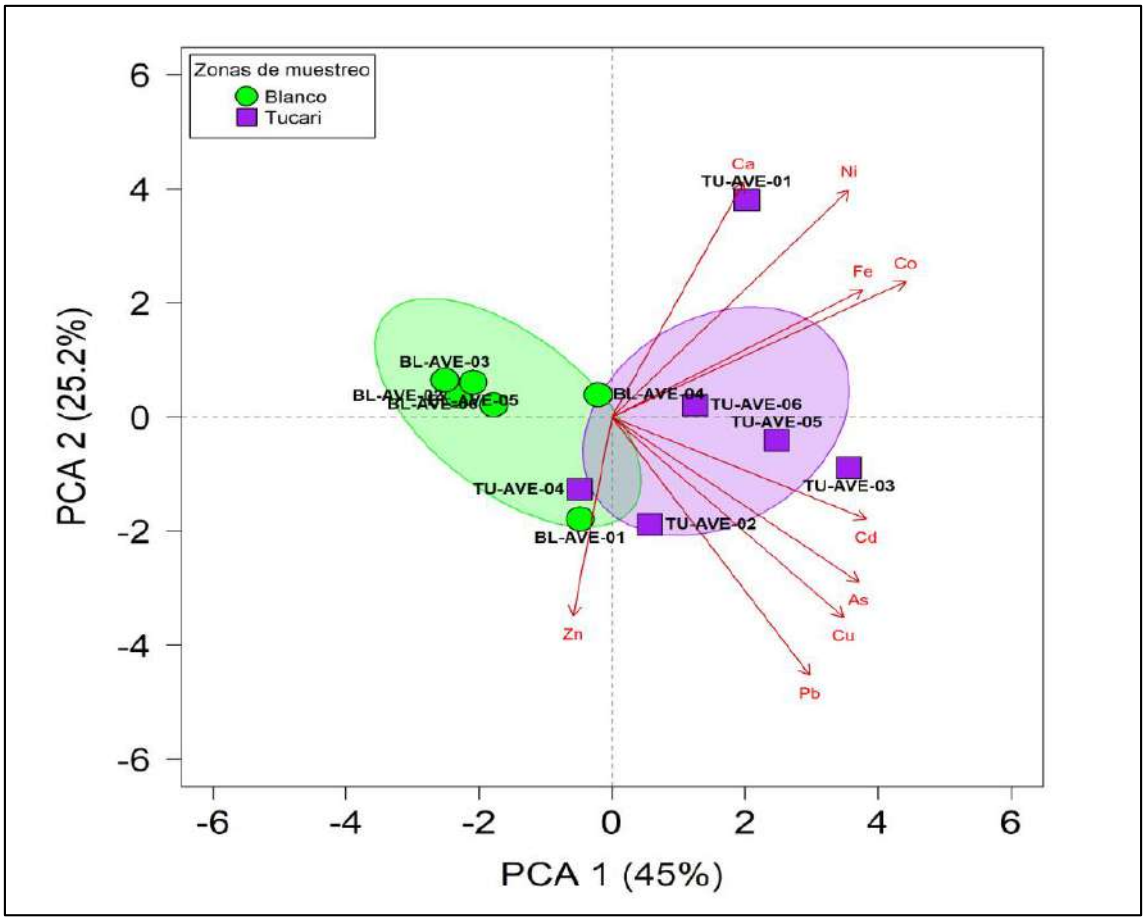


Figura 6.321. Análisis de componentes principales de los valores de concentración de metales totales en muestras de plumas de aves obtenidas en las zonas evaluadas en la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

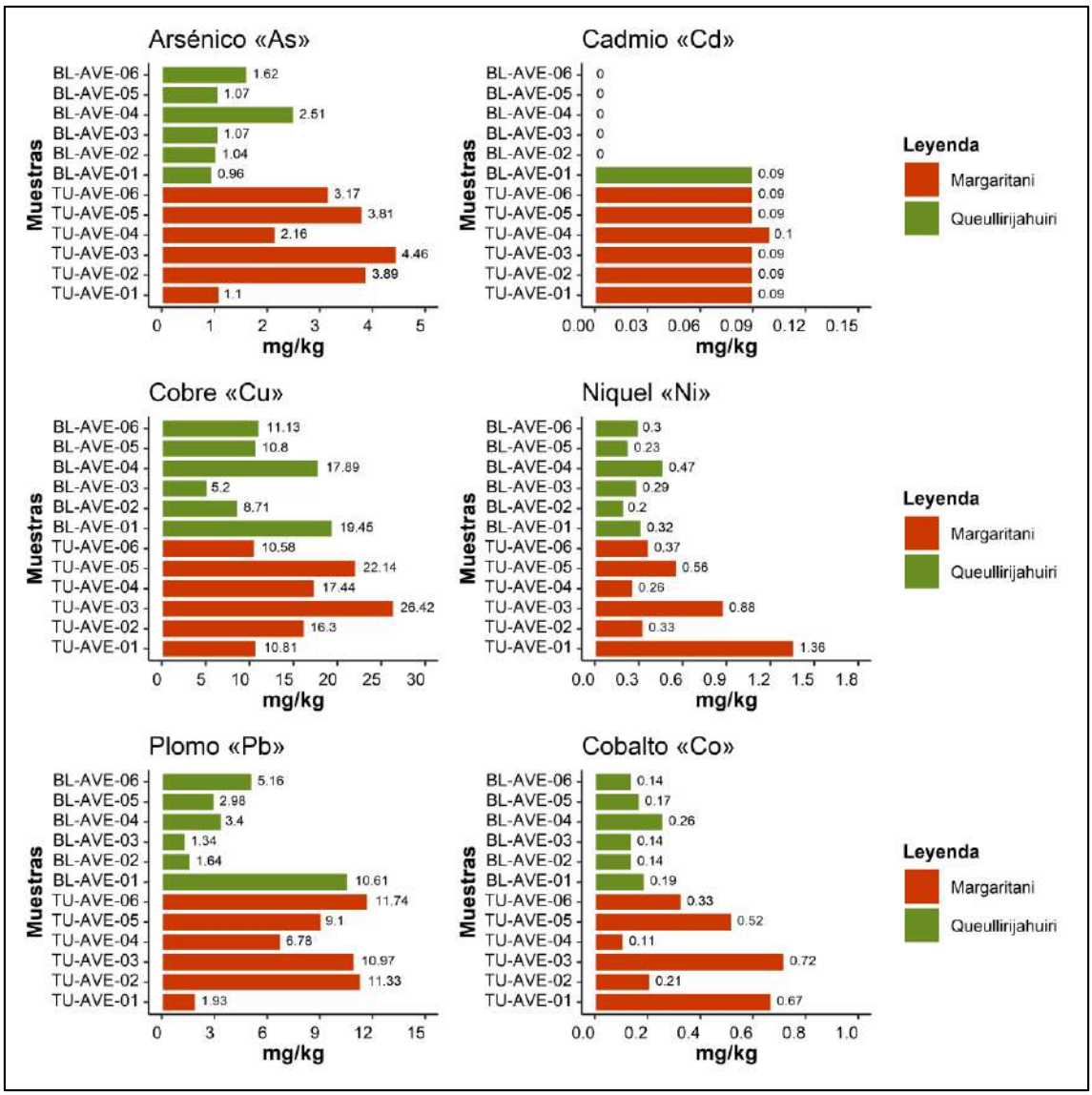


Figura 6.322. Comparación de la acumulación de metales en muestras de plumas de aves por grupo formado en el PCA de la unidad fiscalizable Florencia – Tucari y en la unidad hidrográfica Coralaque

- **Comparación de la concentración de metales en plumas de *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo» entre las zonas de muestreo**

La especie *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo», fue la una de las pocas especies que fue capturada en redes niebla en más de 2 zonas de evaluación. Los resultados obtenidos en el laboratorio seguido del análisis respectivo, nos permite precisar algunos detalles encontrados.

La Figura 6.323 corresponde a un PCA, que muestra el ordenamiento de los metales en relación de las muestras obtenidas. En primer lugar, se observó que en el PCA las dimensiones escogidas para el ordenamiento muestras explican el 100 % de la variabilidad del diagrama lo cual indica que el esquema es bueno.

En segundo lugar, se observa a las 3 muestras de *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo» dispuestas en el plano, según la dimensión PCA 1, la muestra TU-AVE-06 está

fuertemente influenciado por la presencia de metales totales como el cobalto (Co), antimonio (Sb), hierro (Fe), plomo (Pb) y cobre (Cu). Esta muestra fue colectada en la zona Margaritani (interior de mina) por lo que la concentración de metales totales presentes en las plumas de esta ave está relacionada directamente con las actividades de la UM Florencia-Tucari.

Por otro lado, vemos que la muestra TI-AVE-03, está siendo influenciada levemente por la presencia de metales como calcio (Ca), arsénico (As), níquel (Ni) y cadmio (Cd). La presencia de estos metales en las muestras de plumas de la zona Titire – Coralaque, son un indicador de que las aves están bioacumulando metales en esta zona.

Finalmente, se observa que la muestra BL-AVE-02 ubicada en la zona de Queullirijahuiri, denominada la zona Blanco, no está siendo influenciada por alguno de los metales totales seleccionados en el análisis, a pesar de presentar valores bajos de concentración de dichos elementos.

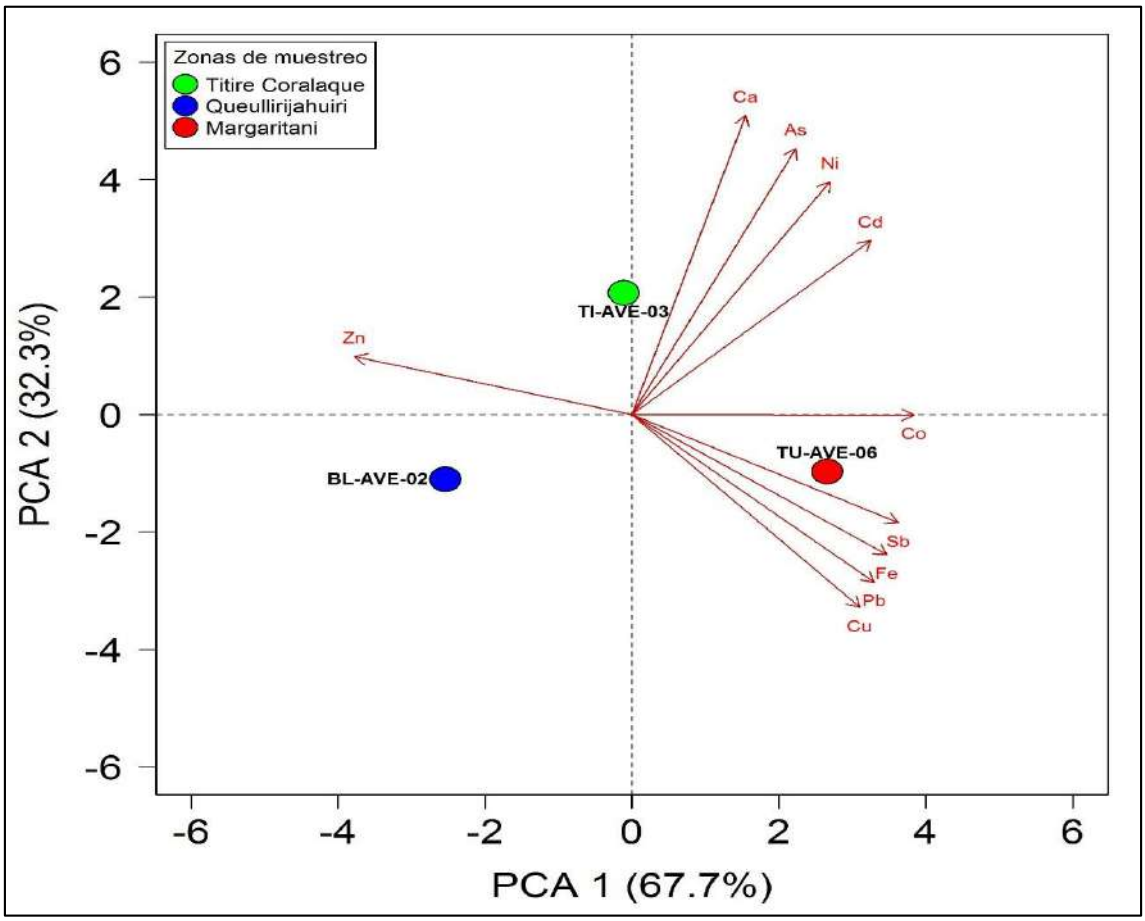


Figura 6.323. PCA de la concentración de metales en muestras de plumas de aves de *Geospizopsis plebejus* capturadas en las zonas Margaritani, Titire – Coralaque y Queullirijahuiri

Analizando la Figura 6.324 donde se comparan las concentraciones de los metales totales (seleccionados) en las muestras de *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo» capturadas en las zonas de Titire – Coralaque, Margaritani y Queullirijahuiri, se observa que la muestra TU-AVE-01, capturada en la Zona Margaritani (dentro de mina) es la que presenta las mayores concentraciones de plomo (11,74 mg/kg), hierro (1048 mg/kg), cobre (10,58 mg/kg), cobalto (0,33 mg/kg), cadmio (0,09 mg/kg) y antimonio (0,19 mg/kg), en comparación con las otras 2 muestras.

En el caso de la muestra TI-AVE-03, se observa valores elevados de concentración de níquel (0,42 mg/kg), arsénico (4,5 mg/kg) y calcio (3484 mg/kg); asimismo, ocupa el segundo lugar en concentración de zinc (Zn), hierro (Fe), cobalto (Co), cadmio (Cd) y arsénico (As), constituyendo valores elevados de concentración de metales, fuera del área de influencia de la UM Tucari.

Por último, se observa que la muestra BL-AVE-02, capturada en Queullirijahuiri, presentó los valores más bajos de concentración en el 70 % de los metales seleccionados, solo su valor es el más alto en zinc (Zn) con 164,4 mg/kg, y en los metales como el cobre (Cu) y Plomo (Pb) ocupa el segundo lugar en concentración. Estos valores indican que las especies en esta zona presentan valores en promedio bajos a los mostrados tanto en la UM Florencia Tucari como en la unidad hidrográfica Coralaque.

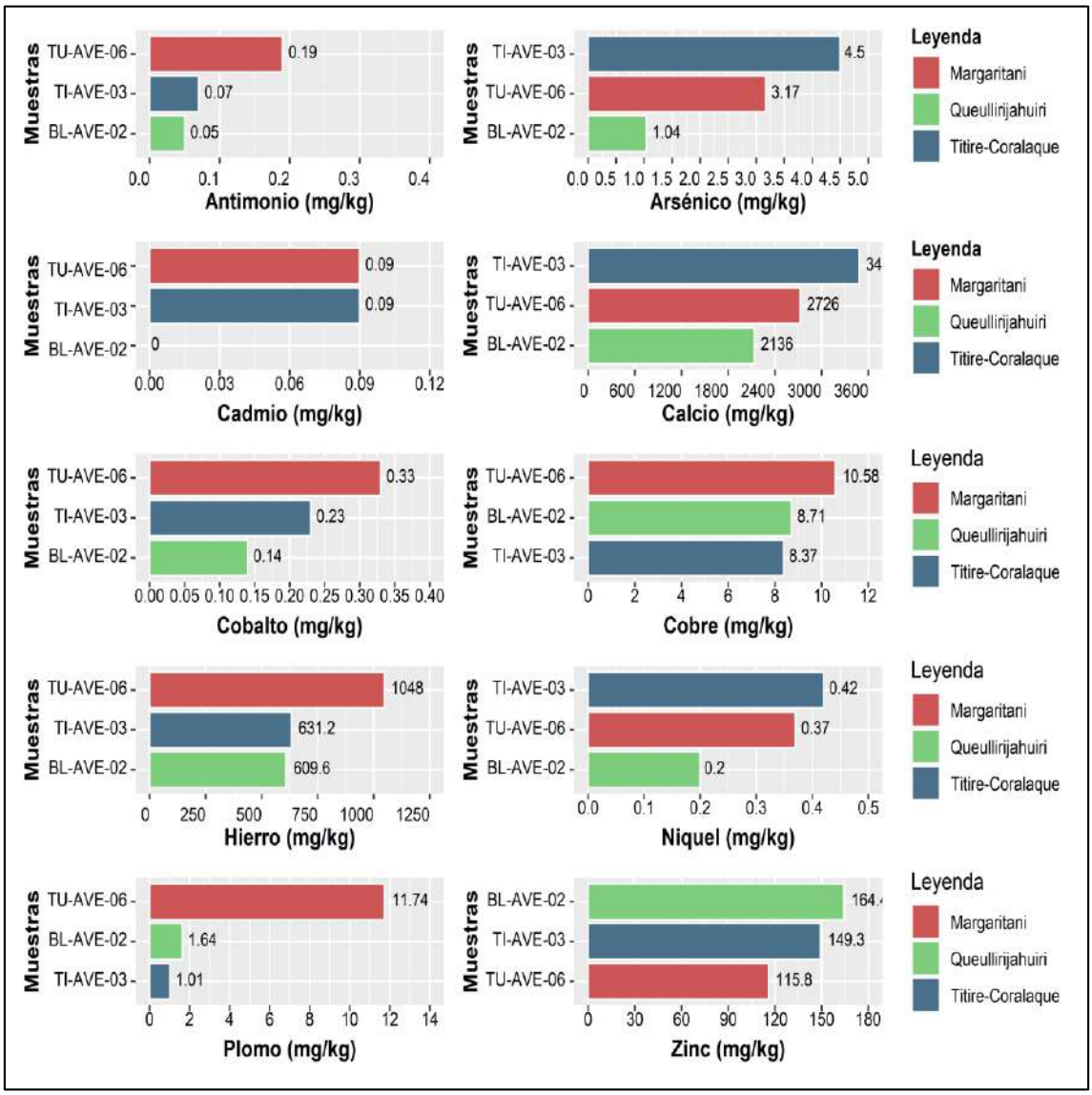


Figura 6.324. Comparación de la concentración de metales totales en muestras de plumas de *Geospizopsis plebejus* «fringilo de pecho cenizo» en las zonas Margaritani, Titire – Coralaque y Queullirijahuiri

- **Comparación de la concentración de metales en plumas de aves acuáticas entre las zonas de muestreo**

En el presente ítem se muestran los resultados obtenidos de las muestras de plumas de aves acuáticas capturadas en el área de estudio. La importancia de esta comparación se centra en primer lugar en las similitudes y/o diferencias en la concentración de metales totales analizados con el objetivo de medir presencia y concentración de metales totales; y en segundo lugar verificar el estado de ellas; debido a que estas aves de hábitos acuático usan los diferentes cuerpos de agua como una sola unidad, por lo que una variación en el hábitat repercutirá en las especies que hagan uso de esta zona.

La Figura 6.325 corresponde a un PCA, que muestra el ordenamiento de los metales en relación de las muestras obtenidas. En la figura se pueden observar las dimensiones escogidas para el ordenamiento muestras, las cuales explican el 100 % de la variabilidad de a varianza, lo cual indica que el esquema es bueno.

En la Figura 6.325 se observan a las 3 muestras de plumas de aves acuáticas capturadas en el área de estudio, las muestras TI-AVE-01 y TI-AVE-06 corresponden a la especie *Anas flavirostris* «pato barcino», capturadas en la zona Titire - Coralaque, mientras que la muestra BL-AV-04, corresponde a la especie *Fulica gigante* «gallareta gigante», capturada en la parte alta de la zona Aruntaya.

Analizando la Figura 6.325 se observa que al lado derecho del componente 1, la muestra BL-AV-04 está fuertemente influenciada por la concentración de hierro (Fe), plomo (Pb), níquel (Ni) y zinc (Zn) en la zona; asimismo, la figura podemos observar, por la posición y la dirección de las flechas, que estos metales están muy correlacionados entre sí, es decir, la presencia de uno favorece a la presencia del otro elemento.

La muestra TI-AVE-01, según el análisis de componentes principales (PCA), está fuertemente influenciada por la concentración de metales como cadmio (Cd) y arsénico (As), los cuales presentan una alta correlación entre sí, mientras que, la muestra TI-AVE-06, está influenciada por la concentración de cobre (Cu). Estas valores de metales encontrados en plumas en esta zona definen el ordenamiento de las muestras, según su concentración .

Es importante mencionar que la muestra TI-AV-06 corresponde a una muestra de plumas de pato barcino, pero de un individuo hallado muerto en la zona de evaluación; en cambio, la muestra TI-AVE-01 corresponde a plumas del pato barcino vivo.

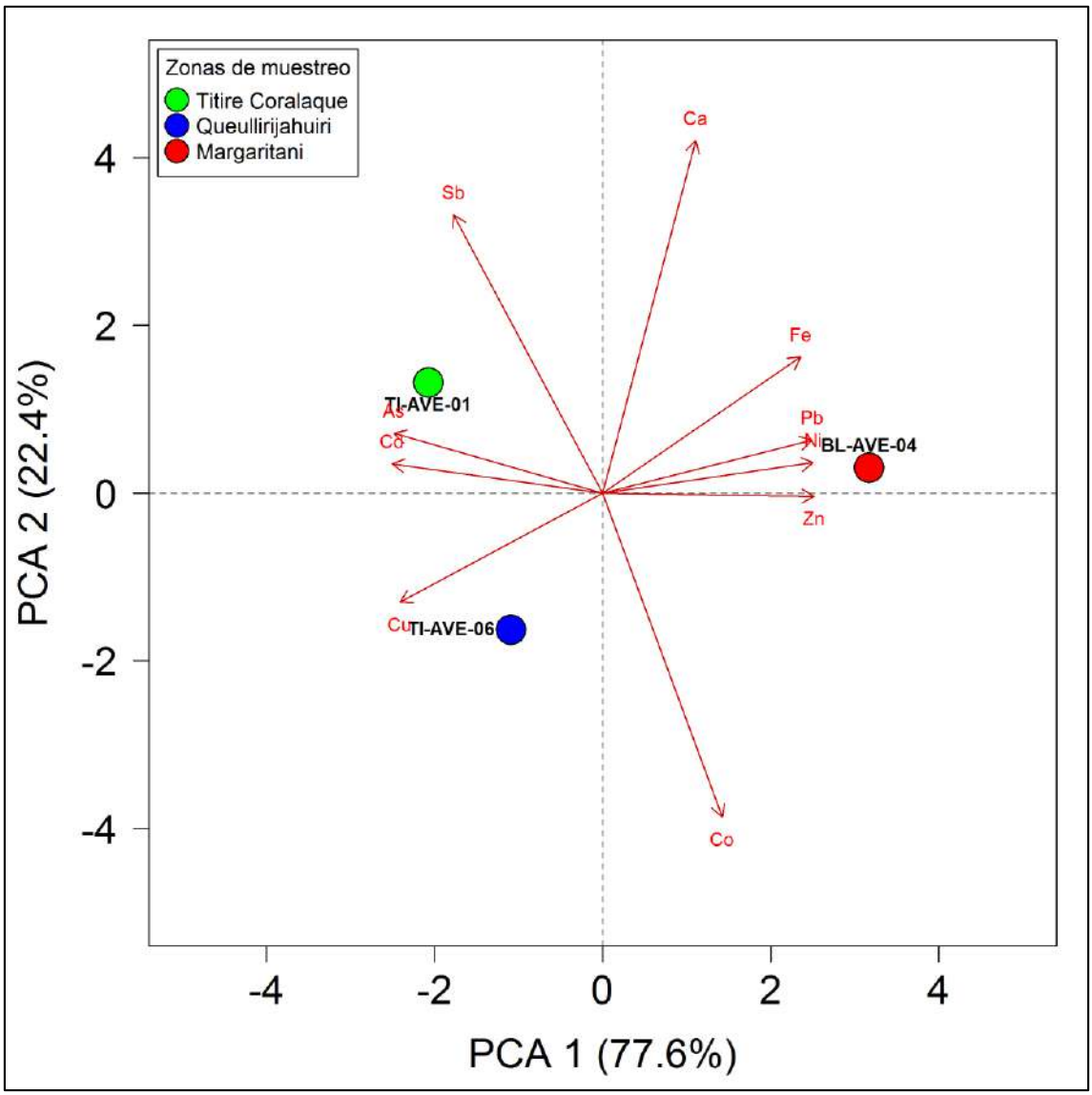


Figura 6.325. PCA de la concentración de metales en muestras de plumas de aves acuáticas capturadas en las zonas Queullirijahuiri y Titire – Coralaque

En la Figura 6.326 se observan los valores de concentración de metales obtenidos por las muestras de los patos en la zona Titire - Coralaque y la muestra de plumas de la gallareta gigante, capturada en la laguna sin nombre de la parte alta de la zona de Aruntaya. Se oberva que la muestra TI-AVE-01, presentó los mayores valores de concentración de cadmio (Cd), arsénico (As) y antimonio (Sb), por su parte la muestra TI-AVE-06, presentó los mayores valores de concentración de cobalto (Co) y cobre (Cu); mientras que, la muestra BL-AVE-04, presentó los mayores valores de concentración de plomo (Pb), zinc (Zn), níquel (Ni), calcio (Ca) y hierro (Fe), esto refuerza lo mostrado en el PCA generado.

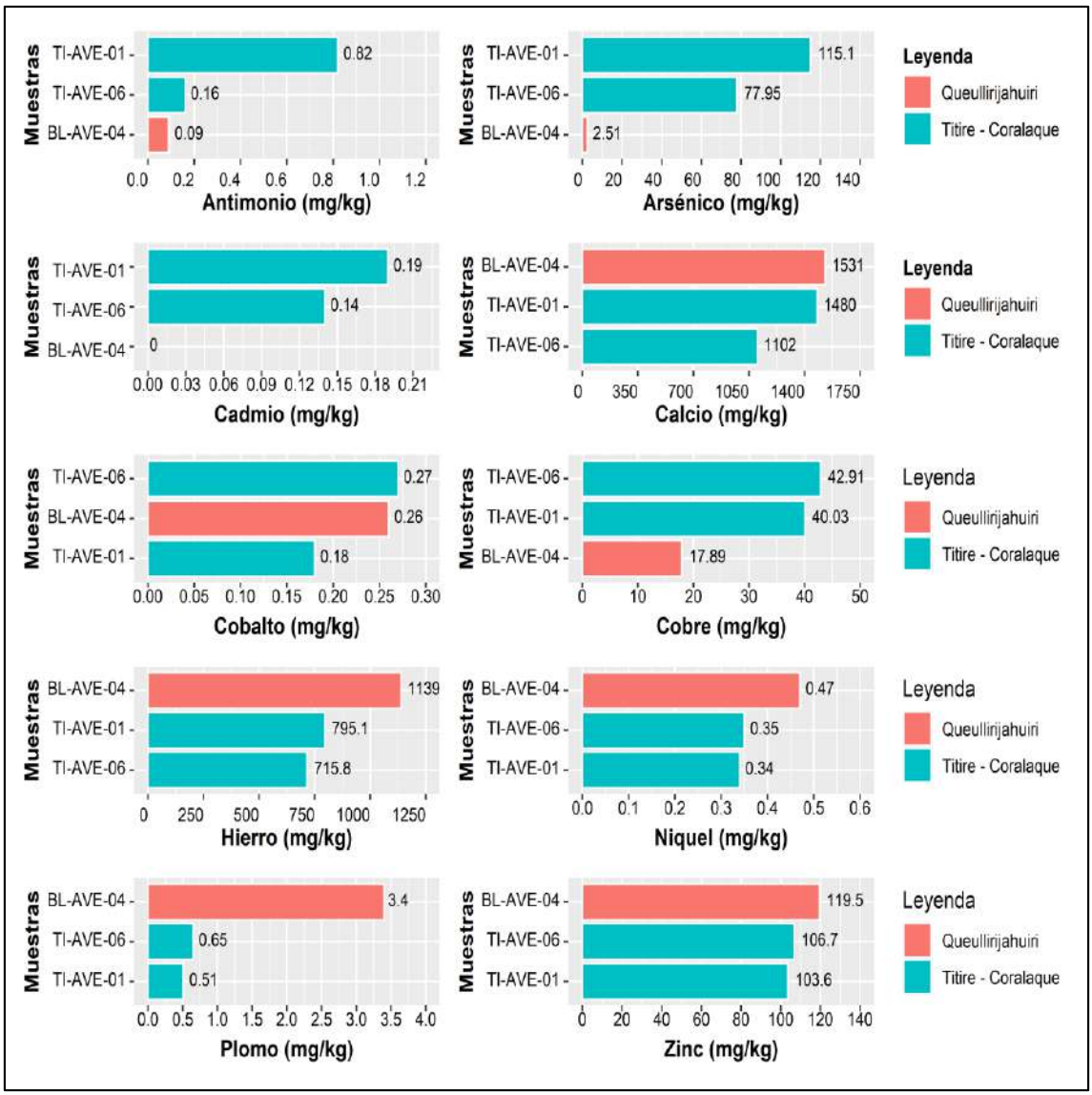


Figura 6.326. Comparación de la concentración de metales totales en muestras de plumas de aves acuáticas capturadas en las zonas Queullirijahuiri y Titire – Coralaque

j) Metales en tejido de aves

Durante la evaluación realizada se obtuvieron aparte de las muestras de plumas de aves, 2 muestras de tejidos de 2 especies distintas. La muestra de código TU-01 corresponde a la especie *Geospizopsis unicolor* «fringilo plomizo» y la muestra TU-02 corresponde a la especie *Asthenes modesta* «canastero cordillerano».

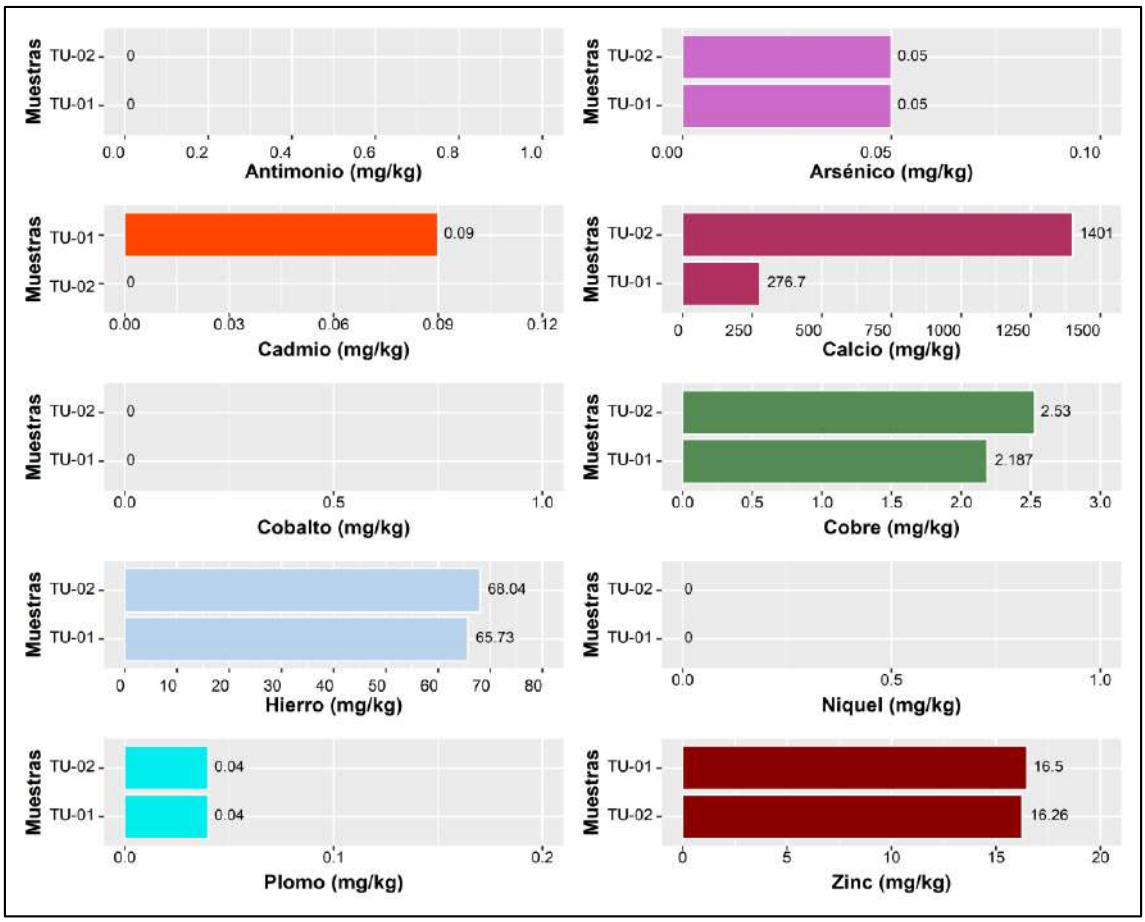


Figura 6.327. Acumulación de metales en muestras de tejido de aves obtenidas en la zona Titire -Coralaque

En la Figura 6.327 se observa que la muestra de tejido de código TU-01 presentó mayores valores de concentración respecto a la concentración de calcio (1401 mg/kg), cadmio (0,09 mg/kg), hierro (68,04 mg/kg), zinc (16,5 mg/kg) y cobre (2,53 mg/kg); resultando estos los más representativos. Por otro lado, analizando los metales restantes vemos que ambas especies compartieron el mismo valor de concentración de metales como en el caso de metales totales como el antimonio (Sb), plomo (Pb) y arsénico (As) o simplemente no obtuvieron valor cuantificable de metales como níquel (Ni), cobalto (Co) y antimonio (Sb).

6.4.3.3 Mamíferos

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de mamíferos realizada con las metodologías explicadas anteriormente.

- **Mamíferos menores roedores**

a) Composicion y riqueza de especies

Se han registrado 10 especies de roedores, todas pertenecientes a la familia Cricetidae, grupo taxonómico conformado por un gran número de especies entre las familias del orden Rodentia, Tabla 6.130.

Tabla 6.130. Registro de especies de roedores

Orden	Familia	Especies	Nombre común[49]
Rodentia	Cricetidae	*Abrothrix andinus*	Ratón campestre andino
		Abrothrix jelskii	Ratón campestre de jelski
		Akodon boliviensis	Ratón campestre boliviano
		Auliscomys boliviensis	Ratón orejón boliviano
		Auliscomys sublimis	Ratón orejón sublime
		Auliscomys pictus	Ratón orejón pintado
		Calomys lepidus	Ratón vespertino precioso
		Chinchillula sahamae	Ratón chinchilla del Sajama
		Neotomy ebriosus	Ratón de humedales andino
		Phyllotis xanthopygus	Ratón orejón de ancas amarillentas

Para la obtención de estas 10 especies el esfuerzo total realizado mediante el uso de trampas Sherman fue de 1700 TN (trampas- noche), distribuidas en 5 zonas de muestreo mediante 17 líneas de captura, de las cuales 8 estuvieron desplegadas en la zona Margaritani con un esfuerzo de 800 TN. Todas las trampas en las líneas de captura fueron ubicadas estratégicamente con el fin de obtener muestras representativas para las 5 zonas, Tabla 6.131.

Tabla 6.131. Esfuerzo de muestreo de captura de roedores

Zonas de muestreo	Líneas de captura	N° de trampas	N° de noches	TN
Margaritani	8	400	2	800
Queullirijahuiri	2	100	2	200
Paccha-Aruntaya	2	100	2	200
Aruntaya	4	200	2	400
Coralaque	1	50	2	100
Total	17	850	2	1700

TN: Trampas-noche

8.4.3.1 Composición de especies por zona

Los mayores registros se dieron en las zonas de Margaritani, Queullirijahuiri y Aruntaya con 8, 7 y 6 especies respectivamente. Para ello es preciso indicar que los esfuerzos ejecutados en cada zona fueron diferentes, y que las 7 especies registradas en la zona de Queullirijahuiri

[49] Pacheco V.; Cadenillas R.; Salas E.; Tello C. & Zeballos, H. (2009). Diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú. Revista Peruana de Biología, 16: 5-32.

tomada como zona de control el esfuerzo realizado fue inferior al de Margaritani. Y en la zona de Paccha-Aruntaya también se obtuvo un único registro, Figura 6.328.

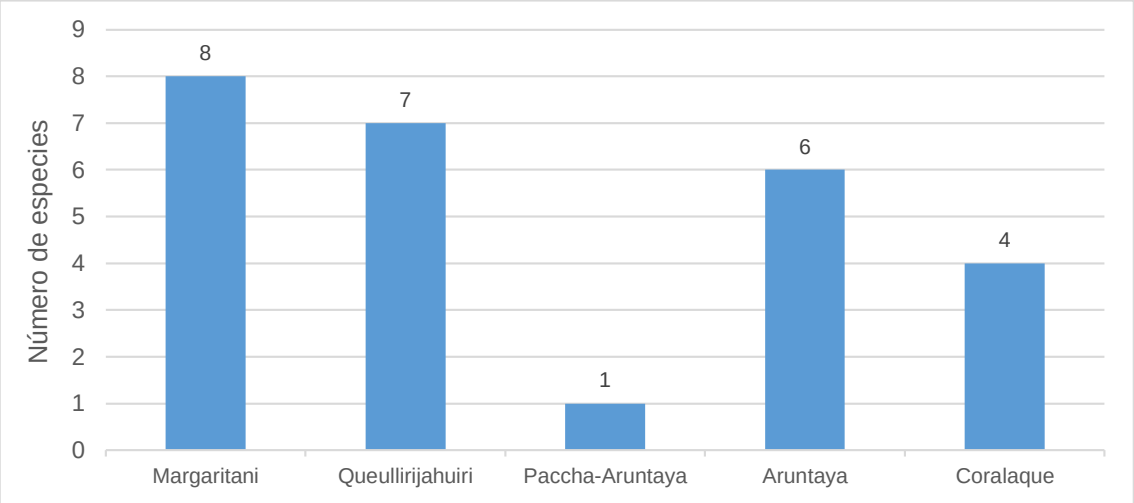


Figura 6.328. Registro de especies de roedores en las diferentes zonas

Realizando el análisis de especies presentes por zonas de muestreo, se notan que las especies registradas en las zonas Margaritani, Aruntaya y Coralaque enmarcadas en el primer grupo (circulo de color naranja) ocupan más del 80% de las especies similares, es precisando que estas zonas se encuentran circundando una misma línea de flujo de agua desde la parte alta hacia la parte baja de la cuenca hidrográfica Coralaque. Y las zonas Queullirijahuiri y Paccha-Aruntaya (en circunferencias de color verde) se mantienen aislados por especies particulares o diferentes con más del 50% de ellas, Figura 6.329.

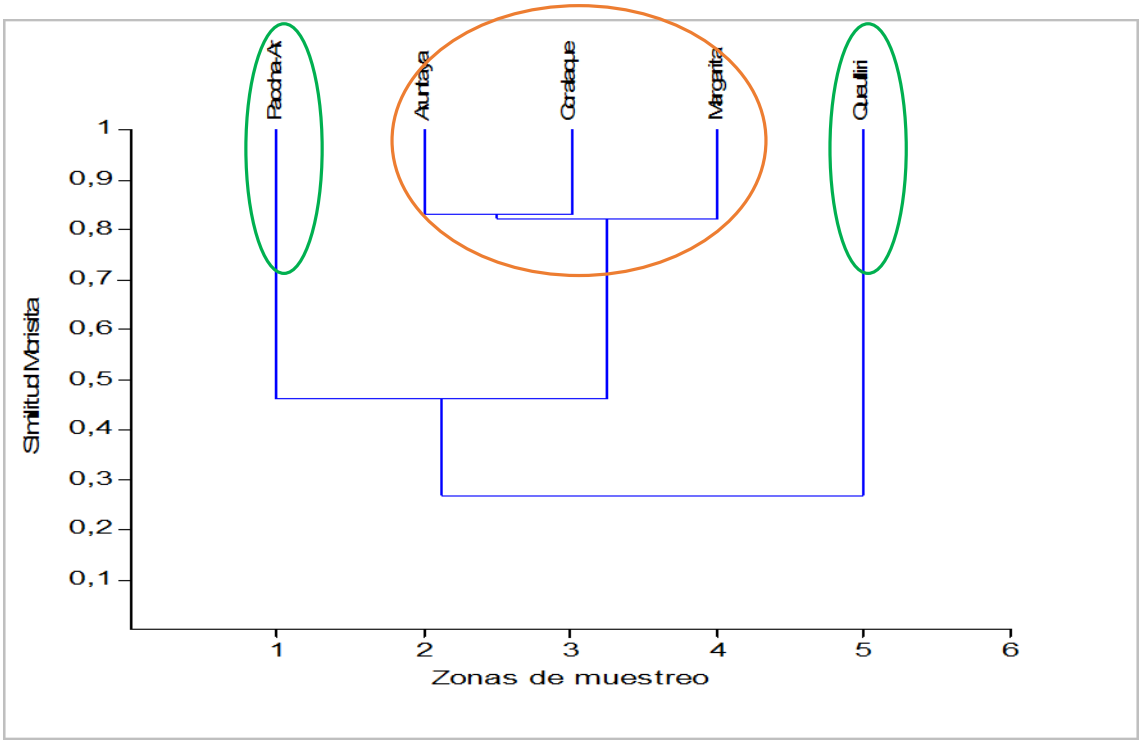


Figura 6.329. Similitud de Morisita de especies de roedores según zona de muestreo

En las líneas Tu-Ro4 y Tu-Ro5, el éxito de captura fue de 0 durante los 2 días de trabajo en ambos casos, el primero ubicado en la zona Paccha-Aruntaya y el segundo en la zona Margaritani (ver mapas del reporte de campo xxxxxx), en cambio en las 15 líneas de captura restantes las capturas van desde 1 a 5 especies, siendo la línea Tu-Ro16 en Aruntaya el de mayor registro con 5 especies, Figura 6.330.

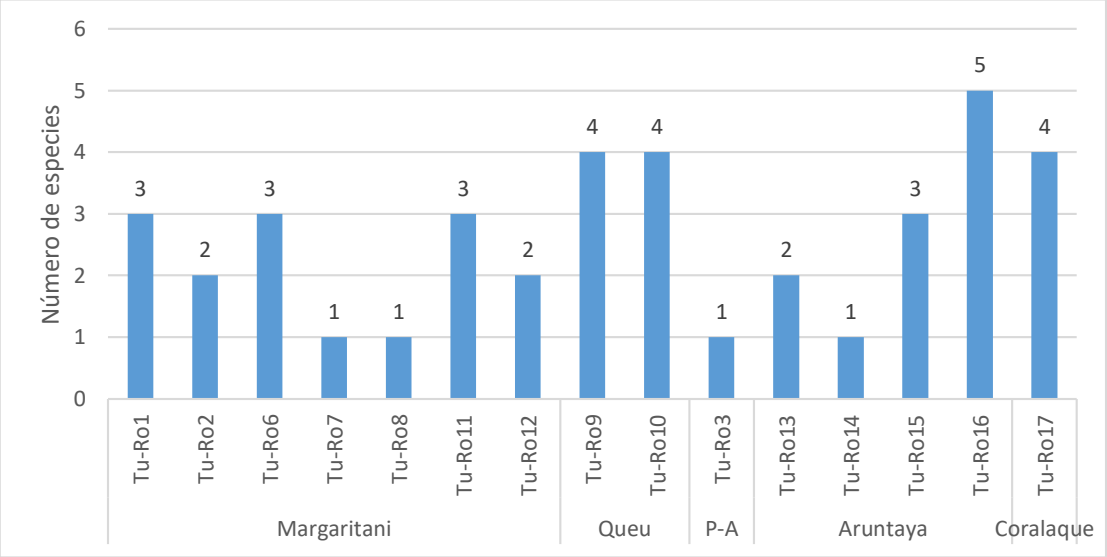


Figura 6.330. Registro de especies de roedores por zona y línea de muestreo
Queu: Queullirijahuiri, P-A: Paccha-Aruntaya

Concentraciones de metales en tejidos de roedores y sus comparaciones

Para un mejor análisis de las concentraciones de metales en tejidos de roedores se ha visto conveniente realizar la descripción entre cada zona de muestreo comparando en primer lugar la zona Margaritani con las zonas Queullirijahuiri y Pacchas-Aruntaya como zona con influencia de actividad minera la primera y sin influencia la segunda y tercera zona respectivamente. Así mismo dentro de las muestras de la zona Aruntaya las muestras Mm-Tuca-16 y Mm-Tuca-17 son usadas como muestras de control o blanco para las muestras de las zonas faltantes (Zona Aruntaya y Coralaque).

En la Figura 6.331 se puede apreciar de manera esquemática la distribución de los puntos donde se obtuvieron las muestras iniciándose desde aguas arriba en las laderas de las quebradas y ríos de la cuenca hidrográfica Coralaque, de manera que se pueda seguir una línea de contraste según el flujo de los cuerpos de agua.

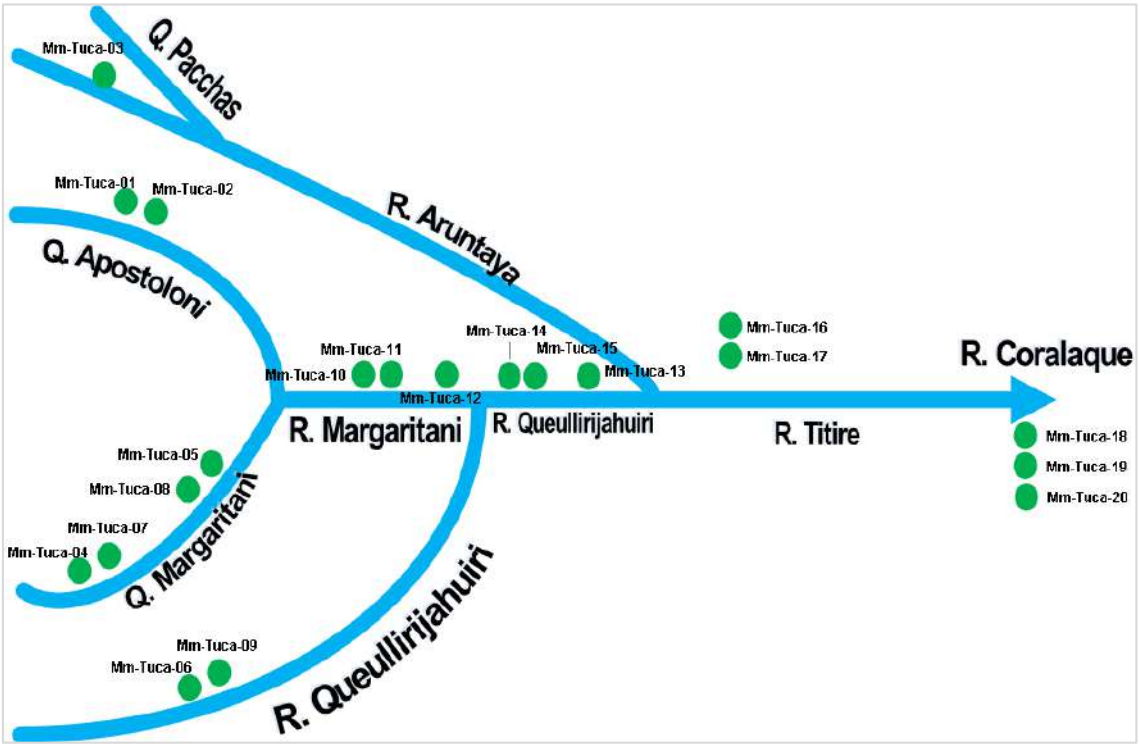


Figura 6.331. Esquema de la distribución de puntos de muestreo para tejido de roedores
Q: Quebrada, R: Río

En la Tabla 6.109 se muestran los resultados de algunos metales que están presentes en los tejidos de los roedores de manera natural y sus elevadas concentraciones que derivan del contacto con los componentes físicos de su medio o hábitat en el que se encuentran. Luego se describen algunos de ellos, básicamente por los altos valores que presentan estas muestras. En el Anexo 3 (Reporte de resultados N.° XXX-2020-STEC) se encuentra con más detalle estos resultados.

Aluminio – Al: La concentración de aluminio en los tejidos de roedores presenta valores que van desde el límite de cuantificación (L.C.) de 0,8349 mg/kg en el Mm-Tuca-01 de la primera zona en Margaritani perteneciente al sector de la quebrada Apostoloni, hasta 24,28 mg/kg en la zona Queullirijahuiri tomado como punto control o blanco, Figura 6.332a.

Arsénico – As: La concentración de arsénico en los tejidos de roedores en su mayoría se encontró dentro del límite de cuantificación de 0,0461 mg/kg, sin embargo, las concentraciónes aumentan en las muestras Mm-Tuca-04 con 0,0908 mg/kg, seguido de Mm-Tuca-07 con 0,0733 mg/kg y Mm-Tuca-06 con 0,0687 mg/kg todos en la zona Margaritani en la Figura 6.332b.

Bario – Ba: La concentración de bario en los tejidos de roedores con respecto a este metal mantienen valores mayores a 0,1 mg/kg sobre toda en la zona de Margaritani en donde la mayor concentración se dio en la muestra Mm-Tuca-04 con 0,4892 mg/kg y con valores menores para las zonas de control o blanco en Qeullirijahuiri y Paccha-Aruntaya, Figura 6.333a.

Boro – B: La concentración de boro en tejido de roedores presentó su mayor valor en la muestra Mm-Tuca-16 con 0,745 mg/kg en la zona Aruntaya, seguida de Mm-Tuca-06 con 0,7291 mg/kg en la zona Queullirijahuiri, se menciona que ambas muestras corresponden a

sectores tomados como control o blanco. Además, la muestra Mm-Tuca-04 correspondiente a la zona de Margaritani tomada del sector de la quebrada del mismo nombre también resultó con un valor promedio de 0,5045 mg/kg, este último agrupado a las 2 muestras anteriores presentan los mayores valores, Figura 6.333b.

Cadmio – Cd: La concentración de cadmio en tejido de roedores reporta un valor relativamente alto en la muestra Mm-Tuca-06 con 0,6511 mg/kg correspondiente a la zona de Queullirijahuari como parte de la muestra control o blanco, este resultado difiere y es distante a los valores de las muestras restantes, Figura 6.334a.

Cobalto – Co: La concentración de cobalto en tejido de roedores muestra una proporción similar a los valores de concentración de cadmio, reportando en la muestra Mm-Tuca-06 un valor máximo de 0,1726 mg/kg, seguido de la muestra Mm-Tuca-03 con 0,1082 mg/kg pertenecientes a las zonas Queullirijahuiri y Paccha-Aruntaya respectivamente. Los demás resultados se encuentran a nivel del límite de cuantificación, pero con ligeros aumentos en las muestras Mm-Tuca-05 y Mm-Tuca-08 en la zona Margaritani, Figura 6.334b.

Cobre – Cu: La concentración de cobre en tejido de roedores nos refleja una variación alternante entre los valores de las muestras e incluso entre las zonas, destacando entre todas las muestras Mm-Tuca-19 con 6,403 mg/kg respecto a la zona de Coralaque, además de una ligera diferenciación entre la asíntota proporcional de valores de la zona Margaritani entre las muestras de la zona de Aruntaya donde los valores son menores, Figura 6.335a.

Cromo – Cr: Para la concentración de cromo en tejido de roedores se reporta una clara diferencia de valores de las muestras de la zona de Margaritani frente a las zonas restantes con excepción de algunas de ellas como Mm-Tuca-09 de la zona Queullirijahuiri, Mm-Tuca-03 de la zona Paccha-Aruntaya, Mm-Tuca-17 de la zona Aruntaya y Mm-Tuca-20 de la zona de Coralaque, Figura 6.335b.

Hierro – Fe: Las concentraciones de hierro en las muestras de tejidos de roedores resultaron para la zona de Margaritani con concentraciones bastante considerables encontrándose el máximo valor con 224 mg/kg, sin embargo, en todas las zonas por los menos uno de las muestras presenta concentraciones altas, Figura 6.336a.

Manganeso – Mn: Las concentraciones de manganeso en las muestras de tejidos de roedores presentaron valores dentro del rango de 0,155 mg/kg hasta 1,442 mg/kg a excepción de la muestra Mm-Tuca-04 con una concentración elevada de 5,335 mg/kg correspondiente a la zoan Margaritana en el sector de la quebrada del mismo nombre, Figura 6.336b.

Molibdeno – Mo: Las concentraciones de molibdeno en las muestras de tejidos de roedores para la zona de Margaritani presentaron valores relativamente altos frente a las otras muestras de las demás zonas, siendo la muestra Mm-Tuca-05 el más elevado con 0,6811 mg/kg, seguido de la muestra Mm-Tuca-07 con 0,5471 mg/kg y Mm-Tuca-08 con 0,5218 mg/kg ubicadas en el sector de la quebrada Margaritani, no obstante, en la zona Queullirijahuiri también se muestran valores relativamente altos con 0,4969 mg/kg para la muestra Mm-Tuca-06 y 0,437 mg/kg para la muestra Mm-Tuca-13 en la zona de Aruntaya, Figura 6.337a.

Plomo – Pb: Una de las concentraciones más relevantes es la encontrada en la muestra Mm-Tuca-03 perteneciente a la zona de Paccha-Aruntaya con un valor de 0,3234 mg/kg, encontrándose las concentraciones restantes muy por debajo de este valor con un rango entre 0,0423 mg/kg hasta 0,1012 mg/kg, Figura 6.337b.

Zinc – Zn: Respecto a la concentración de zinc en muestras de tejido de roedores, no se encuentró una diferencia marcada en cuanto a lo reportado entre las zonas de muestreo y que puedan ayudar así a una interpretación sobre la influencia de estos valores por actividad minera y por causar naturales. Sin embargo, es preciso indicar que estas concentraciones no estén afectando las características biológicas en estos roedores. Las concentraciones más altas figuran entre las muestras Mm-Tuca-01 con 22,51 mg/kg, seguida de Mm-Tuca-05 con 21,14 mg/kg en la zona de Margaritani en los sectores de la quebrada Apostoloni y quebrada Margaritani respectivamente, además de Mm-Tuca-06 en la zona Queullirijahuiri correspondiente a la zona control o blanco, Figura 6.338.

Tabla 6.132. Resultados de metales en tejido de roedores en la zona de Margaritani

Zona		Margaritani									Queullirijahuiri		Paccha-Aruntaya	Aruntaya					Coralaque		
Parámetro	**Unidad**	Mm-Tuca-01	Mm-Tuca-02	Mm-Tuca-04	Mm-Tuca-05	Mm-Tuca-07	Mm-Tuca-08	Mm-Tuca-10	Mm-Tuca-11	Mm-Tuca-12	Mm-Tuca-06	Mm-Tuca-09	Mm-Tuca-03	Mm-Tuca-13	Mm-Tuca-14	Mm-Tuca-15	Mm-Tuca-16	Mm-Tuca-17	Mm-Tuca-18	Mm-Tuca-19	Mm-Tuca-20
Aluminio	mg/kg	< 0,8349	4,026	5,392	10,6	8,416	3,374	3,579	6,087	4,23	2,45	24,28	4,193	2,111	13,26	4,173	3,993	9,252	10,54	1,742	5,313
Arsénico	mg/kg	< 0,0461	< 0,0461	0,0908	0,0687	0,0733	< 0,0461	0,0461	0,047	0,0461	0,0461	0,0581	0,0461	0,0461	0,0461	< 0,0461	< 0,0461	< 0,0461	0,0461	0,0461	0,0461
Bario	mg/kg	0,1954	0,22	0,4892	0,3427	0,475	0,1119	0,105	0,393	0,2108	0,0708	0,3628	0,1343	0,098	0,479	0,114	0,166	0,1957	0,2516	0,0762	0,3135
Boro	mg/kg	0,2024	0,1136	0,5045	0,167	0,1136	0,1136	< 0,1136	0,4	0,1605	0,7291	< 0,1136	0,1136	0,262	0,1136	0,159	0,745	0,3532	0,1628	< 0,1136	0,1136
Cadmio	mg/kg	0,0924	< 0,0924	0,0924	0,1228	0,2201	0,0924	< 0,0924	< 0,0924	< 0,0924	0,6511	< 0,0924	0,0924	0,0924	0,169	0,0924	< 0,0924	< 0,0924	< 0,0924	< 0,0924	< 0,0924
Calcio	mg/kg	48,14	160,2	73,94	59,5	119,4	58,96	58,64	585,2	61,3	56,92	102,5	100,5	75,47	145	94,66	142,2	100,6	81,76	213,6	109,8
Cobalto	mg/kg	0,0507	< 0,0507	0,0507	0,0709	0,0507	0,0632	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	0,1726	0,0507	0,1082	0,0507	0,0507	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	0,0507	< 0,0507	< 0,0507
Cobre	mg/kg	2,774	2,301	4,62	3,491	4,259	2,407	2,085	1,587	1,551	3,642	1,489	2,504	2,727	2,654	2,254	1,206	1,37	2,025	6,403	0,8448
Cromo	mg/kg	1,172	0,6563	0,4167	0,2762	0,2381	1,252	0,3405	0,3958	0,2791	0,2741	0,4188	0,6719	0,114	0,474	0,261	0,188	0,5893	0,1811	0,1176	0,5808
Estroncio	mg/kg	< 0,1820	1,355	0,3677	0,182	0,5906	0,2319	0,182	0,8567	0,182	0,182	0,737	0,4424	0,328	1,227	0,678	1,04	0,5543	0,3692	0,7964	0,5183
Hierro	mg/kg	106,8	59,07	109,2	134,5	150,5	224	79,99	57,98	50,02	143	68,79	76,57	134	130,9	86,07	26,01	64,08	70,53	91	32,39
Magnesio	mg/kg	213,6	273	201,1	250,8	205,2	220,4	213,7	243,8	292,5	188,4	260,6	238	215,6	234,7	253,9	263,3	225,9	199,7	227	223,2
Manganeso	mg/kg	0,5371	0,3629	5,335	1,085	1,265	0,5682	0,6368	0,4484	0,2981	1,442	0,6992	0,6243	1,235	1,056	0,75	0,219	0,4314	0,726	0,5778	0,1555
Mercurio	mg/kg	0,0476	0,0476	< 0,0476	< 0,0476	0,0802	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476	< 0,0476
Molibdeno	mg/kg	0,3284	0,1151	0,2378	0,6811	0,5471	0,5218	0,1549	0,0524	0,0537	0,4969	0,1956	0,2167	0,437	0,327	0,313	0,0503	0,0812	0,224	0,068	0,0503
Níquel	mg/kg	0,0656	0,1192	< 0,0656	< 0,0656	< 0,0656	< 0,0656	< 0,0656	< 0,0656	< 0,0656	0,0656	< 0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	< 0,0656	< 0,0656	0,2114	< 0,0656
Plata	mg/kg	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	0,078	0,041	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405	< 0,0405
Plomo	mg/kg	0,0498	0,0917	0,0423	0,059	0,1012	0,0423	0,0423	0,0587	0,0423	0,0886	0,0694	0,3234	0,0423	0,0423	0,0423	0,0423	0,0423	0,0423	0,0423	0,0423
Potasio	mg/kg	2725	2937	2837	3463	2970	2549	2313	2670	3245	2269	2450	2544	2635	2498	3132	3032	3042	2369	2782	2789
Selenio	mg/kg	0,5453	0,485	0,1361	0,4724	0,8221	0,3246	0,3249	0,1635	0,1296	0,9481	0,1774	0,7039	0,308	0,337	0,0924	0,371	0,0924	0,4906	0,281	0,0924
Silicio	mg/kg	10,37	12,22	12,96	19,28	14,16	7,241	6,808	12,08	7,338	11,19	24,52	11,5	5,68	22,55	11,11	8,088	19,6	20,45	9,068	12,98
Sodio	mg/kg	879,4	904,3	704,1	899,5	879,6	825,6	651,8	879	549	1387	921,5	1062	755,9	1028	1030	875	770,7	620,8	739	597,1
Titanio	mg/kg	0,1533	0,2341	0,2131	0,3294	0,2962	0,2213	0,2441	0,3004	0,2272	0,2945	0,9145	0,2033	0,175	0,696	0,328	0,175	0,4056	0,4393	0,1785	0,262
Vanadio	mg/kg	< 0,0615	< 0,0615	< 0,0615	0,0615	0,0615	< 0,0615	< 0,0615	< 0,0615	< 0,0615	< 0,0615	0,0757	< 0,0615	< 0,0615	0,0615	< 0,0615	< 0,0615	< 0,0615	0,0615	< 0,0615	< 0,0615
Zinc	mg/kg	22,51	12,99	12,13	21,14	15,67	18,5	12,9	10,35	10,43	20,27	9,756	13,37	15,49	16,71	17,95	10,73	12,45	11,74	16,24	8,649

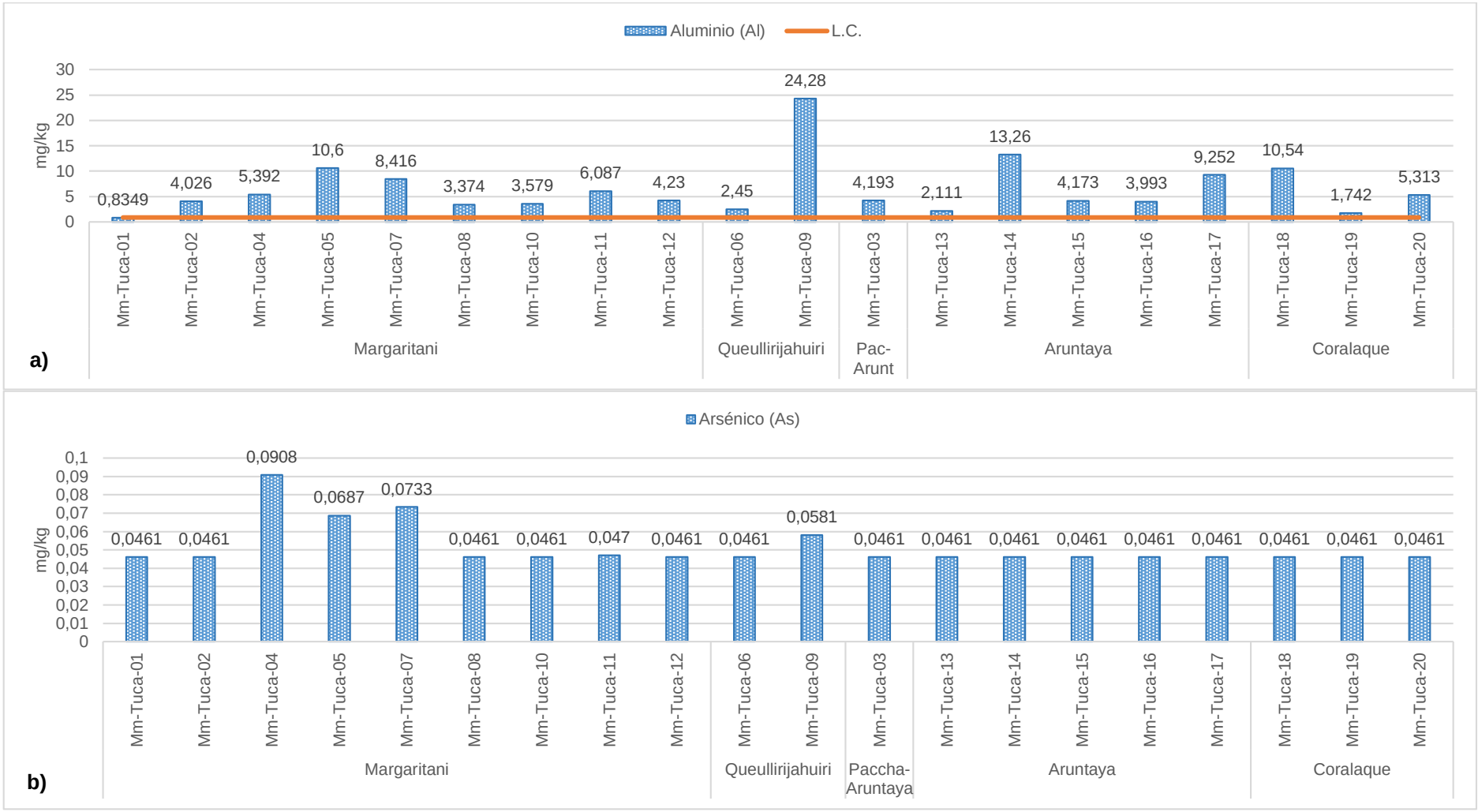


Figura 6.332. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Aluminio y b) Arsénico
L.C.: Límite de cuantificación, Pac-Arunt: Zona Paccha-Aruntaya

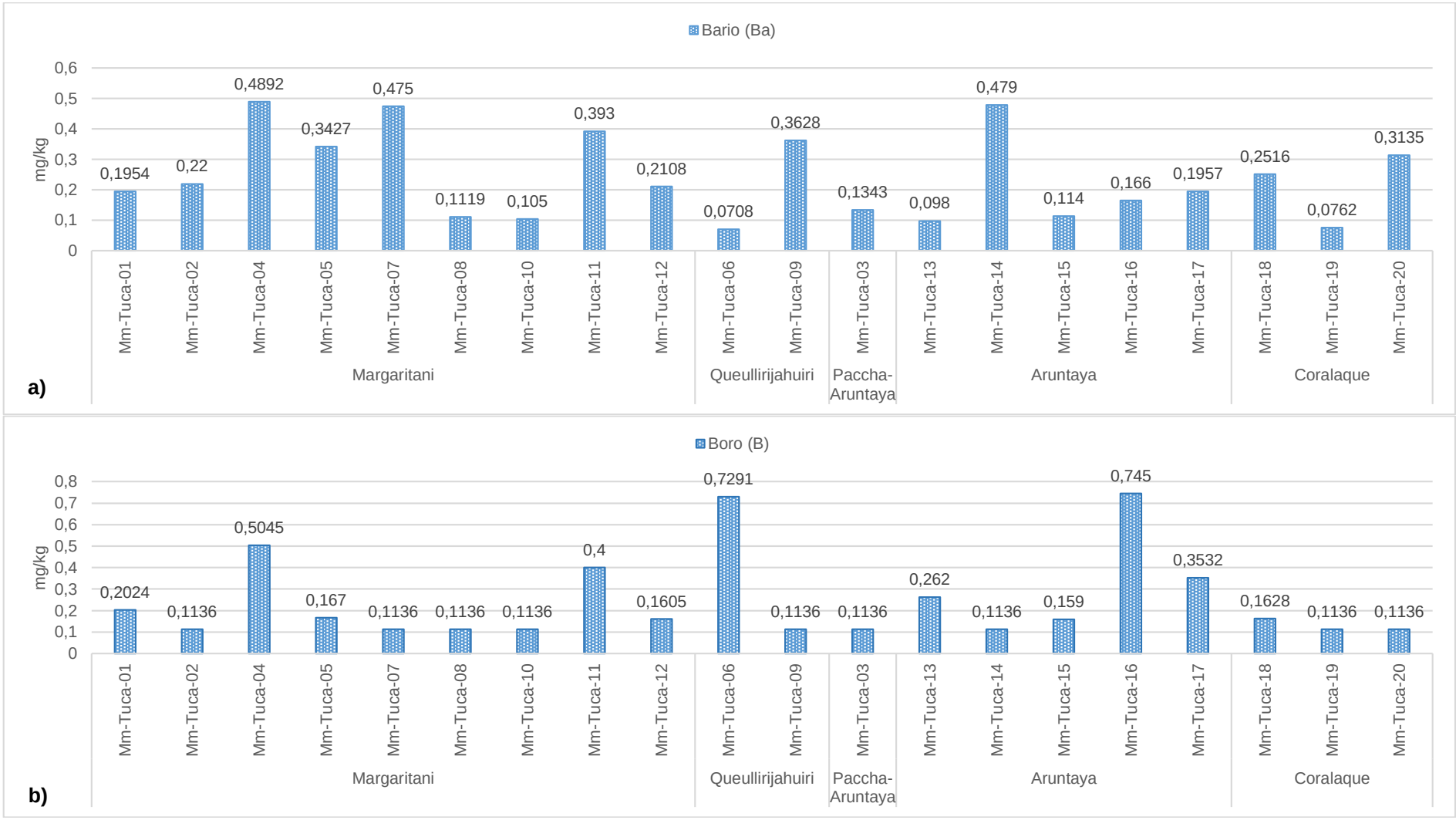


Figura 6.333. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Bario y b) Boro



Figura 6.334. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Cadmio y b) Cobalto

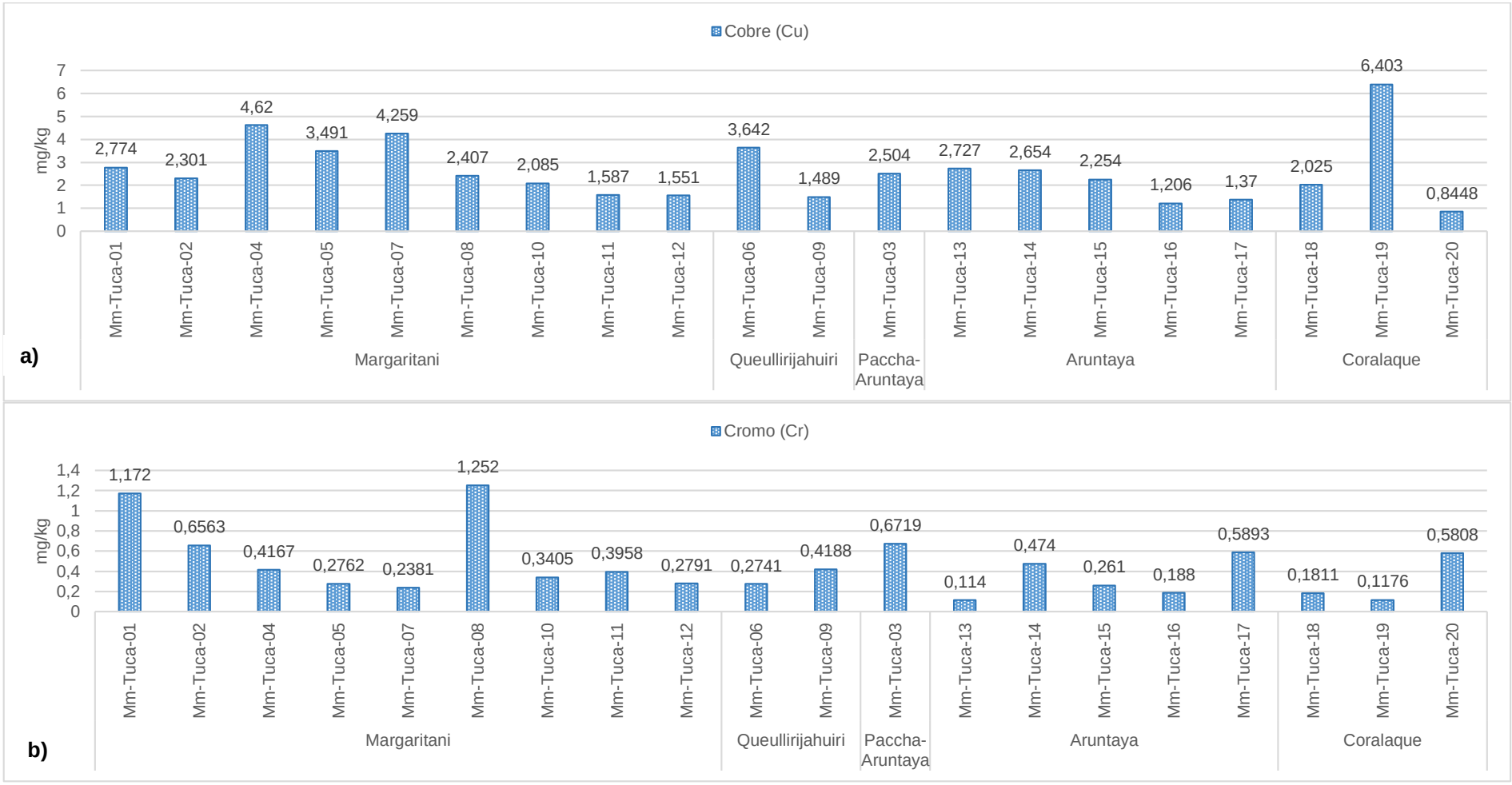


Figura 6.335. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Cobre y b) Cromo

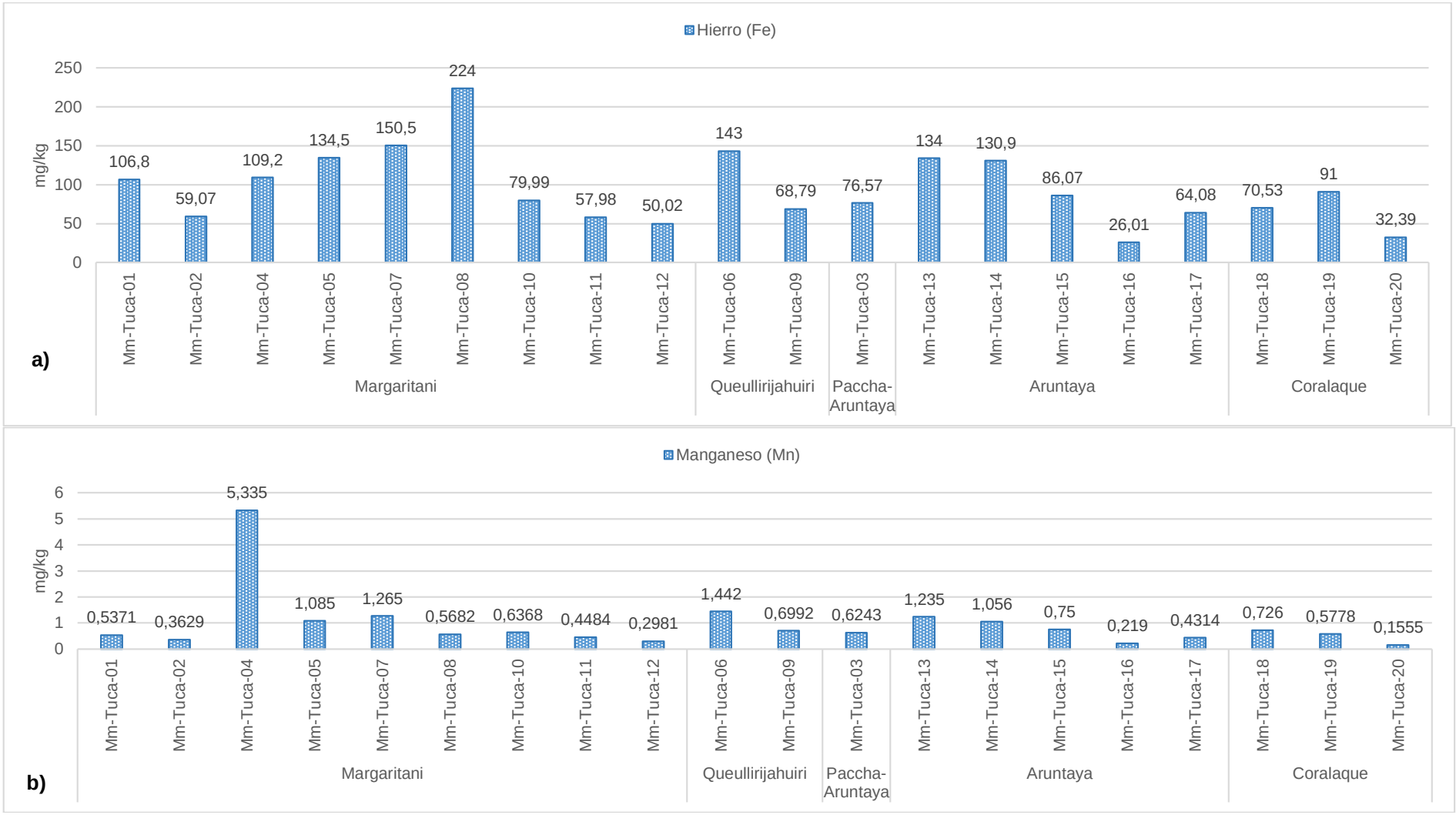


Figura 6.336. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Hierro y b) Manganeso

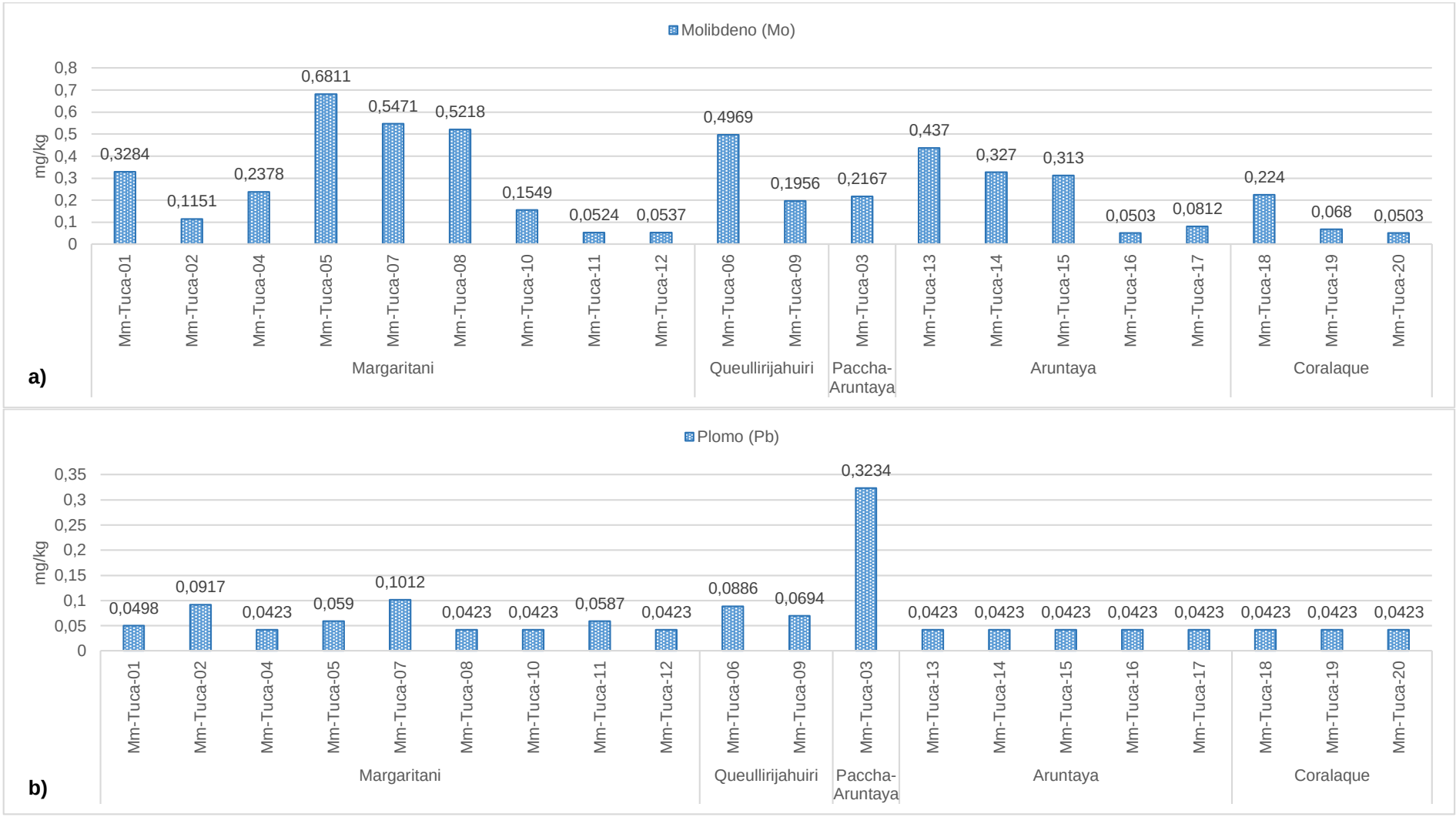


Figura 6.337. Valores reportados de la concentración de metales en tejido de roedores por zona de muestreo: a) Molibdeno y b) Plomo

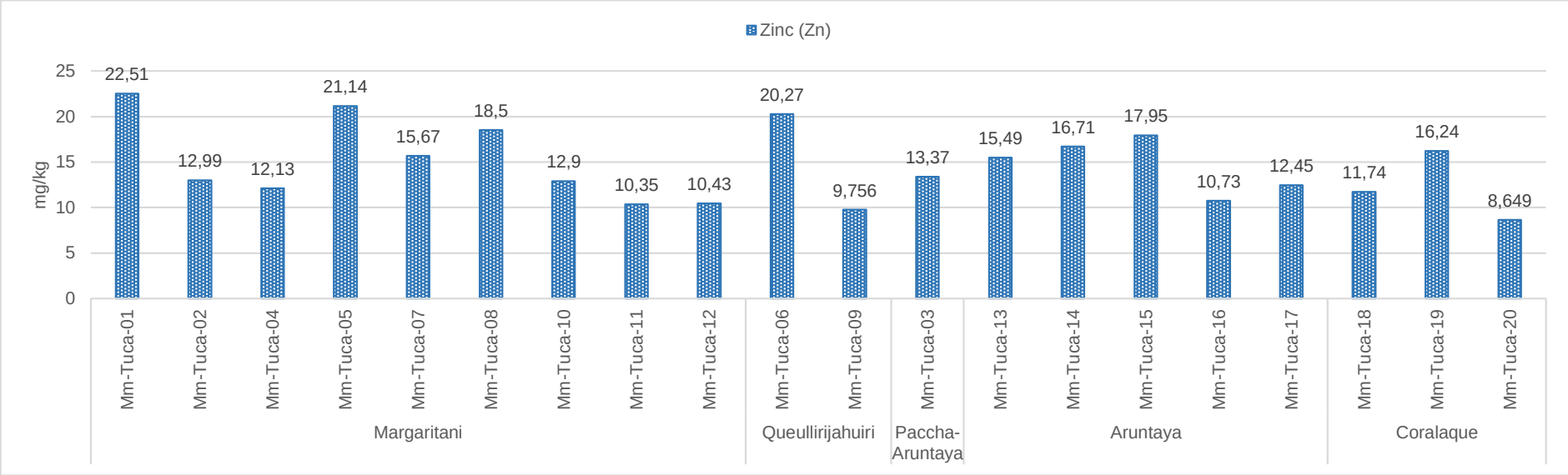


Figura 6.338. Valores reportados de la concentración de zinc en tejido de roedores por zona de muestreo

Concentraciones de metales en sangre de alpacas (*Vicugana pacos*) y sus comparaciones

Todas las muestras de sangre fueron obtenidas de 10 alpacas (*Vicugna pacos*) pertenecientes a pobladores locales situados en las zonas de Aruntaya (8 muestras) y Titire (2 muestras). La extracción de sangre se realizó previa coordinación con autoridades locales y consentimiento de los propietarios de los animales de estas 2 localidades. Es preciso indicar que de las zonas Margaritani, Queullirijahuiri, Paccha-Aruntaya y Coralaque no se obtuvieron muestras por 2 razones: La primera es que no se registraron animales de crianza en 3 primeras zonas aledañas a la actividad minera y en Coralaque a pesar de contar con animales de crianza en este caso del grupo vacuno, las autoridades locales no dieron su consentimiento, argumentando que actualmente estos animales no se encuentran libres ni guardan contacto con las aguas del río Coralaque, mencionando también que en caso de permitir la extracción de las muestras de sangre estos no tendrían los resultados esperados por lo dicho anteriormente.

De estas 10 muestras de sangre extraídas 2 de ellas fueron tomadas como muestras control o blanco, específicamente S-Tu-05 y S-Tu-06. Y para una mejor idea de la ubicación de los puntos donde se extrajeron el total de las muestras de sangre se puede verificar en la Figura 6.339.

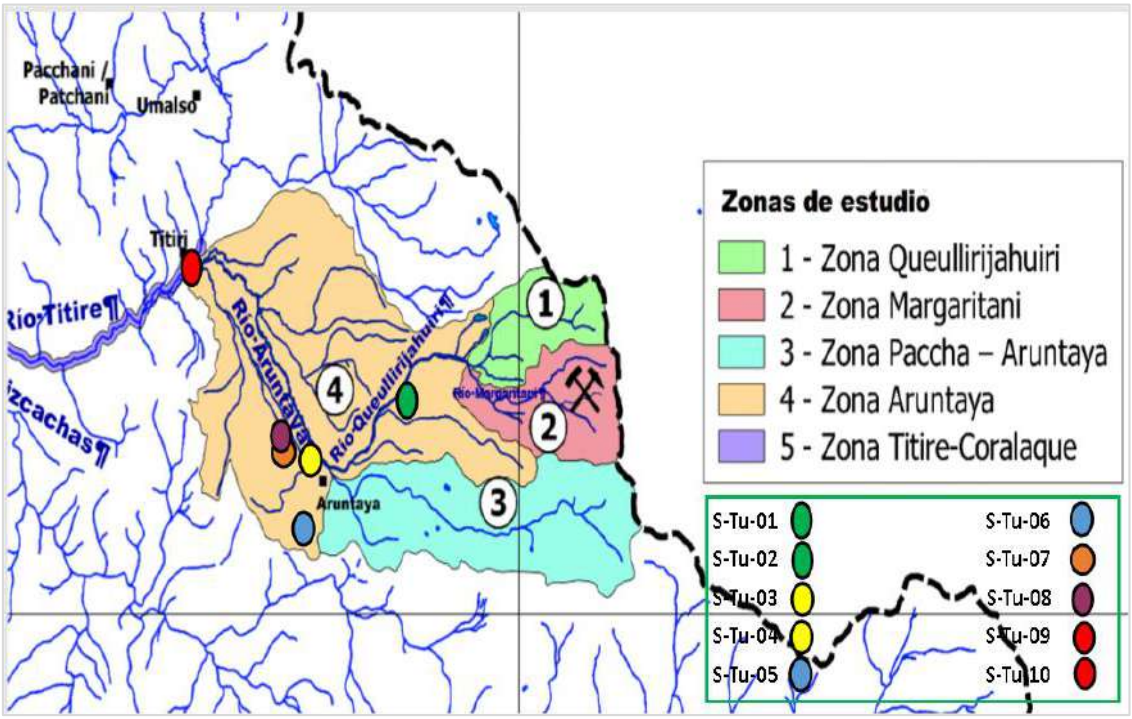


Figura 6.339. Ubicación de los puntos de muestreo para la extracción de sangre de alpacas

En la Tabla 6.133 se muestran los resultados de la concentración de algunos metales que están presentes en las muestras de sangre de las 10 alpacas considerandos desde el punto de vista de su alimentación y que estén ocupando lugar en la cadena alimenticia. Luego se describen algunos de ellos, básicamente por presentar concentraciones relativamente significativas. Además, es preciso indicar que el detalle de toda la lista de resultados de la concentración de metales en sangre de alpacas se encuentra en el Anexo 3.

Aluminio – Al: Si bien el aluminio es un mineral muy abundante, la concentración de reportada en las muestras de sangre de alpacas presenta valores que van desde el límite de cuantificación (L.C.) de 0,8349 mg/kg en casi todas las muestras, se observan valores de 2,587 mg/kg y 1,914 mg/kg en las muestras S-Tu-03 y S-Tu-04 correspondientes a la zona de Aruntaya, Figura 6.340a.

Arsénico – As: Para el caso de la concentración de arsénico en las muestras de sangre de alpacas de la zona de Aruntaya sin excepción se encuentran dentro del límite de cuantificación (L.C.) de 0,0461 mg/kg, sin embargo, las concentraciónes de la zona Titire presentaron valores de concentración de 0,131 mg/kg y 0,06 mg/kg para S-Tu-09 y S-Tu-10 respectivamente, Figura 6.340b.

Bario – Ba: La concentración de bario en las muestras de sangre de alpacas mantienen valores que descienden respecto a la ubicación de los puntos de muestreo desde la parte alta del río Queullirijahuiri perteneciente a la zona de Aruntaya con un valor de 0,353 mg/kg correspondiente a S-Tu-01 hasta la zona Titire con 0,0708 respecto a la muestra S-Tu-10, Figura 6.341a.

Boro – B: En cambio**, l**a concentración de boro en las muestras de sangre de alpacas en la zona de Titire presentan los mayores valores con 3,453 mg/kg y 3,405 mg/kg para las muestras S-Tu-090 y S-Tu-10 respectivamente, luego la gran mayoría de concentraciones resultaron ser menores a excepción de los puntos S-Tu-06 y S-Tu-07 que van de 2,66 mg/kg a 2,772 mg/kg respectivamente, estas últimos ubicados en la zona de Aruntaya, Figura 6.341b.

Cobre – Cu: La concentración de cobre en las muestras de sangre de alpacas nos refleja una variación alternante entre los valores de concentración manteniéndose en un rango de 0,198 mg/kg para la muestra S-Tu-04 hasta 0,339 mg/kg para la muestra S-Tu-02, Figura 6.342a.

Hierro – Fe: La concentración de cobre en las muestras de sangre de alpacas también se encuentran con valores fluctuantes de manera elevadas resultando con concentraciones que van desde 253,50 mg/kg para la muestra S-Tu-01 hasta 725,40 mg/kg para la muestra S-Tu-09, Figura 6.342b.

Zinc – Zn: En relación a la concentración de zinc en las muestras de sangre de alpacas, nos llama la atención la concentración de la muestra S-Tu-05 con 1,961 mg/kg debido a que corresponde a la muestra control o blanco, Figura 6.343.

Tabla 6.133. Resultados de metales en sangre de alpaca (*Vicugna pacos*)

Zona		Aruntaya								Titire	
Parámetro	**Unidad**	S-Tu-01	S-Tu-02	S-Tu-03	S-Tu-04	S-Tu-05	S-Tu-06	S-Tu-07	S-Tu-08	S-Tu-09	S-Tu-10
Aluminio	mg/kg	< 0,8349	0,8349	1,914	2,587	< 0,8349	0,842	0,8349	< 0,8349	< 0,8349	< 0,8349
Antimonio	mg/kg	< 0,0314	< 0,0314	< 0,0314	0,161	< 0,0314	< 0,0314	< 0,0314	< 0,0314	< 0,0314	< 0,0314
Arsénico	mg/kg	< 0,0461	< 0,0461	< 0,0461	0,0461	< 0,0461	< 0,0461	0,0461	0,0461	0,131	0,06
Bario	mg/kg	0,353	0,186	0,158	0,167	0,143	0,144	0,106	0,115	0,0708	0,0708
Boro	mg/kg	0,211	0,347	0,306	0,588	0,190	0,135	2,66	2,772	3,453	3,405
Calcio	mg/kg	118,6	68,55	115,5	130,00	95,14	28,25	70,42	75,60	30,71	24,46
Cobalto	mg/kg	0,10	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507	< 0,0507
Cobre	mg/kg	0,284	0,339	0,299	0,198	0,207	0,287	0,241	0,247	0,259	0,271
Cromo	mg/kg	1,818	0,0594	< 0,0594	< 0,0594	0,0594	0,0594	0,0594	< 0,0594	< 0,0594	< 0,0594
Cromo III	mg/kg	1,818	0,0594	< 0,0594	< 0,0594	0,0594	0,0594	0,0594	< 0,0594	< 0,0594	< 0,0594
Estroncio	mg/kg	1,193	0,534	0,992	1,119	0,701	< 0,1820	0,389	0,501	0,182	< 0,1820
Hierro	mg/kg	253,50	513,60	613,20	377,20	521,60	428,40	520,90	583,40	725,40	620,00
Litio	mg/kg	0,047	0,047	0,052	0,106	0,0437	0,0437	0,694	0,754	0,898	0,803
Magnesio	mg/kg	28,62	34,06	39,40	40,11	33,97	27,64	33,88	35,68	33,71	32,82
Manganeso	mg/kg	0,75	0,0641	< 0,0641	< 0,0641	0,0641	0,0641	0,0641	0,0641	< 0,0641	0,0641
Molibdeno	mg/kg	0,078	< 0,0503	< 0,0503	< 0,0503	< 0,0503	< 0,0503	< 0,0503	< 0,0503	< 0,0503	< 0,0503
Níquel	mg/kg	5,051	0,0656	0,0656	< 0,0656	0,0656	0,0656	< 0,0656	< 0,0656	< 0,0656	0,0656
Potasio	mg/kg	344,70	766,20	780,70	744,40	887,00	761,20	894,50	933,40	957,00	894,40
Selenio	mg/kg	< 0,0924	0,0924	0,0924	< 0,0924	0,0924	0,0924	0,125	0,118	0,143	0,152
Silicio	mg/kg	7,069	6,253	12,59	10,13	9,659	10,96	43,13	8,423	9,76	6,693
Sodio	mg/kg	1375	2374	2041	2713	2291	2298	2233	2326	1821	2111
Zinc	mg/kg	0,939	0,835	0,896	0,936	1,861	0,377	0,69	0,72	0,524	0,525

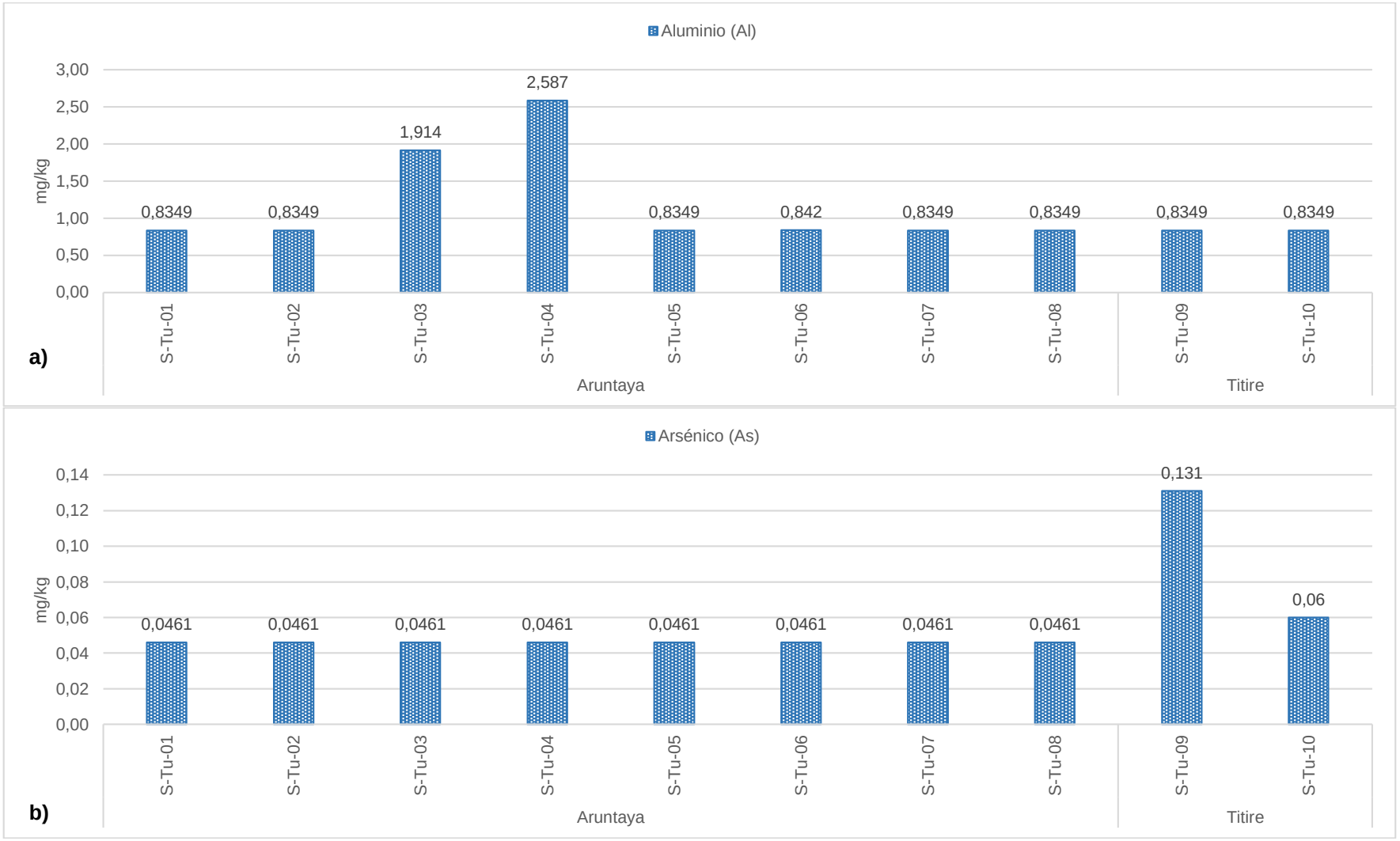


Figura 6.340. Valores reportados de la concentración de metales en sangre de alpacas por zona de muestreo: a) Aluminio y b) Arsénico

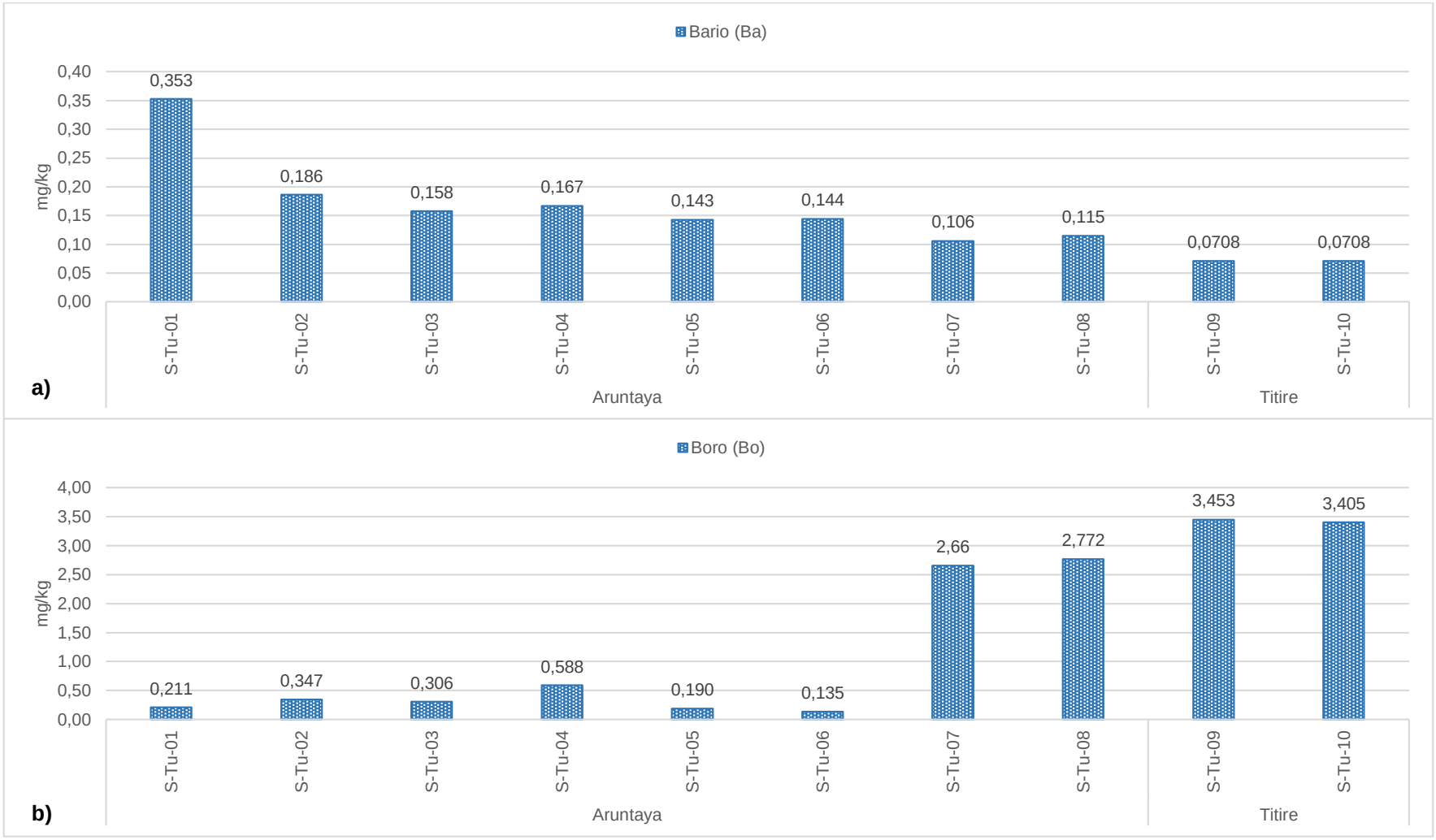


Figura 6.341. Valores reportados de la concentración de metales en sangre de alpacas por zona de muestreo: a) Bario y b) Boro



Figura 6.342. Valores reportados de la concentración de metales en sangre de alpacas por zona de muestreo: a) Cobre y b) Hierro

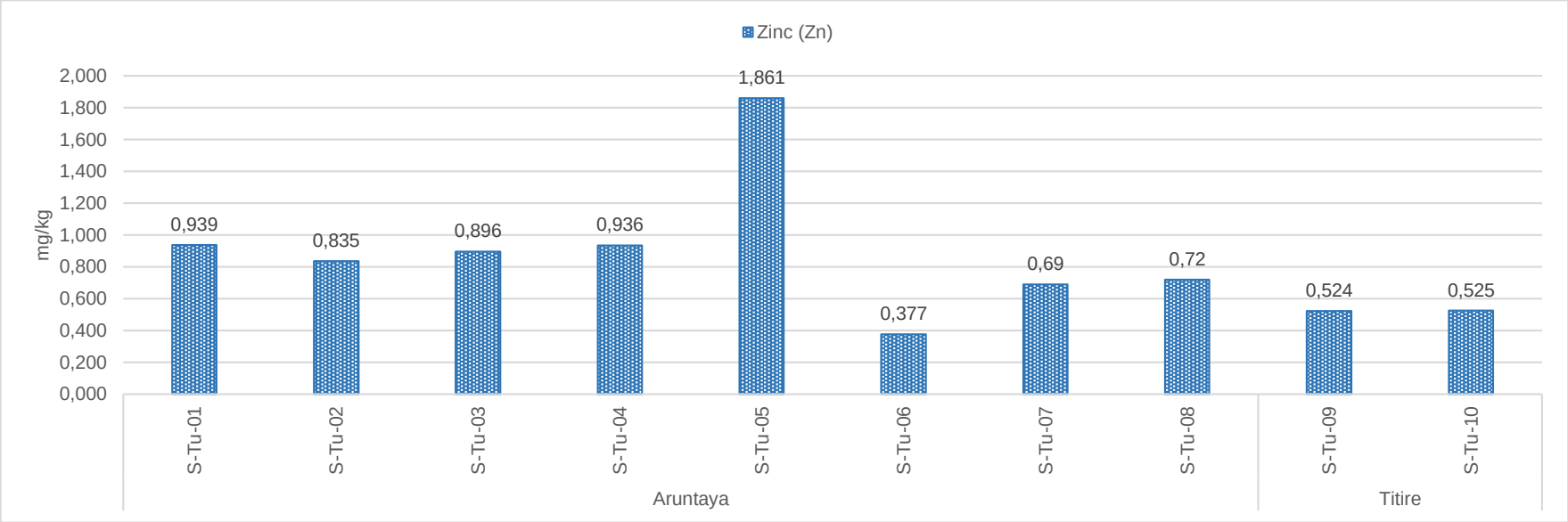


Figura 6.343. Valores reportados de la concentración de zinc en sangre de alpacas por zona de muestreo

Mamíferos mayores silvestres y domésticos

Mediante el uso de cámaras trampa se registró 2 especies de mamíferos silvestres como la *Vicugna vicugna* «vicuña», y *Lycalopex culpaeus* «zorro», además del registro ocasional por medio de recorridos de la especie *Lagidium viscacia* «vizcacha», haciendo un total de 3 especies, las cuales se encuentran en las zonas de la quebrada y río Margaritani, Apostoloni y Queullirijahuiri, Tabla 6.134.

Tabla 6.134. Registro ocasional de especies de mamíferos silvestres

Orden	Familia	Especies	Nombre común
Rodentia	Chinchillidae	*Lagidium viscacia*	Vizcacha
Carnivora	Canidae	*Lycalopex culpaeus*	Zorro
Perissodactyla	Camelidae	*Vicugna vicugna*	Vicuña

En las zonas pertenecientes a la jurisdicción de las comunidades de Aruntaya y Titire, los pobladores locales en su mayoría desarrollan la actividad de crianza doméstica basada en Alpacas (Vicugna pacos) comercializando principalmente las pieles de alpaca. Y estas alpacas han sufrido la impregnación en la piel producto del efecto de cambio de color en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya. Figura 6.344.



Figura 6.344. Individuos de alpaca afectadas por las aguas de color rojiza del río Queullirijahuiri

8.4.3.2 Especies Incluidas en Categorías de Conservación

De los registros obtenidos entre el grupo de mamíferos menores y mayores silvestres 2 se encuentran categorizadas, una por la legislación peruana (Decreto Supremo N.° 004-2014-MINAGRI) y ambas consideradas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES, 2019) en el Apéndice II.

Es preciso señalar que la presencia de vicuñas es bastante notoria pudiendo ser avistadas por día cerca de 5 a 6 grupos conformados por 4 a 12 individuos entre crías, juveniles y adultos, Tabla 6.135.

Tabla 6.135. Registro ocasional de especies de mamíferos silvestres

Especies	Nombre común	DS N°. 004-2014-MINAGRI	CITES 2019
Lycalopex culpaeus	Zorro		II
Vicugna vicugna	Vicuña	NT	II

NT: Casi amenazado, DD: datos insuficientes, --: no aplica
II: Apendices Cites, especies que no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio

7. DISCUSIONES

Para una mejor comprensión en el análisis y discusión de resultados el área de estudio fue dividida en 5 zonas: Zona Queullirijahuiri; Zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni, sector quebrada Margaritani y sector río Margaritani), Zona Paccha – Aruntaya (naciente del río Aruntaya); Zona Aruntaya (aguas abajo de la UF Florencia-Tucari); y Zona Titire – Coralaque (buffer de 200 m a ambas márgenes de estos ríos) como se muestra en la Figura 7.1.

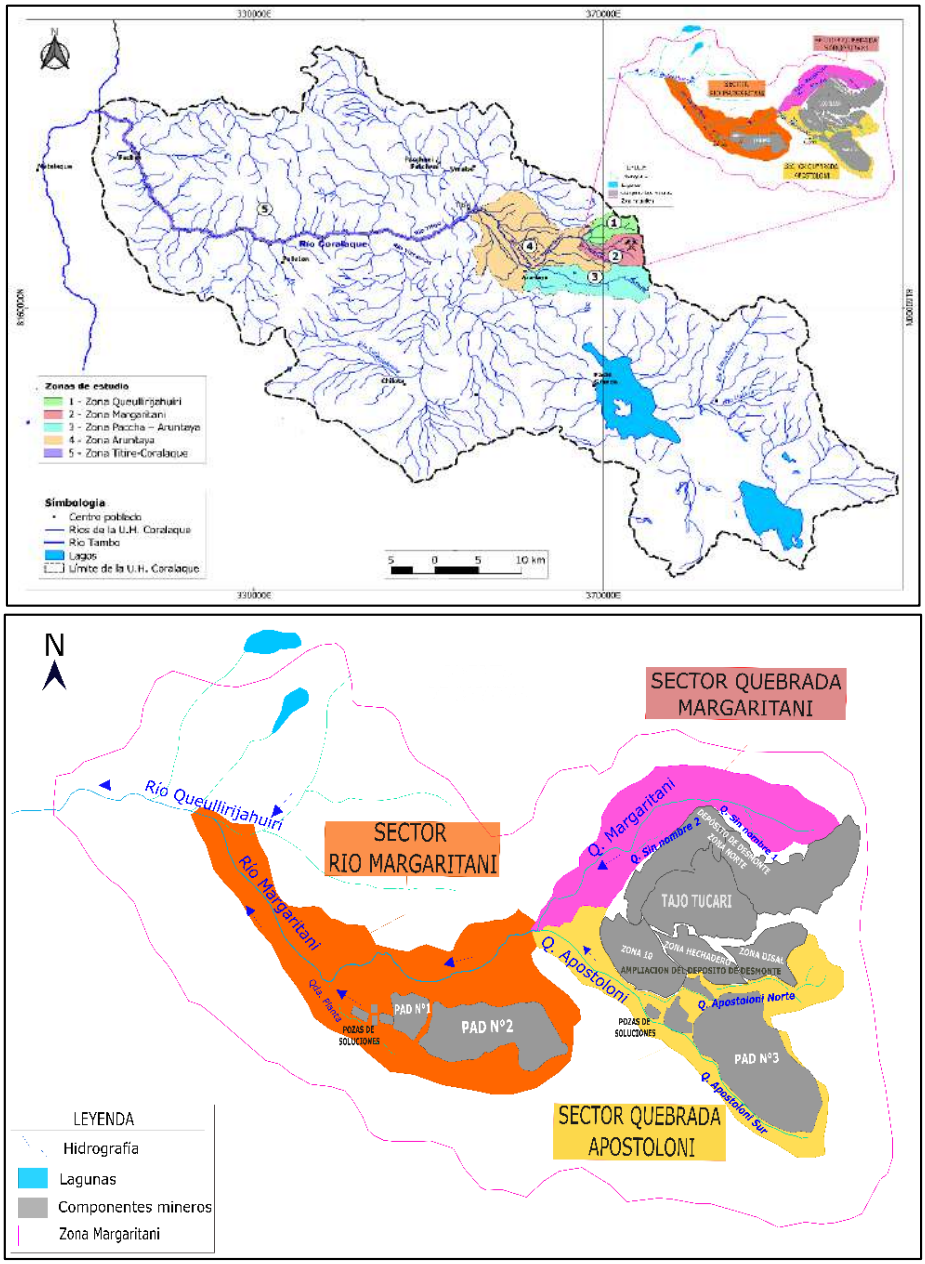


Figura 7.1. Esquema de ubicación de la distribución de a) zonas de evaluación y b) sectores de la zona Margaritani

7.1. Zona Queullirijahuiri

En este sector se tomaron muestras de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el río Queullirijahuiri, y en los principales tributarios (Figura 7.2); también se evaluaron manantiales, ubicados en la naciente del mencionado río; así como la caracterización geológica local de esta zona, que incluyó muestras de roca. Asimismo, se colectaron muestras de flora y fauna entorno a los bofedales de esta zona.

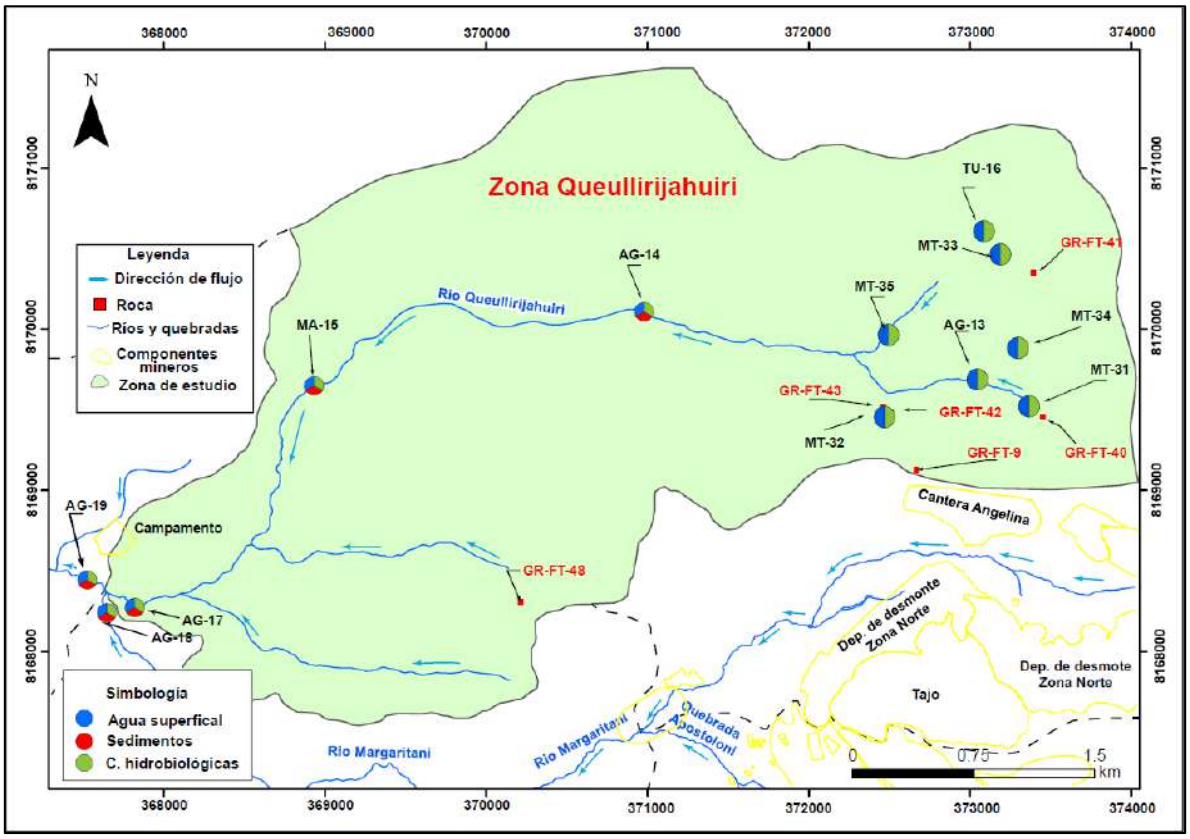


Figura 7.2. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para roca, agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas.

En la zona Queullirijahuiri afloran rocas volcánicas del Neógeno (secuencias de andesitas porfiríticas) que en sectores puntuales presentan alteración y estas a su vez se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios (coluviales y eluviales). La naciente del río Queullirijahuiri se forma a partir la unión de diversos manantiales que son manifestaciones del acuífero fisurado volcánico del Grupo Barroso que en su recorrido atraviesa un bofedal, antes de la confluencia con el río Margaritani, a su margen derecha afloran rocas piroclásticas (tobas) de la Formación Sencca y a su margen izquierda afloran secuencias piroclásticas (tobas).

Los manantiales evaluados en la zona Queullirijahuiri (MT-33, MT-34, MT-31, MT-32, MT-35) presentaron aguas ácidas (pH≤3,58 unidades) con concentraciones de sulfatos (MT-31) y metales como aluminio y manganeso que excedieron los ECA para agua 2017 Cat. 3 D1 y D2, así como cobalto, hierro y níquel que solo excedieron la subcategoría D1. Dichos elementos se encuentran relacionados a la influencia de drenaje ácido de roca (DAR), de origen natural, observado principalmente en el manantial MT-35, el que adicionalmente presento altas concentraciones de arsénico y plomo que excedieron los ECA para agua 2017 Cat. 3 D1 y D2.

Lo dicho fue corroborado con la caracterización geoquímica (GR-FT-40, GR-FT-42 y GR-FT-43) que según el análisis de metales totales las concentraciones de arsénico y plomo superaron la concentración media de la corteza superior (Rudnick, 2014) y mediante la prueba estática de balance ácido-base (ABA) las muestras de roca son generadoras de acidez. Asimismo, según la prueba de *shake flask extraction* (GR-FT-43) se lixivia 554 mg/L de sulfatos, además de 1,38 mg/L de aluminio, 0,135 mg/L de hierro, 0,0029 mg/L de plomo y 0,0025 mg/L de arsénico. Cabe precisar que la presencia de sulfatos se debe a la oxidación de sulfuros presentes en la muestra (Custodio, 1983), lo que fue corroborado con la presencia cristales de pirita (7%) como relleno en las venillas y cavidades de la muestra de roca, mediante el análisis mineralógico por microscopía óptica.

En cuanto al cuerpo de agua principal, el río Queullirijahuiri presentó los mismos elementos de los manantiales que le dan origen (aluminio, manganeso, cobalto, hierro, níquel y plomo) excediendo a su vez los ECA para agua 2017 Cat. 3 D1 o D2, sin embargo, se observó una tendencia a la disminución de las concentraciones de los citados elementos desde la naciente (AG-13) hasta antes de la confluencia con el río Margaritani (AG-17), esto estaría siendo facilitado por la presencia de bofedales en su recorrido.

De acuerdo al análisis histórico según los datos reportados por el administrado (MA-15), la ANA (1318QQueu) y el OEFA (MA-15 y AG-17) entre el 2014 y 2020, el río Queullirijahuiri presenta características ácidas y altas concentraciones de aluminio y hierro, que excedieron los ECA para Agua Cat. 3. Mientras que las concentraciones de sulfatos cobalto, arsénico y cobre fueron bajas y se mantuvieron constantes independientemente de la temporada (avenida o estiaje), (Anexo 11).

Respecto a los sedimentos del río Queullirijahuiri se presentaron pH ácidos, bajas concentraciones de cobre, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio y manganeso; y solo las concentraciones de arsénico y plomo (AG-14 y MA-15) excedieron el valor PEL e ISQG de la normativa canadiense respectivamente, estas características son la manifestación del basamento en el cual se emplaza el río Queullirijahuiri.

Los minerales presentes correspondieron principalmente al grupo de los silicatos (muscovita, cuarzo, plagioclasas y feldespato) y arcillas (caolinita y zeolita) en menores proporciones identificados por DRX, así como molibdenita y galena por MEB, que reflejan la heterogeneidad de los sedimentos presentes en la zona. Por otra parte, no se identificó el mineral jarosita, relacionado con un alto contenido de hierro en el sedimento o la columna de agua asociada y a

sistemas fluviales contaminados por drenaje ácido de mina ((Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards *et al.,* 1999; Smith *et al*., 2006).

Por lo tanto, el pH ácido, sulfatos, hierro y otros metales en agua y sedimentos de la parte alta del río Queullirijahuiri, están relacionados a flujos de agua en contacto con sulfuros oxidados (Schiermund y Drozd, 1997), y son característicos de un DAR; teniendo en consideración que este tramo del río Queullirijahuiri no tiene influencia de actividades mineras, fue considerado en la presente evaluación como un sitio de referencia (blanco). Se precisa que el agua es incolora y los sedimentos son de color marrón (Figura 7.3).

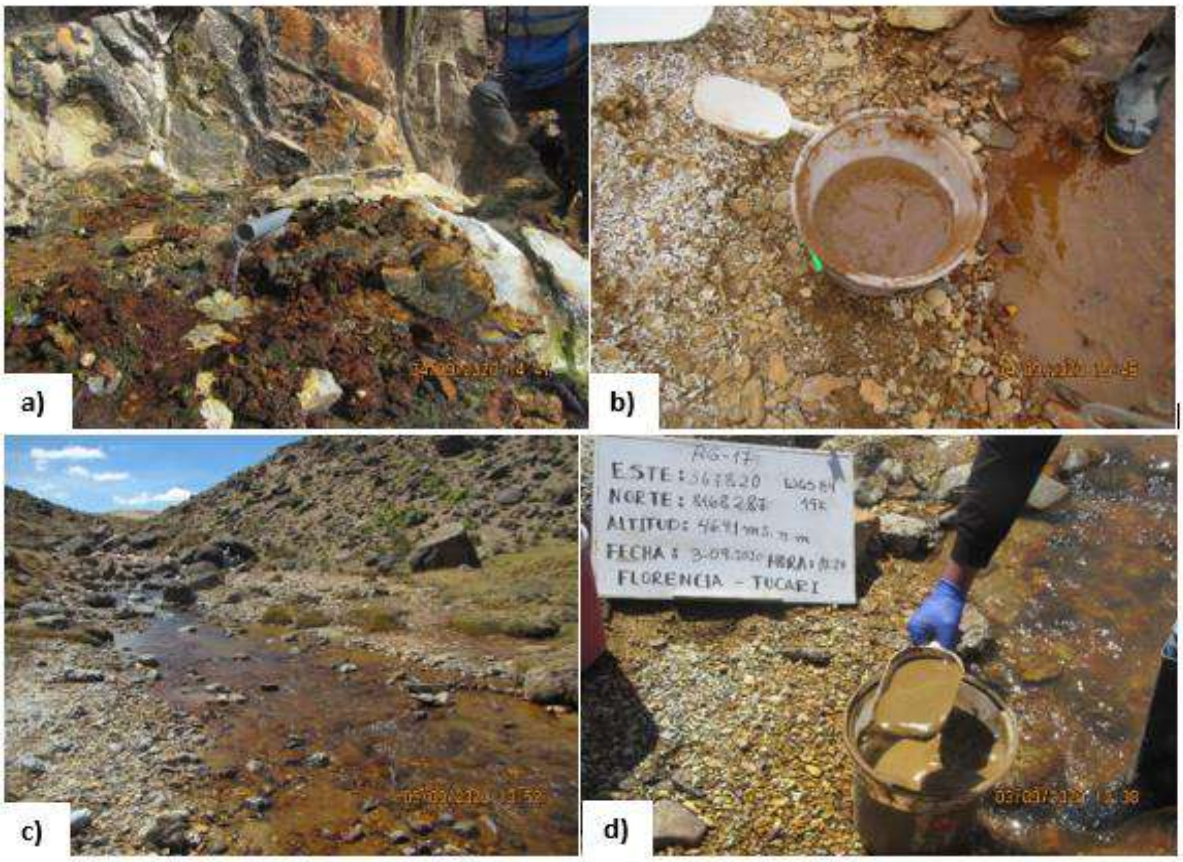


Figura 7.3. Vista del manantial con presencia de drenaje acido de roca a) MT-35, b) sedimento del río Queullirijahuiri (AG-14), y c) y d) vistas del agua y sedimento del río Queullirijahuiri (AG-17).

En las comunidades hidrobiológicas para el análisis de las microalgas del perifiton se realizó un análisis separando en 3 tramos. Tramo 1 desde la naciente abajo del nevado Quilhuiri (HB-TU-16) hasta el manantial HB-MT-32; tramo 2 que incluye los puntos cercanos al bofedal (HB-AG-14 y HB-MA-15) y el tramo 3 con el punto HB-AG-17.

De acuerdo a la Figura 7.4 se observan 3 agrupamientos (nMDS), 2 incluyen a los manantiales aportantes al río Queullirijahuiri (HB-MT-32, HB-MT-33 y HB-MT-34 en un grupo; HB-MT-35 junto a HB-TU-16 en otro grupo); mientras que, el tercer grupo conformado por los puntos HB-AG-13 (naciente izquierda del río Queullirijahuiri en el tramo 1) y HB-AG-17 (río Queullirijahuiri antes de su confluencia río Margaritani). Esta última agrupación muestra que especies acidófilas se asocian a los DAR caracterizados y los procesos de acidificación natural del medio. Cabe precisar que no hay una pérdida o reemplazo de especies propias asociadas a DAM en esta zona (Jacobs *et al*., 2014; Hogsden y Harding, 2012).

Los agrupamientos mencionados se relacionaron principalmente a la presencia de las especies *Microspora stagnorum* y *Pinnularia* sp. 4CUS, ambos géneros acidófilos y que se presentan cada una en un punto de muestreo en el tramo 2 (HB-MA-15 y HB-AG-14, respectivamente); adicionalmente se mostraron las especies *Fragilaria capuccina* y *Fragilaria vaucheria*e asociadas a los manantiales (HB-TU-16 y HB-MT-35) ambas reportadas como tolerantes a metales (Cattaneo *et al*, 2004).

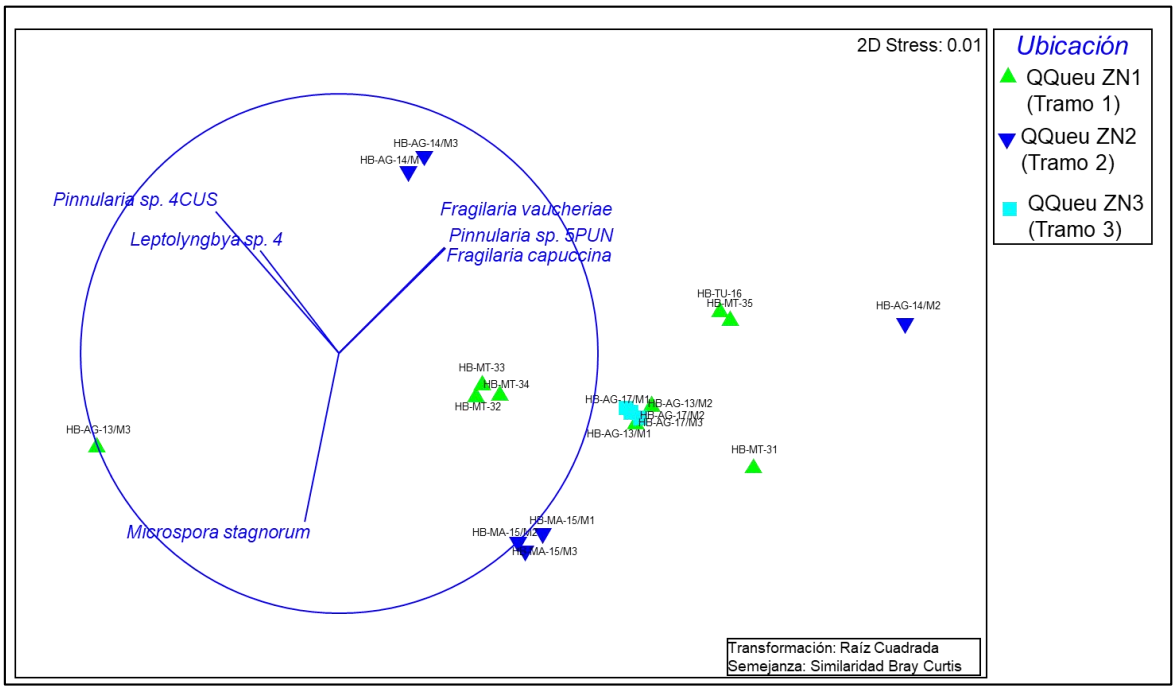


Figura 7.4. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) de las microalgas del perifiton en la zona Queullirijahuiri.

Bajo estas condiciones, en relación a los macroinvertebrados bentónicos predominaron especies tolerantes principalmente de la familia Chironomidae (larvas de quironómidos) como *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp., Orthocladiinae ND 1, *Paraphaenocladius* sp. y *Podonomus* sp. las que aportaron una alta similitud entre puntos de muestreo, teniendo como principal hábito ser recolectores de detritos (materia orgánica) transportados por la corriente (Acosta, 2009) y encontrados en el lecho del río (muestras de sedimento AG-14: 0,3 % y MA-15: 1%). Otras especies importantes, consideradas facultativas, y que aportaron una alta similitud entre los puntos evaluados (diversidad beta) fueron las larvas de *Ochthebius* sp. (familia Hydraenidae,

orden Coleoptera) y *Roederoides* sp. (familia Empididae, orden Diptera), las cuales serían los principales predadores (Merritt *et al.*, 2008) de las larvas de los quironómidos encontrados en la zona.

Por otro lado, en cuanto a la flora de esta zona se evaluaron 2 bofedales: Bofedal Blanco 1 y Bofedal Blanco 2, donde en promedio, el mayor porcentaje de cobertura se presenta en la vegetación tipo cojín en ambos bofedales (del análisis de parcelas 76,6 % y 61,2 %, del análisis de imágenes 47,1 % y 35,3 %), seguida de la vegetación graminoide (del análisis de parcelas 21,7 % y 38,3 %, del análisis de imágenes 37,8 % y 26,6 %), las otras coberturas (medio físico, vegetación muerta y vegetación arbustiva) no evidencia valores resaltantes, ya que son bofedales en buenas condiciones.

Tabla 7.1. Porcentaje de coberturas en el río Queullirijahuiri entre bofedal Blanco 1 y bofedal Blanco 2 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.

Clasificación		Cobertura (%) Parcelas – Bo. Blanco 1	Cobertura (%) Parcelas – Bo. Blanco - 2	Cobertura (%) Imágenes Bo. Blanco 1	Cobertura (%) Imágenes – Bo. Blanco - 2
Vegetación muerta		0,9	--	15.1	38,1
Medio físico	Suelo descubierto	0,8	0,5		
	Espejo de agua				
Vegetación de cojín		76,6	61,2	47,1	35,3
Vegetación graminoide		21,7	38,3	37,8	26,6

Del análisis de ambos bofedales, se puede inferir que el ecosistema bofedal se encuentra en buenas condiciones, toda vez que presentan un gran porcentaje de vegetación graminoide y de cojín típico de estas zonas. Asimismo, el porcentaje de coberturas correspondiente al medio físico y vegetación muerta es muy similar, en ambos casos con valores porcentuales bajos.

Adicionalmente, en estos bofedales se tomaron muestras para análisis de tejido vegetal de dos especies dominantes (*Calamagrostis* sp. y *Oxychloe andina*), que presentaron concentraciones de cadmio, mercurio y plomo que no exceden los niveles máximos según el RD 465/2003, además, las concentraciones de cobre son menores en comparación con las concentraciones reportadas en la zona Margaritani.

En fauna silvestre se registró la presencia del anfibio *Telmatobius marmoratus*, una especie altamente amenazada y que se encuentra categorizada como Vulnerable por entidades nacionales (Decreto Supremo N.° 004-2014-MINAGRI) e internacionales (IUCN, 2020). El género Telmatobius se presenta como un grupo de anfibios altamente sensible a las variaciones que se producen en el ambiente debido a ciclo de vida exclusivamente acuático (Watson *et al*., 2017). Durante los últimos años se ha presentado una reducción considerable de sus poblaciones en los ecosistemas altoandinos, debido a la perdida y fragmentación de sus hábitats, contaminación, aparición de nuevas enfermedades y el cambio climático global (Catenazzi *et al.*, 2010, 2013).

La zona Queullirijahuiri destaca por su ubicación y estado natural, al no tener influencia directa con las actividades realizadas por la UF Florencia-Tucari, ha permitido el desarrollo del anfibio *Telmatobius marmoratus* en sus diferentes estadios (Figura 7.5). Por otro lado, la presencia de metales en el tejido de la muestra analizada (BL-HE-T1), se encuentra relacionada directamente

al drenaje acido de roca (DAR) presente en esta zona (Figura 7.6), según la caracterización geoquímica realizada.



Figura 7.5. Registro del anfibio *Telmatobius marmoratus* (BL-HE-T1) en la zona Queullirijahuiri

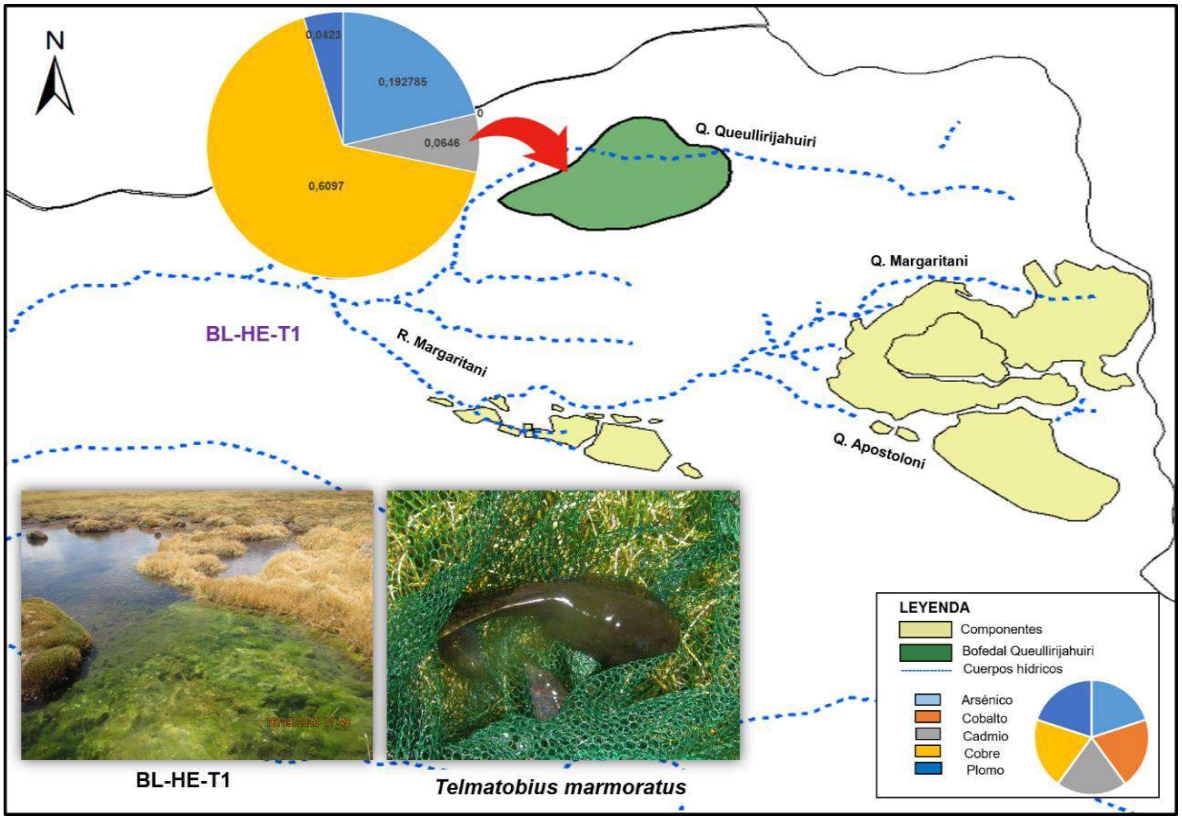


Figura 7.6. Concentraciones de metales en las muestras de tejido del anfibio *Telmatobius marmoratus* (BL-HE-T1) en la zona Queullirijahuiri.

Las concentraciones de metales totales en muestras de plumas de aves obtenidas en esta zona, están relacionadas con un proceso natural de drenaje ácido de roca, donde los metales liberados de este proceso se manifiestan en bajas concentraciones en el ambiente, lo cual se verifica en las concentraciones obtenidas de la mayoría de las muestras, por ejemplo: el arsénico oscilo entre 0,96 a 2,5 mg/kg; níquel entre 0,20 a 0,47 mg/kg; cobre entre 5,2 y 19,45 mg/kg; y cadmio presentó concentraciones menores al límite de detección del método del laboratorio (< 0,0924 mg/kg), Figura 7.7.

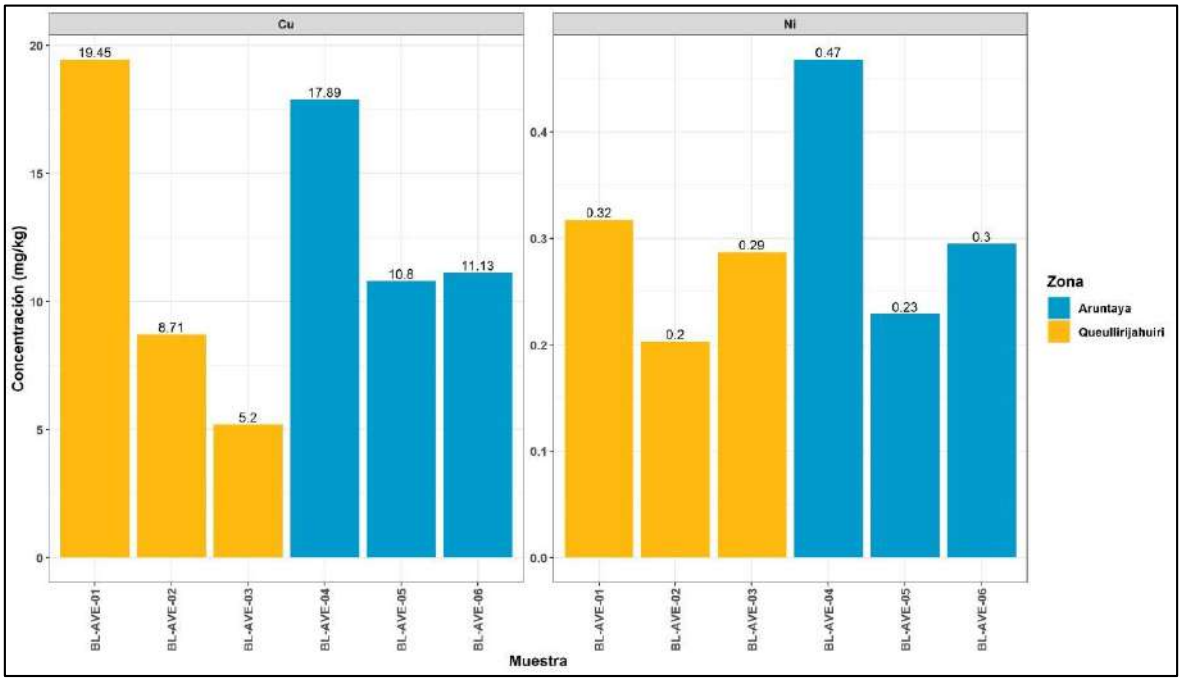


Figura 7.7. Concentración de cobre y níquel en muestras de aves de la zona Queullirijahuiri y Aruntaya

Nota: Las concentraciones de metales en plumas en la zona Aruntaya corresponden a la laguna sin nombre aledaña a la zona Queullirijahuiri.

Es importante mencionar que una de las muestras presentó valores atípicos de cobre y plomo (Figuras 7.7 y 7.8), se trata de *Orochelidon andecola* «golondrina andina» (BL-AVE-01). Esta golondrina tiene la capacidad de suspenderse en el aire para capturar su alimento, recorre grandes distancias y posee un amplio rango de distribución local, abarcando las zonas de Queullirijahuiri, Aruntaya y Margaritani, por lo que la presencia de estas concentraciones en esta especie está relacionado en primer lugar a su desplazamiento, que por la cercanía a la mina, forma parte de su recorrido, y en segundo lugar, a la misma capacidad de volar, ya que al estar suspendida en el aire la probabilidad de adquirir estas partículas suspendidas de estos elementos es mayor, logrando la adición y acumulación de metales.

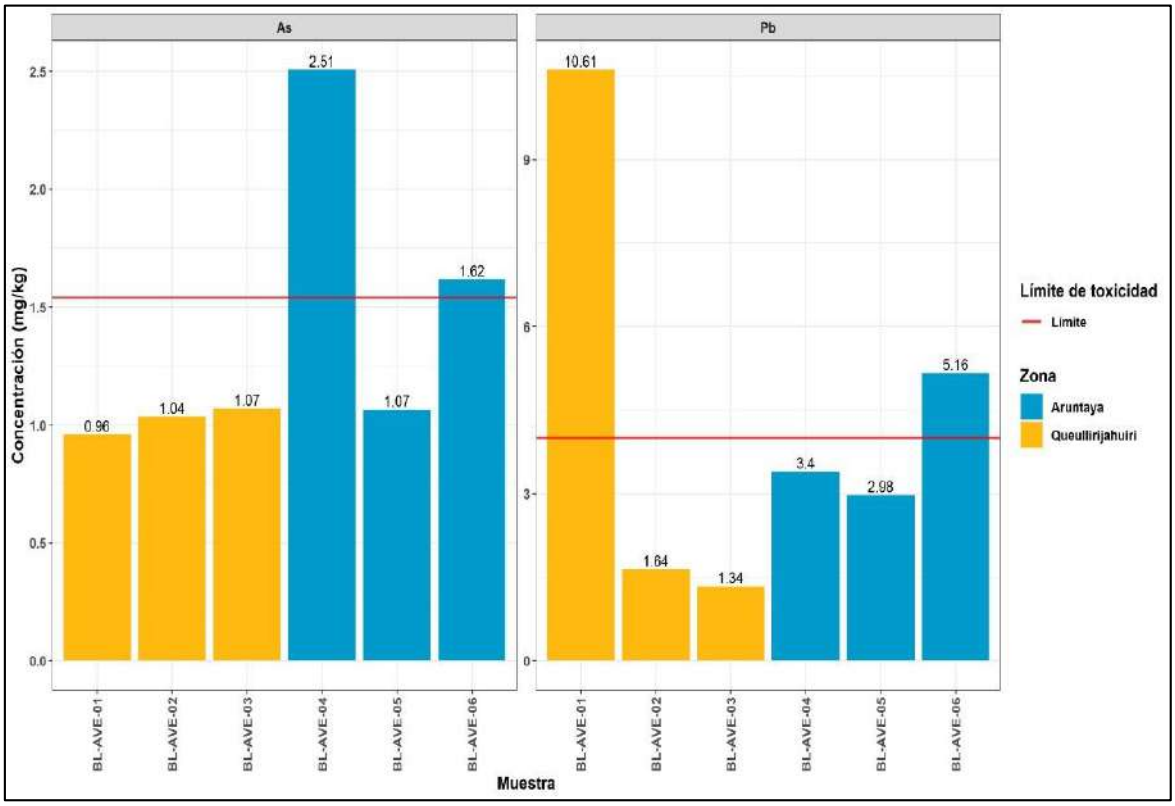


Figura 7.8. Límite máximo y valores de concentración de arsénico y plomo en muestras de aves de la Zona Queullirijahuiri y Aruntaya

Nota: Las concentraciones de metales en plumas en la zona Aruntaya corresponden a la laguna sin nombre aledaña a la zona Queullirijahuiri.

Otro registro de importancia corresponde a la muestra de plumas de la especie acuática *Fulica gigantea* «gallareta gigante» (BL-AVE-04) capturada en la laguna sin nombre, que presentó bajas concentraciones de plomo, cobre, arsénico, hierro y zinc en comparación con las reportadas en aves acuáticas del resto de zonas (Margaritani, Titire – Coralaque). Estas bajas concentraciones registradas están asociadas al drenaje ácido de roca producido en esta zona, así como relacionado al limitado desplazamiento de estas especies y la mínima concentración de estos elementos asociados al hábitat de ellas (Figuras 7.7 y 7.8).

7.2. Zona Paccha-Aruntaya

En este sector se tomaron muestras de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en la naciente del río Aruntaya (Figura 7.9); incluyendo manantiales; así como la caracterización geológica regional de esta zona, que incluyó muestras de roca.

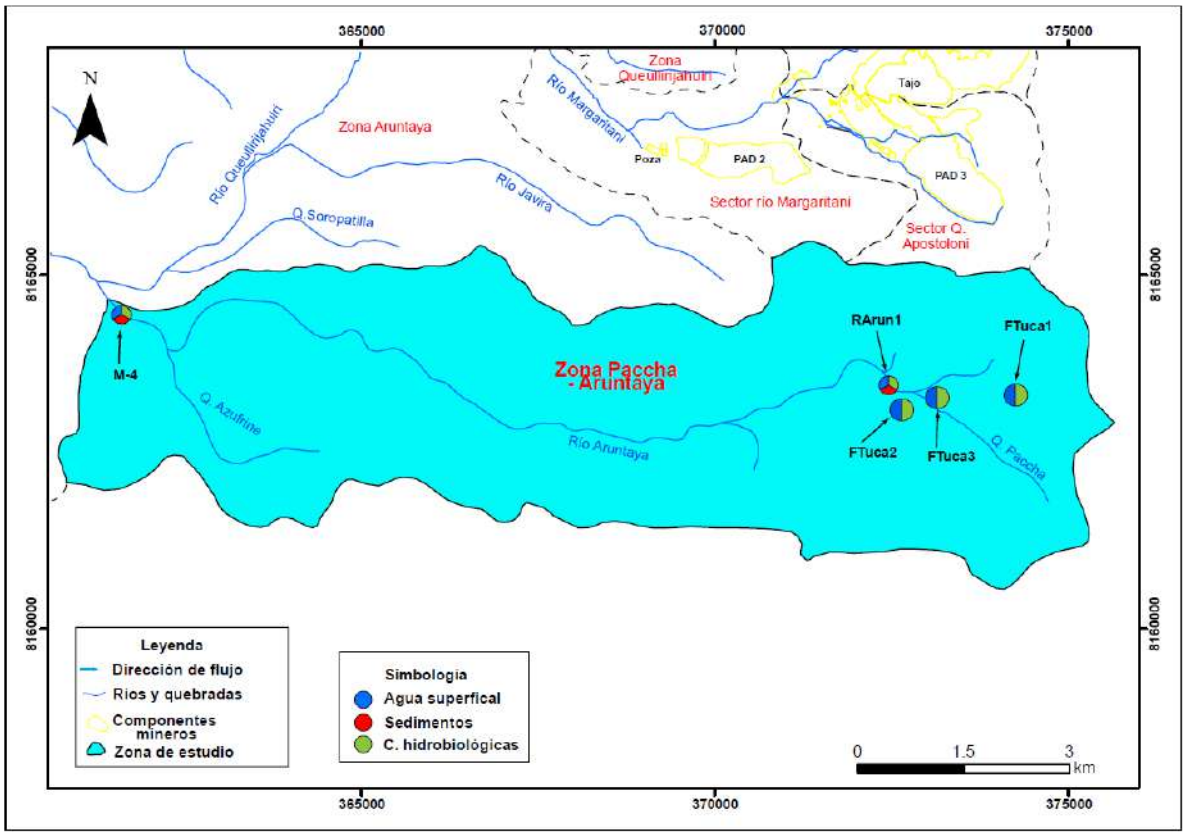


Figura 7.9. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para roca, agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas.

En la naciente del río Aruntaya (quebrada Paccha), se emplaza en secuencias volcánicas del Grupo Barroso. Los cuerpos de agua evaluados en esta zona (FTuca1, FTuca2, FTuca3, RArun1 y M-4) se caracterizaron por presentar aguas ácidas (pH≤4,38 unidades), con concentraciones de aluminio (FTuca3, RArun1 y M-4), cobalto (RArun1) y manganeso (FTuca2, RArun1 y M-4) que excedieron los ECA para agua 2017 Cat 3 D1 o D2. Sin embargo, se observó una disminución en sus concentraciones desde la parte alta (RArun1) hasta antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri (M-4), posiblemente debido a que en su recorrido atraviesa una extensa zona de bofedales.

La presencia de los parámetros que excedieron los ECA para agua están relacionados con la influencia de DAR, corroborado con la caracterización geoquímica (GR-FT-37, GR-FT-38 y GR-FT-38) donde los metales totales en la andesita presentaron concentraciones superiores al valor medio de la corteza superior (Rudnick, 2014) para cadmio, cobre y zinc. En cuanto al arsénico superó la concentración media de la corteza superior en dos muestras de depósitos

cuaternarios y, además, las muestras GR-FT-38 y GR-FT-39 fueron consideradas como potenciales generadores de acidez de acuerdo a la prueba estática de balance ácido-base (ABA). Asimismo, según la prueba de *shake flask extraction (*GR-FT-39) se lixivian sulfatos (325 mg/L), además de manganeso (7,011 mg/L), aluminio (2,05 mg/L), hierro (0,91 mg/L), níquel (0,6919 mg/L) y cobalto (0,5718 mg/L). La presencia de sulfatos se debe a la oxidación, lo que fue corroborado por la presencia de sulfuros de hierro como pirita (0,5%), marcasita y pirrotita en traza.

De acuerdo al análisis histórico según los datos reportados por el administrado (M-4) y el OEFA (M-4 y AG-06) entre 2007 al 2020, el río Aruntaya presenta características ácidas y altas concentraciones de aluminio y manganeso, que exceden los ECA para agua 2017 Cat. 3, estas condiciones se mantienen a lo largo del periodo de tiempo indicado. Mientras que las concentraciones de sulfatos y los demás metales (hierro, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, níquel, plomo y zinc) son bajas y se mantienen constantes independientemente de la temporada (avenida o estiaje), Anexo 11.

Los sedimentos del río Aruntaya (RArun1 y M-4), presentaron características asociadas al entorno geológico; pH ácidos; bajas concentraciones de cobre, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, manganeso, y sólo concentraciones de arsénico que excedieron el valor ISQG de la norma canadiense. Por otra parte, se evidenció un incremento en los valores de sulfatos y hierro desde la naciente (RArun1) hasta la confluencia con el río Queullirijahuiri (M-4), asociados a las andesitas que presentan sulfuros de hierro como pirita, marcasita y pirrotita en su composición mineralógica.

La composición mineralógica consistió predominantemente de silicatos (plagioclasas, cuarzo, feldespato, micas, piroxeno) y arcillas (caolinita) identificados por DRX y sulfuro de plomo (galena) en traza según MEB. Por otra parte, no se identificaron minerales como jarosita (fase de sulfatos), siendo un mineral que se encuentra en ambientes ácidos (pH < 3) y ambientes fluviales contaminados por drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards *et al.,* 1999; Smith *et al*., 2006).

Por lo tanto, las características de pH ácido, sulfatos y hierro encontrados en agua y sedimentos del río Aruntaya, están relacionados a flujos de agua en contacto con sulfuros oxidados (Schiermund yy Drozd, 1997), y son las características de un DAR, al igual que la zona Queullirijahuiri, que fueron considerados en la presente evaluación como un sitio de referencia (blanco). Se precisa que el agua es incolora y los sedimentos son de color marrón (Figura 7.10.)

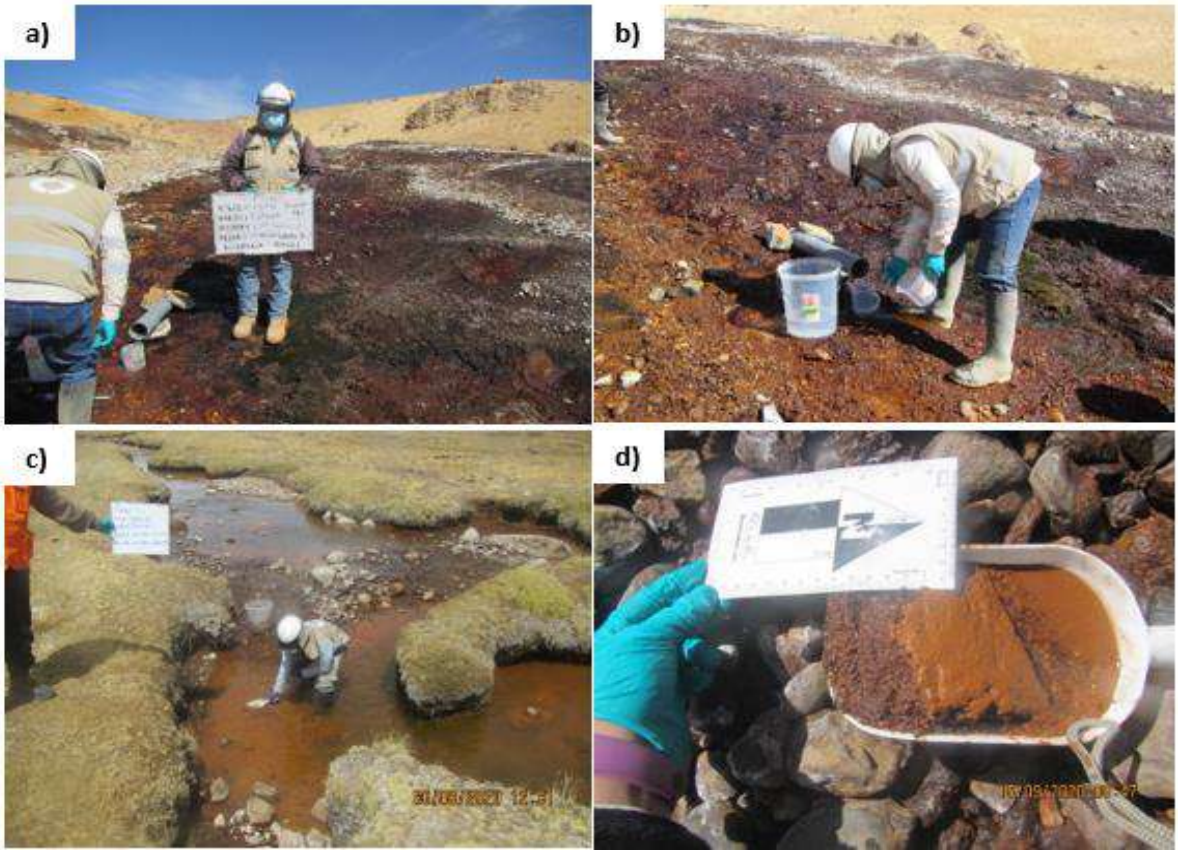


Figura 7.10. Vista de manantial a) y b) FTuca3 que aflora en ferricretas (óxidos de hierro), c) y d) sedimento del río Aruntaya (M-4), antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri

En la Figura 7.10 se muestra lecho cementado con óxidos de hierro (ferricretas), formados por acumulación y precipitación del hierro soluble, la coloración característica del lecho es anaranjada con patinas rojas negruzcas donde aflora el manantial FTuca3, cabe precisar que el agua del manantial FTuca3 no adopta dicha coloración (es incolora).

En relación a las comunidades hidrobiológicas de esta zona, el análisis de las microalgas del perifiton tuvo en cuenta los manantiales (HB-FTuca1, HB-FTuca2 y HB-FTuca3) que aportan a la formación del río Aruntaya desde la quebrada Paccha (RArun1), hasta antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri (M-4)

De acuerdo con el análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) se observa que el punto ubicado en la naciente del río Aruntaya se diferencia del que se encuentra en el mismo río aguas abajo; así mismo, los manantiales HB-FTuca2 y HB-FTuca3 se encuentran más cercanos entre sí que con el manantial ubicado en la naciente del río (HB-FTuca1) el cual se separa del resto por presentar la mayor diversidad de especies como se observa en la Figura 7.11.

En esta zona se registraron especies acidófilas cuyas asociaciones se relacionan a los parámetros de agua superficial (pH, cloruros, oxígeno disuelto, arsénico, boro, cadmio, hierro) con una correlación de Spearman de 60 % y están asociados a DAR ya que las concentraciones de Fe, Cd, Cloruros y As son mayores aguas arriba en el punto más cercano a los manantiales que en el punto aguas abajo, y no tiene influencia de actividades mineras.

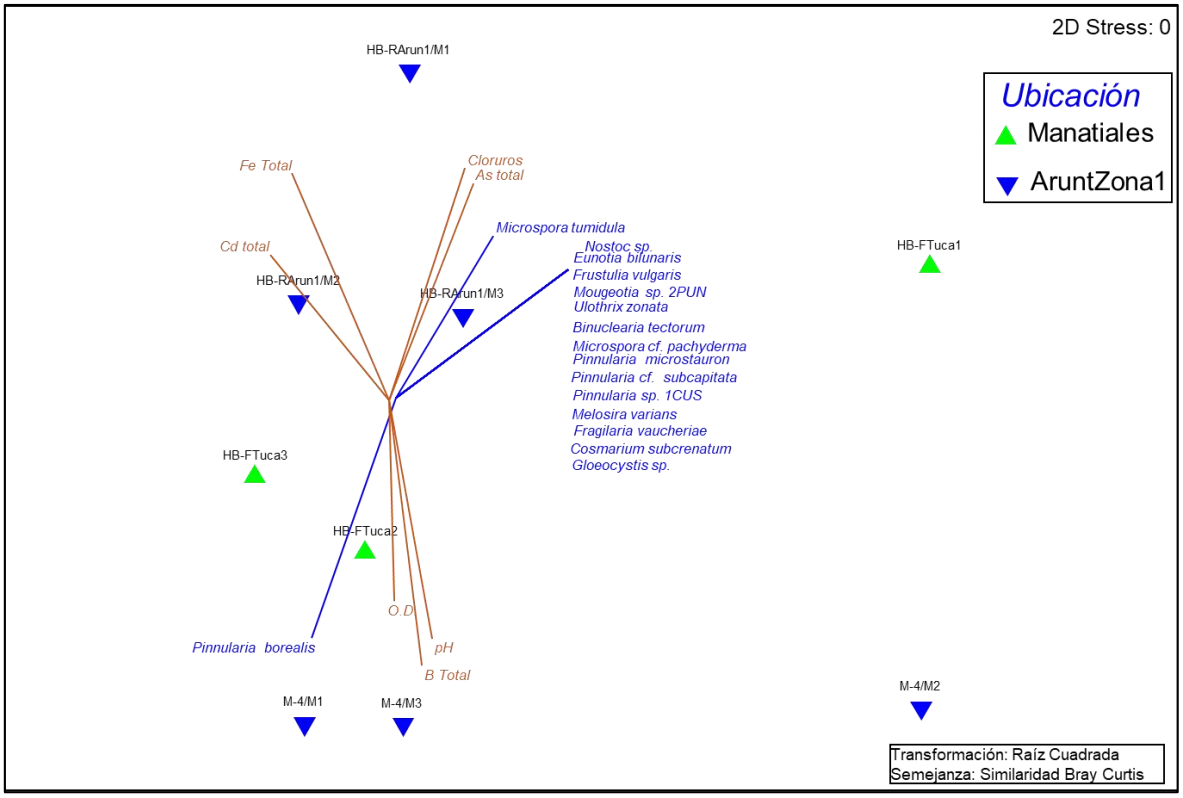


Figura 7.11. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) de las microalgas del perifiton en la Zona Paccha Aruntaya con las variables de interés de agua superficial.

En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos resalta la dominancia de especies tolerantes principalmente de la familia Chironomidae (larvas de quironómidos) como *Cricotopus* sp., *Limnophyes* sp. y Orthocladiinae ND las que aportaron una alta similitud entre puntos de muestreo, teniendo como principal hábito ser recolectores de detritos (materia orgánica) transportados por la corriente (Acosta, 2009) y encontrados en el lecho del río (muestra de sedimento M-4: 0,9%), similar a lo encontrado en la zona Queullirijahuiri. Otras especies importantes, fueron la especie tolerante *Limnophora* sp. (familia Muscidae, orden Diptera) y las larvas de la especie facultativa *Austrelmis* sp. (familia Elmidae, orden Coleoptera), consideradas depredadores de otros organismos (Merritt *et al.*, 2008) como podrían ser las larvas de los quironómidos encontrados en la zona.

De acuerdo a los principales resultados obtenidos la naciente de la unidad hidrográfica Coralaque, conformada por las quebradas Queullirijahuiri, Apostoloni, Margaritani y Pacha - Aruntaya presentan aguas ácidas con carga de metales que excedieron los ECA para agua categoría 3, 2008 o 2017 en los parámetros de cadmio, cobalto, cobre, arsénico, manganeso, níquel, hierro, aluminio y zinc, así como arsénico, cobre, cadmio, plomo, mercurio y zinc para sedimento que excedieron la normativa ISQG y PEL. Evidenciándose que el principal aporte de carga de dichos metales proviene de la zona Margaritani donde se encuentra ubicada la UF Florencia-Tucari lo cual está asociado a drenaje ácido de mina (DAM). Estos aportes de DAM vienen alterando en la calidad del agua, sedimento y comunidades biológicas a lo largo del cuerpo principal de los ríos Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque. Adicionalmente, se ha identificado la afectación a la calidad de suelo en la zona Margaritani. A, continuación se sustenta los hechos mencionados.

7.3. Zona Margaritani

7.3.1. Sector Quebrada Margaritani

Se tomaron muestras de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en la quebrada Margaritani, y en los principales tributarios (Figura 7.12); también se evaluaron manantiales, ubicados a los márgenes derecho e izquierdo de la quebrada Margaritani y afloramientos, ubicados en áreas aledañas a los componentes mineros; y el efluente minero PS-01. Además, se realizó la caracterización del depósito de desmonte Norte, canteras y del lodo del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland norte (PS-01); así como la caracterización geológica local del sector, que incluyó muestras de roca.

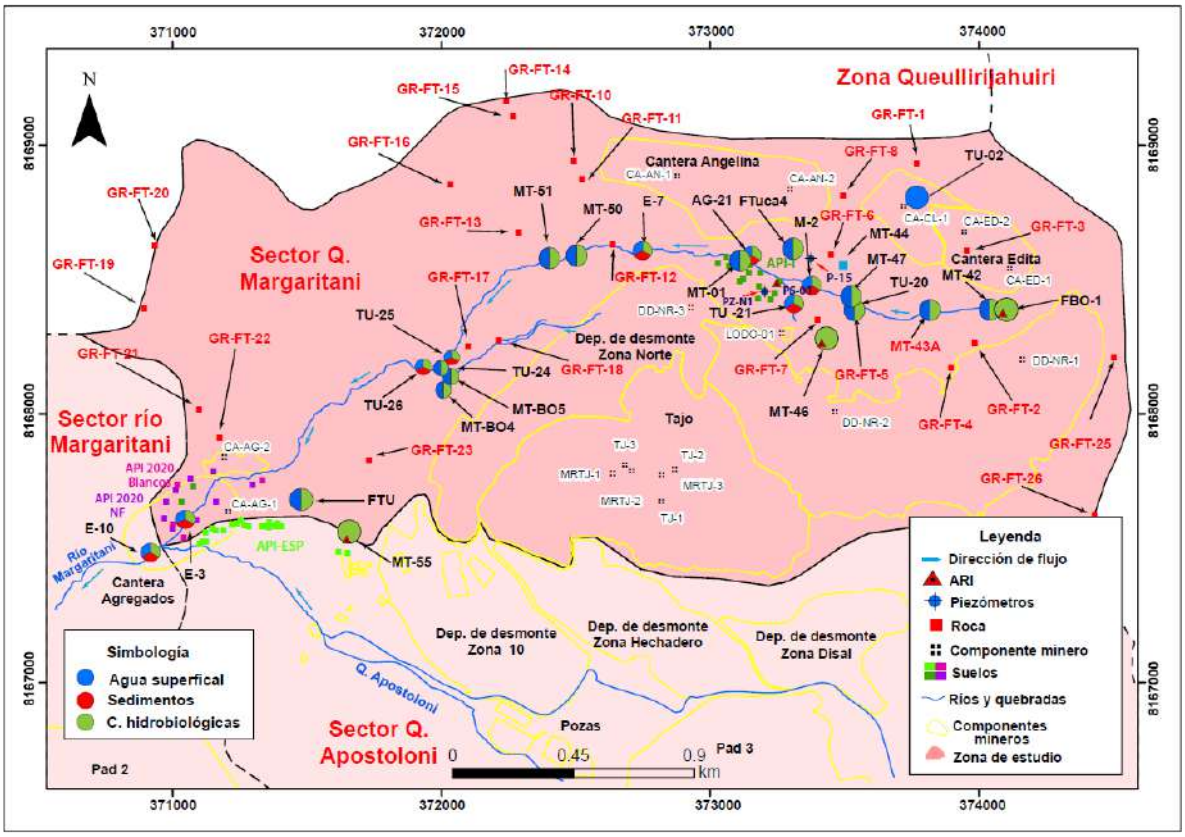


Figura 7.12. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo de agua, sedimentos y comunidades hidrobiológicas, roca y componentes mineros en el sector quebrada Margaritani.

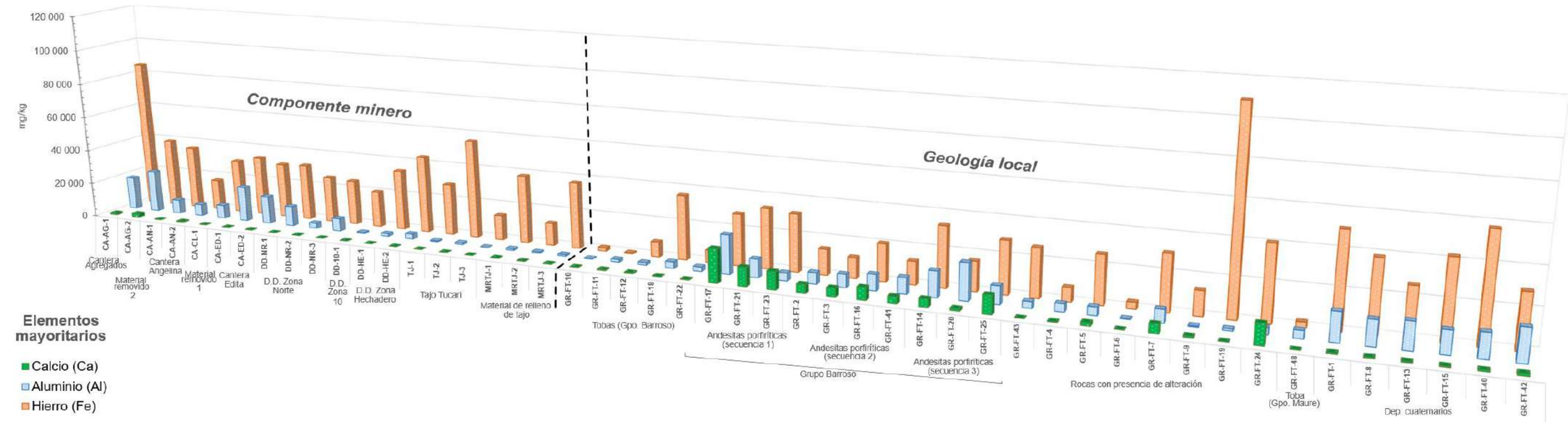
En este sector se evidencia la alteración del agua, sedimento y comunidades biológicas en la quebrada Margaritani y sus tributarios (quebradas sin nombre 1 y 2), por el aporte de afloramientos de agua afectados por DAM (lixiviados) asociados al depósito de desmonte zona Norte, según la caracterización geológica y geomorfológica local del basamento de este sector que involucra el depósito de desmonte zona Norte, la caracterización geoquímica y mineralógica del componente minero y basamento rocoso (metales totales, pruebas *SFE*, ABA, DRX y MEB) y el análisis de los resultados históricos de calidad de agua.

En el ámbito local, la quebrada Margaritani se emplaza principalmente en rocas volcánicas de composición andesítica y rocas piroclásticas (tobas) del Grupo Barroso, las andesitas presentan textura porfirítica y en ciertas zonas las rocas se presentan con diferentes tipos de alteración (oxidación, argilización, argílica avanzada potásica, carbonatación, cloritización, seritización, silicificación, biotización, fílica y zeolitización), las cuales presentan cierta composición mineralógica específica. En su mayoría las andesitas y tobas presentan impregnaciones de óxidos de hierro y pequeños cristales de pirita diseminada. También se han identificado fallas y fracturas de rumbo preferencial noroeste – sureste, estructuras secundarias con rumbo preferencial norte – sur y noreste – sureste.

A la margen derecha de la quebrada Margaritani, se emplazan las canteras Angelina, Edita y material removido 1, asimismo, se emplazan depósitos aluviales con dirección de flujo hacia el

canal principal (quebrada Margaritani) donde se abren los abanicos aluviales; hacia la margen izquierda se encuentra el depósito de desmonte zona Norte que en su ladera hacia el canal principal según el análisis del modelo digital de elevación presentan flujos paralelos.

La caracterización geoquímica del material de los componentes mineros; las canteras (CA-AG-1, CA-AN-1, CA-AN-2, CA-ED-1 y CA-ED-2), material removido 1 (CA-CL-1), material removido 2 (CA-AG-2) depósito de desmonte zona Norte (DD-NR-1, DD-NR-2 y DD-NR-3) y ampliación (zona 10 y Hechadero), tajo Tucari (TJ-1, TJ-2 y TJ-3) y material de relleno del tajo (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3) y la geología local (tobas y andesitas del Grupo Barroso, tobas del Grupo Maure y depósitos cuaternarios) muestran que el hierro tiene una distribución variada y no muestra afinidad aparente. Respecto al calcio, está asociado a las andesitas porfiríticas del Grupo Barroso; en cuanto al aluminio, se muestra distribuido entre componente minero (canteras, material removido y depósito de desmonte Zona Norte) y la geología local (andesitas del Grupo Barroso y depósitos cuaternarios). Superponiendo los resultados frente a la concentración media de la corteza superior (Rudnick, 2014), solo el componente minero cantera de Agregados (CA-AG-1) y la muestra de brecha alterada del Grupo Barroso (GR-FT-19), la roca porfirítica intensamente alterada (GR-FT-24) y los depósitos cuaternarios (GR-FT-1, GR-FT-15 y GR-FT-40) superaron la concentración media de hierro. Se precisa que el aluminio y calcio no superaron el valor medio de la corteza superior en ninguna muestra.



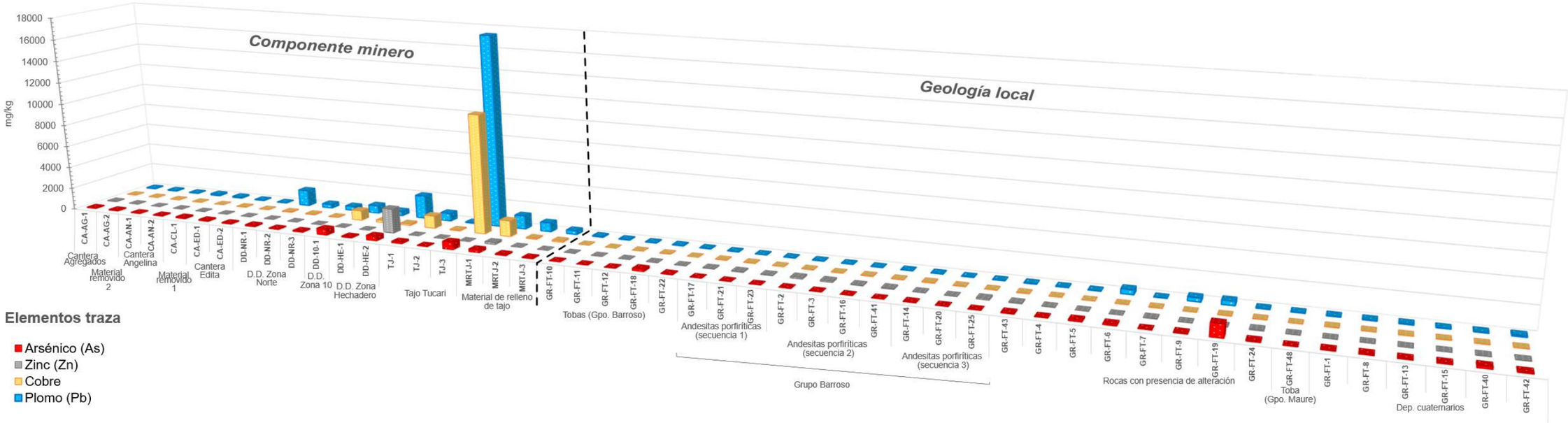


Figura 7.13. Distribución de concentraciones de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (As, Zn, Cu y Pb).

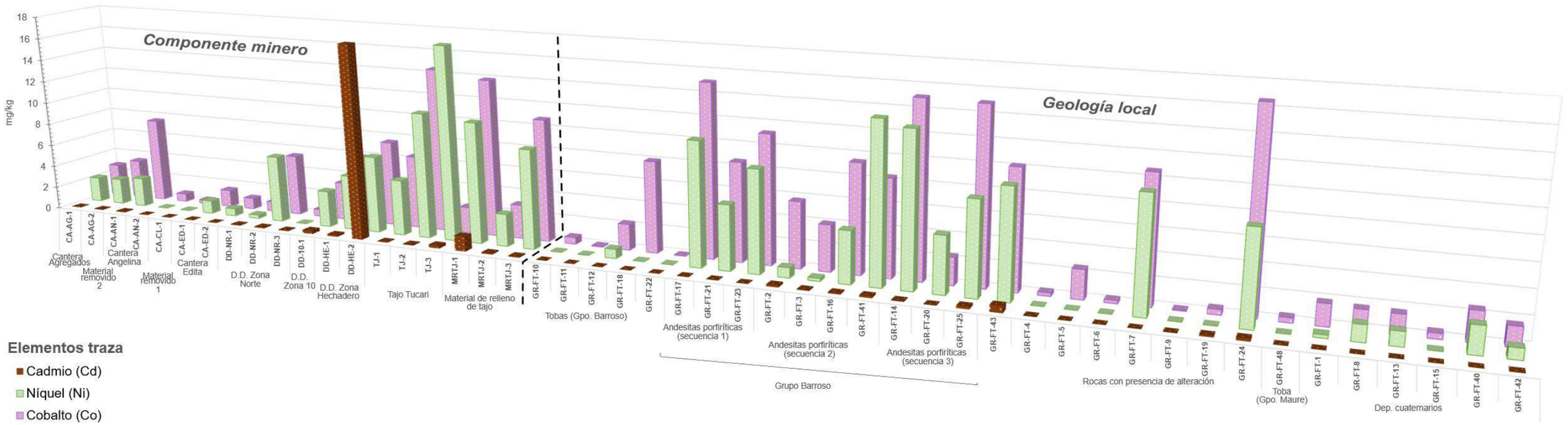


Figura 7.14. Distribución de concentraciones de elementos traza (Cd, Ni y Co) de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios).

En cuanto a los elementos traza como el arsénico, zinc, cobre y plomo muestran una afinidad mayor en los componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) que en las muestras de la geología local (tobas y andesitas del Grupo Barroso, tobas del Grupo Maure y depósitos cuaternarios), ya que presentan elevadas concentraciones en todas las muestras (Figura 7.13) y a su vez superaron la concentración media de la corteza superior para arsénico y plomo (menos en la muestra CA-ED-2). Es importante mencionar que la presencia de los elementos traza mencionados se encuentran asociados al yacimiento clasificado como un depósito aurífero epitermal de tipo diseminado de alta sulfuración.

Por otra parte, el cadmio se encuentra distribuido en mayores concentraciones en los componentes mineros depósito de desmonte zona Norte (DD-NR-2), Zona 10 (DD-10-1), zona Hechadero (DD-HE-1 y DD-HE-2), tajo (TJ-3) y material de relleno del tajo (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3) que en las muestras de roca y depósitos cuaternarios y a su vez los componentes mineros mencionados superaron la concentración media de la corteza para cadmio (Rudnick, 2014). En cuanto al níquel y cobalto se observa dos agrupamientos, el primero conformado por los componentes mineros (depósitos de desmonte zona norte, zona 10, zona Hechadero, tajo y material de relleno de tajo) y el segundo grupo conformado por las andesitas porfiríticas del Grupo Barroso (geología local) los cuales presentaron concentraciones mayores a los depósitos cuaternarios (geología local), canteras y material removido (componentes mineros) (Figura 7.14).

Del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido realizado en las muestras de los componentes mineros, indican la presencia de minerales metálicos traza que contienen plomo, cobre y arsénico. Asimismo, en la Figura 7.15, se presenta la distribución de los elementos de acuerdo a su presencia en los minerales; se aprecia que los minerales de plomo se identificaron en todos los componentes (principalmente galena, cerusita, jordanita y uchucchacuaita), además del sulfosal de plomo (diaforita) presente únicamente en la muestra del material removido 1. En cuanto al mineral que contiene cobre, la calcopirita fue identificado en la muestra del depósito de desmonte zona Norte (DD-NR-3). Se observa además minerales que presentan arsénico (jordanita, óxido de antimonio con impurezas de As y Zn) y zinc (esfalerita).

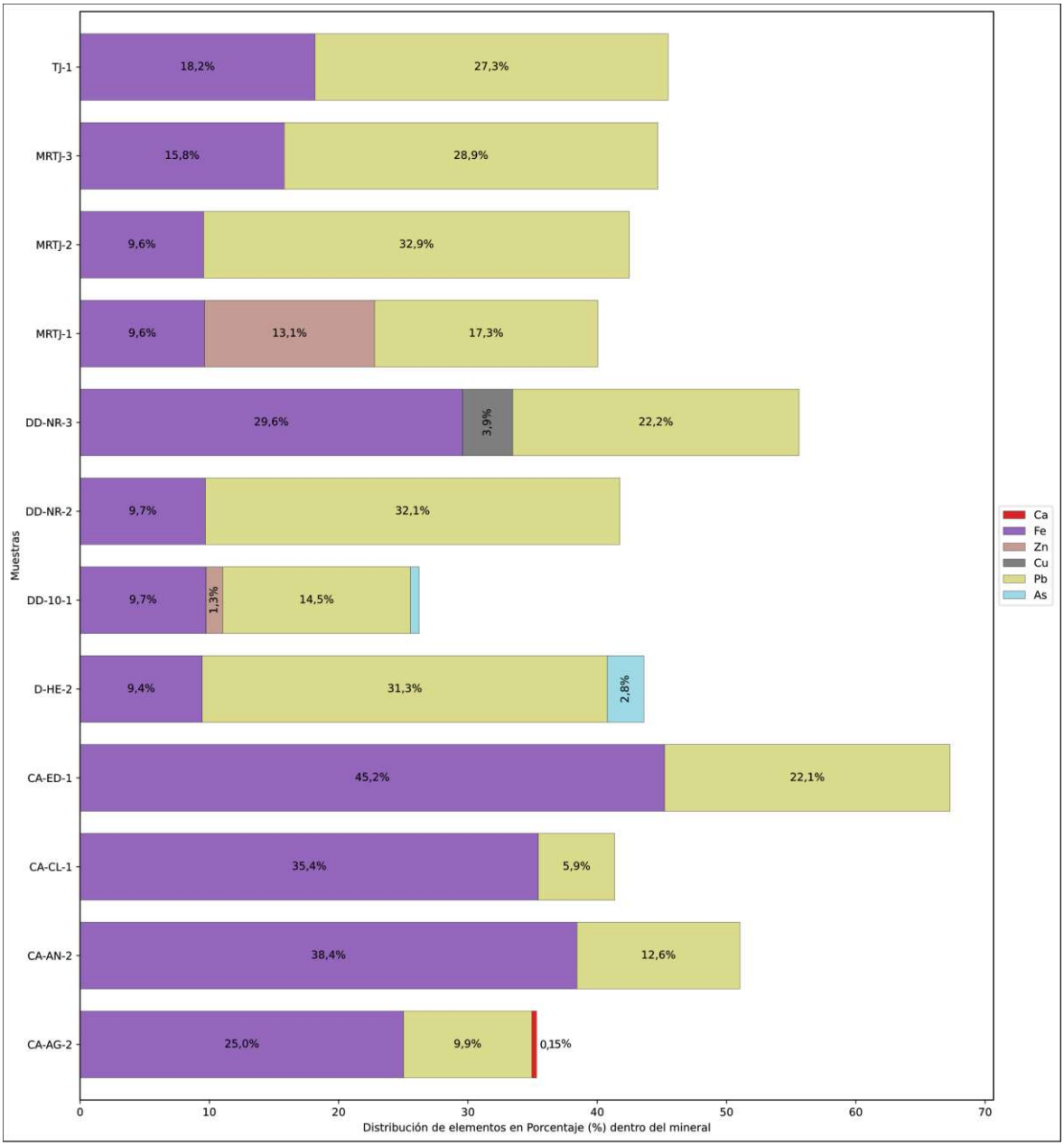


Figura 7.15. Distribución de elementos de interés de acuerdo a la presencia de minerales en traza reportados en el análisis mineralógico por microscopia electrónica de barrido en muestras de componentes mineros

Mediante el análisis mineralógico por difracción de rayos X, los componentes mineros presentan principalmente cuarzo, plagioclasas (familia andesina) y feldespato Na (familia sanidina), a diferencia del material removido 1 (CA-CL-1) que presenta principalmente plagioclasas de la familia Oligoclasa. La pirita como único sulfuro de hierro se identificó en el depósito de desmonte zona Norte y ampliación (zonas 10 y Hechadero), en el tajo Tucari (TJ-1), así como en el material

de relleno (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3) en porcentajes que varían de 2 a 3 %. En cambio, en las muestras de canteras y material removido no fueron identificados (Figura 7.16).

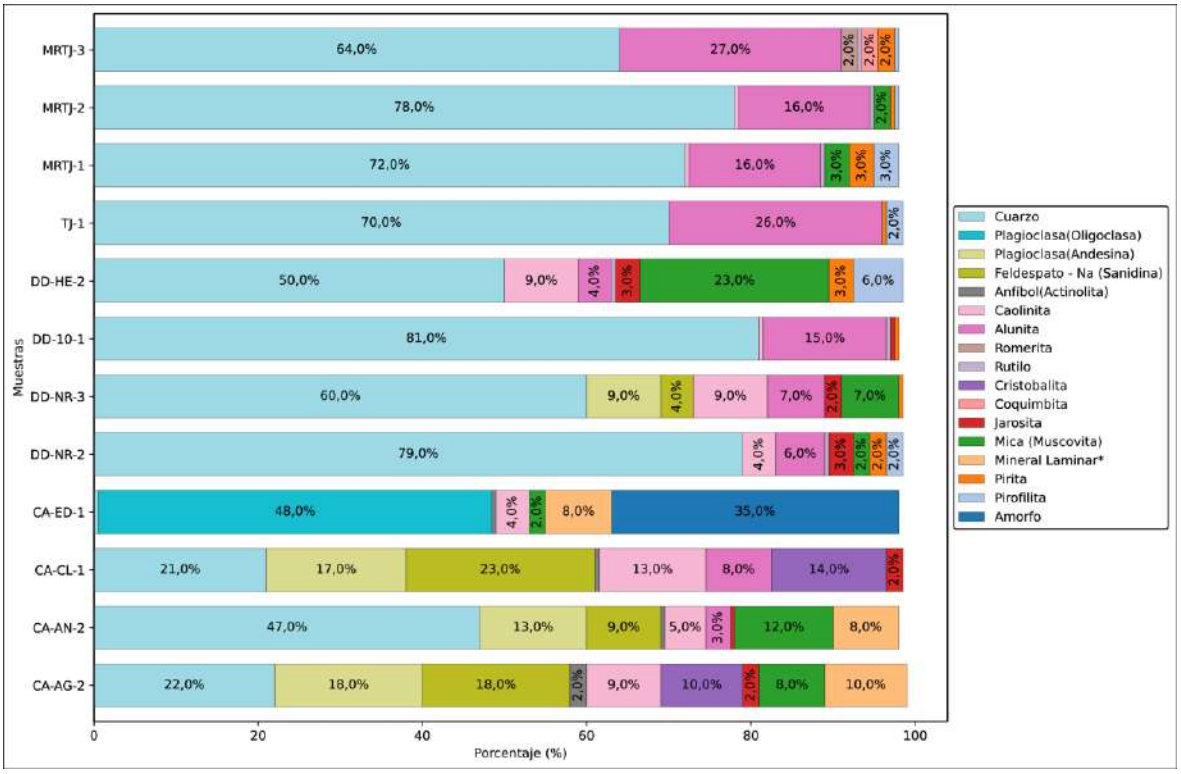


Figura 7.16. Distribución de minerales analizados mediante difracción de rayos X en muestras componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo)

Los minerales como la jarosita (reportados en muestras de los depósitos de desmonte y materiales removidos 1 y 2), romerita y coquimbita (ambos reportados en la muestra MRTJ-3) son minerales secundarios que pertenecen al grupo de los hidroxisulfatos de hierro, que se forman en ambientes ácidos (pH < 3) y ricos en sulfatos formados a partir de la oxidación de sulfuros (Cogram, 2018), además se precisa que estos minerales son considerados como minerales formadores de acidez, ya que almacenan acidez temporalmente en la zona no saturada (Aluvire, 2006).

El basamento en el cual se desarrollan las actividades de la UF Florencia Tucari, está constituido principalmente por andesitas porfiríticas de las secuencias 1, 2 y 3; además de las secuencias de tobas con presencia de cristales y líticos. Mediante el análisis de microscopía óptica se observó que las andesitas porfiríticas se conforman en general por plagioclasas (silicatos) y minerales ferromagnesianos como los piroxenos (en ocasiones se encuentran alterados por arcillas y óxidos de hierro), también se presentan cristales pequeños de pirita en traza, los cuales ingresaron entre los intersticios de las plagioclasas y forman parte del grupo de los sulfuros de hierro. A su vez, se realizó el análisis mineralógico por microscopía óptica a dos muestras obtenidas del tajo (TJ-2 y TJ-3), las cuales se clasificaron como rocas silicificadas con

presencia de alteraciones (oxidación, argilización, silicificación y alunitización) que presentan sulfuros de hierro como pirita (5%) y marcasita (1%); además de la covelita (traza) como sulfuro de cobre.

De lo mencionado anteriormente, las muestras del tajo (componente minero) a diferencia de las muestras de la geología local (andesitas porfiríticas, y tobas) presentaron porcentajes mayores de sulfuros de hierro (pirita y marcasita), considerando que el yacimiento explotado por la UF Florencia Tucari corresponde a un depósito aurífero epitermal de tipo diseminado de alta sulfuración[50] el cual tiene como principal característica la presencia de minerales metálicos clave como la pirita y otros sulfuros como calcopirita, esfalerita y galena, los cuales fueron identificados mediante el análisis por microscopía electrónica de barrido en las muestras de material granular del tajo (TJ-1) y material de relleno del tajo (MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3). Es importante precisar que la marcasita al igual que la pirita son sulfuros de hierro y que al estar en contacto con el oxígeno y agua generan drenaje ácido de mina (DAM), no obstante, la marcasita por las diferencias estructurales es el sulfuro más reactivo a la erosión (física y química) y oxidación que la pirita (Wang, H., *et al.* 2007).

Además, según el ensayo de balance ácido-base (ABA) las muestras de todos los componentes mineros son potenciales generadores de acidez, en comparación de las muestras de roca y depósitos cuaternarios donde solo las tobas y rocas con presencia de alteración fueron consideradas como generadoras de acidez. En cuanto al pH en pasta, las muestras de los depósitos de desmonte zona 10 y Hechadero; así como el tajo Tucari y el material de relleno presentaron valores bajos (pH < 3) en comparación a las muestras de canteras, depósitos cuaternarios y roca (pH > 3) como se observa en la Figura 7.17.

En la Figura 7.18 se presenta la comparación entre los lixiviados de metales y sulfatos generados en los componentes mineros y geología local (roca y depósitos cuaternarios); donde es notorio que las muestras de los componentes mineros lixivian mayores concentraciones de elementos mayoritarios tratándose del aluminio, calcio y hierro, en cuanto a los elementos traza como el plomo, zinc, arsénico, cobre, cadmio, cobalto y níquel; además de los sulfatos también son lixiviados en concentraciones mayores y considerables en los materiales de componentes mineros según la prueba de *shake flask extraction*. Considerando la principal fuente de metales y sulfatos al depósito de desmonte, tajo y material de relleno de tajo en el sector Margaritani.

[50] Estudio de impacto ambiental (EIA) «Ampliación de Operaciones Proyecto Tucari» Aprobado mediante R.D. N 391-2010-MEM-AAM.

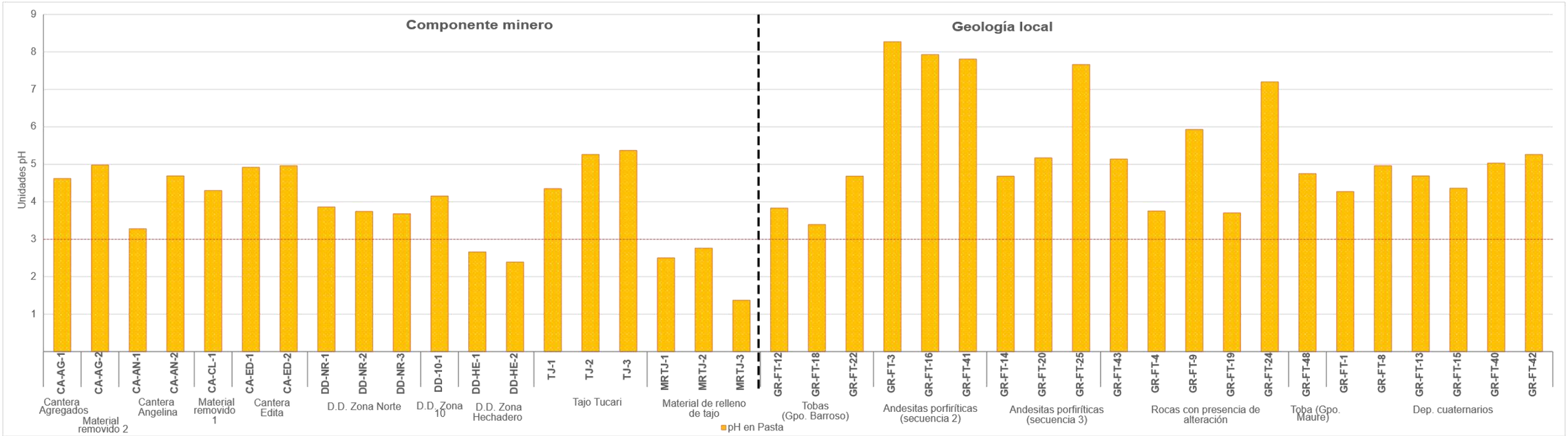


Figura 7.17. Distribución de pH en pasta (prueba ABA) de los componentes mineros y geología local

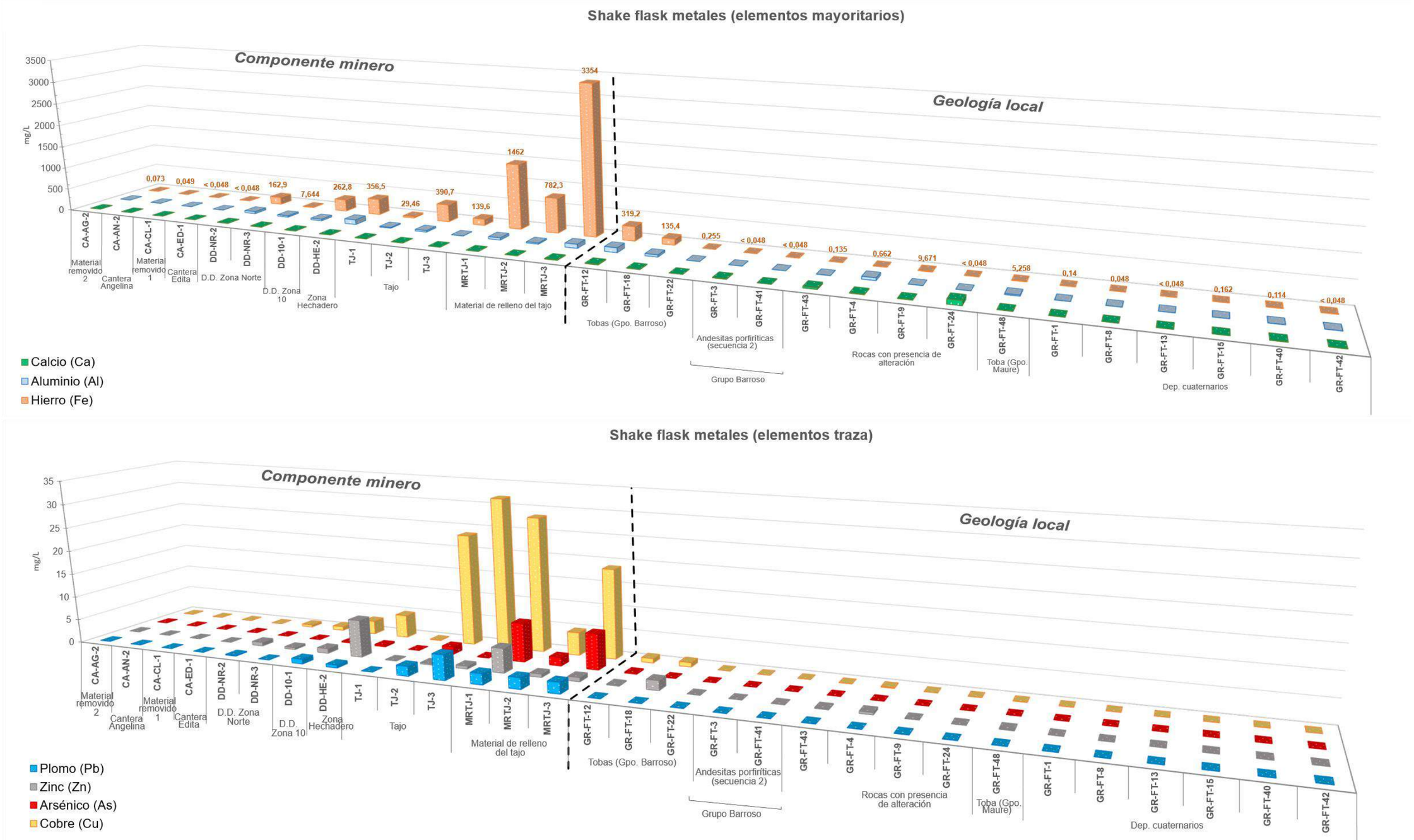


Figura 7.18. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (Pb, Zn, As y Cu).

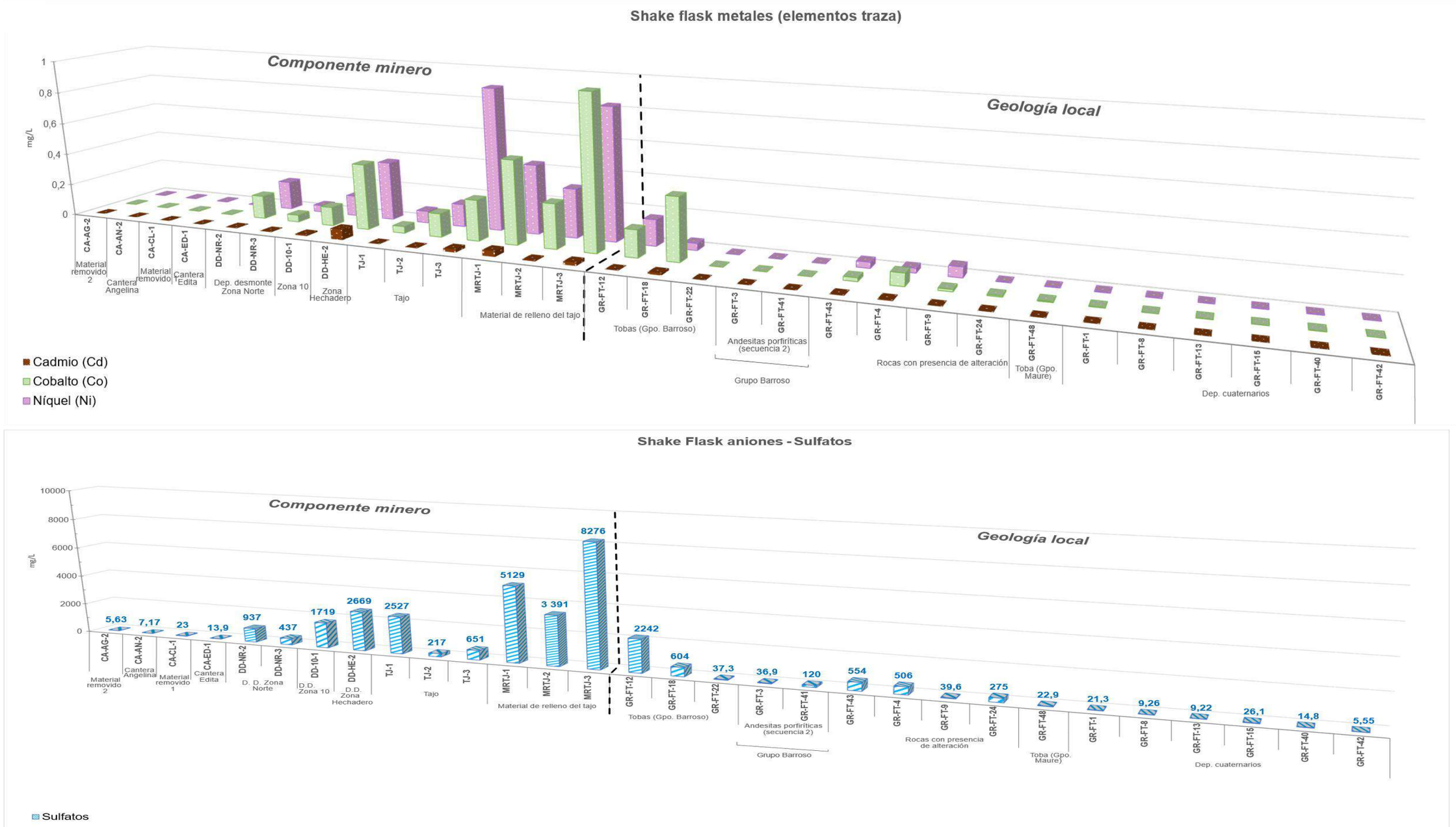


Figura 7.19. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (canteras, material removido, depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos traza (Cd, Co y Ni) y **b)** Sulfatos

De las características mencionadas anteriormente, se considera a los depósitos de desmonte zona Norte y ampliación (zona 10 y Hechadero), al tajo Tucari y material de relleno del tajo como fuentes de drenaje ácido de mina (DAM) en el sector Margaritani, de acuerdo a los bajos pH en pasta de los materiales, presencia de sulfuros, contenido elevado de sulfatos, elevada carga metálica, a diferencia de las características del basamento donde se emplazan los componentes mineros y componentes ambientales; y a pesar de la presencia de minerales sulfurados (pirita, pirrotita y marcasita) presentes en la geología local (tobas y andesitas del Grupo Barroso) estos lixivian bajas concentraciones de metales y sulfatos. No obstante, las zonas cartografiadas como rocas con presencia de alteración y los puntos GR-FT-12 y GR-FT-18, presentaron características de drenaje acido de roca (DAR), presentado en el mapa geológico local (Figura 7.19).

Cabe precisar que, si bien el drenaje ácido de roca (DAR) y drenaje ácido de mina (DAM) son provocados por la oxidación de sulfuros y tienen las características de valores bajos de pH y concentraciones de metales y sulfatos considerables; el primero corresponde a un proceso geológico natural, mediante en el cual los afloramientos rocosos superficiales con contenidos de sulfuros sufren erosión física y química (meteorización y oxidación espontánea según Grande, et.al., 2004); el segundo ocurre por consecuencia de las actividades antrópicas (en este caso explotación minera) que al incrementar las superficies de contacto (tajo abierto) y reducir las rocas a bloques y granos (depósitos de desmonte) configura las condiciones para que los sulfuros presentes en estos materiales interactúen con el agua y oxigeno del ambiente de manera más eficiente que en el proceso natural.

El DAM[51] generado en el depósito de desmonte (zona Norte) y su ampliación (Zona 10 y Hechadero), tajo y material de relleno del mismo, fue caracterizado en las muestras de las pozas de colección de aguas ácidas identificadas como ARI-04 y ARI-05, reflejando las características indicadas en el párrafo anterior; asimismo, estas aguas son tratadas en el sistema de tratamiento de aguas ácidas del Wetland sur, mediante lechada de cal para la precipitación de metales, y también fueron caracterizadas en la poza de sedimentación N.º 1 y N.º 5 (5000), que son motivo de discusión más adelante.

Respecto a la evaluación de calidad de agua en la quebrada Margaritani, esta se caracterizó por presentar aguas ácidas, con concentraciones elevadas de metales en el cuerpo principal, desde la naciente (TU-20) hasta antes de la confluencia con la quebrada Apostoloni (E-3). También se observa una disminución en la concentración de metales desde aguas arriba hacia aguas abajo en el cuerpo principal, especialmente producto de los aportes de manantiales ubicados en la margen derecha de la referida quebrada.

En el sector quebrada Margaritani se ha logrado identificar 3 afloramientos subterráneos, el primero MT-46, de coloración rojiza que da origen a la quebrada sin nombre 1, y luego tributa a la quebrada Margaritani en su margen izquierda, el segundo MT-BO5, cuyas aguas discurren sobre el suelo, en forma paralela a la quebrada sin nombre 2 y confluyen en la margen izquierda de la quebrada Margaritani. El tercero MT-55, ubicado en la parte baja de la ampliación del depósito de desmonte zona Norte, en el entorno sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo – wetland Sur, cuyas aguas formaron un pequeño surco en el suelo y se infiltran en el mismo con dirección hacia la quebrada Margaritani. Adicionalmente, en la parte baja de la ampliación

[51] Drenaje ácido de mina (DAM) se caracteriza particularmente por poseer concentraciones elevadas y excepcionales de sulfatos (>1000 mg/L), hierro y aluminio (> 1000 mg/L) y cobre, cromo, níquel, plomo y zinc (> 10 mg/L).

del depósito de desmonte se ha identificado un afloramiento MT-BO6, cuyas aguas luego de un recorrido de 2 m se infiltran en el suelo en dirección a la quebrada Apostoloni, este afloramiento es el único identificado en el sector Apostoloni, por tanto, será incluido en este sector (Figura 7.20).

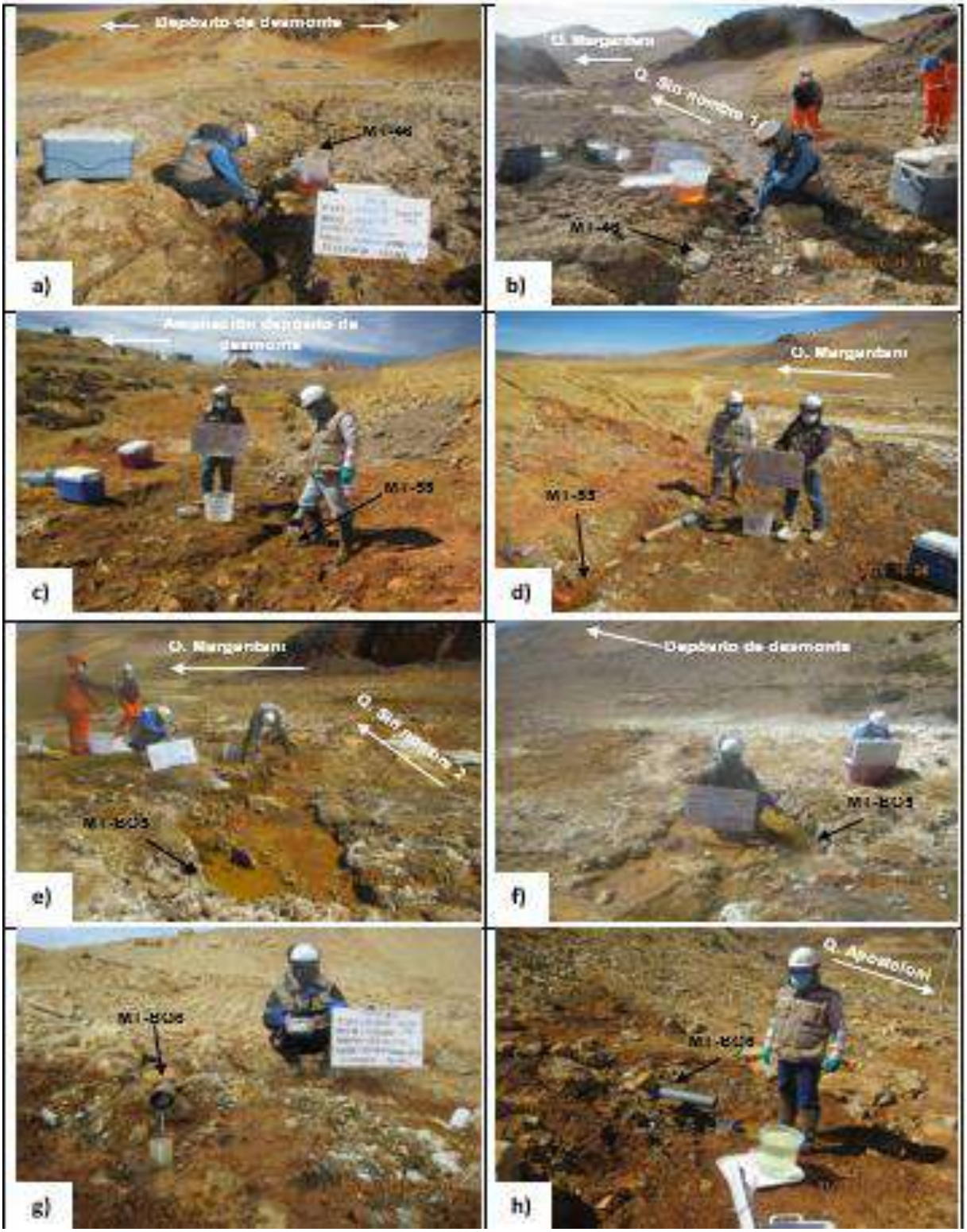


Figura 7.20. Vista de los afloramientos identificados: a) y b) MT-46; c) y d) MT-55; e) y f) MT-BO5 y g) y h) MT-BO6

Cabe mencionar que OEFA en el 2017[52], mediante estudios especializados, que incluyeron prospección geofísica realizada a través de tomografía geoeléctrica, indicó que las quebradas sin nombre 1 y 2, así como la parte baja de la ampliación del depósito de desmonte se encuentran afectadas por lixiviados provenientes del depósito de desmonte (zona Norte), que son las áreas donde se han identificado los afloramientos MT-46, MT-BO5, MT-55 y MT-BO6 en el 2020, tal como se observa en la Figura 7.21.

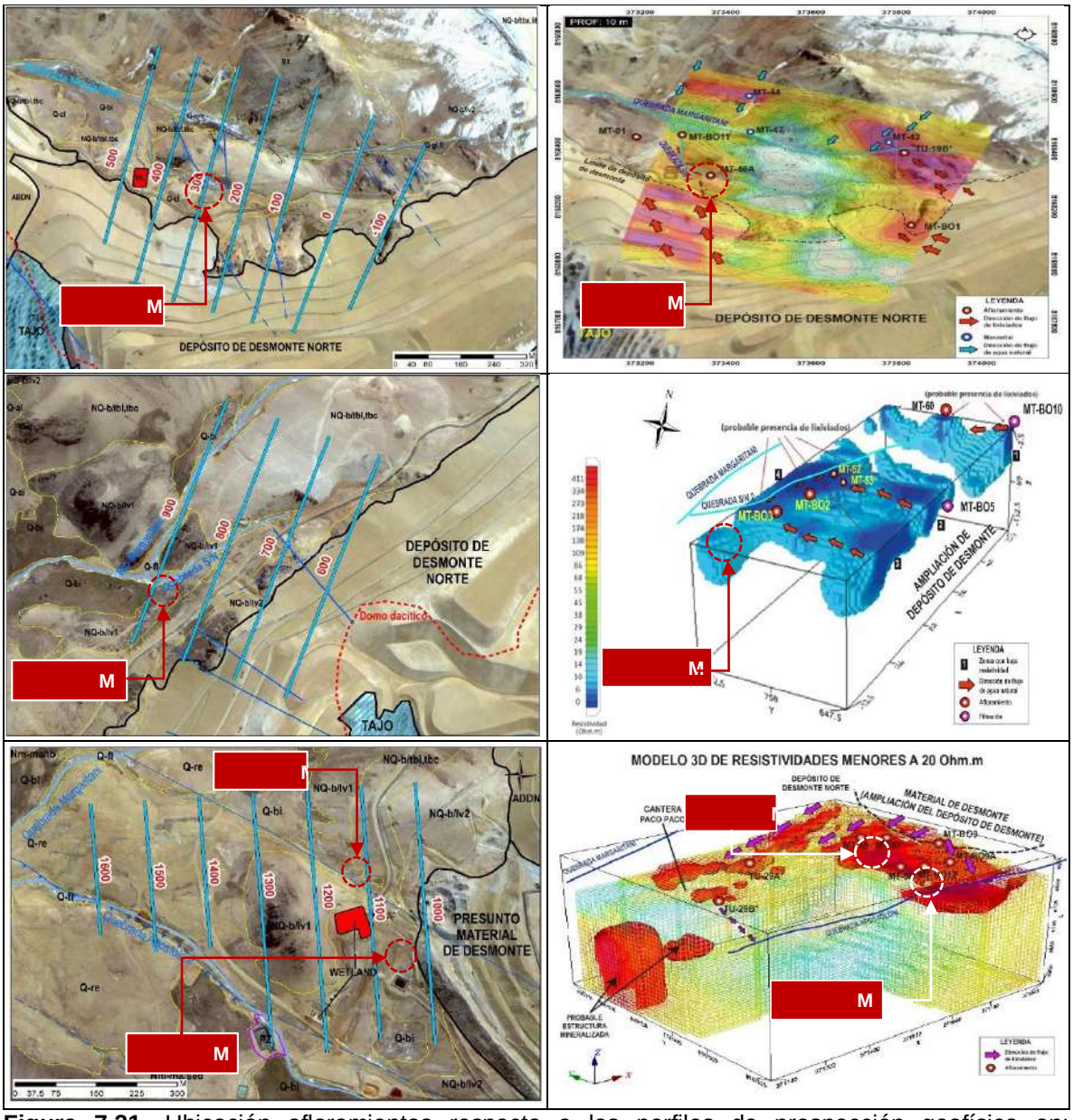


Figura 7.21. Ubicación afloramientos respecto a los perfiles de prospección geofísica en: a) Quebrada sin nombre 1 y zonas aledañas, b) Quebrada sin nombre 2 y zonas aledañas y c) Ampliación del depósito de desmonte y el sistema de tratamiento de aguas acidas – wetland Sur.
Fuente: Informe N.° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME.

[52] Informe N.° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME

Con la finalidad de comparar las características fisicoquímicas entre los manantiales y afloramientos de la zona Margaritani (sector quebrada Margaritani), así como el agua residual industrial del tajo y el depósito de desmonte Norte, se presenta el gráfico de ordenación (nMDS) de la Figura 7.22, el cual muestra los agrupamientos por similitud. Cabe precisar que, se incluyen a los manantiales (MT-31 al MT-35) de la zona Queullirijahuiri, sin influencia de actividades mineras y similar emplazamiento geológico (rocas andesíticas del grupo Barroso), considerado como sitio de referencia (blanco). Se precisa, además que el punto FBO-1 de acuerdo a sus características fisicoquímicas similares al manantial MT-43A (predominio de aluminio, calcio y manganeso) es considerado también como un manantial.

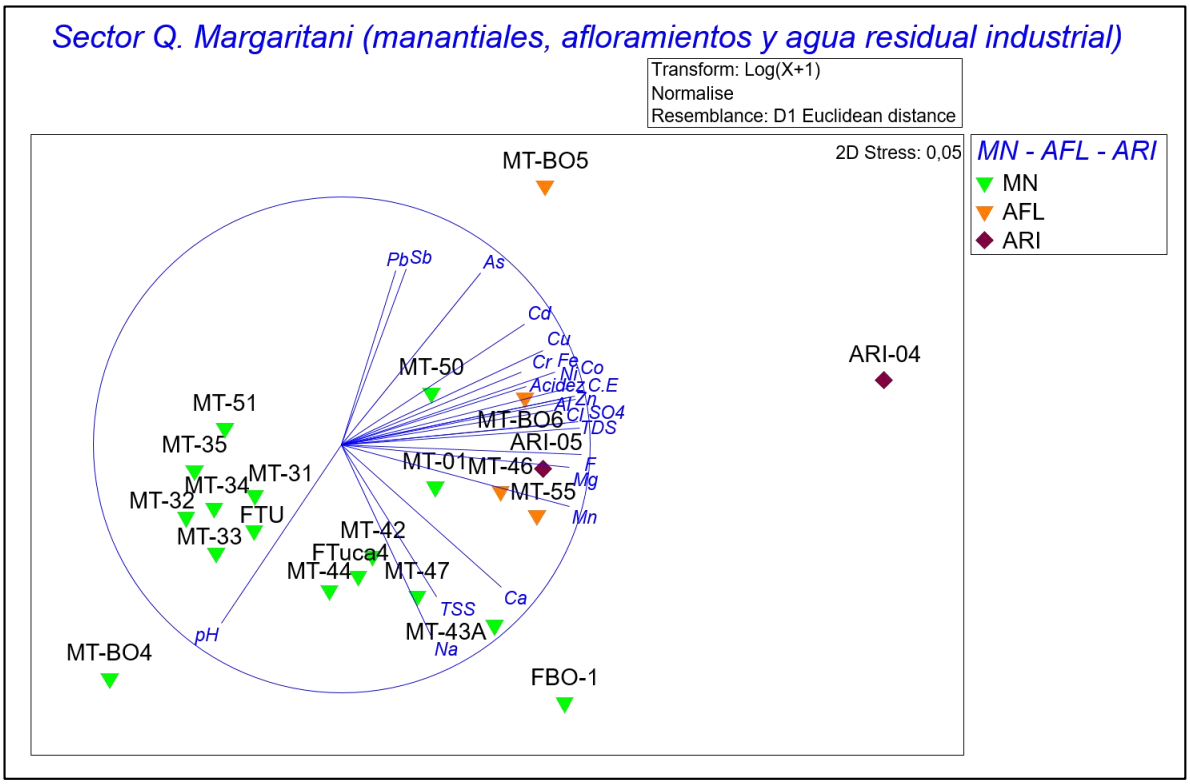


Figura 7.22. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los manantiales (MN) de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani (sector quebrada Margaritani), afloramientos (AFL) de la zona Margaritani, y agua residual industrial (ARI) del tajo y depósito de desmonte Norte.

Nota: La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los manantiales y afloramientos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1)

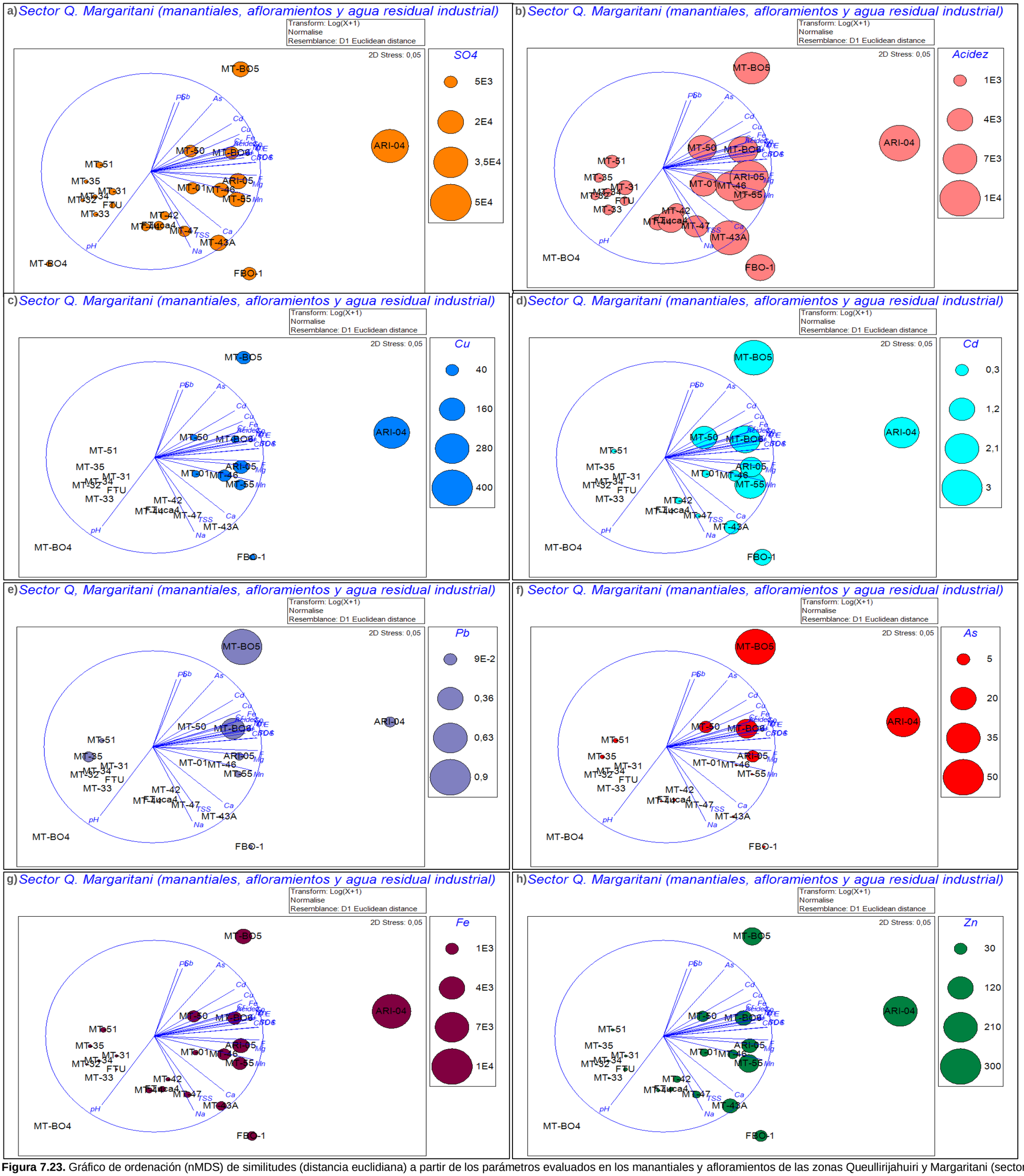


Figura 7.23. Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los manantiales y afloramientos de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani (sector quebrada Margaritani), así como el agua residual industrial del tajo y depósito de desmonte Norte. La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los manantiales, afloramientos y agua residual industrial y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/L) de **a)** sulfatos, **b)** acidez, **c)** cobre, **d)** cadmio, **e)** plomo**, f)** arsénico**, g)** hierro **y h)** zinc en los manantiales, afloramiento y agua residual industrial evaluados.

Se observa una separación espacial entre los puntos de muestreo de manantiales (MT-31, MT-32, MT-33, MT-34 y MT-35) de la zona Queullirijahuiri (sin influencia de actividades mineras), los manantiales ubicados en la margen derecha (MT-43A, MT-47, MT-44, FTuca4 y MT-51), izquierda (MT-01[53], MT-50, MT-BO4 y FTU) y naciente (MT-42 y FBO-1) de la quebrada Margaritani, en relación a los afloramientos (con influencia de actividades mineras) identificadas en la zona Margaritani (MT-46, MT-BO5, MT-55 y MT-BO6). Esta diferencia se da principalmente por una mayor concentración de sulfatos, acidez, cobre, cadmio, plomo, arsénico, hierro, cobalto, níquel, zinc y cromo en los afloramientos, en comparación con lo registrado en conjunto a los manantiales (Figura 7.23).

Asimismo, los afloramientos (MT-46, MT-BO5, MT-55 y MT-BO6) muestran una mayor similitud con el agua residual industrial procedente del tajo y depósito de desmonte Norte, que son lixiviados procedentes de estos componentes mineros y de acuerdo a sus características fisicoquímicas son considerados como drenajes ácidos de mina (DAM) por presentar un pH ácido, concentraciones elevadas de metales pesados, concentraciones elevadas de hierro y aluminio, altas concentraciones de sulfatos, turbidez y sólidos suspendidos (Schmiermund y Drozd, 1997). Asimismo, Lottermoser (2010), menciona que el DAM, se caracteriza por presentar concentraciones excepcionalmente elevadas de sulfatos (> 1000 mg/L), alto contenido de aluminio y hierro (> 100 mg/L), y altas concentraciones de cobre, cromo, níquel, plomo y zinc (> 10 mg/L), que son características fisicoquímicas identificadas en el agua residual industrial del tajo y depósito de desmonte Norte.

Para determinar si existe o no diferencias significativas entre los manantiales y afloramientos de las zonas Queullirijahuiri y Margaritani (sector quebrada Margaritani), así como el agua residual industrial del tajo y depósito de desmonte Norte evaluados mediante la ordenación nMDS (escalamiento multidimensional no métrico), se realizó el análisis de PERMANOVA (*Permutational MANOVA*), el cual demostró mediante el test principal diferencias significativas ($p = 0{,}001$) como se aprecia en la Tabla 7.2. Asimismo, el test pareado entre los agrupamientos determinó que los manantiales y afloramientos (con influencia de actividades mineras), son diferentes en base a las variables fisicoquímicas evaluadas (pH, conductividad eléctrica, turbidez, cloruros, fluoruros, sulfatos, acidez, TSS, TDS, aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, hierro, magnesio, manganeso, níquel, plomo, potasio, sodio y zinc) ya que presentaron diferencias significativas ($p<0{,}05$); mientras que los afloramientos y el agua residual industrial son similares entre sí en base a sus características fisicoquímicas, puesto que no se encontraron diferencias significativas ($p>0{,}05$).

[53] Es importante mencionar que el manantial MT-01 muestra una composición intermedia entre el conjunto de manantiales y afloramientos, ya que se trata de un manantial afectado con lixiviados del depósito de desmonte de acuerdo al estudio del 2017.

Tabla 7.2. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor para las variables fisicoquímicas de los manantiales, afloramientos y agua residual industrial, basado en la similitud de distancia euclidiana (transformación log(x+1)), mostrando el (a) test principal y (b) un resumen del test pareado.

(a) Test principal				
Origen de variación (Factor)	Pseudo-F	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Agrupamientos	6,0398	0,001	999	0,001

(b) Test pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Manantiales (MN); Afloramientos (AFL) y Agua Residual Industrial (ARI)	Manantiales (MN); Afloramientos (AFL)	2,4365	0,003	896	0,003
	Manantiales (MN); Agua Residual Industrial (ARI)	2,8078	0,011	153	0,002
	Afloramientos (AFL); Agua Residual Industrial (ARI)	1,1644	0,203	15	0,323

En abril de 2017, se identificó la formación de aguas ácidas con elevadas concentraciones de metales en el interior del depósito de desmonte zona Norte (ESP-8A, ESP-10A, ESP-11A), que se infiltraban a la napa freática, y luego afloran y convergen en la quebrada sin nombre 1 (ESP-3A)[54]. Luego, en agosto de 2017 se identificó el afloramiento MT-46A, que presenta influencia de lixiviados provenientes del depósito de desmonte zona Norte[55]. Actualmente, persiste el afloramiento MT-46, cuyas aguas son reunidas en el punto TU-21 de la quebrada sin nombre 1, ambos presentan elevadas concentraciones de metales, lo que indica que aún no son captados en su totalidad y mantienen la influencia de lixiviados provenientes del depósito de desmonte zona Norte (Figuras 7.24 y 7.25). Cabe mencionar que el OEFA dicto una medida preventiva[56] para la captación de estos afloramientos.

54 Resolución Directoral N.º 054-2017-OEFA-DS, del 22 de setiembre del 2017.

55 Informe N.º 095-2017-OEFA-DE-SDLB/CEAME.
10. CONCLUSIONES
…, la calidad del agua de las quebradas Margaritani y sus tributarios quebradas sin nombre 1 y 2, además de la quebrada Apostoloni, es alterada por el aporte de los afloramientos (17) de agua con presencia de lixiviados y efluentes (02) provenientes del depósito de desmonte Norte…
Los 17 afloramientos identificados: MT-BO1, MT-BO11, MT-01 (quebrada Margaritani), MT-46A (quebrada sin nombre 1), MT-60, MT-52, MT-53, MT-52A, MT-53A, MT-BO2, MT-BO3 (quebrada sin nombre 2), MT-59, MT-BO9, MT-BO12 (quebrada Apostoloni) y MT-55, MT-57 y MT-BO9A (sector Apostoloni, se infiltran en el suelo), se encuentran afectados por lixiviados…

56 Resolución Directoral Nº 054-2017-OEFA/DS, del 22 de setiembre del 2017, y notificada el 25 de setiembre del 2017. «(…) *Captar el efluente del depósito de desmonte y las aguas de afloramiento para que reciban un tratamiento* (…)».

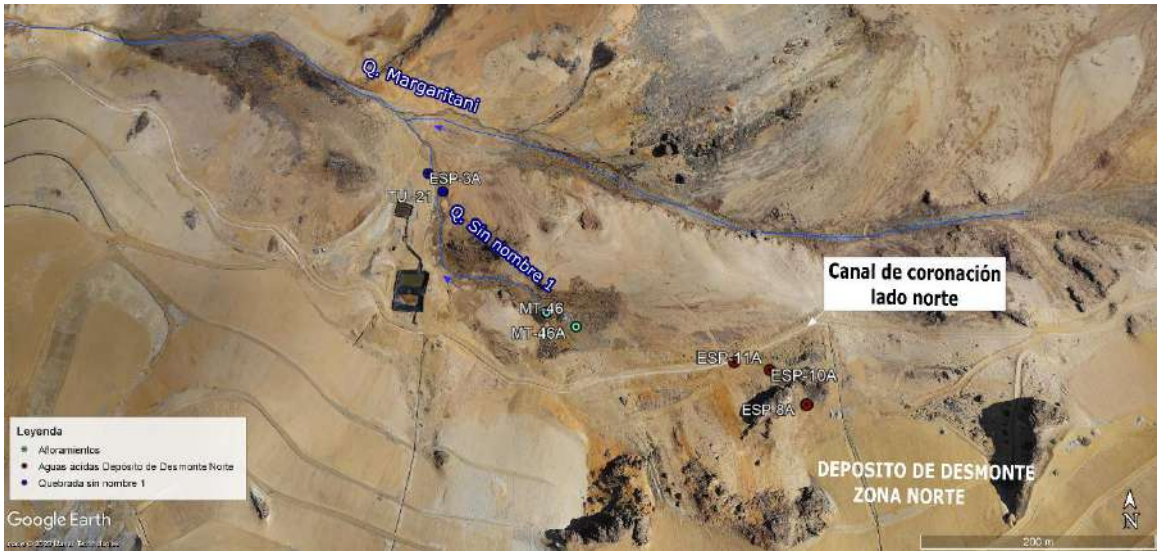


Figura 7.24. Ubicación de la formación de aguas ácidas en el depósito de desmonte zona Norte, afloramientos y quebrada sin nombre 1

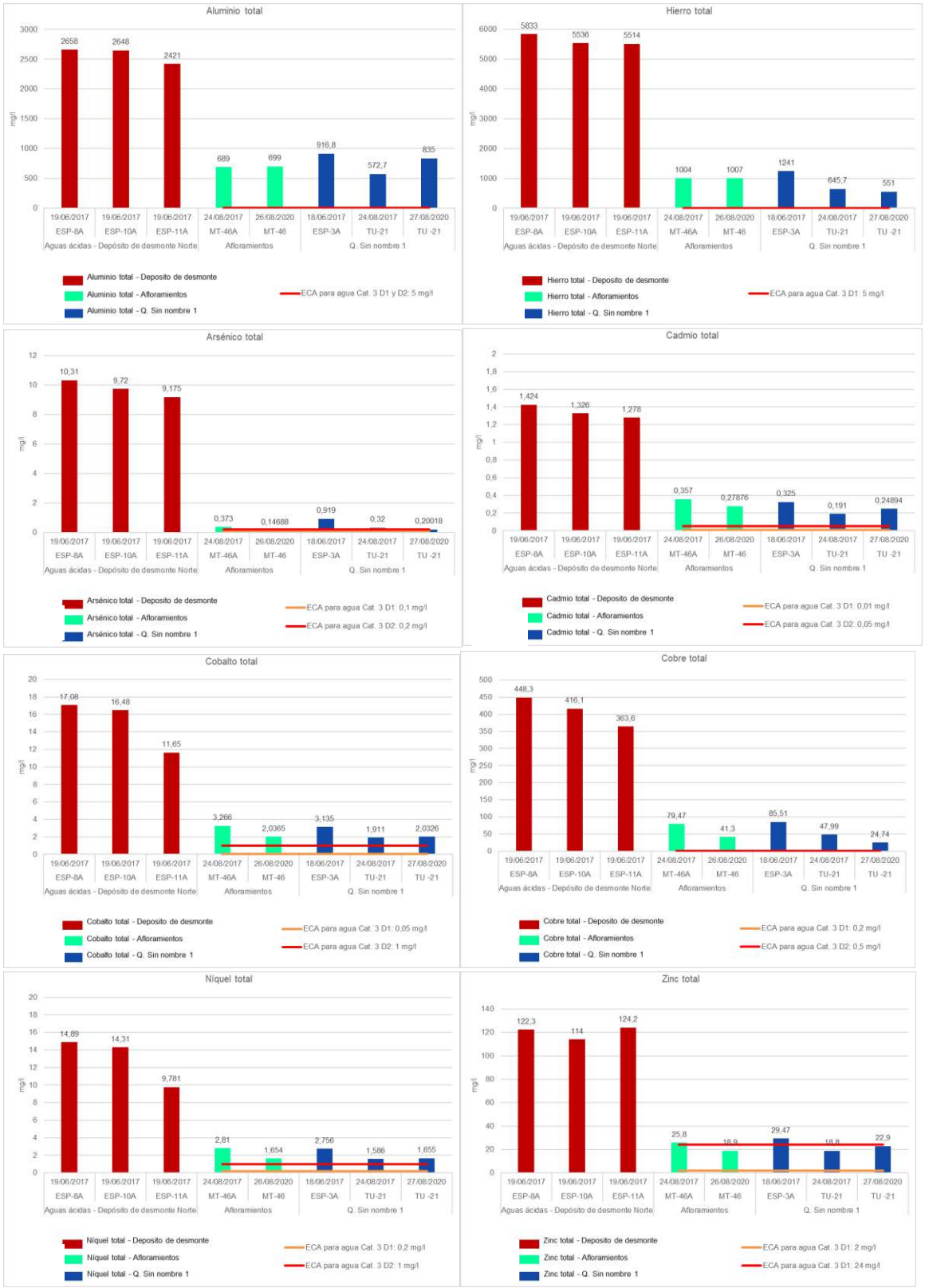


Figura 7.25. Concentraciones de metales en aguas ácidas (lixiviados) del depósito de desmonte zona Norte, afloramientos y en la quebrada sin nombre 1: a) aluminio, b) hierro, c) arsénico, d) cadmio, e) cobalto, f) cobre, g) níquel y h) zinc

La quebrada Margaritani tiene dos tributarios principales a su margen izquierda, la quebrada sin nombre 1 (TU-21) y quebrada sin nombre 2 (TU-24), con elevadas concentraciones de sulfatos y metales principalmente cobre, hierro, aluminio, arsénico, zinc, níquel, cadmio, cobalto y plomo. Sin embargo, se resalta que los aportes de la quebrada sin nombre 2, que se emplaza en depósitos cuaternarios (fluvioaluviales), actualmente cubierta por material disturbado, y que nace al pie del depósito de desmonte zona Norte; así como del flujo de agua MT-BO5 que aflora en el entorno a dicha quebrada, logran aumentar las concentraciones en el cuerpo principal de la quebrada Margaritani (Figura 7.26).

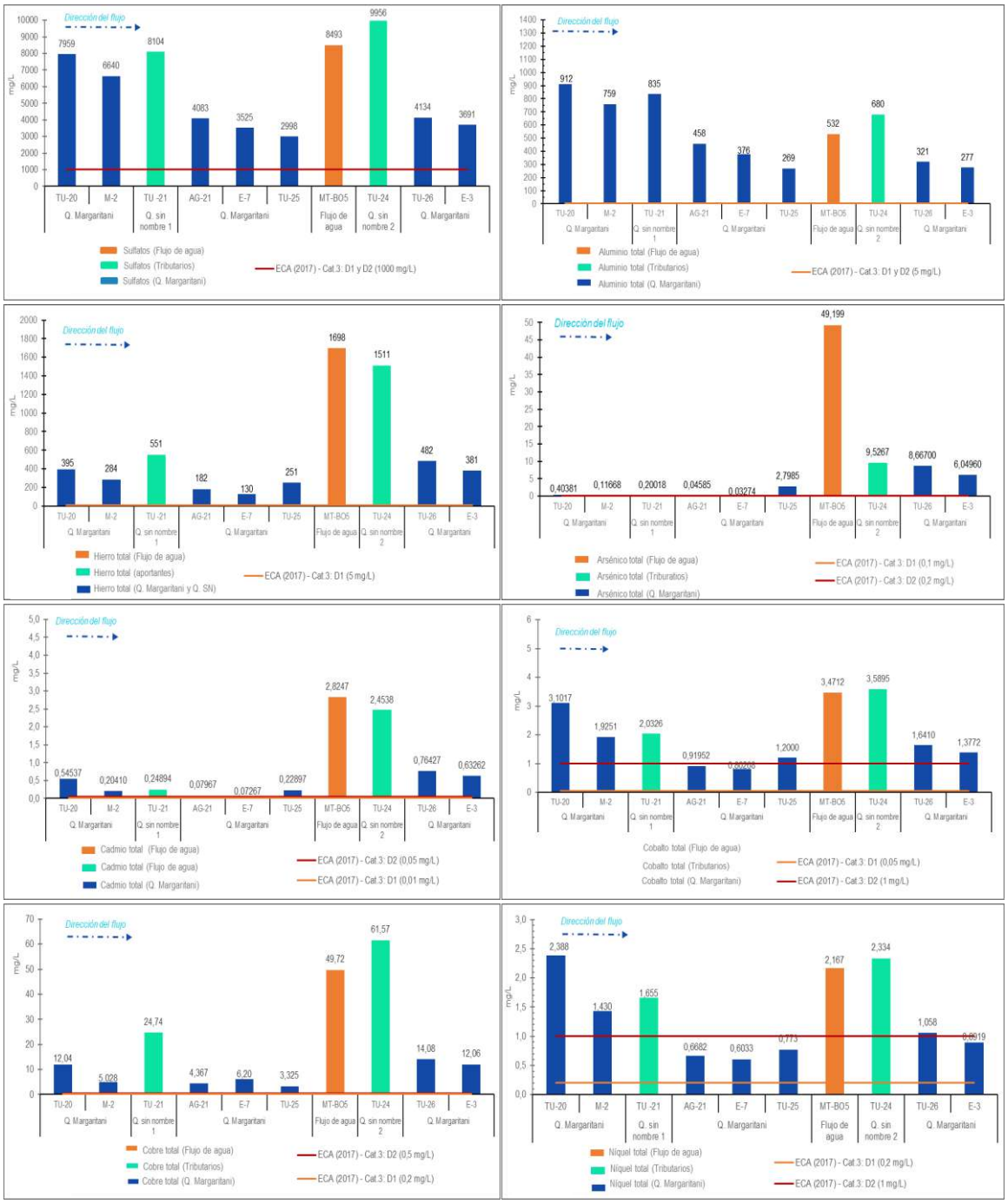


Figura 7.26. Concentraciones de a) sulfatos y metales en la quebrada Margaritani y tributarios (quebrada sin nombre 1 y 2), y flujo de agua MT-BO5: b) aluminio, c) hierro, d) arsénico, e) cadmio, f) cobalto, g) cobre y h) níquel

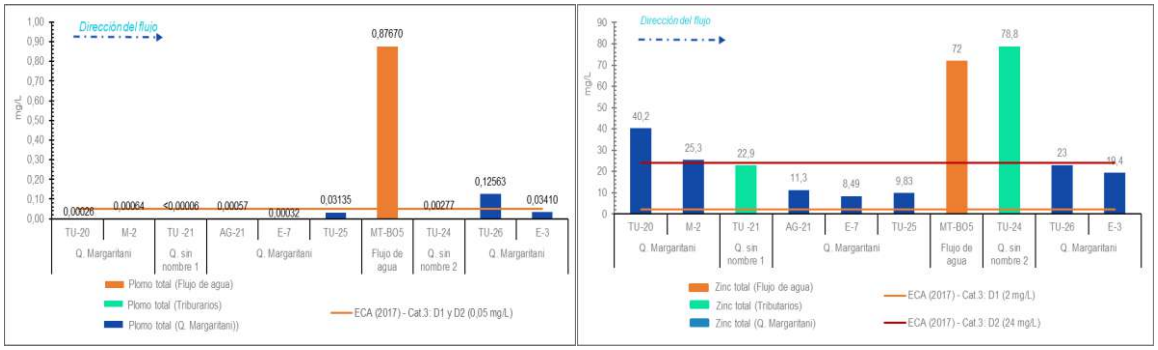


Figura 7.27. Concentraciones de metales en la quebrada Margaritani y tributarios (quebrada sin nombre 1 y 2) y flujo de agua MT-BO5: a) plomo y b) zinc

Como se observa en la figura anterior es notorio el cambio en las características del agua, entre los puntos TU-25 y TU-26, luego del aporte de la quebrada sin nombre 2 (TU-24) y del flujo de agua (MT-BO5), asimismo, predominan los metales en su forma disuelta (>70%). Cabe precisar que en el área aledaña a la quebrada sin nombre 2 recibe tambien el aporte del manantial MT-BO4 con características fisicoquímicas distintas. Según el diagrama de Ficklin[57] el flujo de agua MT-BO5 presentan alta acidez y extrema carga de metales, similares a las características de las aguas ácidas (lixiviados) que se forman en el depósito de desmonte y Tajo (ARI-04); mientras que el manantial MT-BO4, ubicado a 50 m al sur en el mismo entorno geológico (andesitas porfiríticas secuencia 1), presenta un pH cercano a la neutralidad y baja carga de metales (Figura 7.28).

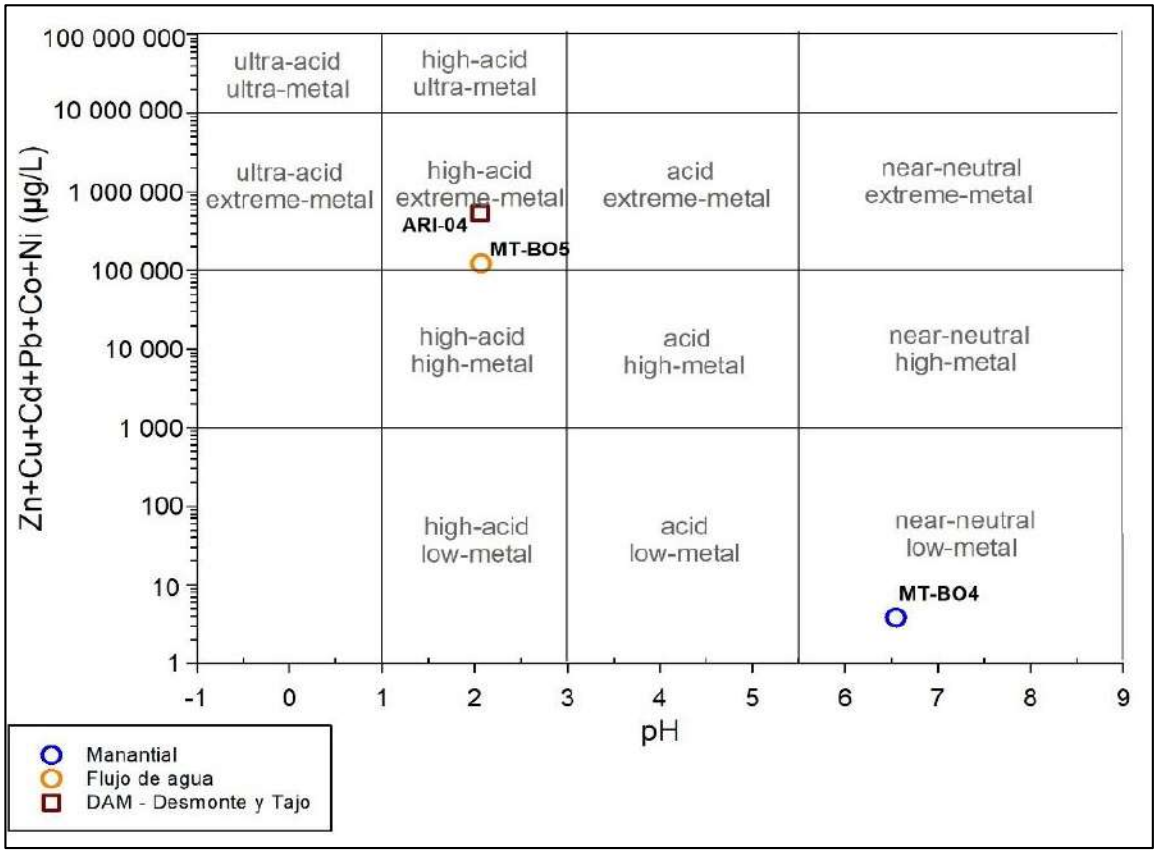


Figura 7.28. Clasificación geoquímica (Diagrama de Ficklin) para el drenaje ácido de mina del depósito de desmonte y tajo, el manantial MT-BO4 y el flujo de agua MT-BO5.

57 Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin) para el agua, basado en la suma de metales disueltos (Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni) y el pH (Ficklin *et al*., 1992; Plumlee *et al*., 1999. En Lottermoser, 2010).

Del mismo modo en según el diagrama de Ficklin (Figura 7.29) se evidencia que el flujo de agua MT-BO5, presenta alta acidez y extrema carga de metales, similares a las reportadas por el OEFA en el 2017[58] y 2019[59] para los afloramientos de agua MT-60, MT-BO2 y MT-BO3[60] en el entorno de la quebrada sin nombre 2, afectados por el aporte de los lixiviados, provenientes del depósito de desmonte Norte[61]. Se precisa que OEFA dictó una medida preventiva[62] para la captación y tratamiento de los afloramientos MT-60 y MT-BO2.

De igual manera, de acuerdo a la información del estudio hidrogeológico[63] de Vector (2007) el agua subterránea, donde se encontraron los afloramientos (piezómetro V-7, ubicado cercano a la naciente de la quebrada sin nombre 2), clasificada según Ficklin como ácida y con alta carga de metales, mientras que en la parte baja de la referida quebrada (piezómetro P-16A), es clasificada con un pH cercano a la neutralidad y baja carga de metales. Asimismo, en la Tabla 7.3 se muestra una comparación entre las características fisicoquímicas de estas aguas.



Figura 7.29. Ubicación de puntos de muestreo de agua superficial, agua subterránea (piezómetros) y afloramientos en áreas aledañas a las quebradas Margaritani y sin nombre 2

58 Informe N. ° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME.

59 Informe N. ° 335-2019-OEFA/DEAM-STEC.

60 MT-60.- Afloramiento presuntamente subterráneo ubicado en la naciente de la quebrada sin nombre. Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19: 372410 E, 8168350 N y 4880 m.s.n.m. Ver Informe N.° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME. MT-BO2.- Afloramiento presuntamente subterráneo, situado a la margen izquierda de la quebrada Margaritani, aproximadamente a 20 m de la margen derecha del canal de coronación del depósito de desmonte. Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19: 372118 E, 8168207 N y 4852 m.s.n.m. Ver Informe N.° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME. MT-BO3: Zona 19: 372070 E, 8168152 N y 4840 m.s.n.m. Ver Informe N.° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME (página 315 de 1238).

61 Los 17 afloramientos identificados: MT-BO1, MT-BO11, MT-01 (quebrada Margaritani), MT-46A (quebrada sin nombre 1), MT-60, MT-52, MT-53, MT-52A, MT-53A, MT-BO2, MT-BO3 (quebrada sin nombre 2), MT-59, MT-BO9, MT-BO12 (quebrada Apostoloni) y MT-55, MT-57 y MT-BO9A (sector Apostoloni, se infiltran en el suelo), se encuentran afectados por lixiviados.

62 Resolución N.º 00042-2019-OEFA/DSEM, del 6 de junio de 2019:
«(…) Captar y tratar los afloramientos correspondientes a los puntos de muestreo ESP-AS-05, ESP-AS-07, ESP-AS-08 (MT-60), ESP-AS-09 (MT-BO2) y ESP-ARI-13, ubicados en la zona colindante al depósito de desmonte y en la parte baja de la Ampliación del Botadero de Desmonte, utilizando los sistemas de tratamiento del tajo o del depósito de desmonte, en un plazo de treinta (30) días hábiles (…)».

63 VECTOR PERÚ S.A.C. 2007. Estudios Hidrológico e Hidrogeológico unidad Tukari. Aruntani S.A.C. Moquegua, Perú. Anexo C. Calidad de Aguas.

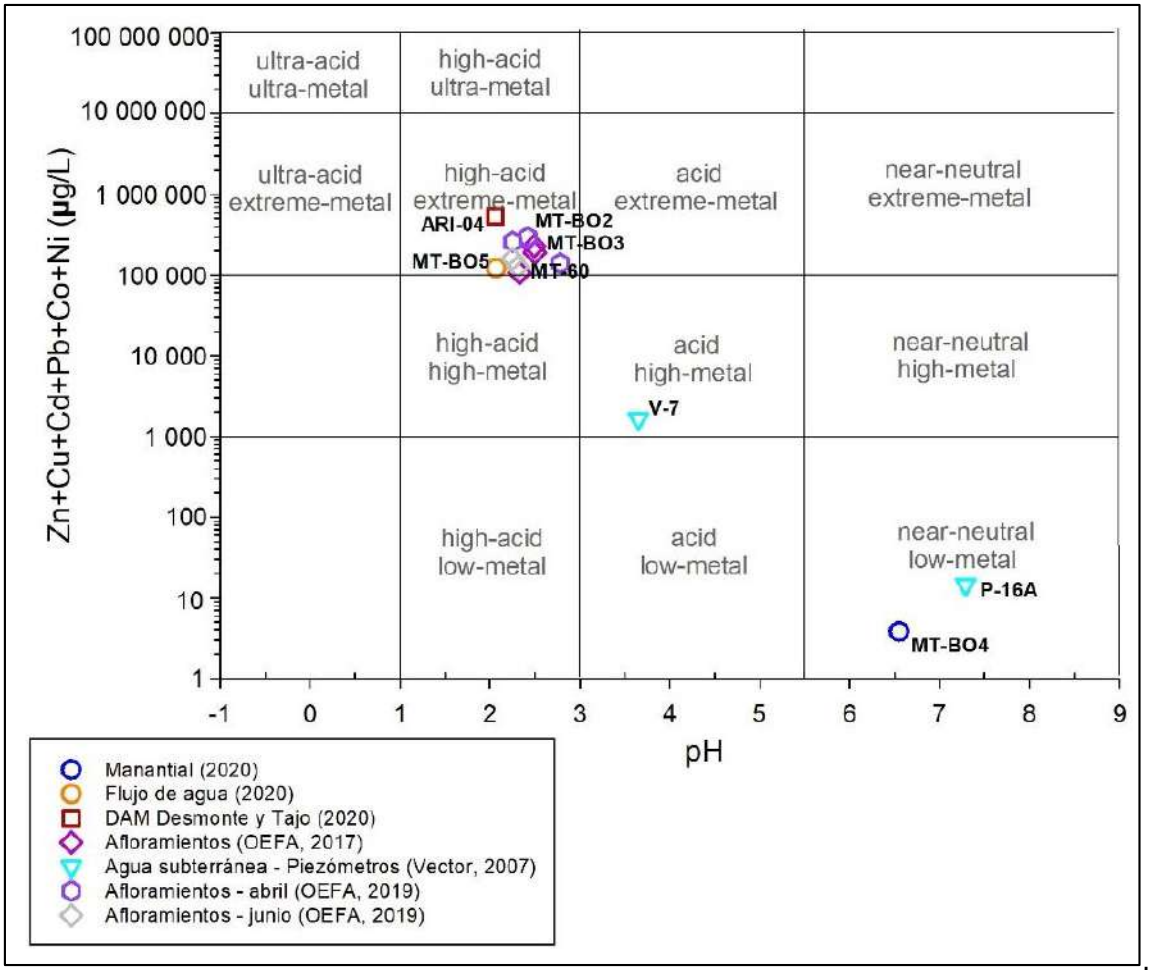


Figura 7.30. Clasificación geoquímica (Diagrama de Ficklin) para el drenaje ácido de mina (DAM) del depósito de desmonte y tajo (ARI-04), manantial MT-BO4 y el flujo de agua MT-BO5, comparados con los afloramientos de agua (2017) y agua subterránea – piezómetros (2007) en el entorno de la quebrada sin nombre 2.

Tabla 7.3. Comparación entre agua subterránea de piezómetros, afloramientos y manantial con los ECA para agua

Parámetro	Unidad	Piezómetros		Afloramientos								Flujo de agua	Manantial	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
		V-7*	P-16A*	MT-60		MT-BO2			MT-BO3			MT-BO5	MT-BO4	D.S. N.° 004-2017-MINAM	
														Categoría 3	
		28/04/2007	28/04/2007	23/08/2017	11/04/2019	22/08/2017	11/04/2019	11/06/2019	22/08/2017	11/04/2019	11/06/2019	29/08/2020	28/08/2020	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
pH	unidad de pH	3,7	7,29	2,33	2,25	2,5	2,42	2,25	2,49	2,78	2,31	2,07	6,55	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1047	513	7383	19349	5790	18890	14800	5808	8131	11685	8493	854	1000	1000
Aluminio Total	mg/L	57	0,1	704,0	1258	915,3	1543	815	981,1	853,7	767	532	0,013	5	5
Hierro Total	mg/L	-	-	1769	4018	1302	4065	> 1000	1192	1323	> 1000	1698	2,1	5	-
Hierro Disuelto	mg/L	0,661	<0,030	1704	3958	1292	3928	> 1000	1191	1317	> 1000	1676	2,1	-	-
Arsénico Total	mg/L	<0,0010	0,0027	48,28	92,42	12,17	53,54	20,829	5,476	8,83	8,5992	49,199	0,056	0,1	0,2
Cadmio Total	mg/L	0,0049	<0,00025	1,708	3,014	2,484	2,901	1,8565	2,151	1,234	1,3295	2,8247	0,00004	0,01	0,05
Cobalto Total	mg/L	0,0879	<0,00050	3,822	5,798	2,669	5,759	3,126	5,403	3,416	3,6683	3,4712	0,00018	0,05	1
Cromo Total	mg/L	<0,0050	<0,0025	0,086	0,279	0,167	0,355	0,276	0,206	0,181	0,277	0,115	0,001	0,1	1
Cobre Total	mg/L	0,147	0,00086	27,26	123,4	88,18	155,7	> 100,0	124	72,64	80,75	49,72	0,0004	0,2	0,5
Níquel Total	mg/L	0,0784	<0,0025	2,392	4,335	1,889	4,249	2,102	3,202	2,376	2,347	2,167	0,0009	0,2	1
Plomo Total	mg/L	0,48	0,00104	1,183	1,25	<0,001	0,11	0,00333	<0,001	< 0,02	0,00491	0,8767	0,00006	0,05	0,05
Zinc Total	mg/L	0,852	0,011	72,08	130,8	96,2	145,9	> 100	97,38	62,69	75,6	72	0,003	2	24

<"Valor": Significa por debajo del límite de detección del método del laboratorio
(*): Indica que las concentraciones corresponden a metales disueltos en el agua de los piezómetros comparados referencialmente con los ECA para agua
(-): Valores no contemplados o reportados.

Concentraciones que exceden los ECA para agua Cat. 3 D1: Riego de vegetales.

Concentraciones que exceden los ECA para agua Cat. 3 D2: Bebida de animales.

Fuente: Vector Perú S.A.C. 2007. Estudios Hidrológico e Hidrogeológico unidad Tukari. Aruntani S.A.C. Moquegua, Perú. Anexo C. Calidad de Aguas (abril, 2017).
Informe N. ° 095-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME (agosto, 2017).
Informe N. ° 355-2019-OEFA/DEAM-STEC (abril y junio, 2019).
El presente estudio, agosto, 2020.

Las elevadas concentraciones de sulfatos y metales en la quebrada sin nombre 2 (TU-24), persisten desde el 2017 al presente estudio, lo que conlleva al recurrente aumento de las concentraciones en la quebrada Margaritani (Figura 7.31). De acuerdo a lo indicado, la quebrada sin nombre 2 (TU-24) y el flujo de agua MT-BO5, se encuentran alterados por lixiviados (drenaje ácido de mina) del depósito de desmonte zona Norte, (Figura 7.32, modelo conceptual). Asimismo, el flujo de agua MT-BO5 debe ser considerado como un afloramiento.

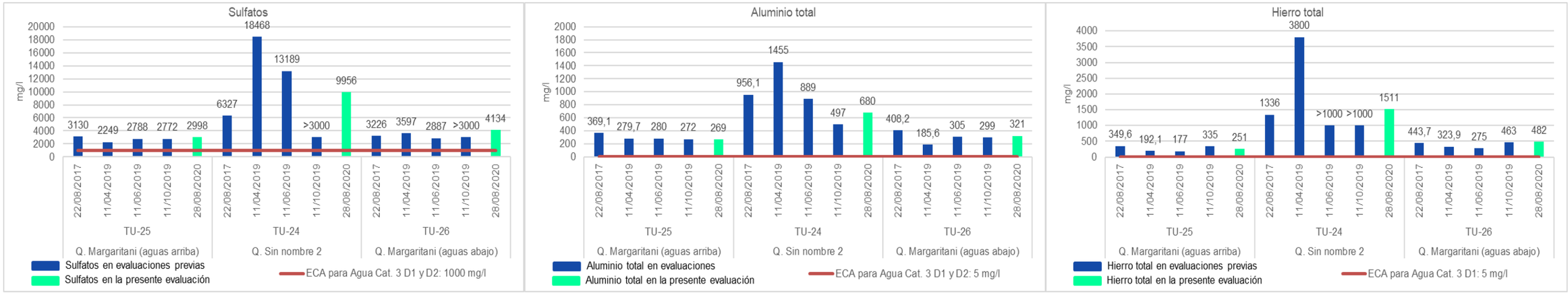


Figura 7.31. Concentraciones de sulfatos y metales en la quebrada Margaritani, aguas arriba y abajo del aporte de la quebrada sin nombre 2, entre el 2017 y 2020

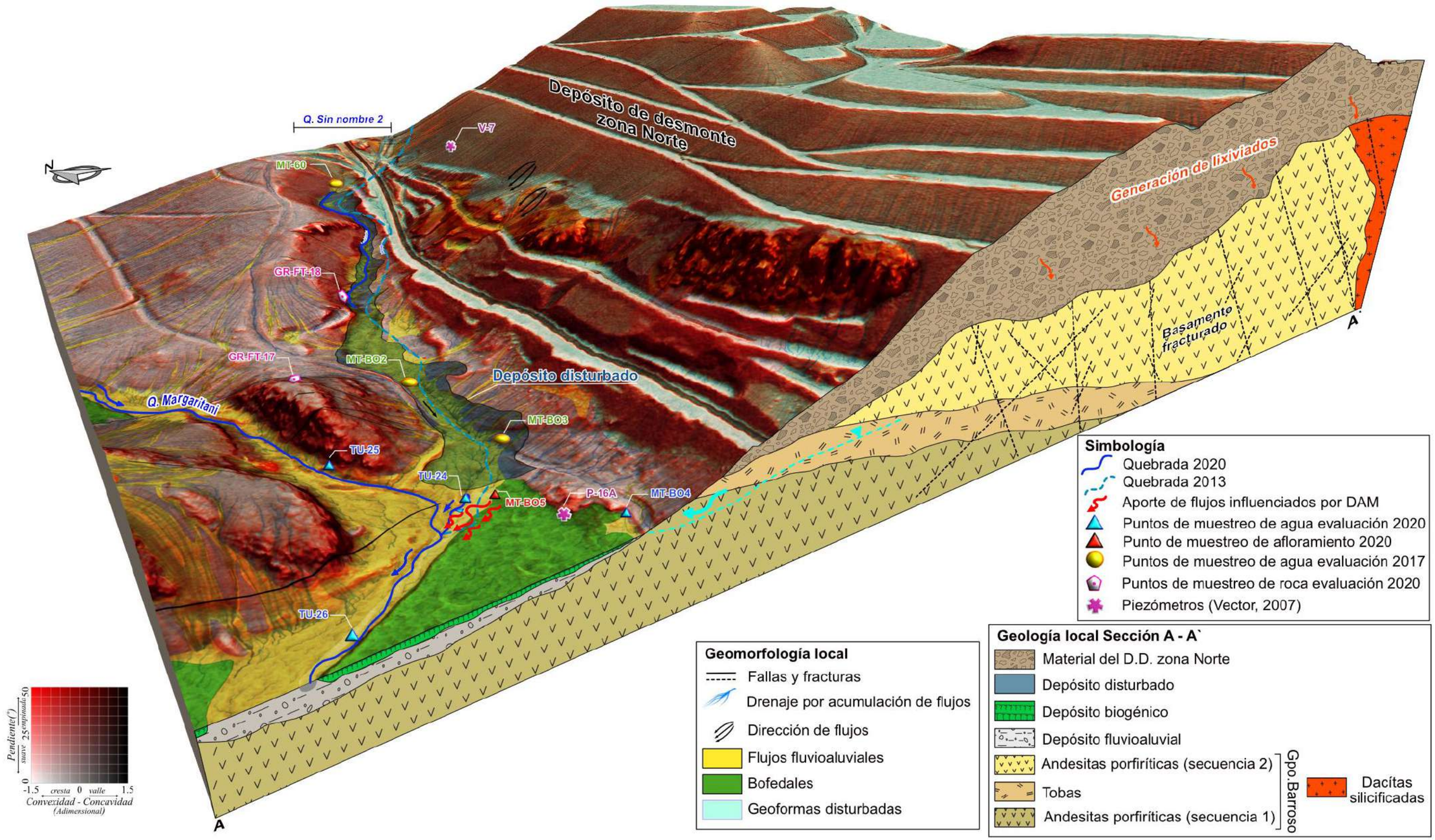


Figura 7.32. Modelo conceptual de la quebrada sin nombre 2

El afloramiento MT-55 ubicado a 100 m del canal de coronación lado norte, en la parte baja de la ampliación del depósito de desmonte, presenta elevadas concentraciones de metales, similares a los afloramientos identificados en esa área en el 2017. En cambio, difieren al ser comparados con el manantial FTU en el mismo entorno geológico, depósitos fluvioglaciares. Esto se observa en el diagrama Ficklin donde los afloramientos MT-55 (2017 y 2020) y MT-57 (2017), y las aguas ácidas producidas en el desmonte y tajo (ARI-04), presentan una alta acidez y extrema carga de metales; en cambio el manantial FTU presenta alta acidez y alta carga metálica (Figura 7.33).

Asimismo, al comparar los afloramientos ESP-12, ESP-14 y ESP-15 (2018) con el afloramiento MT-55 (2020), se observa que las concentraciones de metales se mantienen elevadas (Tabla 7.4), lo que indica la influencia de los lixiviados provenientes de la ampliación del depósito de desmonte. Cabe indicar que se dictó una medida preventiva para captar y tratar los afloramientos identificados en el 2018[64] (Figura 7.33).

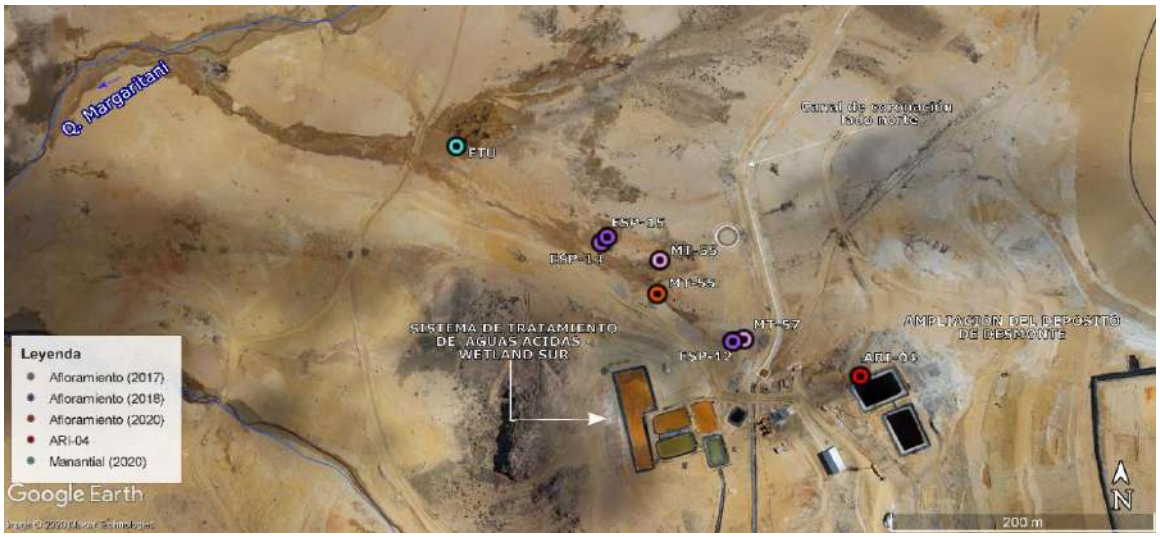


Figura 7.33. Ubicación de afloramientos y manantial identificados en la parte baja de la ampliación del depósito de desmonte en el 2017, 2018 y 2020

64 Resolución Directoral N.º 00029-2019-OEFA-DSEM., del 2 de mayo de 2019. «(…) *Captar y tratar los afloramientos correspondientes a los puntos de muestreo ESP-12, ESP-14, ESP-15 y ESP-2, ubicados en la parte baja de la ampliación del depósito de desmonte, a fin de cumplir con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua aprobados mediante D.S. N.º 004-2017-MINAM. En un plazo de 30 días hábiles* (…)».

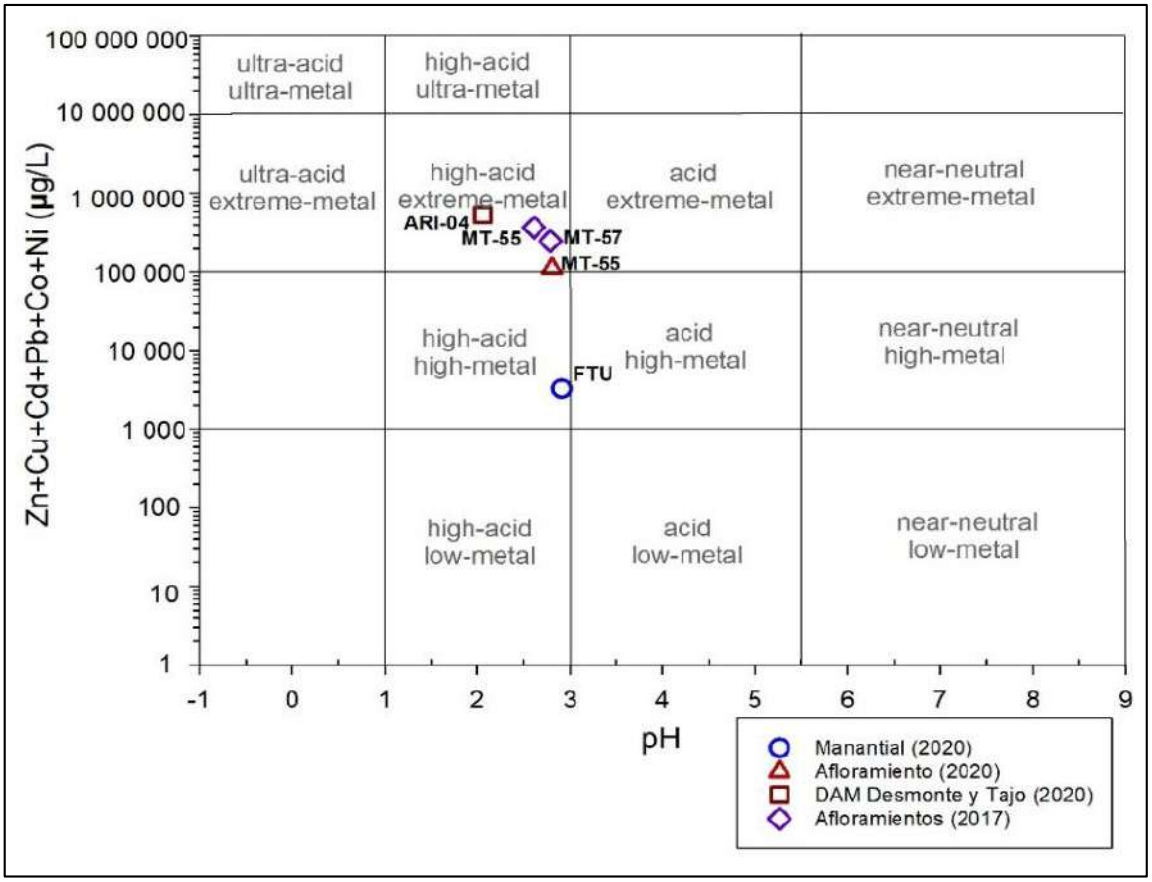


Figura 7.34. Clasificación geoquímica (Diagrama de Ficklin) para el drenaje ácido de mina (DAM) del depósito de desmonte y tajo (ARI-04), manantial FTU y los afloramientos de agua del 2017 (MT-55 y MT-57) y 2020 (MT-55).

Tabla 7.4. Comparación entre los afloramientos identificados en el 2018 y 2020

Parámetros	Afloramientos				Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
	ESP-12	ESP-14	ESP-15	MT-55	D.S. N.° 004-2017-MINAM Categoría 3	
	Jul-18	Jul-18	Jul-18	Ago-20	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
pH	2,49	2,39	2,44	2,81	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Conductividad eléctrica	6570	8980	6650	6560,00	2500	5000
Aluminio Total	849,3	1212	989,6	749	5	5
Arsénico Total	14,19	15,89	7,709	0,13177	0,1	0,2
Cadmio Total	1,012	1,277	0,614	1,7477	0,01	0,05
Cobalto Total	7,434	3,347	2,523	3,139	0,05	1
Cromo Total	0,1197	0,0511	0,0436	0,114	0,1	1
Cobre Total	102,9	106,5	71,63	31,83	0,2	0,5
Hierro Total	1817	1906	1314	1198	5	**
Níquel Total	5,35	2,151	1,652	2,443	0,2	0,2
Zinc Total	139,1	69,78	52,11	74,2	2	24

Exceden los ECA para agua Categoría 3. Subcategoría D1: Riego de vegetales.
Exceden los ECA para agua Categoría 3. Subcategoría D2: Bebida de animales.

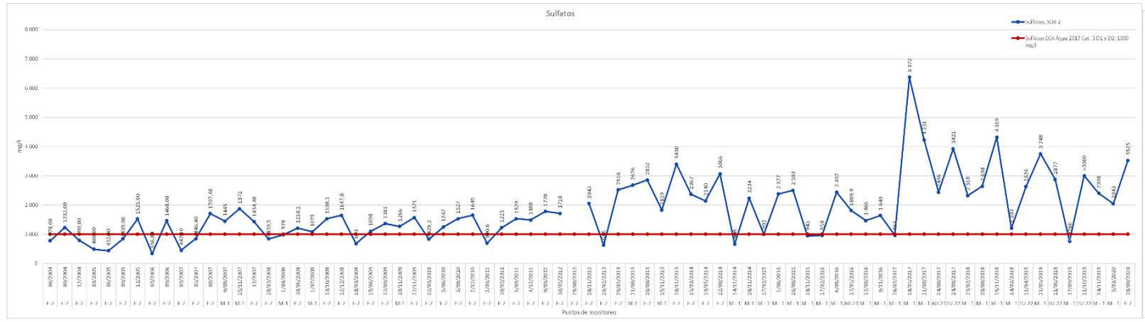
Fuente: Informe de supervisión N.º 113-2019-OEFA/DSEM-CMIN
El presente estudio, agosto, 2020,

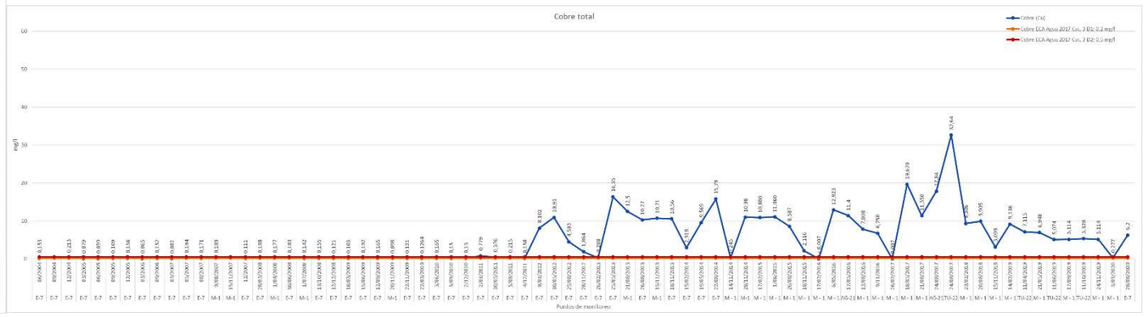
Teniendo en cuenta los incrementos de metales y sulfatos señalados en el agua de la quebrada Margaritani, por el aporte de las quebradas sin nombre 1 y 2, y afloramientos identificados MT-46, MT-55 y MT-BO5 al comparar la data histórica entre el 2004 y 2020 de los monitoreos realizados por el administrado (E-7 y M-1) y el OEFA (AG-21, TU-22 y E-7), ubicados aguas abajo de la quebrada sin nombre 1, se observa un notable incremento de las concentraciones de sulfatos y metales como cobre, cadmio, cobalto, níquel, zinc, aluminio y hierro a partir del 2012 al 2020 (Figuras 7.35), en el Anexo 11 se presenta detalle de las concentraciones y figuras del resto de elementos.

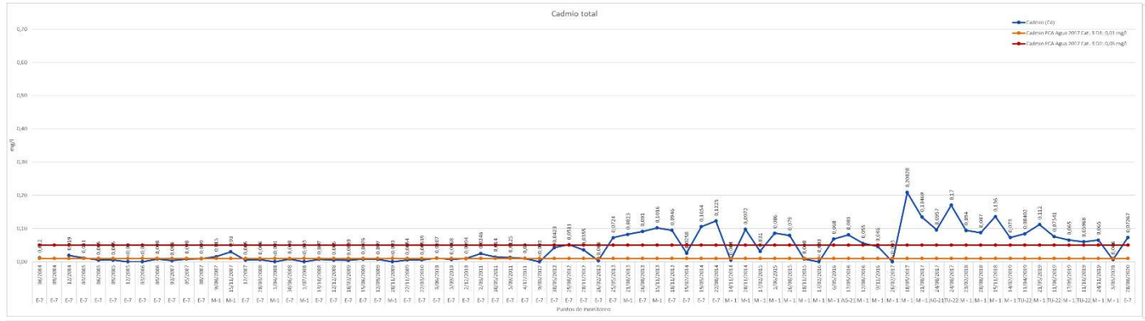
De similar manera, las concentraciones de metales y sulfatos reportadas en los puntos del administrado (E-3, MA-04, MA-8) y por el OEFA (AG-22, TU-27 y E-3) entre el 2002 al 2020, ubicados aguas abajo de la quebrada sin nombre 2, también presentaron considerables incrementos de los elementos mencionados a partir del 2012 al 2020, además del incrementó de arsénico. Cabe precisar que, el incremento en las concentraciones aguas abajo de la quebrada sin nombre 2 fue mayor en comparación con la quebrada sin nombre 1 (Figura 7.36).

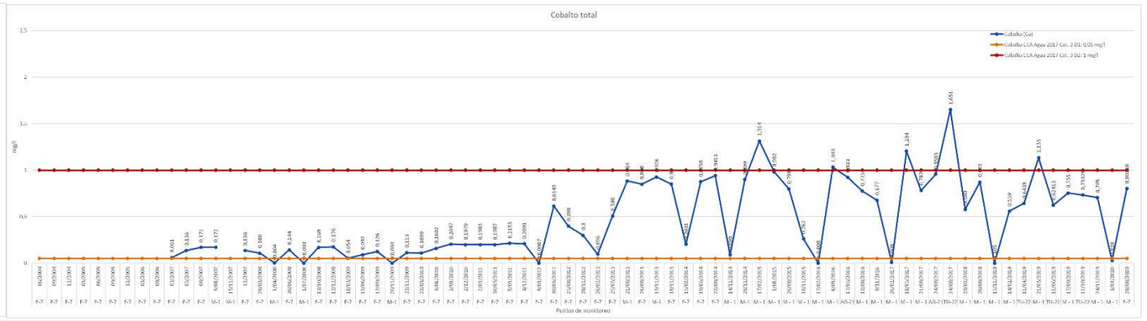
Asimismo, de acuerdo al peritaje ambiental realizado por la UF Florencia Tucari en el año 2018[65], estimaron que las operaciones mineras generan un 44 % de contaminación a la quebrada Margaritani, cuya fuente son las filtraciones del botadero de desmontes que no se captan, esto reafirma la fuente y el incremento de las concentraciones de sulfatos y metales indicados. Respecto al 56 % que el administrado atribuye al origen natural, los registros históricos de los puntos de muestreo de la parte media (E-7) y baja (E-3) de la quebrada Margaritani, no guardan relación entre sí, presentando notables diferencias en sus concentraciones.

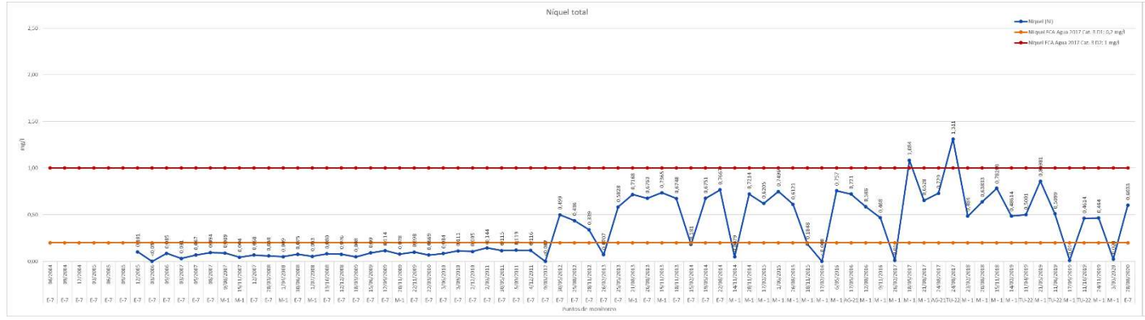
65 Consulcont S.A.C. (2018). Peritaje Ambiental de Parte en la Unidad Minera Tucari de Aruntani S.A.C. Descargo presentado en la Resolución Directoral N. º 01490-2019-OEFA/DFAI. Pág. 12 de 57.

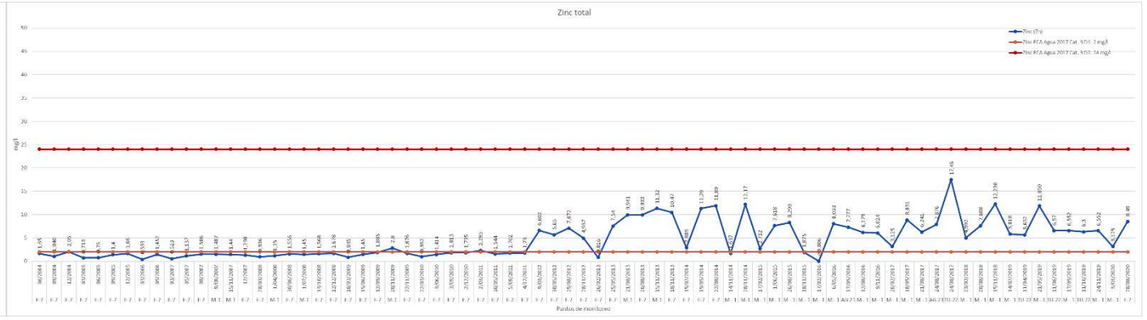


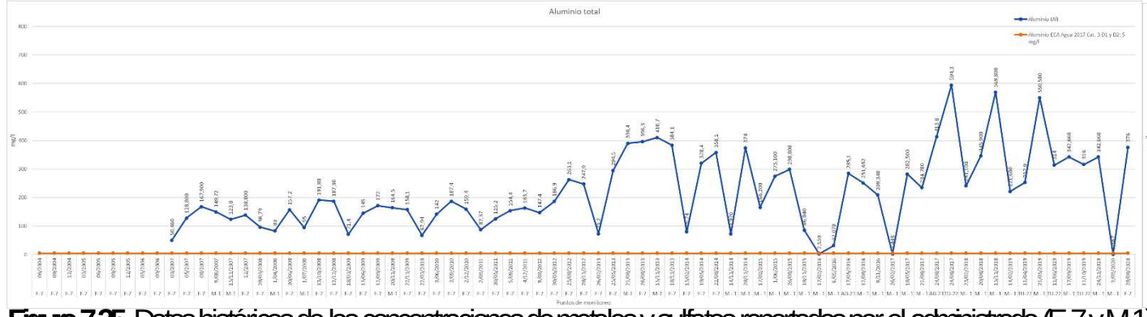












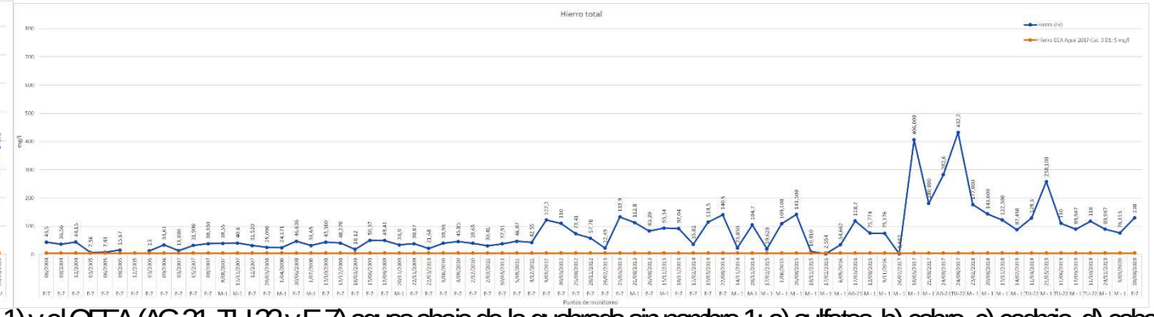


Figura 7.35. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-7 y M-1) y el OEFA (AG-21, TU-22 y E-7) aguas abajo de la quebrada sin nombre 1: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) aluminio y h) hierro.
Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos de los puntos ubicados aguas abajo de la quebrada sin nombre 1.

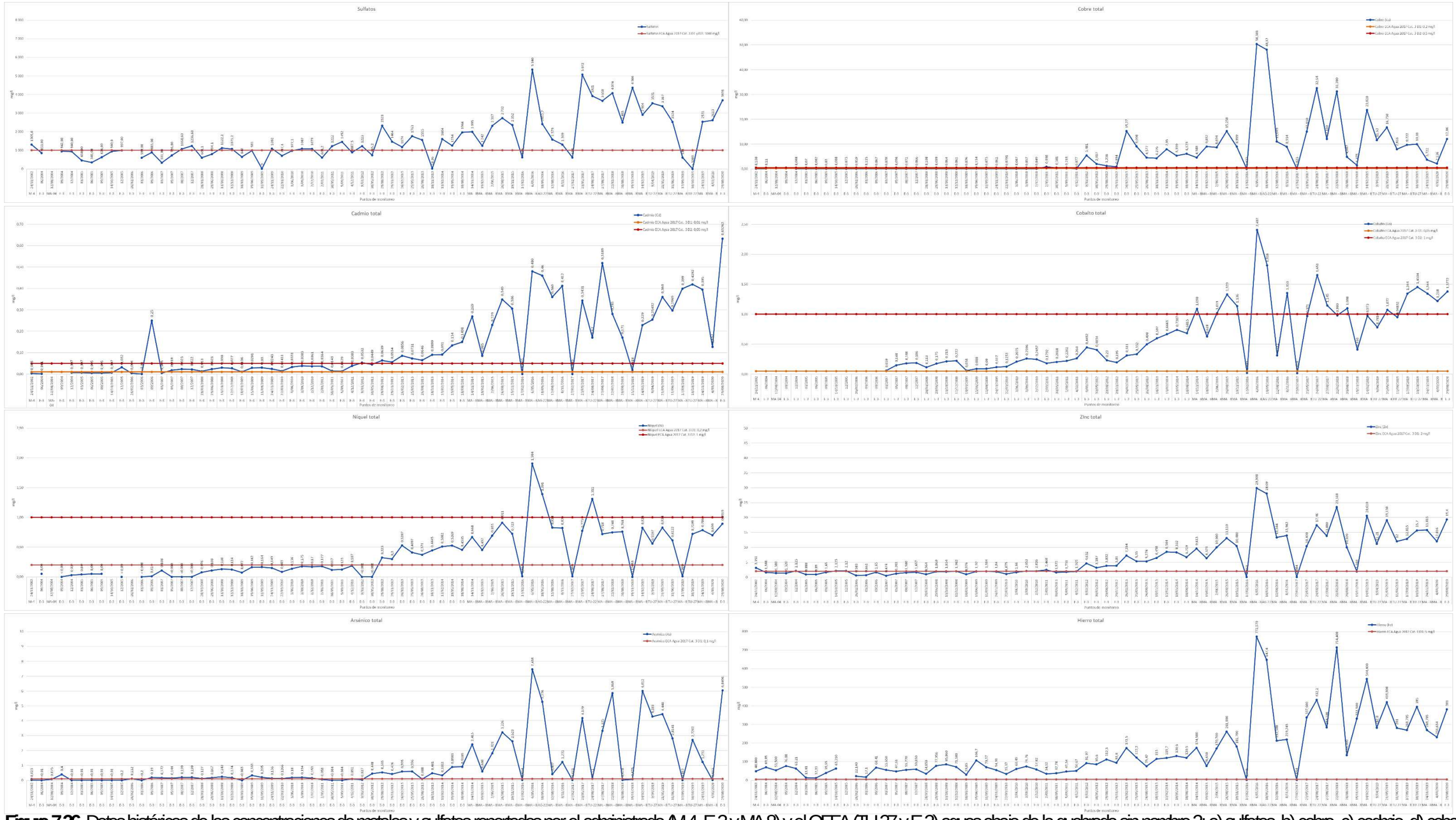


Figura 7.36. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (M-4, E-3 y MA-8) y el OEFA (TU-27 y E-3) aguas abajo de la quebrada sin nombre 2: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro.

Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos de los puntos ubicados aguas abajo de la quebrada sin nombre 2.

La Tabla 7.5 muestra los porcentajes de excedencia de las concentraciones de sulfatos y metales con respecto a los ECA para agua Cat. 3 (2017), para los valores mínimos y máximos reportados en los puntos de monitoreo ubicados en la quebrada Margaritani, aguas abajo del aporte de las quebradas sin nombre 1 y 2, influenciadas por DAM, durante los periodos comprendidos entre el 2002 y 2020, donde se observa que los mayores porcentajes de excedencia de los ECA para agua Cat 3. D1 y D2, de sulfatos y metales se presentaron los puntos ubicados aguas abajo del aporte de la quebrada sin nombre 2, a excepción de los sulfatos, que fue mayor aguas abajo del aporte de la quebrada sin nombre 1.

Tabla 7.5. Porcentaje de excedencia de los ECA para agua para los valores mínimos y máximos reportados en la quebrada Margaritani aguas abajo de los aportes de las quebradas sin nombre 1 y 2 entre el 2002 y 2020.

Cuerpo de agua	Unidad	Q. Margaritani (Aguas abajo de la quebrada sin nombre 1)		% excedencia en comparación con los ECA para Agua Cat. 3	Q. Margaritani (Aguas abajo de la quebrada sin nombre 2)		% excedencia en comparación con los ECA para Agua Cat. 3	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
Código de muestra		E-7; M-1 / AG-21; TU-22			E-3; MA-04; MA-8 / AG-22; TU-27			D.S. N.° 004-2017-MINAM Categoría 3	
Periodo		2004-2020			2002-2020				
Parámetros		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
pH	Unidad de pH	2,47	6,62	-	2,09	6,10	-	6,5-8,5	6,5-8,4
Conductividad Eléctrica	µS/cm	287,6	5380	7,6%	228	4680	87,2%	2500	5000
Sulfatos	mg/L	336	6372	537,2%	9	5340	434%	1000	1000
Aluminio (Al)	mg/L	1,567	594,3	11786%	50,664	594,3	11786%	5	5
Arsénico (As)	mg/L	<0,00021	1,634	717%	<0,003	7,459	3629,5%	0,1	0,2
Cadmio (Cd)	mg/L	<0,001	0,20828	316,56%	<0,003	0,63262	1165,24%	0,01	0,05
Cobalto (Co)	mg/L	<0,0007	1,651	65,1%	0,018	2,407	140,7%	0,05	1
Cobre (Cu)	mg/L	<0,007	32,64	6428%	0,022	50,381	9976,2%	0,2	0,5
Cromo (Cr)	mg/L	<0,0008	0,0954	NE	<0,0008	0,119	19%	0,1	1
Hierro (Fe)	mg/L	2,554	432,2	8544%	1,654	772,57	15351,4%	5	**
Mercurio (Hg)	mg/L	<0,00003	0,0016	NE	<0,00003	0,0009	NE	0,001	0,01
Níquel (Ni)	mg/L	<0,008	1,311	31,1%	<0,002	1,904	90,4%	0,2	1
Plomo (Pb)	mg/L	<0,0002	0,089	78%	<0,001	1,105	2110%	0,05	0,05
Zinc (Zn)	mg/L	<0,006	17,46	773%	0,063	29,908	24,62%	2	24
	Excede los ECA para Agua Cat. 3 Subcategoría D1: Riego de vegetales.								
	Excede los ECA para Agua Cat. 3 Subcategoría D2: Bebida de animales.								
NE: No se registran excedencias									

Fuente: Anexo 11. Registro histórico de la calidad de agua en UH Colaraque.

En relación a los sedimentos de este sector quebrada Margaritani, se evidenció un incremento en las concentraciones de plomo entre los puntos de muestreo M-2 y AG-21 (pasando de 17,8 a 55,2 mg/kg PS) luego del aporte de la quebrada sin nombre 1 (TU-21), en la cual se obtuvo una alta concentración de este metal, llegando a exceder el valor ISQG de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG, como se aprecia en la Figura 7.37. Asimismo, se evidenció un aumento en las concentraciones de cobre (Figura 7.38), sulfatos, hierro, arsénico y antimonio, después de la confluencia de la quebrada sin nombre 1, la cual también se caracterizó por presentar altas concentraciones de los parámetros mencionados.

Además, la calidad del sedimento en base al índice de geoacumulación paso de «no contaminado» por plomo en el punto M-2 de la quebrada Margaritani, a «no contaminado a moderadamente contaminado» en el punto AG-21, luego del aporte de la quebrada sin nombre 1 (TU-21) donde la calidad del sedimento fue de «moderadamente contaminado» por el metal mencionado; teniendo en consideración que el cálculo de este índice tomo las concentraciones de metales en tramos de cuerpos de agua sin influencia de actividades mineras (ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Vizcachas, Titire y las quebradas sin nombre 3 y Chilota).

De igual modo, en la quebrada Margaritani (Figura 7.37), también se evidenció un incremento en las concentraciones de plomo entre los puntos TU-25 y TU-26 (pasando de 92,2 a 163 mg/kg PS), aunque exceden el valor PEL de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG en ambos puntos; luego del aporte de la quebrada sin nombre 2. Asimismo, se observó un aumento de las concentraciones de sulfatos, hierro, cobre, mercurio, arsénico y antimonio.

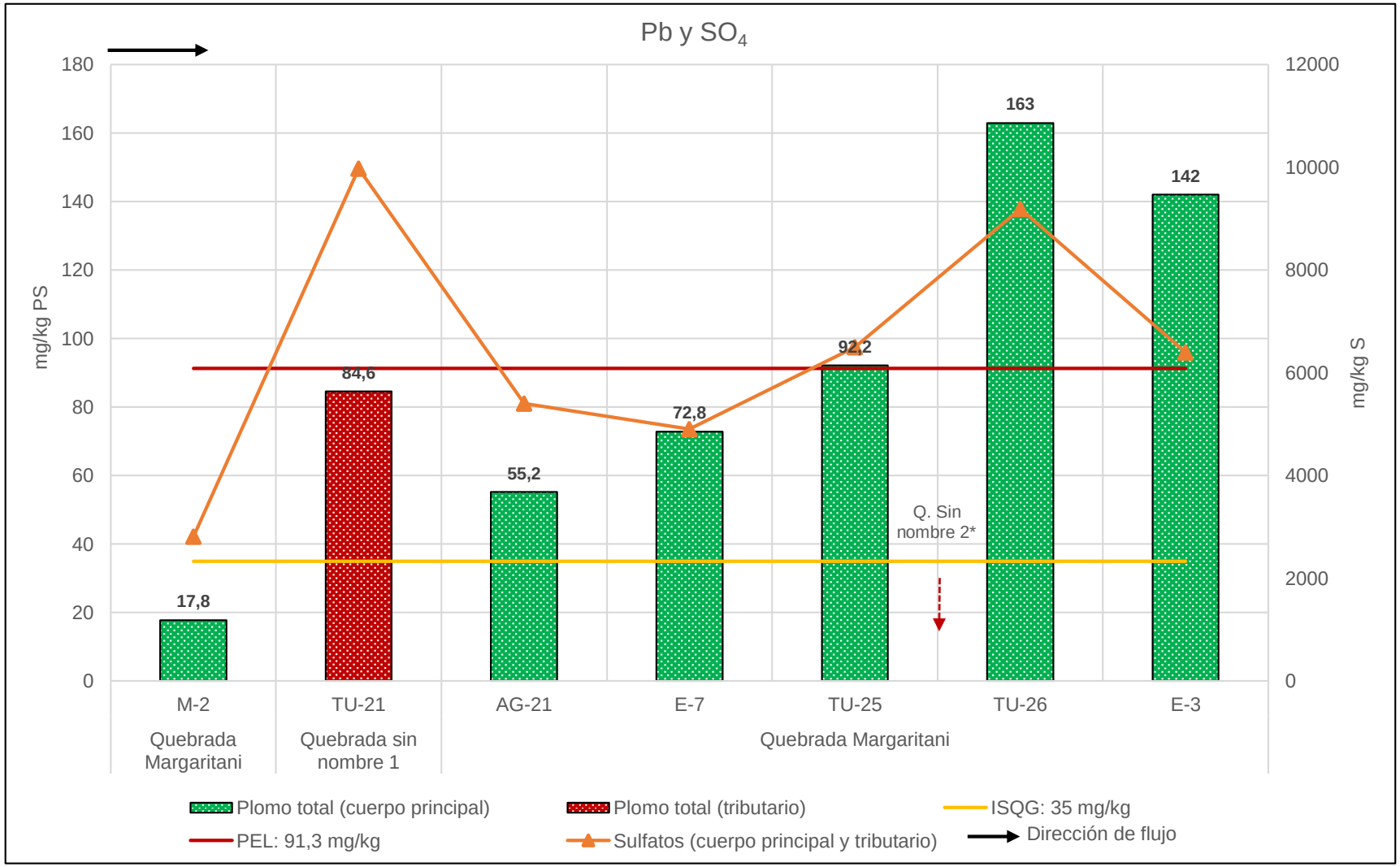


Figura 7.37. Concentraciones de plomo y sulfatos en la quebrada Margaritani y principales tributarios
(*): La quebrada sin nombre 2 aporta a la quebrada Margaritani entre los puntos TU-25 y TU-26.

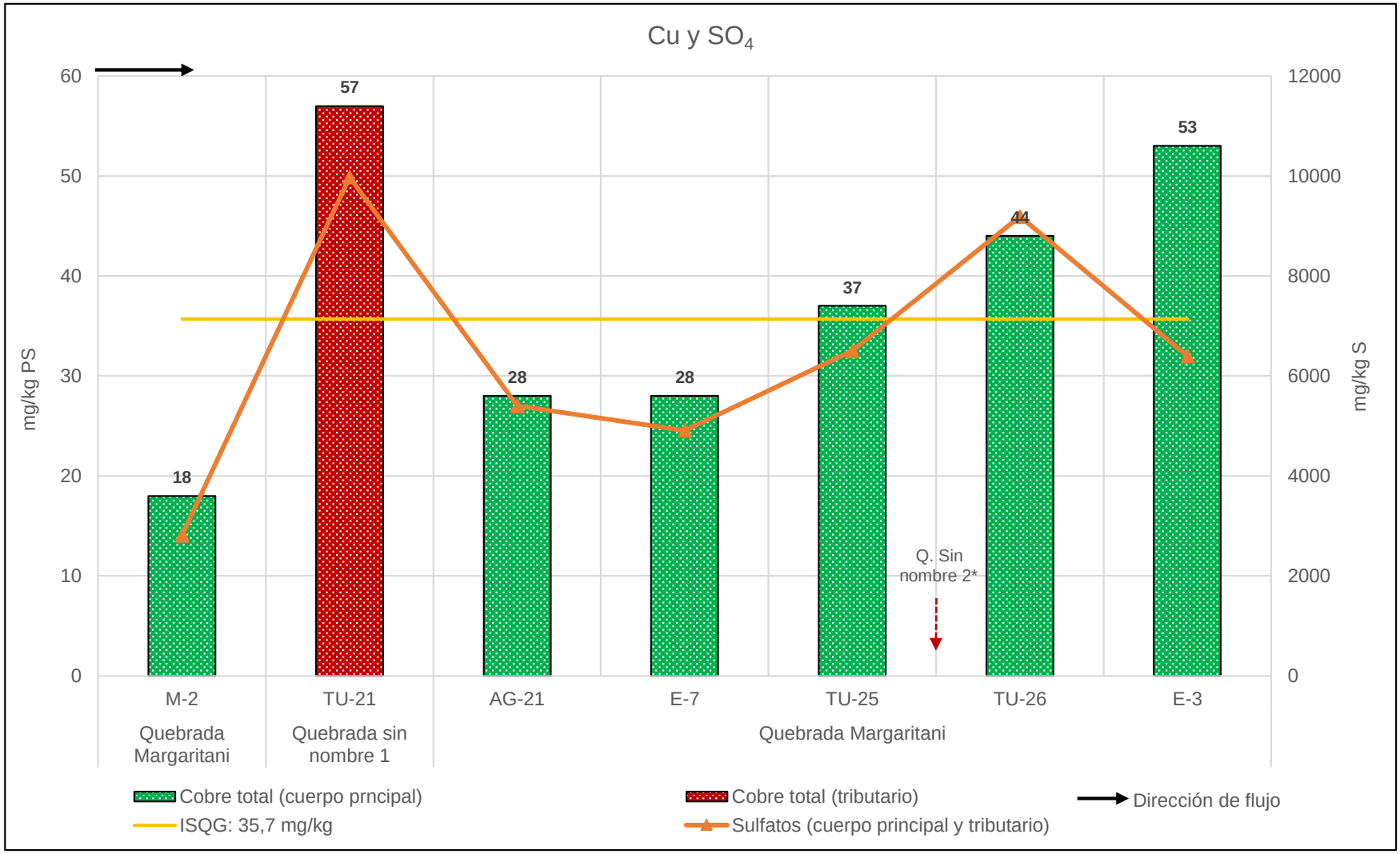


Figura 7.38. Concentraciones de cobre y sulfatos en la quebrada Margaritani y principales tributarios
(*): La quebrada sin nombre 2 aporta a la quebrada Margaritani entre los puntos TU-25 y TU-26.

En relación al índice de geoacumulación, la calidad de sedimento pasó desde «moderadamente contaminado» por plomo en el punto TU-25, a «moderadamente a fuertemente contaminado» en el punto TU-26. Asimismo, pasó desde «no contaminado a moderadamente contaminado» a «fuertemente contaminado» por antimonio, entre los puntos mencionados.

Las altas concentraciones de hierro y sulfatos encontradas en los sedimentos de la quebrada Margaritani (puntos AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) están relacionadas a minerales como la jarosita (fase de sulfatos, $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) identificados por difracción de rayos X en los puntos AG-21, TU-26 y E-3, a lo largo de la quebrada Margaritani, en contraste a lo encontrado en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Aruntaya (RArun1 y M-4), que son cuerpos de agua sin influencia de actividades mineras y similar emplazamiento geológico, considerados como sitios blanco de comparación; donde no se encontró el mineral mencionado, tal como se aprecia en la Figura 7.39.

La jarosita ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH < 3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards *et al*., 1999; Smith *et al*., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos de la quebrada Margaritani en los puntos AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3.

Asimismo, la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro, se evidenció en la presencia de minerales como la goethita (FeO.OH), identificada por microscopía electrónica de barrido en los puntos AG-21, TU-26 y E-3 de la quebrada Margaritani; además de otros minerales en base a hierro como la hematita, aleación de Sn-Fe-Ni, magnetita e ilmenita. En cuerpos de agua contaminados por drenajes ácidos de mina, los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias de hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos (Silva *et al*., 2013).

La presencia del hierro afecta el comportamiento geoquímico (solubilización/precipitación) de otros metales presentes en el sistema; además, conducen a la formación de recubrimientos a lo largo de los cuerpos de agua, debido a una notable acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro (color amarillo – anaranjado), los cuales tienen un impacto visual pronunciado (Thornber, 1985; Schmiermund y Drozd, 1997; Banks *et al*., 1997; Kim, 2015) y fueron identificados en la quebrada Margaritani.

En el gráfico de ordenación (nMDS) se muestra los agrupamientos por similitud de las características fisicoquímicas de los sedimentos de la quebrada Margaritani (puntos M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) y el tributario quebrada sin nombre 1 (TU-21), donde se observa un gradiente de acumulación de sulfatos y metales desde el punto M-2, hacia el punto E-3 (Figura 7.40a). Se evidenció un aumento en las concentraciones de variables como sulfatos, plomo, cobre, hierro, antimonio (Figuras 7.40 b-f) y el contenido de arcilla, a lo largo de la quebrada Margaritani, por el aporte de las quebradas sin nombre 1 (TU-21) y 2.

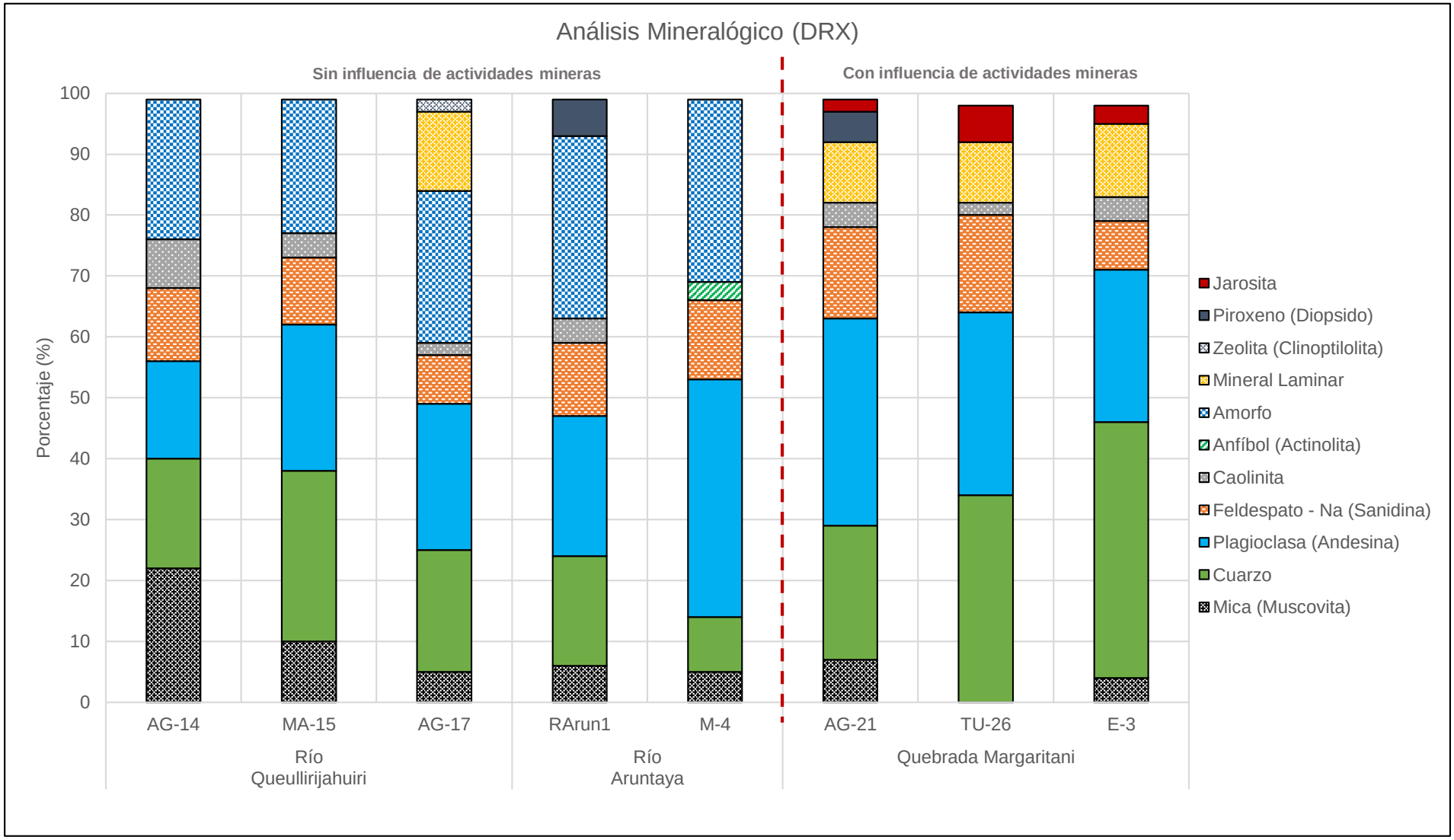


Figura 7.39. Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X, en el sedimento de los ríos Queullirijahuiri (puntos AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4) y la quebrada Margaritani (AG-21, TU-26 y E-3)

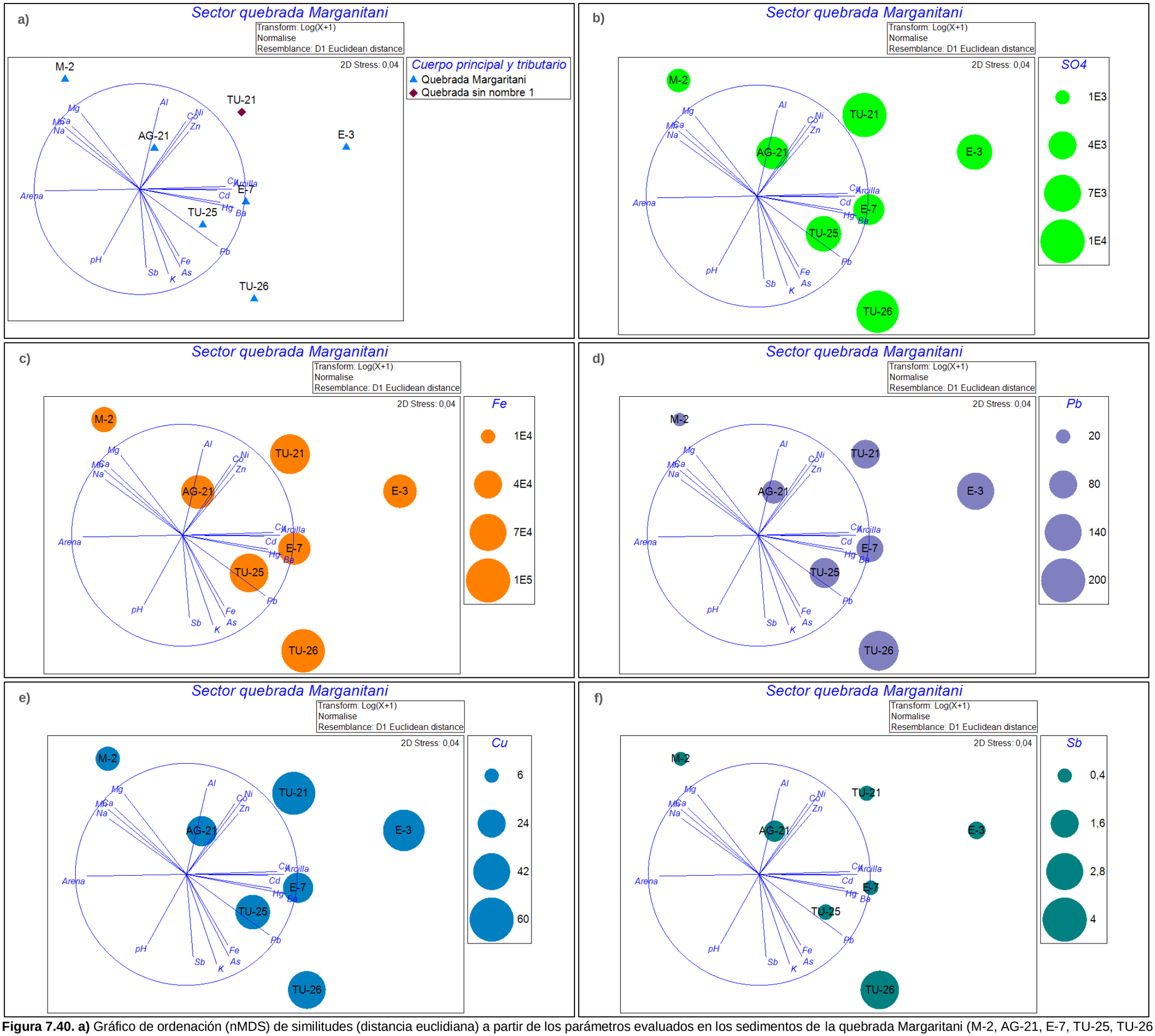


Figura 7.40. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la quebrada Margaritani (M-2, AG-21, E-7, TU-25, TU-26 y E-3) y la quebrada sin nombre 1 (TU-21).

Nota: La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los sedimentos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/kg PS) de **b)** sulfatos, **c)** hierro, **d)** plomo, **e)** cobre y **f)** antimonio en los sedimentos de las quebradas evaluadas.

El cambio en el comportamiento del fraccionamiento de los metales, encontrados en altas concentraciones en la quebrada Margaritani, con respecto al pH se muestra en la Figura 7.41. Para estudiar la influencia del pH en la partición de metales, los sedimentos de la quebrada Margaritani se agruparon en una clase: con pH < 4,5 que se considera extremadamente ácido.

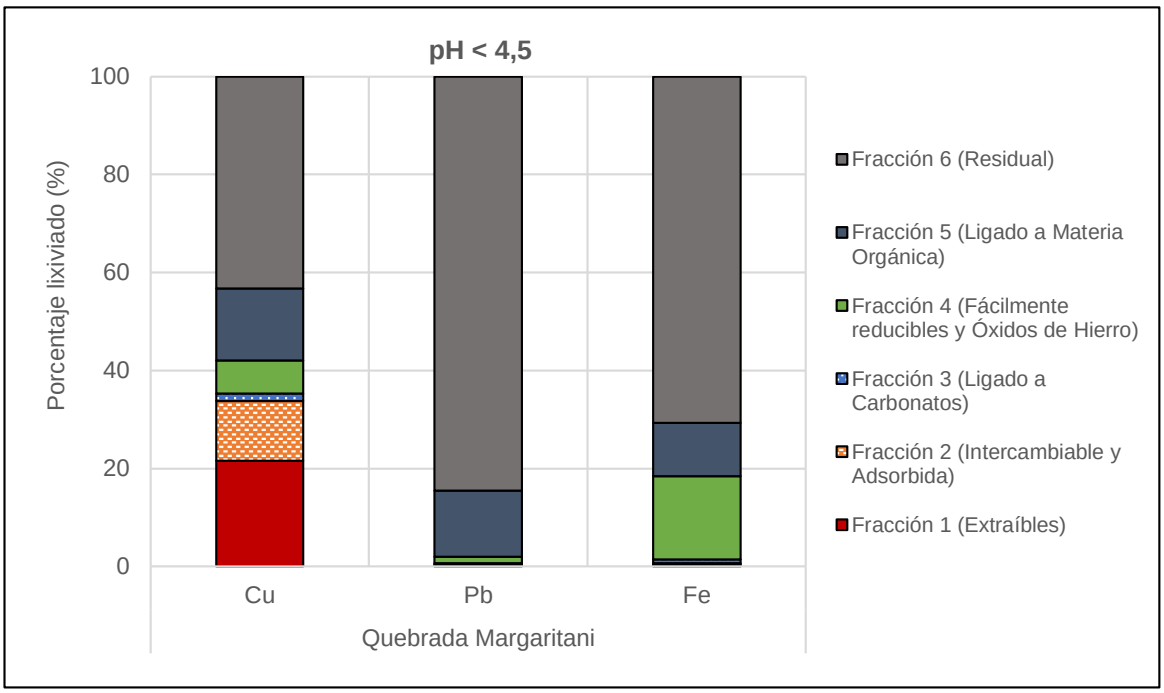


Figura 7.41. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a pH < 4,5 (n = 3, puntos AG-21, TU-26 y E-3) en los sedimentos de la quebrada Margaritani.

En los sedimentos extremadamente ácidos de la quebrada Margaritani (puntos AG-21, TU-26 y E-3), metales como el cobre se fraccionaron en un porcentaje de lixiviado de 33,74 % en conjunto para las fracciones intercambiables (fracciones 1 y 2); mientras que el plomo y hierro se fraccionaron mayoritariamente en fracciones orgánicas y residuales (fracciones 5 y 6); por lo que condiciones de acidez en el sistema no tienen demasiada influencia en la partición de estos metales. Además, el hierro con un porcentaje de 16,90 % se fraccionó en óxidos de hierro y manganeso (fracción 4), en la quebrada Margaritani.

Las fracciones intercambiables (fracciones 1 y 2) indican la forma en la que los metales se vuelven a introducir más fácilmente en el agua, mientras que se espera que los retenidos en la fracción residual (fracción 6) permanezcan inmóviles. Asimismo, las fracciones intercambiables se consideran biodisponibles (Equeenuddin *et al.*, 2013), considerando que la biodisponibilidad es la cantidad total de un metal que en condiciones ambientales específicas dentro de un período de tiempo dado está disponible o puede estar disponible para aguas superficiales y subterráneas o ser absorbida por microorganismos y plantas (Peijnenburg *et al*., 2007); por lo que el contenido de cobre registrado en la quebrada Margaritani, y su porcentaje de fraccionamiento intercambiable, nos indica su biodisponibilidad.

En las comunidades hidrobiológicas, las especies de microalgas del perifiton para este sector se encuentran especies acidófilas y tolerantes a elevadas concentraciones de metales asociadas tanto a Drenaje Acido de Roca (DAR) como a Drenaje Ácido de Mina (DAM); con el fin de observar las similitudes en la composición de la comunidad de microalgas y su relación con las concentraciones de metales y aniones encontradas en agua, para poder separar las asociaciones pertenecientes a ambos tipos de drenaje se realizó un análisis separando en 3 tramos la quebrada Margaritani. Tramo 1 desde la naciente (HB-MT-42) hasta la parte media (HB-MT-51) bordeando el depósito de desmonte zona norte, tramo 2 desde la parte media antes del ingreso de la quebrada sin nombre 2 (HB-TU-25) hasta aguas abajo del ingreso de dicha quebrada (HB-TU-26) y el tramo 3 en la zona baja antes de su confluencia con la quebrada Apostoloni.

Las especies extremófilas encontradas en este sector se han adaptado a los pH <3,6 por lo que sus estrategias de reproducción y metabolismo en algunas especies no se ven afectadas por lo pH ácidos; sin embargo esta acidez promueve una elevada concentración de metales disueltos, por lo que las especies que puedan tolerar estas concentraciones son las que van a predominar, como se ha reportado en la literatura las asociaciones de microalgas van a variar en concordancia con la disponibilidad de metales (Aguilera *et al.*, 2007; Weber *et al.*, 2007).
De acuerdo con el análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) en el cual se observa que los puntos ubicados aguas abajo de la quebrada sin nombre 1 y del punto de vertimiento PS-01 (HB-AG-21 y HB-E-7) se separan del resto formando una agrupación con el 60 % de similitud dada principalmente por las especies *Microspora tumidula*, *Pinnularia* cf. *subcapitata*, *Pinnularia* sp. 3PUN. y *Stigeoclonium* sp. Los 3 géneros tienen especies no sólo acidófilas sino también asociadas a DAM (Sabater *et al*., 2003; Verb y Vis, 2001) por lo que la quebrada sin nombre 1 y el punto de vertimiento PS-01 estarían influenciando directamente en la composición de especies del perifiton. Estas asociaciones de especies con los puntos se dan en base a una correlación de Spearman de 40 % como se observa en la Figura 7.42.

Del mismo modo hay una mayor similitud a nivel de la composición de especies en los puntos pertenecientes al tramo 3 (HB-E-3 y HB-FTU) dada por *Pinnularia* sp. 4PUN, especie que a su vez se comparte con los puntos HB-MT-43A y HB-MT-BO5 en un segundo agrupamiento que se observa en la Figura 7.42; sin embargo, cabe mencionar que hay una marcada diferencia entre la composición de especies adicionales en la naciente de la quebrada (HB-MT-42), aquí se observa una mayor diversidad de especies acidófilas; mientras que aguas abajo hay una disminución en el número de especies lo que estaría relacionado a las altas concentraciones de metales y aniones en el agua superficial para los puntos HB-MT-BO5 y HB-E-3; y en el sedimento a las concentraciones de cobre y cadmio que exceden los valores del ISQG en el punto HB-E-3.

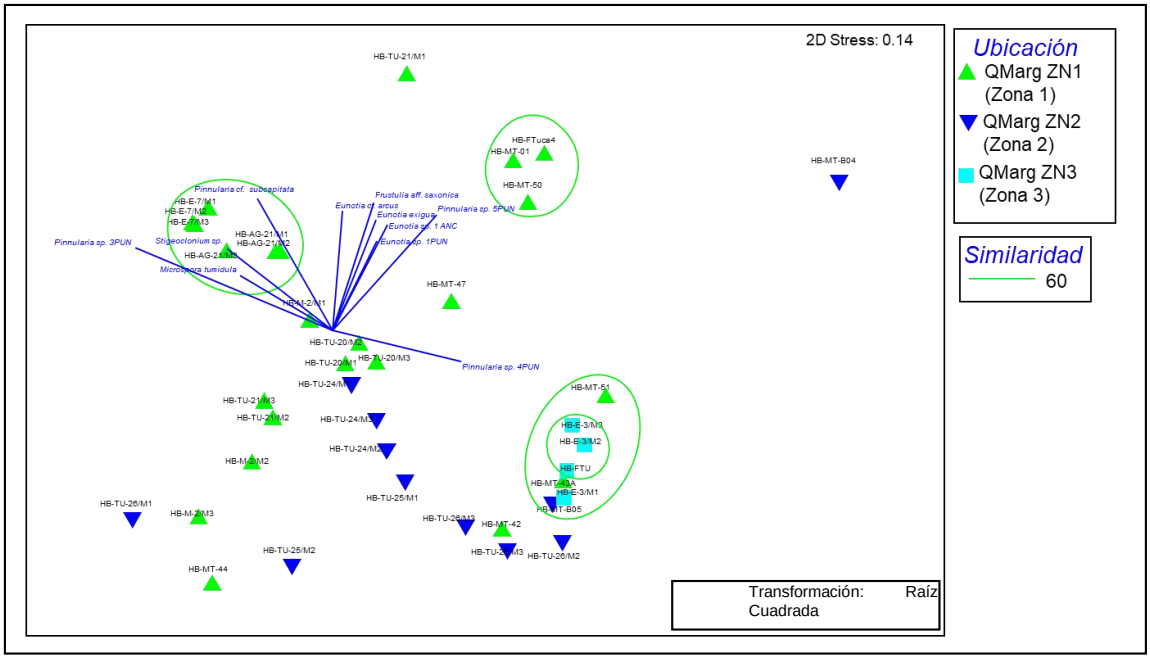


Figura 7.42. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) con especies de correlación 40 % de las microalgas del perifiton en la zona Quebrada Margaritani.

En la Figura 7.43 se muestra el análisis de Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) de la composición de especies de microalgas separando 4 grandes grupos con una similitud de 60 %, y 3 grupos al 50% de similitud. Al relacionar los parámetros de agua superficial (pH, conductividad eléctrica, aniones, arsénico, boro, cobre, cadmio, níquel, manganeso) con una correlación de Spearman de 40% se evidenció que las concentraciones de arsénico, boro y plomo están influenciando la agrupación de los puntos en el tramo 3 (HB-MT-BO5 y HB-E-3) que están más próximas en cuanto a su composición de especies al punto aguas abajo de la quebrada sin nombre 2 (HB-TU-26) con un 50 % de similitud; de igual modo influyen en la composición de la quebrada sin nombre 2 (HB-TU-24) en el tramo 2; cabe mencionar que los puntos HB-TU-24 y HB-TU-26 presentan las especies acidófilas *Klebsomidium* sp. y *Pinnularia* sp. 4PUN ambos géneros reportados en DAM (Sabater *et al*., 2003; Krammer, 2000).

Por otro lado, las concentraciones de fluoruros, aluminio y manganeso estarían influenciando la presencia de especies relacionadas a DAM en los puntos aguas abajo de la quebrada sin nombre 1 (HB-AG-21 y HB-E-7) en el tramo 1 de la quebrada Margaritani.

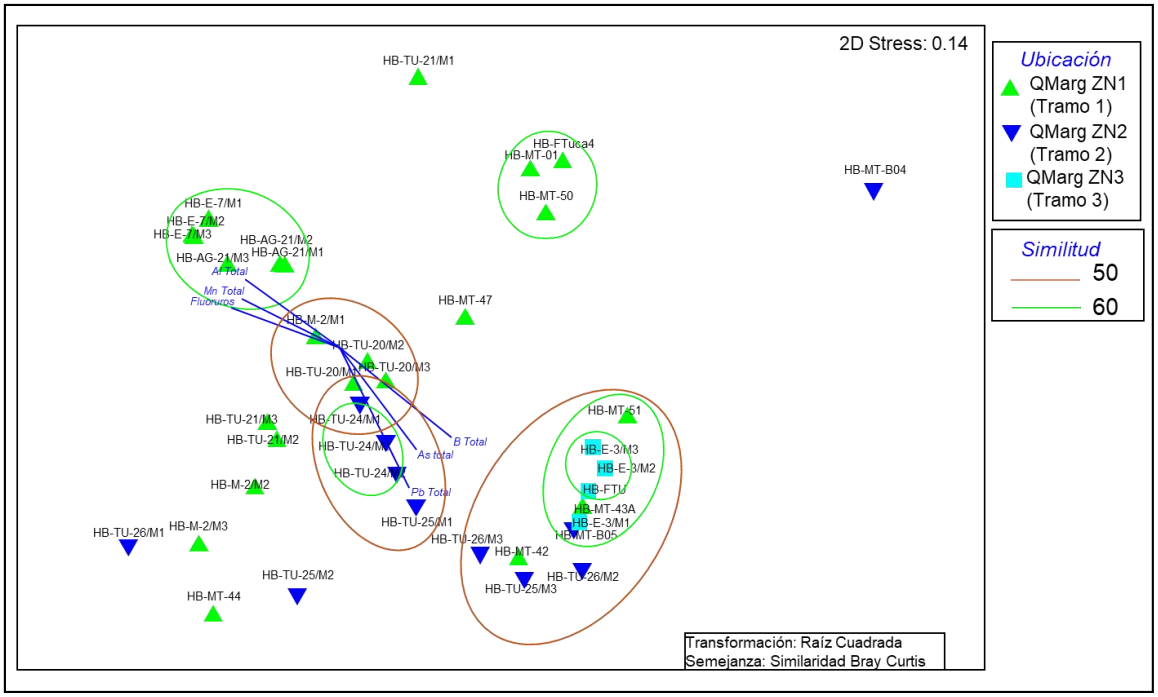


Figura 7.43. Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) de las microalgas del perifiton con las variables de interés de agua superficial en el sector Quebrada Margaritani.

En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos, según las condiciones descritas en agua y sedimento, la especie más recurrente fue *Podonomus* sp. debido a su capacidad tolerante como indicadora de metales presentes en ecosistemas acuáticos (Paggi, 1999; Merrit *et al.*, 2008). Sin embargo, es importante señalar que a pesar de la escaza diversidad de especies en la zona, los puntos HB-TU-25 y HB-TU-26 presentaron más de una especie, además de *Podonomus* (oligoquetos/Oligochaeta ND y *Ochthebius* sp./familia Hydraenidae, respectivamente), relacionado a la proximidad de bofedales aledaños, los cuales mediante flujos superficiales de agua de características fisicoquímicas diferentes, aportarían detritos u otros elementos capaces de propiciar una diversificación distinta de especies (Carrasco *et al.*, 2020). Es importante indicar que de acuerdo a Ríos-Touma *et al.* (2014), los oligoquetos tienen capacidad tolerante a diverso tipo de condiciones en el agua, mientras que organismos de la familia Hydraenidae (considerada tolerante) presenta adaptaciones que lo hacen menos vulnerable a cambios o afectaciones en el cuerpo de agua.

Cabe señalar que, a pesar del aporte de las quebradas con influencia de DAM (quebrada sin nombre 1, con ausencia de macroinvertebrados bentónicos y quebrada sin nombre 2, sin haber sido muestreado por su escaso flujo) sobre la quebrada Margaritani, no se evidenció un cambio importante en la estructura comunitaria hacia aguas abajo, debido a la escaza presencia de organismos; esta escasez, relacionada a la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro (coloración rojiza en el lecho del cuerpo principal), que generan limitaciones en el desarrollo de la comunidad biótica, de acuerdo a lo señalado por Hanson *et al.* (2010) y Loayza-Muro *et al.* (2010). La dominancia de especies tolerantes (de baja valoración de acuerdo a las puntuaciones dadas por el ABI), así como la ausencia de organismos en varios de los puntos de la quebrada Margaritani (HB-M-2, HB-TU-21, HB-E-7 y HB-E-3), indicaron según el ABI una pésima calidad biológica.

Durante la evaluación de fauna silvestre se registró la presencia del anfibio *Pleurodema marmoratum* en el punto TU-HE-T5, ubicado en la margen izquierda de la quebrada sin nombre 2 y aguas abajo del afloramiento MT-BO5. El análisis de metales en el tejido de esta muestra evidenció la presencia de elementos como arsénico, cobre, plomo y zinc con valores 192,05 %; 413,68 %; 2186,76 % y 52,20 % mayores, respectivamente, a la muestra de la misma especie (AR-HE-RO2) registrada en los bofedales cercanos a la unión de los ríos Aruntaya y Queullirijahuiri (zona blanco Paccha-Aruntaya). Asimismo, el cadmio presentó valores cuantificables (0,2135 mg/kg) únicamente en el tejido de *Pleurodema marmoratum* registrado dentro del área de operaciones de la UF Florencia-Tucari (Figura 7.44).

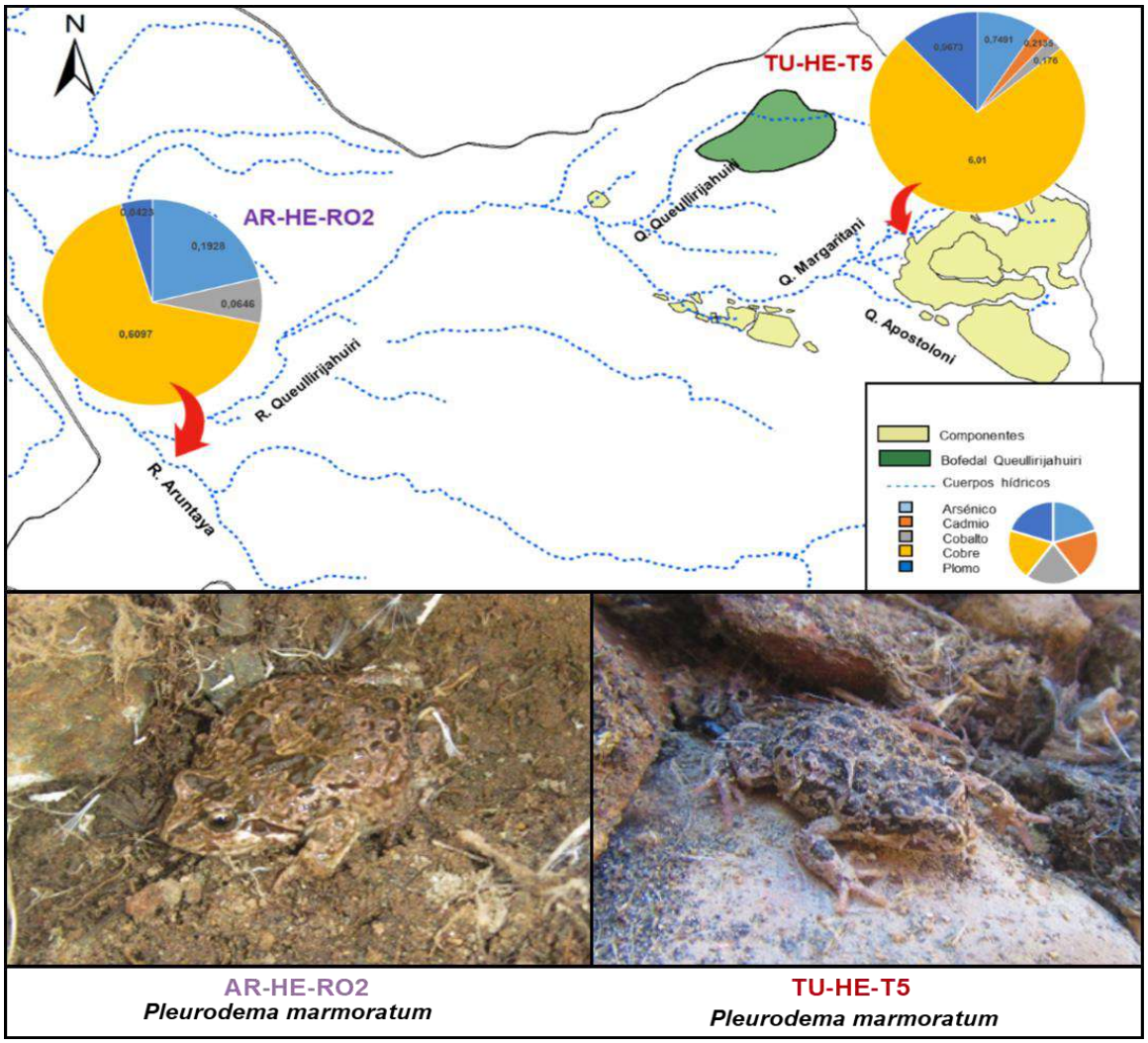


Figura 7.44. Concentraciones de metales en las muestras de tejido de los anfibios *Pleurodema marmoratum* registrados en las zonas Margaritani (TU-HE-T5) y Aruntaya (AR-HE-RO2) respectivamente.

El espécimen fue colectado a 25 m, aproximadamente, de los puntos de evaluación de las matrices de agua superficial (MT-BO5 y TU-24) y sedimentos (TU-25 y TU-26), los cuales presentaron concentraciones elevadas de metales principalmente arsénico, cobre, zinc, cadmio y plomo, que superaron los ECA para agua categoría 3, D1 y D2 (2017) y los valores de cobre y plomo que excedieron los valores de ISGQ y PEL, respectivamente de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG. Cabe indicar que, los altos valores registrados se deben al aporte del drenaje acido de mina (DAM) en el sector Margaritani según los estudios desarrollados.

Los metales se presentan en el ambiente de manera natural, siendo esenciales para el correcto funcionamiento de muchos procesos fisiológicos, tales como catalizar reacciones a nivel bioquímico; sin embargo, su presencia en proporciones elevadas o de elementos no esenciales pueden resultar tóxicos, con consecuencias a los organismos y sus ecosistemas (Linder y Grillitsh, 2000). La exposición de forma directa (absorción) o indirecta (alimentación) a estos contaminantes, ocasiona su acumulación en los tejidos de las especies de anfibios, llegando a producir alteraciones en su ciclo reproductivo, malformaciones y en algunos casos efectos letales (Carvalho *et al*., 2017; Girotto *et al*., 2020).

La disponibilidad de los metales en el ambiente influye directamente en la acumulación de estos elementos en los tejidos de los anfibios, debido a su íntima interacción con agua. La permeabilidad de la piel de los anfibios, permite la absorción de sustancias nocivas que se encuentren en el ambiente, como químicos tóxicos y algunos metales (Stebbins y Cohen, 1995; Hopkins y Rowe, 2010). Asimismo, debido a su baja movilidad y alta fidelidad a sus hábitats (Blaustein *et al*., 1994), interaccionan constantemente con su entorno, permitiendo dilucidar los cambios que se producen en el ambiente, siendo considerados como bioindicadores de la calidad ambiental (Navas y Otani 2007, Stuart *et al*., 2008).

Estudios han demostrado que los anfibios acumulan plomo y cadmio proporcionalmente a las concentraciones en su entorno circundante (Berzins y Bundy 2002; Birdsall et al. 1986), viéndose afectados de forma negativa por estos metales pesados en exposiciones naturales o experimentales. En ese sentido, la presencia, en concentraciones elevadas, de los metales y metaloides arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en los tejidos del anfibio *Pleurodema marmoratum* registrado en las inmediaciones de la quebrada Margaritani, se encuentran íntimamente relacionadas con la disponibilidad de estos mismos elementos en sus hábitats, producto de la alta carga de metales provenientes de la quebrada sin nombre 2 y el afloramiento MT-BO5, los cuales, según los estudios realizados, presentan lixiviados (drenaje acido de mina) del depósito de desmonte zona Norte.

Los efectos que producen los diferentes metales en los anfibios varían de acuerdo a su concentración en el ambiente. El zinc y el cobre son esenciales para los diferentes procesos metabólicos que ocurren en los diferentes organismos; no obstante, en concentraciones elevadas pueden presentar efectos tóxicos (Chagas *et al*., 2020). El cadmio, por su parte, es un metal poco frecuente en la naturaleza, siendo considerado como un contaminante ambiental debido a su persistencia y bioacumulación (Ramírez, 2002; Campbell, 2007); en los anfibios, se ha reportado alteraciones a nivel celular, generando problemas en el ADN y altos niveles de mortalidad en concentraciones elevadas (Ferrari & Salibian, 1999; Patar *et al*., 2016).

7.3.2. Sector Quebrada Apostoloni

Se tomaron muestras de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en la quebrada Apostoloni, y en los principales tributarios (Figura 7.45); también se evaluaron manantiales, ubicados a los márgenes derecho e izquierdo de la quebrada Margaritani y afloramientos, ubicados en áreas aledañas a los componentes mineros; y el efluente minero PS-02. Además, se realizó la caracterización de la ampliación del depósito de desmonte (zona 10 y Hechadero), y del lodo del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur (PS-02); así como la caracterización geológica local del sector, que incluyó muestras de roca.

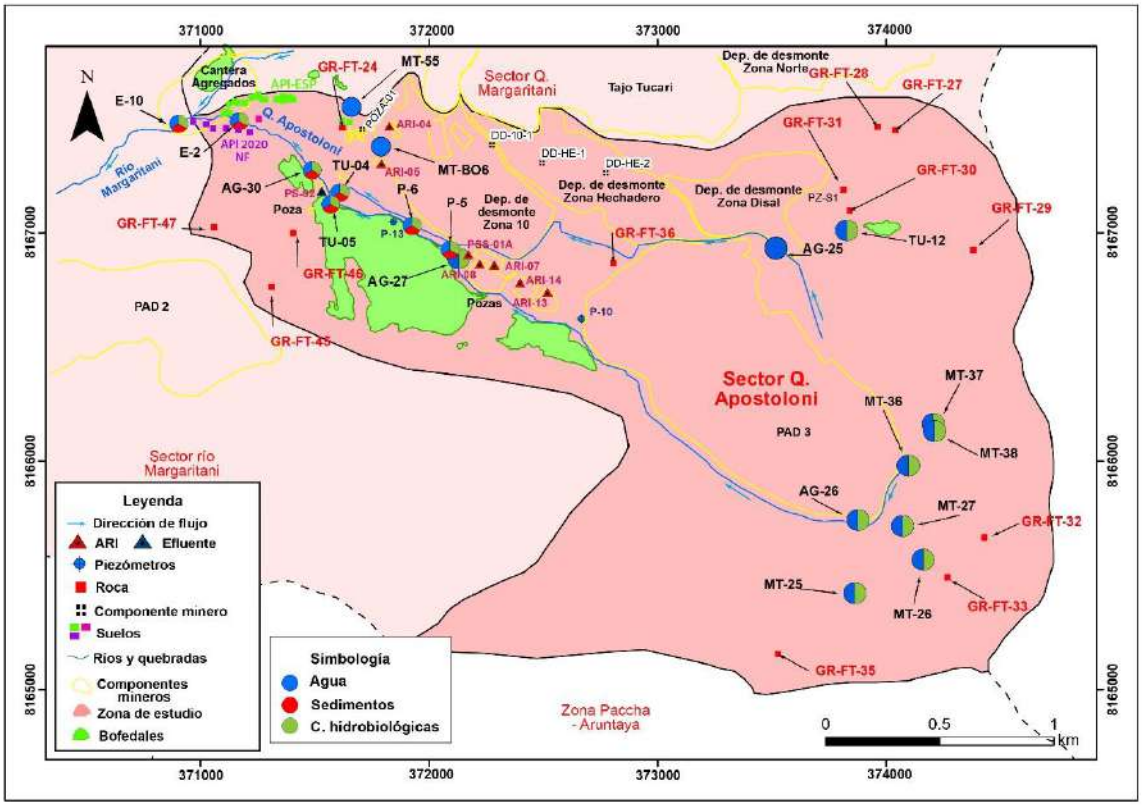


Figura 7.45. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua, suelo, sedimentos, comunidades hidrobiológicas, roca y componentes mineros en el sector quebrada Apostoloni

En este sector se evidencia la alteración del agua, sedimento y comunidades biológicas en la quebrada Apostoloni, por deficiencias del sistema de tratamiento de aguas ácidas del wetland sur, evidenciado mediante la implementación de componentes no autorizados, pozas de lodos, tuberías y mangas en dirección a la quebrada, y suelo adyacente contaminado; así como el aporte de aguas subterráneas afectadas por DAM (lixiviados) asociados a la ampliación del depósito de desmonte zona 10 y Hechadero, según la caracterización geológica y geomorfológica local del basamento de este sector que involucra el depósito de desmonte zona 10 y Hechadero, la caracterización geoquímica y mineralógica del componente minero y basamento rocoso (metales totales, pruebas *SFE*, ABA, DRX y MEB); además del análisis de los resultados históricos de calidad de agua que evidencias cambios en sus características fisicoquímicas aguas abajo de los componentes mineros.

La quebrada Apostoloni se emplaza en rocas volcánicas de composición andesítica y rocas piroclásticas (tobas) del Grupo Barroso, los cuales se encuentran cubiertos por depósitos cuaternarios (coluviales y eluviales), las andesitas presentan textura porfirítica y en su mayoría también se encuentran impregnaciones de óxidos de hierro formados por alteración a partir de los minerales ferromagnesianos (biotita y piroxenos), en cuanto a los minerales sulfurados (pirita, pirrotita y calcopirita) su presencia es escasa (traza), pero es importante mencionar que fueron identificados. Las estructuras como fallas y fracturas presentan rumbo preferencial noroeste – sureste y estructuras secundarias con rumbo preferencial norte – sur y noreste – sureste.

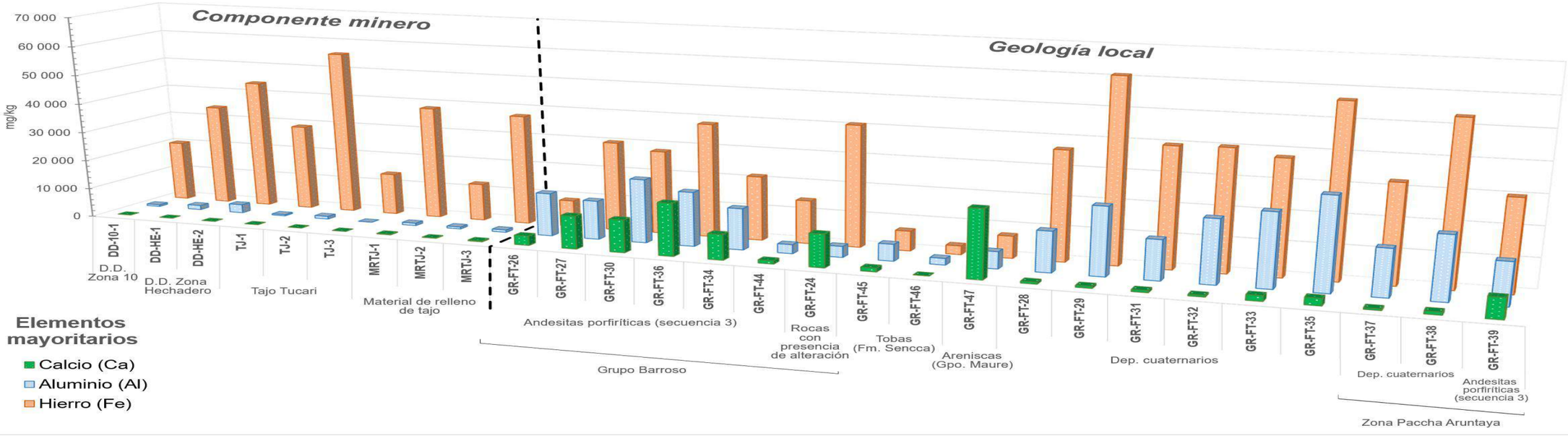
El canal principal de la quebrada Apostoloni desde la naciente actualmente se encuentra encausada debido a las actividades mineras de la UF Florencia Tucari, aguas abajo antes de la confluencia con la quebrada Margaritani esta quebrada se forma a partir de dos canales (quebrada Apostoloni Norte y quebrada Apostoloni sur). Hacia el extremo este de la naciente

de la quebrada Apostoloni norte se presentan flujos aluviales y coluviales con dirección noreste suroeste (de acuerdo al análisis geomorfológico); además, antes de su confluencia con Apostoloni sur, hacia su margen derecha se halla la ampliación del depósito de desmonte zona Disal y zona Hechadero.

En cuanto a la quebrada Apostoloni Sur, a su margen derecha se halla el PAD N°3 y el cluster de pozas soluciones, a su margen izquierda se hallan dos zonas de bofedales que a su vez son el punto de llegada de flujos aluviales y coluviales con dirección hacia el canal; en cuanto al basamento de este tramo se conforma de secuencias de rocas piroclásticas (tobas de la Formación Sencca) y secuencias de rocas sedimentarias del Grupo Maure (areniscas y conglomerados).

Para la caracterización geoquímica de los componentes mineros del presente sector, se consideró a la ampliación del depósito de desmonte (zona 10 y zona Hechadero), tajo y material de relleno del tajo, los cuales fueron comparados con los resultados de la geología local (tobas y andesitas del Grupo Barroso, tobas de la Formación Sencca, areniscas del Grupo Maure y depósitos cuaternarios). En la Figura 7.46a, se observa que el hierro tiene una distribución variada en todas las muestras, en cuanto al aluminio se muestra distribuido en mayores concentraciones en los depósitos cuaternarios y el calcio únicamente se encuentra asociado a las andesitas del Grupo Barroso y areniscas del Grupo Maure. Contrastando los resultados de la geología local con las concentraciones medias de la corteza superior, el calcio y aluminio no superaron el valor medio de referencia, en cambio el hierro superó el valor medio en las muestras de depósitos cuaternarios (GR-FT-29, GR-FT-31, GR-TF-32, GR-TF-35 y GR-TF-38).

Los elementos trazan arsénico, zinc, cobre y plomo presentan una mayor afinidad en los componentes mineros que con la geología local, como se observa en la Figura 7.46b, y más aún es notorio en las muestras que corresponden al tajo. Con respecto al cadmio su presencia se limita a las muestras de componentes mineros principalmente al depósito de desmonte zona Hechadero (DD-HE-1) y material de relleno del tajo (MRTJ-1), en cuanto al níquel y cobalto su distribución es variable y se presenta en los componentes mineros, andesitas porfiríticas del grupo Barroso y depósitos cuaternarios (Figura 7.47).



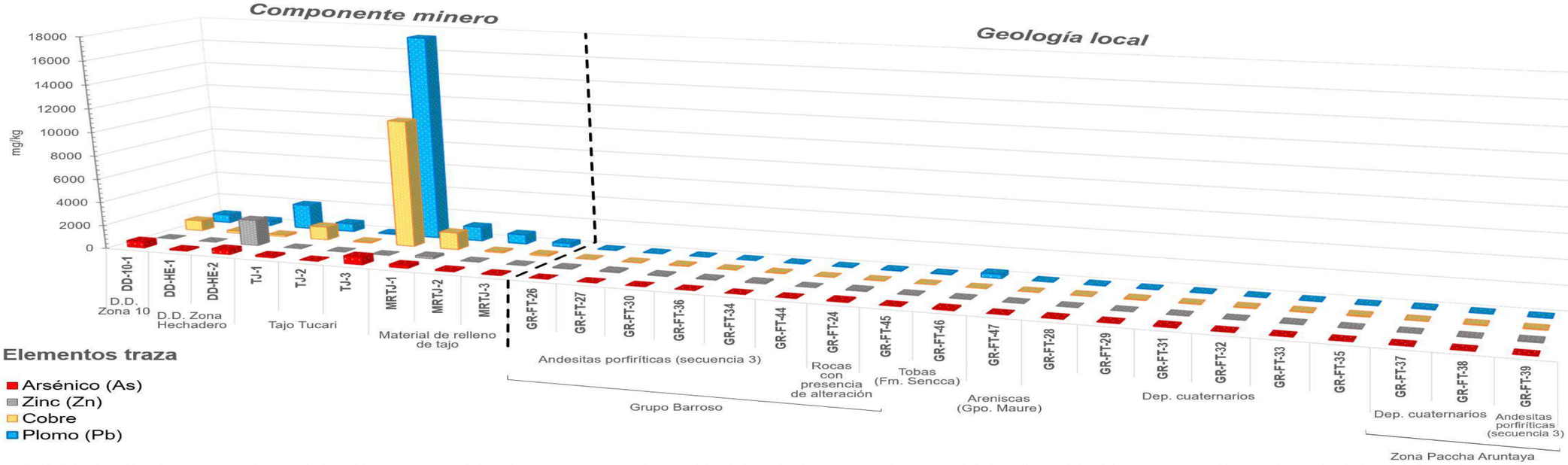


Figura 7.46. Distribución de concentraciones de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (As, Zn, Cu y Pb).
Nota: Se incluyen en las muestras GR-FT-37, GR-FT-38 y GR-FT-39 de la zona Aruntaya por corresponder a la misma secuencia de andesitas, y la muestra GR-FT-24 que es una roca con presencia de alteración de la secuencia 1 de andesitas porfiriticas compartida con el sector Margaritani.

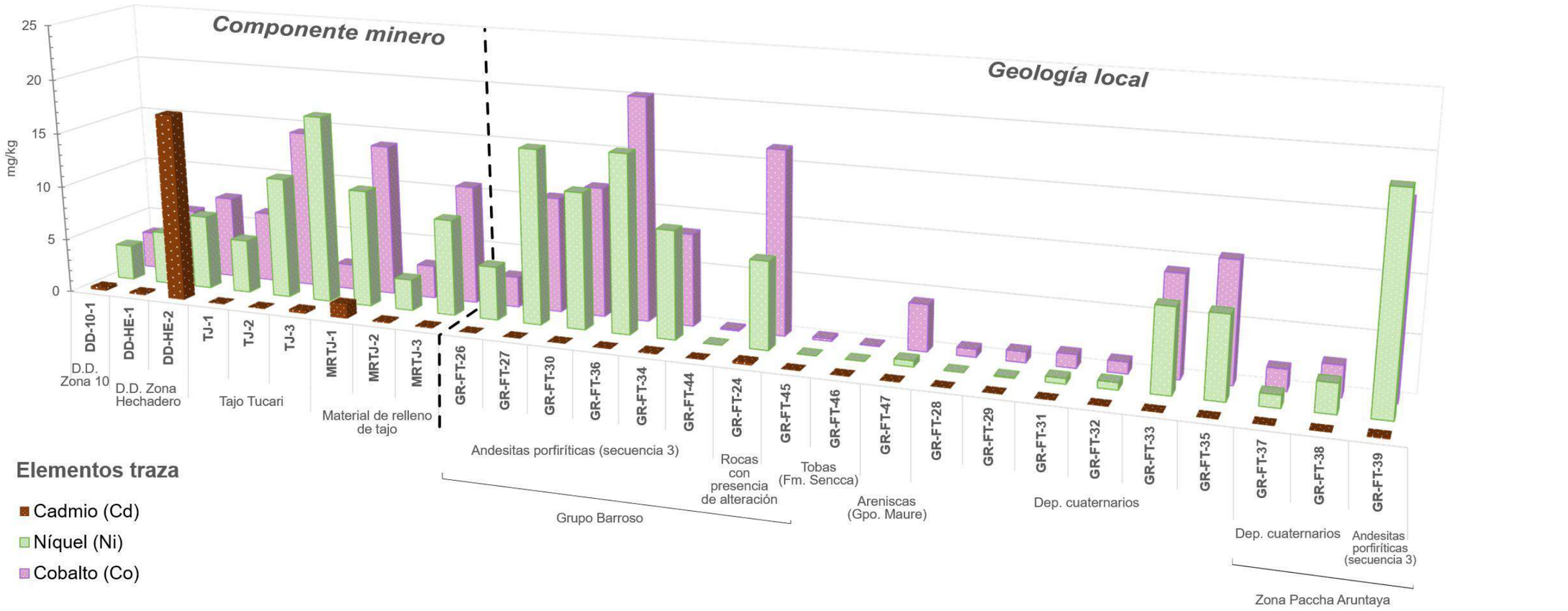
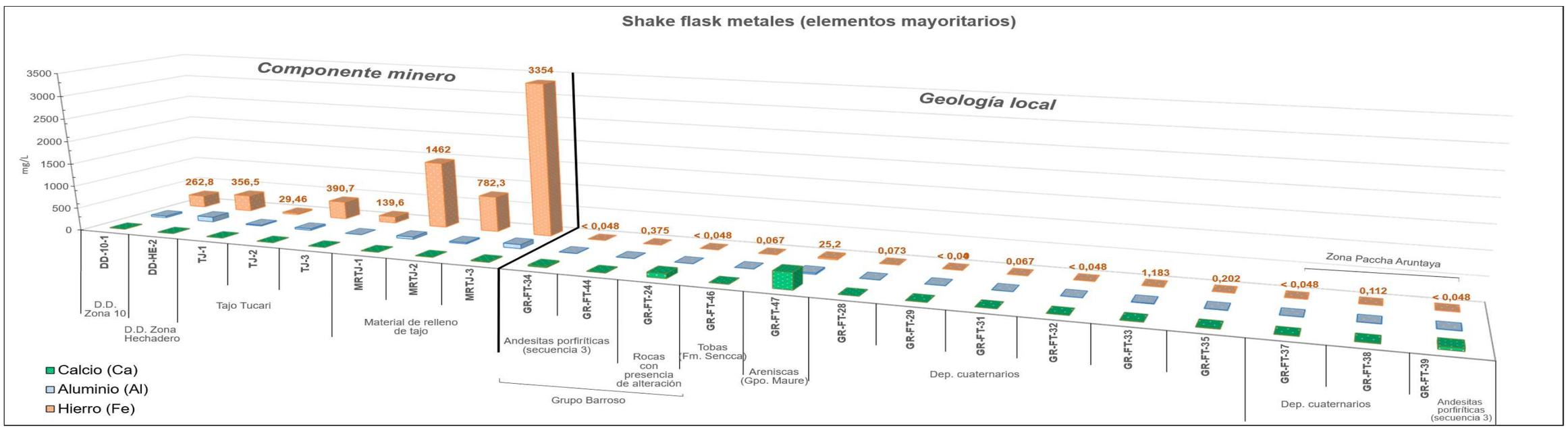


Figura 7.47. Distribución de concentraciones de elementos traza (Cd, Ni y Co) de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios).

Nota: Se incluyen en las muestras GR-FT-37, GR-FT-38 y GR-FT-39 de la zona Aruntaya por corresponder a la misma secuencia de andesitas, y la muestra GR-FT-24 que es una roca con presencia de alteración de la secuencia 1 de andesitas porfiriticas compartida con el sector Margaritani.

Mediante la prueba de *shake flask extraction* realizada en las muestras de componente minero (ampliación del depósito de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios), se observa la afinidad de concentraciones mayores en los componentes mineros, con respecto a los elementos hierro, plomo, zinc, arsénico y cobre. En cuanto al cadmio, cobalto y níquel, los componentes mineros lixivian elevadas concentraciones y solo la muestra de roca GR-FT-39 que pertenece a la zona Paccha-Aruntaya presento similar comportamiento (Figura 7.48 y 7.49).



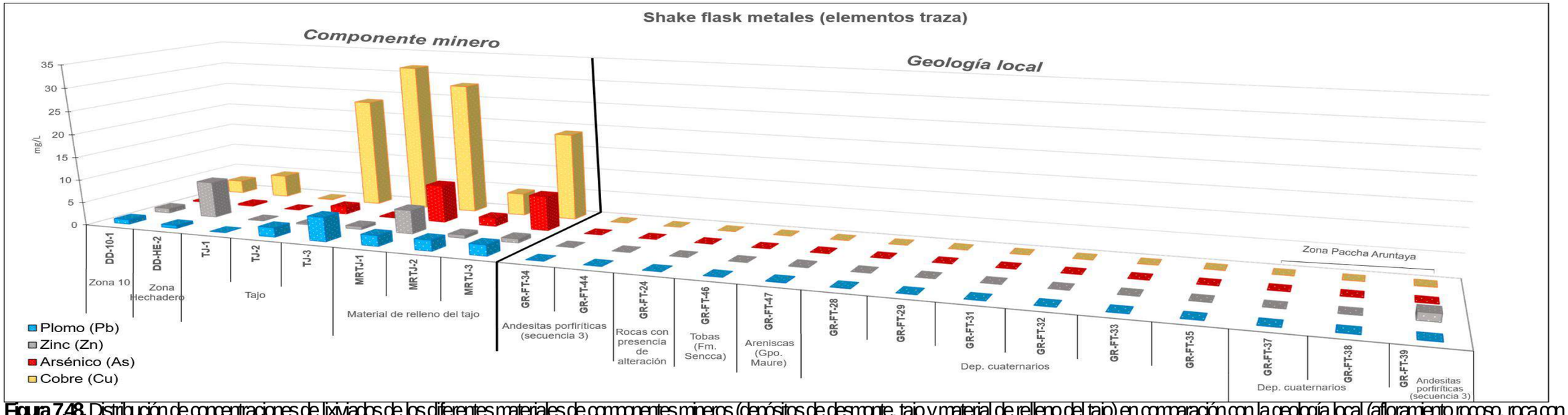
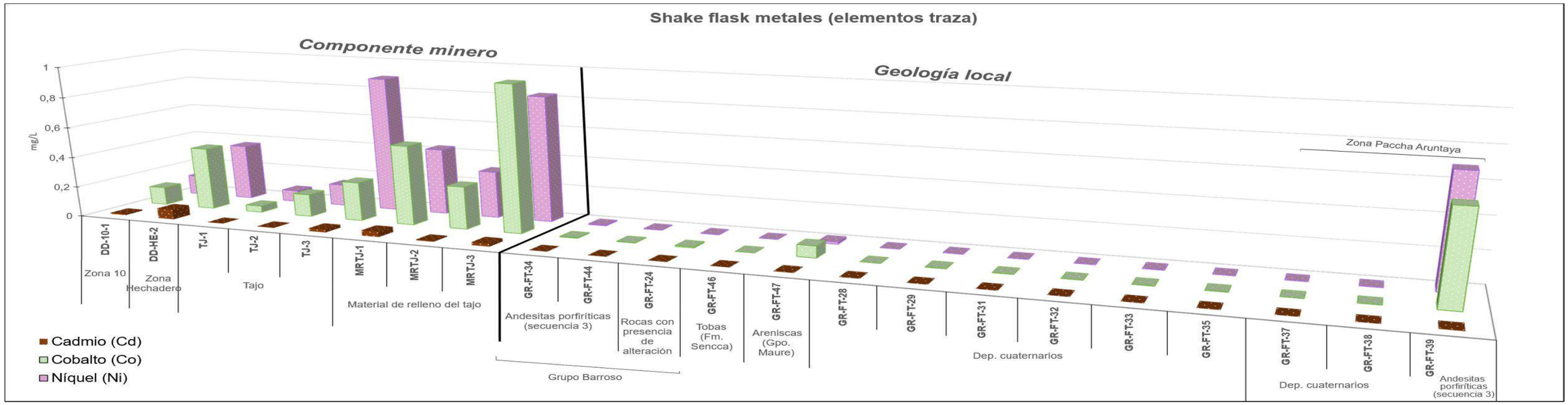


Figura 7.48. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos mayoritarios (Ca, Al y Fe) y **b)** Elementos traza (Pb, Zn, As y Cu).
Nota: Se incluyen en las muestras GR-FT-37, GR-FT-38 y GR-FT-39 de la zona Aruntaya por corresponder a la misma secuencia de andesitas, y la muestra GR-FT-24 que es una roca con presencia de alteración de la secuencia 1 de andesitas porfiríticas compartida con el sector Margaritani.



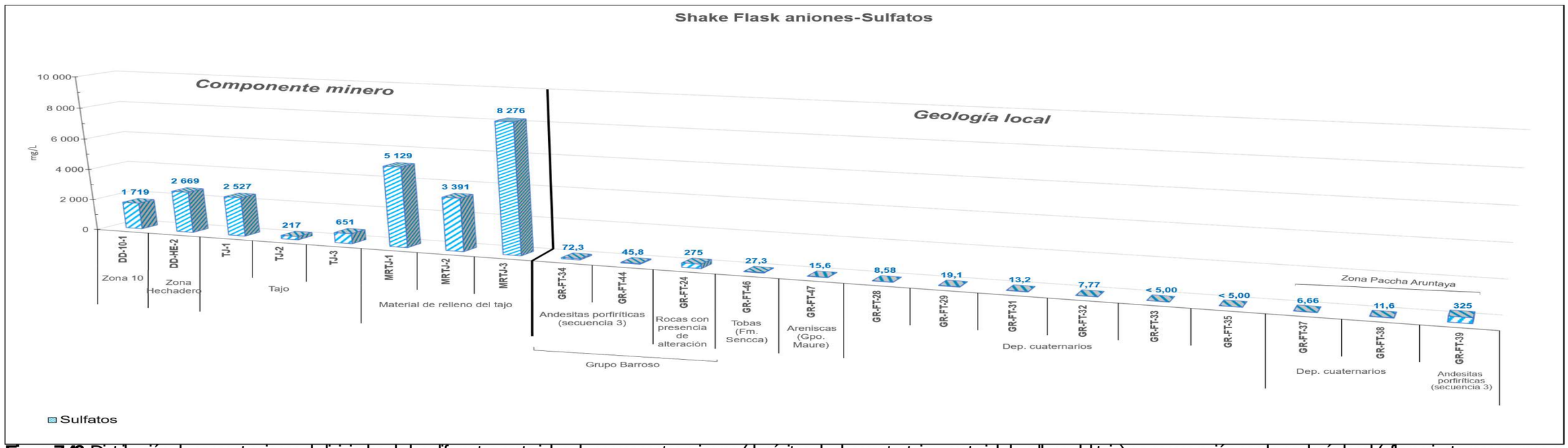


Figura 7.49. Distribución de concentraciones de lixiviados de los diferentes materiales de componentes mineros (depósitos de desmonte, tajo y material de relleno del tajo) en comparación con la geología local (afloramiento rocoso, roca con presencia de alteración y depósitos cuaternarios) **a)** Elementos traza (Cd, Co y Ni) y **b)** Sulfatos

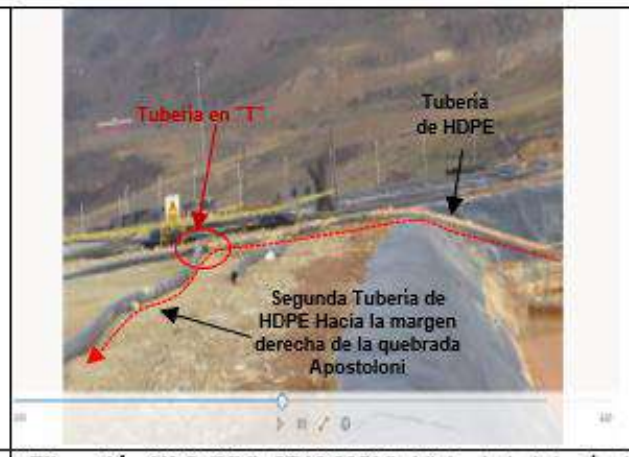
Nota: Se incluyen en las muestras GR-FT-37, GR-FT-38 y GR-FT-39 de la zona Aruntaya por corresponder a la misma secuencia de andesitas, y la muestra GR-FT-24 que es una roca con presencia de alteración de la secuencia 1 de andesitas porfiríticas compartida con el sector Margaritani.

Los lixiviados de sulfatos se generan en mayores concentraciones en los componentes mineros en comparación con la geología local (Figura 7.49), lo mencionado se sustenta por la presencia de minerales sulfurados (pirita, pirrotita y marcasita) en las muestras de la ampliación del depósito de desmonte (zona 10 y Hechadero), tajo y material de relleno del tajo identificados mediante los análisis mineralógicos por difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido (Figuras 7.15 y 7.16). Además, según la prueba estática de balance ácido-base (ABA) todas las muestras de componente minero fueron consideradas como generadoras de acidez, así como la muestra de roca con presencia de alteración (GR-FT-24) y depósitos cuaternarios (GR-FT-29, GR-FT-32 y GR-FT-35).

En relación a la calidad de suelos de este sector, durante la evaluación realizada en la zona baja del wetland sur, se observó una manguera (manga) de 6 pulgadas y remanentes de lodo de color diferente al suelo natural (Anexo 13, Video MVI_8726). Para constatar el origen de la manguera se realizó el seguimiento de la misma, la cual estaba dirigida hacia el sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo (wetland sur) donde se verificó que el administrado había realizado la instalación de una bomba de succión de lodos en la poza de sedimentación N.° 5 o 5000 (UTM WGS 84 zona 19 K, E: 371682, N: 8167443), acoplada a una tubería HDPE de 6”, y a su vez una tubería en T donde se había instalado una segunda tubería de aproximadamente 79 m, la cual también estaba unida a una manguera (manga) de 6” y de aproximadamente 280 m (observándose 2 empalmes en la manga), dichas instalaciones estaban sobre suelo natural (Anexo 13, Video MVI_8719), Figura 7.50.



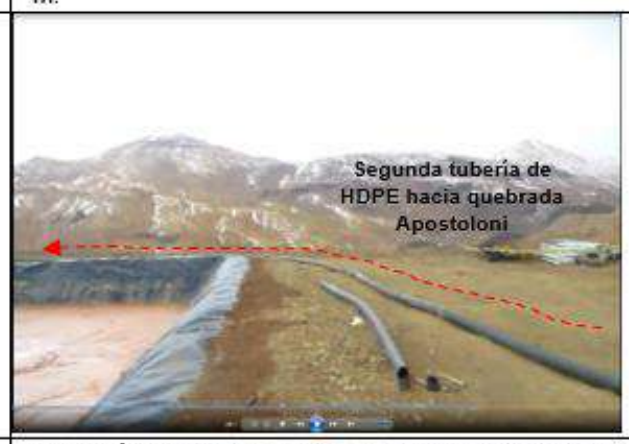
Filmación N° 1 (MVI_8719.MOV): Vista de una bomba de succión de lodos contenida en la poza 5000 del sistema de tratamiento de agua del tajo conectada a una tubería de HDPE.



Filmación N° 2 (MVI_8719.MOV): Vista de la tubería de HDPE conectado a una tubería T, donde se había instalado una segunda tubería de aproximadamente 79 m.



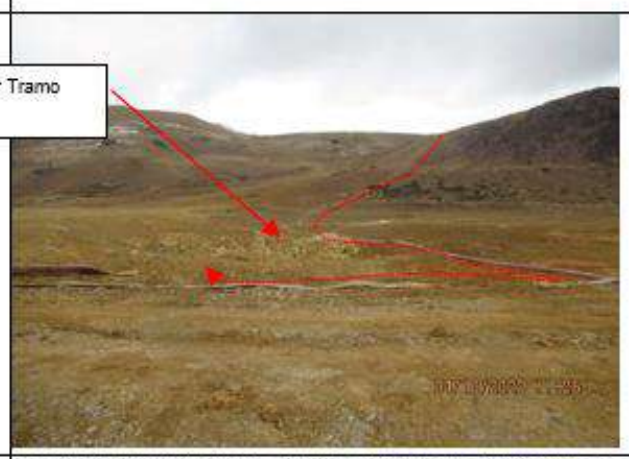
Filmación N° 3 (MVI_8719.MOV): Tubería de HDPE conectado a una tubería T, donde se había instalado una segunda tubería de aproximadamente 79 m, con dirección a la margen derecha de la quebrada Apostoloni.



Filmación N° 4 (MVI_8719.MOV): Vista del trazo de la tubería hacia el margen derecho de la quebrada Apostoloni.



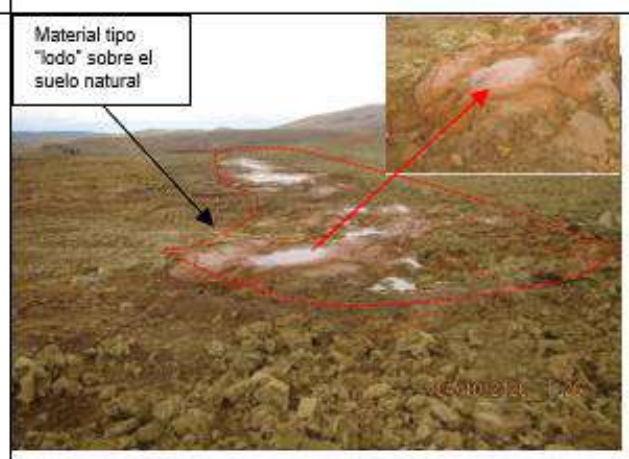
Filmación N° 5 (MVI_8719.MOV): Vista del tramo de la tubería conectado a una manga con dirección al margen derecho de la quebrada Apostoloni.



Fotografía N° 1 (IMG_8724.JPG): Vista del tramo de la manga instalada en el suelo natural, pero sin descarga.



Filmación N° 6 (MVI_8726.MOV): Vista del tramo de la tubería conectado a una manga con dirección al margen derecho de la quebrada Apostoloni, sin descarga.



Fotografía N° 2 (IMG_8725.JPG): Al costado de del tramo descrito se observó un material tipo "lodo" de coloración marrón-rojizo diferente al suelo natural.

Figura 7.50. Fotografías de suelos en la zona Margaritani, sector quebrada Apostoloni

Seguidamente, se identificó en la margen derecha de la quebrada Apostoloni otra tubería de HDPE de 4" de aproximadamente 65 m extendida sobre el suelo natural y esta a su vez se encontraba conectada a otra manguera (manga) de 4" de aproximadamente 80 m, la cual llegaba a un canal adaptado con geomembrana de aproximadamente 4 m de largo, este último tramo culminaba en la margen derecha de la quebrada Apostoloni, aproximadamente a 60 m aguas abajo del punto de monitoreo de agua E-2 (P-7), el cual presenta una sección uniforme con una profundidad aproximada <0,10 m, no se evidencio ninguna bomba de succión de agua o similares. tal como se puede observar en las Figura 7.51. (Anexo 13, Video MVI_8732).

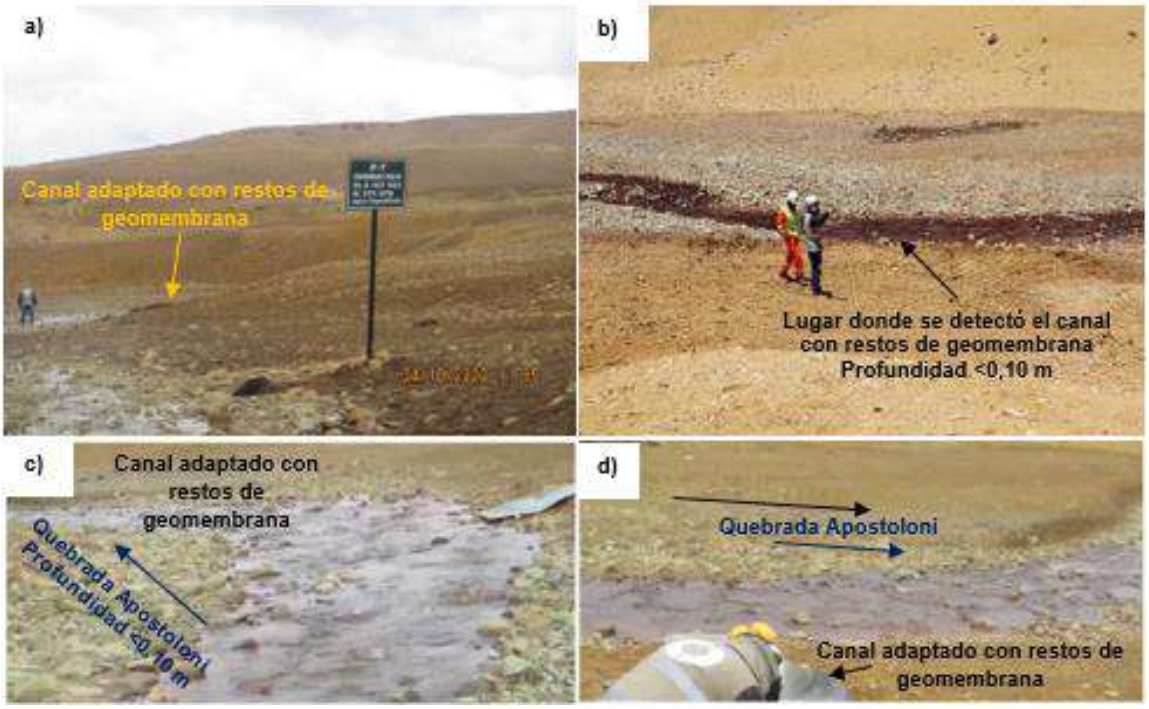


Figura 7.51. Estructuras identificadas en la quebrada Apostoloni, a), c) y d) fotografías del 4 de octubre y b) fotografía del 5 de octubre, nótese la profundidad del cuerpo de agua**.**
Fuente: Acta de supervisión, octubre 2020.

Colindante a la manga de 4" había lodo de coloración marrón-rojizo diferente al suelo natural, y que un área aledaña a la tubería de HDPE había una retroexcavadora realizando trabajos de perfilado y remoción del suelo (Anexo 13, Video MVI_8733), Figura 7.52. El área de estudio se encuentra establecida sobre la unidad de suelo Tucarirani Bajo[66], emplazado sobre secuencias volcánicas del Grupo Barroso, actualmente cartografiado como un depósito disturbado.

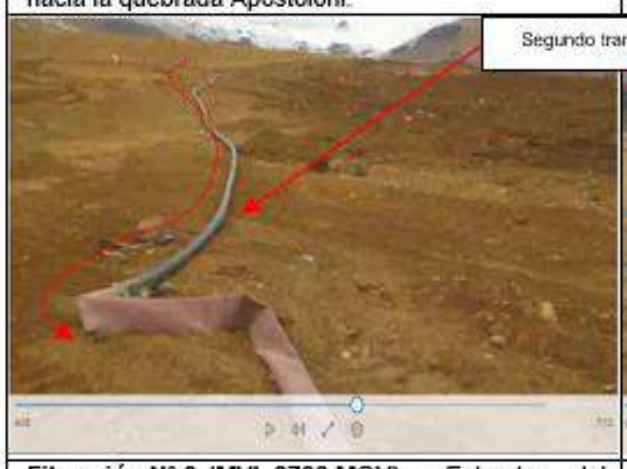
66 Cuarta modificación del Plan de Cierre de Mina Unidad Minera Florencia-Tucari, aprobada mediante Resolución Directoral N.° 286-2016/MEM-AAM



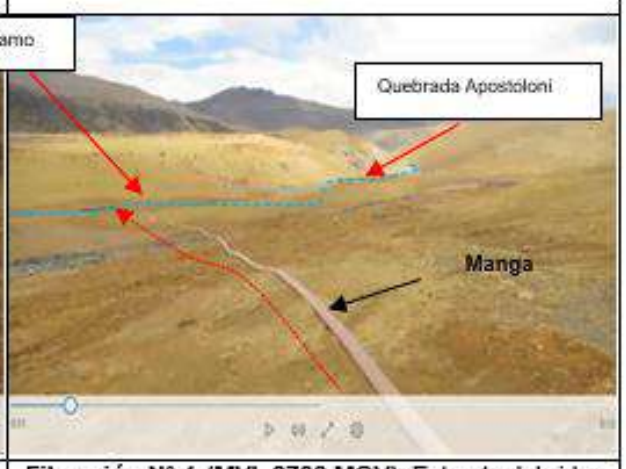
Filmación N° 1 (MVI_8732.MOV): Extracto del video de la línea de la tubería instalada en el suelo natural en donde se observó una tubería de HDPE de 4" de 65 metros aproximadamente con dirección hacia la quebrada Apostoloni.



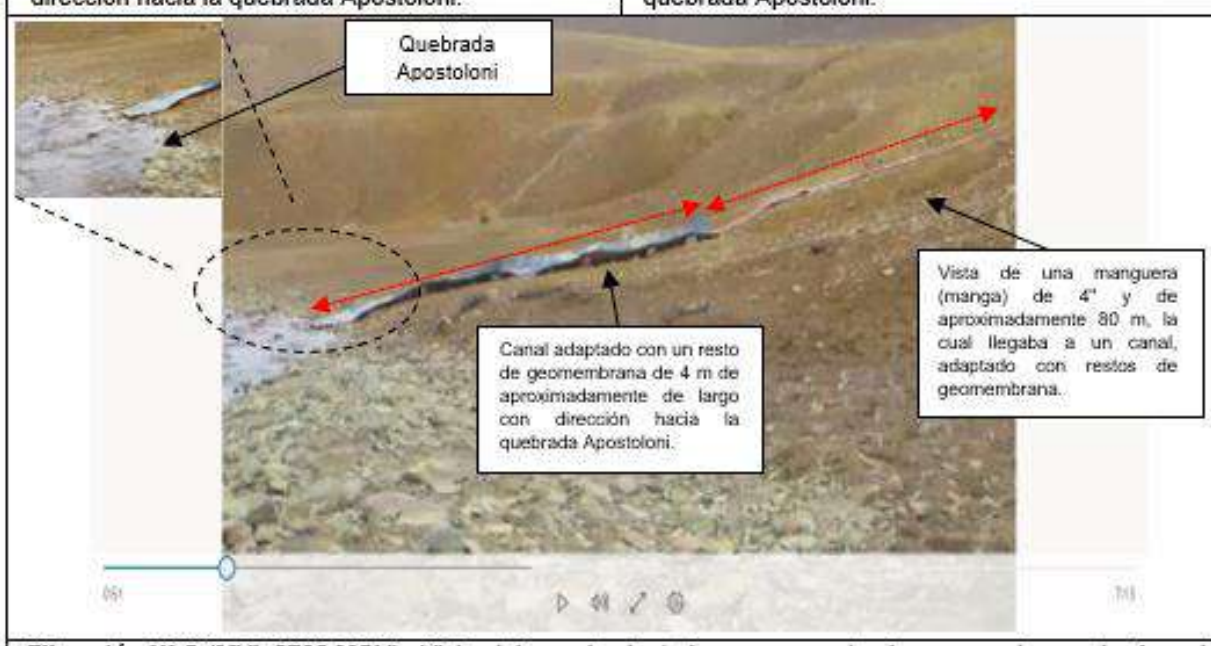
Filmación N° 2 (MVI_8732.MOV): Vista de la tubería de HDPE y contigua a dicha tubería se observó una retroexcavadora perfilando el suelo.



Filmación N° 3 (MVI_8732.MOV): Extracto del video de la línea de la tubería instalada en el suelo natural en donde se conectó una manga con dirección hacia la quebrada Apostoloni.



Filmación N° 4 (MVI_8732.MOV): Extracto del video de la manga conectada a la línea de la tubería instalada en el suelo natural con dirección hacia la quebrada Apostoloni.



Filmación N° 5 (MVI_8732.MOV): Vista del canal adaptado con un resto de geomembrana de 4 m de aproximadamente de largo con dirección hacia la quebrada Apostoloni.

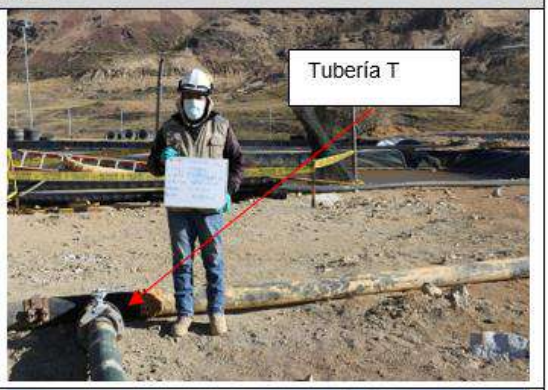


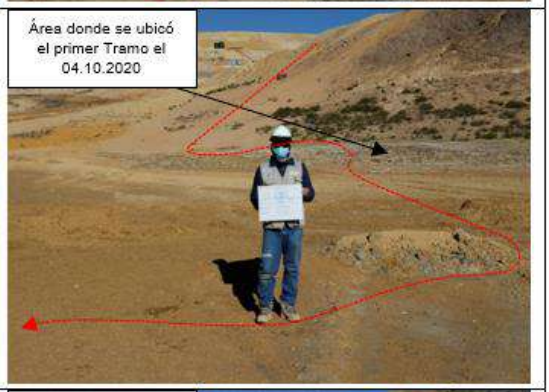
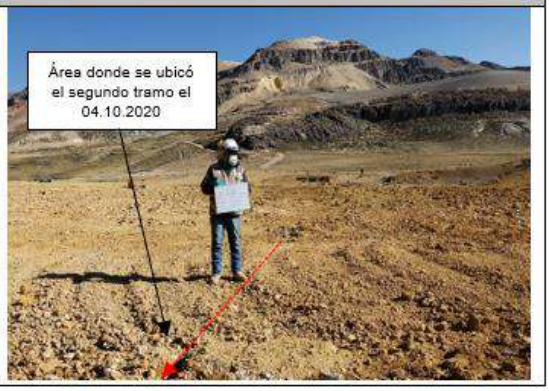
Filmación N° 6 (MVI_8733.MOV): Vista de la manga del segundo tramo y contigua a dicha manga había un material tipo "lodo" de coloración marrón diferente al suelo natural.

Figura 7.52. Vistas panorámicas de las áreas con presencia de lodo de color diferente al suelo natural

En la Figura 7.52, se visualiza panorámicamente las áreas con presencia de lodo de color diferente al suelo natural, así como la ubicación de las tuberías y mangueras (mangas) observadas durante la evaluación de la zona baja del wetland sur. Asimismo, en la Tabla 7.6 se precisan sus coordenadas y en la Figura 7.53 su ubicación.

Tabla 7.6. Coordenadas de las áreas con presencia de lodo de color diferente al suelo natural

Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19 K				Fotografías tomas el 05 de octubre de 2020
Punto	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
Primer Tramo				
MANG-0	371664	8167458	4847	
MANG-1	371606	8167493	4845	
MANG-2	371560	8167527	4824	

Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19 K				Fotografías tomas el 05 de octubre de 2020
Punto	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
MANG-3	371511	8167560	4812	
MANG-4	371449	8167574	4815	
MANG-5	371407	8167588	4811	
Segundo tramo				
TUB-5	371285	8167601	4810	

Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19 K				Fotografías tomas el 05 de octubre de 2020
Punto	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)	
TUB-4	371237	8167595	4810	
TUB-3*	371194	8167577	4807	
TUB-2*	371152	8167538	4801	
TUB-1*	371132	8167512	4792	

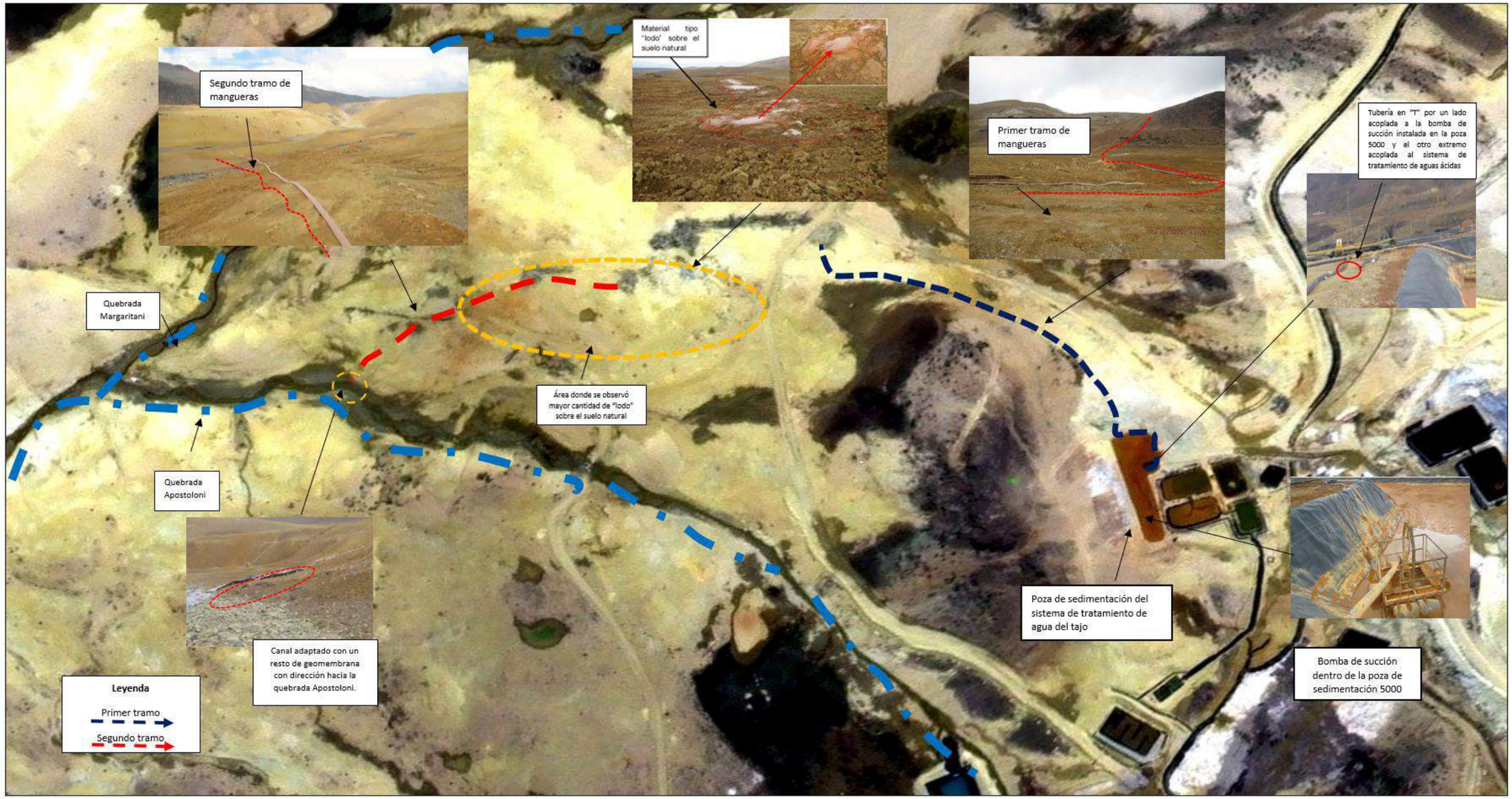


Figura 7.53. Vista panoramica de la ubicacion de las tuberias y mangueras (mangas) y lodo de color diferente al suelo natural identificadas en la parte baja del wetland sur

En el recorrido se identificaron 5 áreas con presencia de lodos de color marrón-rojizo, diferente al suelo natural, donde se establecieron las API II, API III, API IV, API V y API VI. Además, se tomó una muestra de lodo (ESP-5) en la poza de sedimentación N.° 5000 y otra muestra de lodo (ESP-22) a 3 m de la misma, para establecer su relación con el suelo de las API. Asimismo, se tomaron cinco (5) muestras como blancos de campo[67] y quince (15) muestras para calcular los niveles de fondo y los niveles de referencia; con la finalidad de determinar las concentraciones de metales del suelo natural. Lo descrito se puede observar en la Figura 7.54.

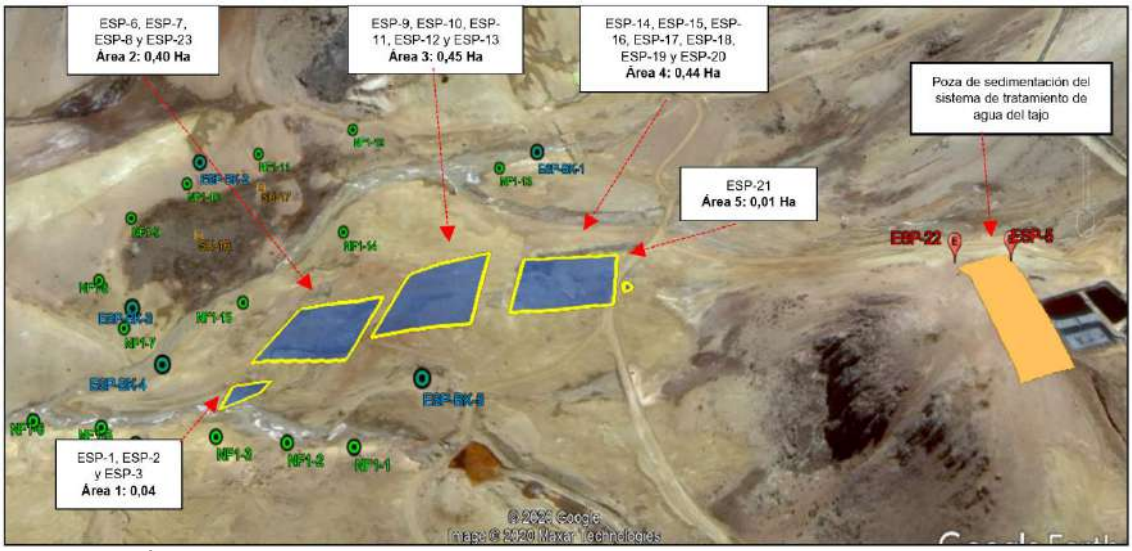


Figura 7.54. Áreas de potencial interés con presencia de lodos de una coloración distinta al suelo natural, identificadas durante presente evaluación (polígonos amarillos), ubicación de puntos de muestreo de lodos (rojo), niveles de fondo y referencia (verde) y blancos (celeste).

El suelo de las API, registró valores de pH ultra ácidos (pH<3,5) a muy fuertemente básicos (pH>9), estos últimos principalmente en las API IV y V (Figura 7.55). Estos valores de pH alcalinos concuerdan con los valores de pH obtenidos de los lodos de la poza de sedimentación N.° 5000; sin embargo, no concuerdan con los valores de pH de los puntos blancos, los cuales presentaron pH ácidos (Figura 7.56). Cabe precisar que, el área de estudio se encuentra establecida sobre la unidad de suelo Tucarirani Bajo[68], que presenta valores de pH extremadamente ácidos y una coloración pardo amarillenta[69].

67 Cabe señalar que los puntos blancos son representativos del área de estudio, debido a que se encuentran en el mismo tipo de suelo (unidad de suelo, Tucaricani bajo), así como en la misma geología local (morrenas y depósitos fluvioglaciarios), señalados en los mapas CSL-062300-1-AM-03 y CSL-062300-1-AM-06 del Plan de cierre de minas de la unidad minera Florencia (Tucari) aprobado mediante la Resolución Directoral N.°188-2009-MEM-AAM y en los mapas MM051-2015-MA-04 y MM051-2015-GE-02 detallados en la Cuarta modificación del Plan de cierre de minas de la unidad minera Florencia-Tucari aprobado mediante la Resolución Directoral N.° 286-2016-MEM-DGAAM.

68 Cuarta modificación del Plan de Cierre de Mina Unidad Minera Florencia-Tucari, aprobada mediante Resolución Directoral N.° 286-2016/MEM-AAM.

69 En la Cuarta modificación del Plan de cierre de minas de la unidad minera Florencia-Tucari aprobado mediante la Resolución Directoral N.° 286-2016-MEM-DGAAM, señala que la unidad de suelo Tucarirani Bajo presentó un pH ultra ácido a fuertemente ácido y coloración pardo amarillenta.

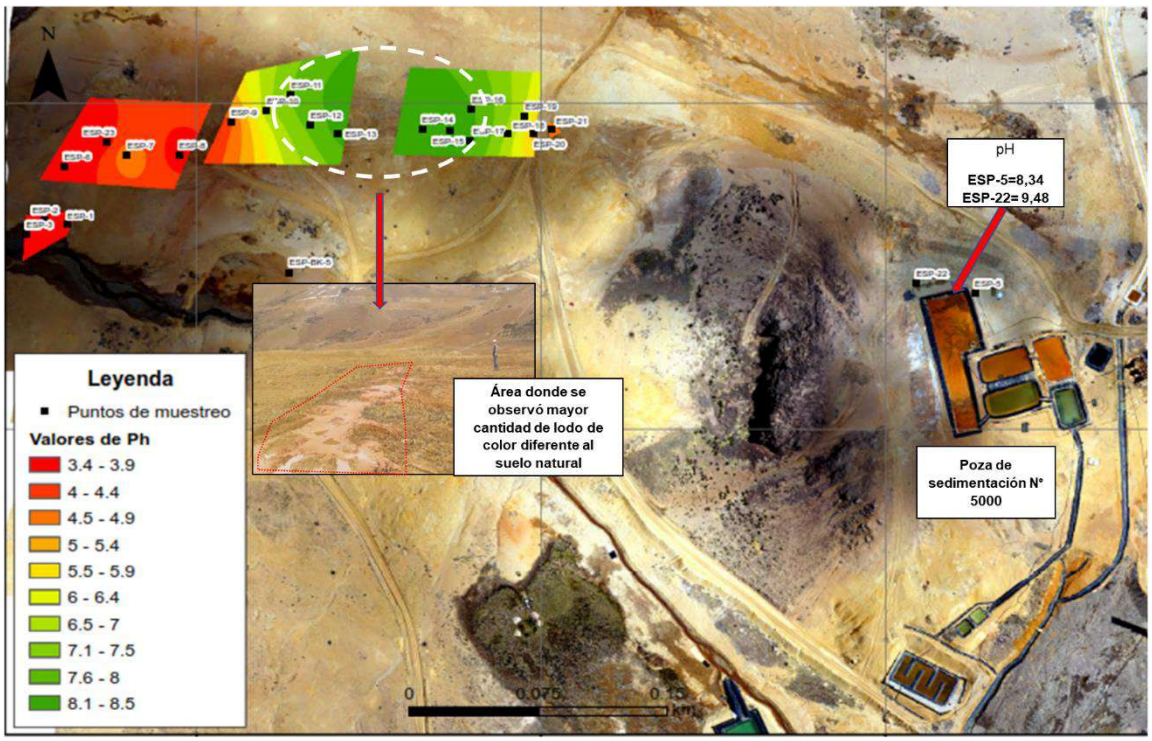


Figura 7.55. Valores de pH en áreas de potencial interés con presencia de lodos de una coloración distinta al suelo natural, identificadas durante presente evaluación.

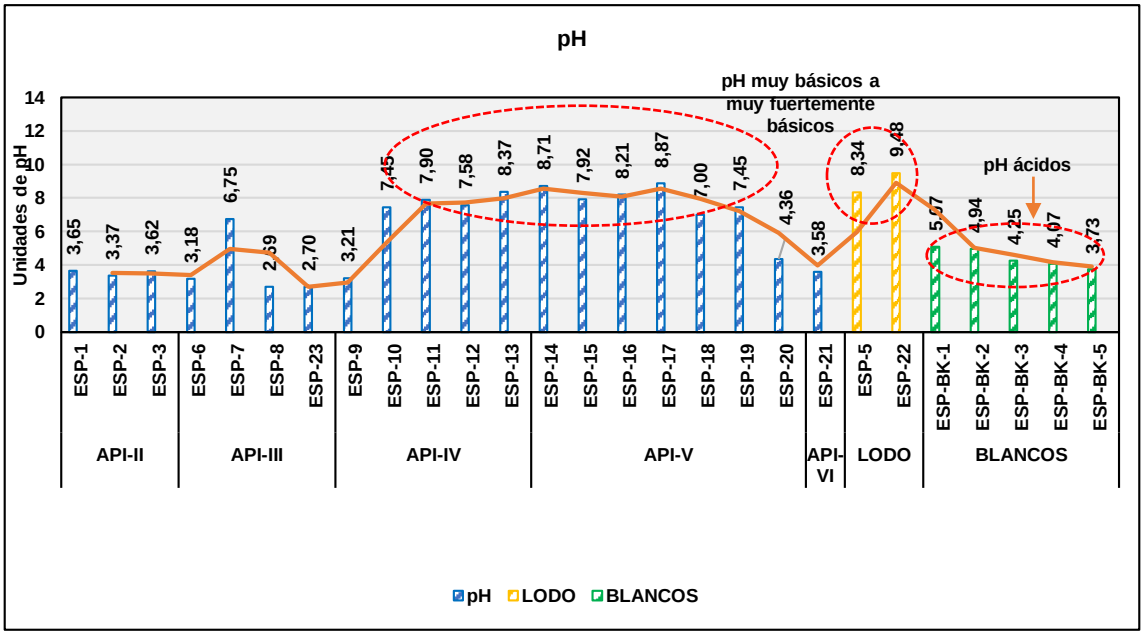


Figura 7.56. Comparación de pH de los puntos de muestreo de suelo de las API, lodos de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos.

Respecto a los resultados de metales, el arsénico fue el único elemento que presentó concentraciones que superaron los ECA para suelo de uso industrial en la mayoría de los puntos del API IV y API V; asimismo, se registraron las mayores concentraciones de cadmio, calcio, cobre, cobalto, hierro y níquel en estas dos API.

Cabe resaltar que estos metales presentaron concentraciones similares a las obtenidas en los puntos de ESP-5 y ESP-22, ubicados en la poza de sedimentación 5000 a 3 m de la misma, respectivamente. No obstante, los puntos blancos, presentaron menores concentraciones que las registradas en las API (Figuras 7.57 al 7.63).

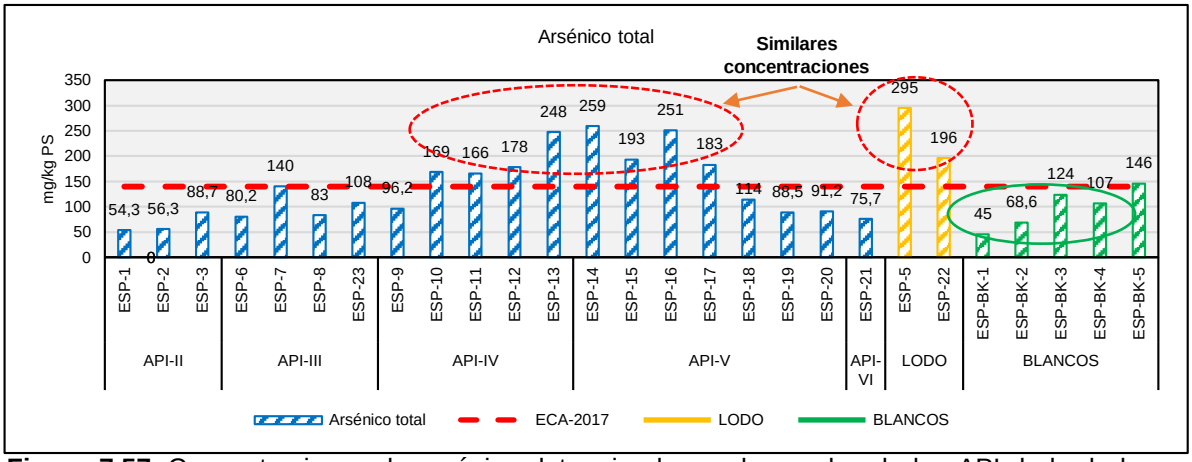


Figura 7.57. Concentraciones de arsénico determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos.

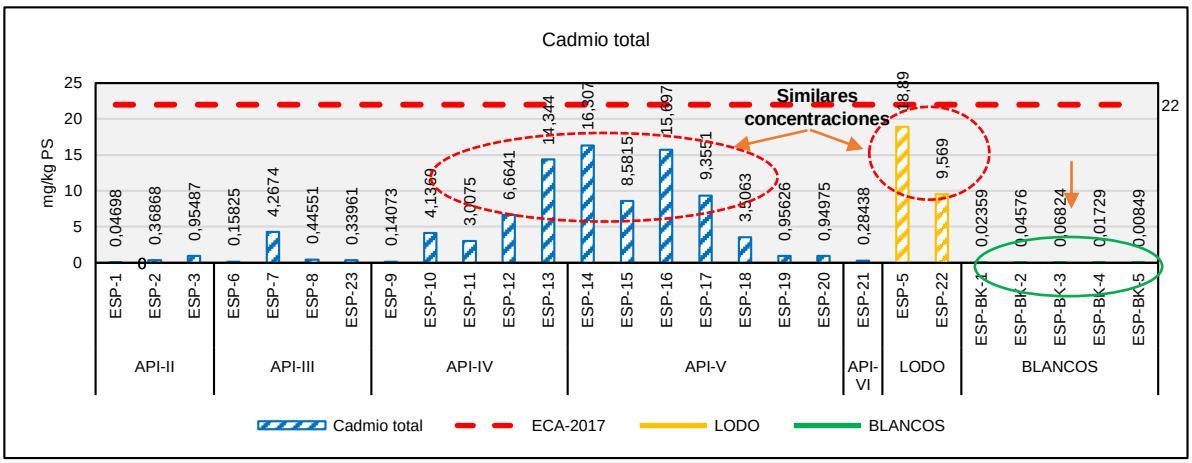


Figura 7.58. Concentraciones de arsénico determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos.

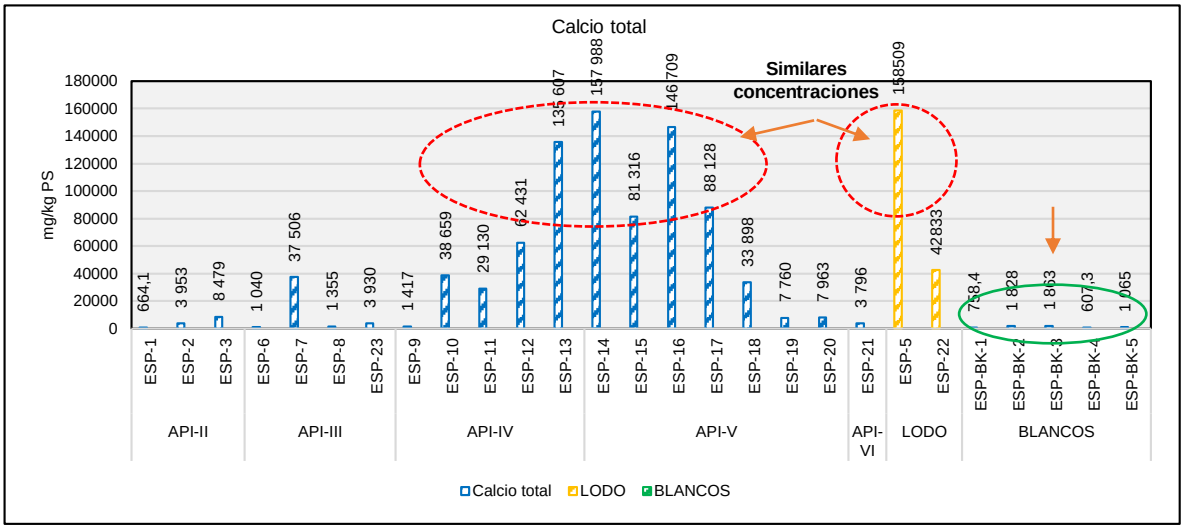


Figura 7.59. Concentraciones de calcio determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos.

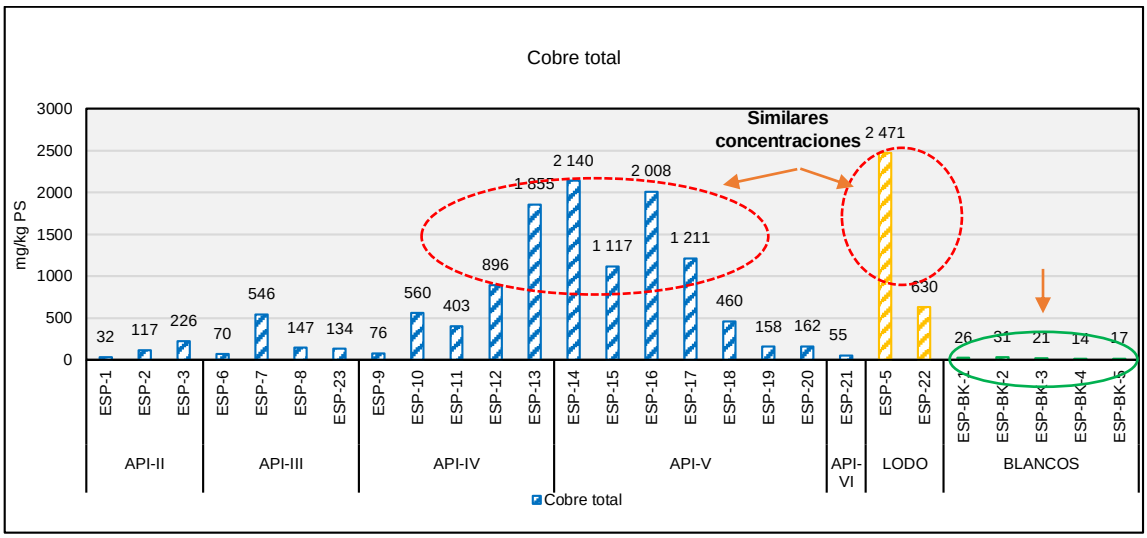


Figura 7.60. Concentraciones de cobre determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos.

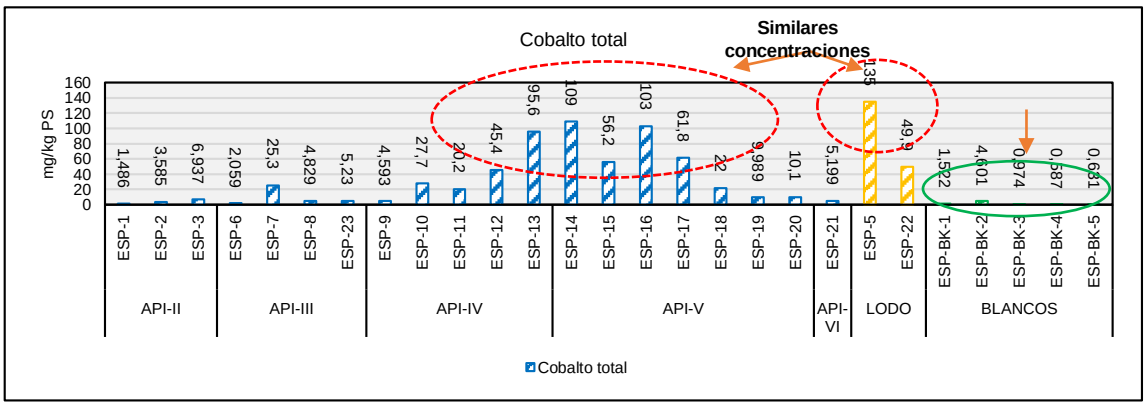


Figura 7.61. Concentraciones de cobalto determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos.

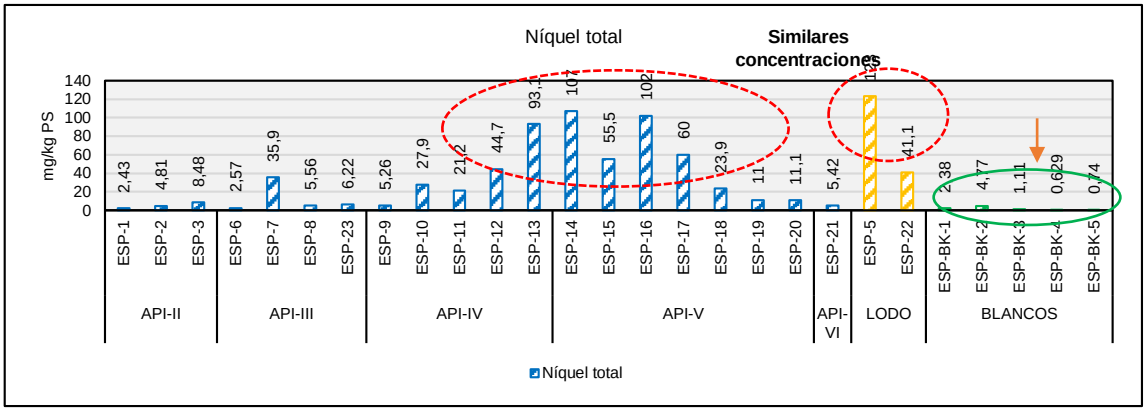


Figura 7.62. Concentraciones de níquel determinados en los suelos de las API, lodo de la poza de sedimentación 5000 y los puntos blancos.

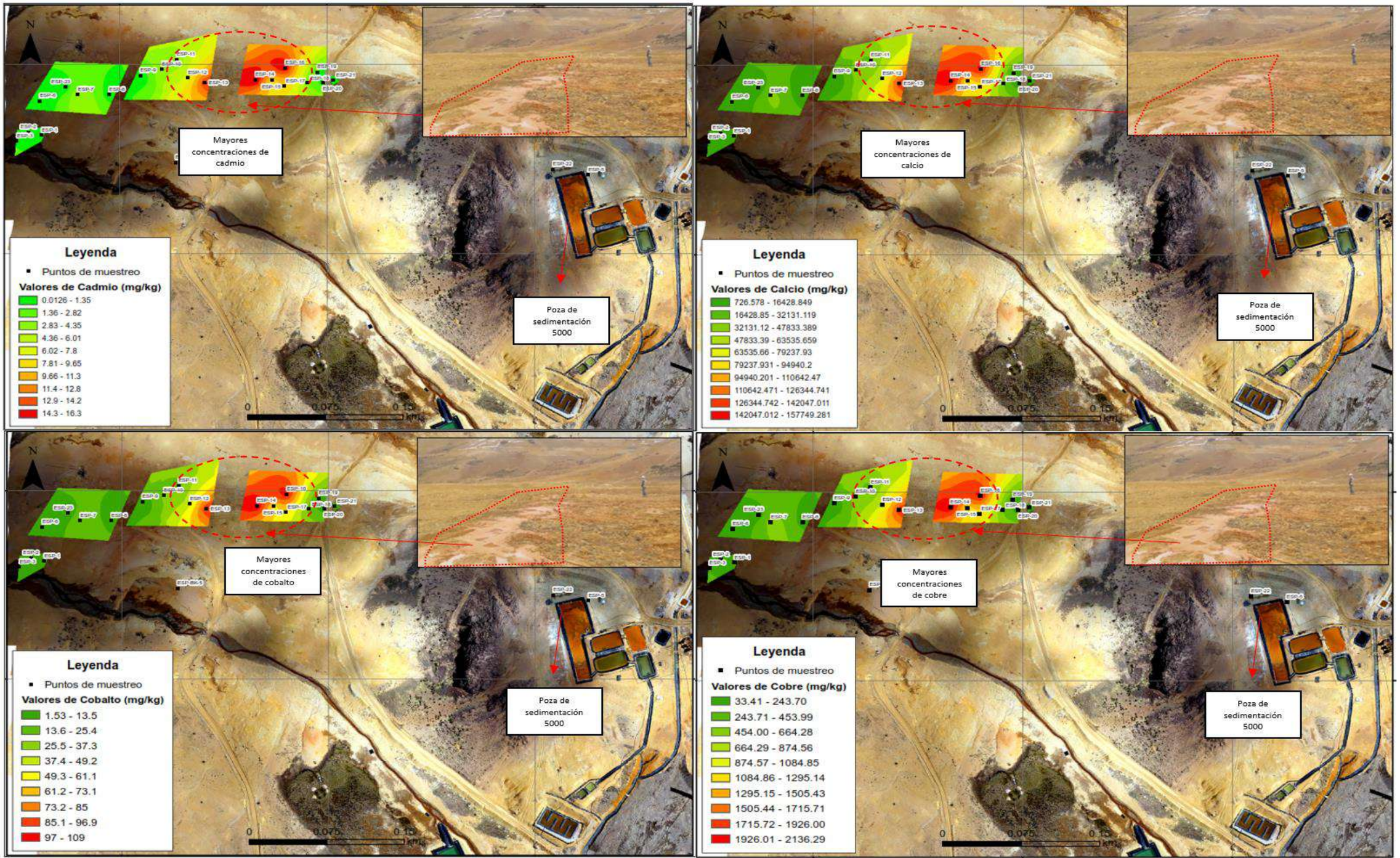


Figura 7.63. Distribución de concentraciones de a) cadmio, b) calcio, c) cobalto y d) cobre en las AHI evaluadas en las zonas baja del wetland sur

Las concentraciones de arsénico, calcio, cadmio, cobre, hierro, níquel y zinc reportadas en las API fueron comparadas con los valores de nivel de fondo y de referencia determinados en el presente estudio[70], observándose que dichos elementos exceden dichos valores en casi todos los puntos de muestreo de las API. Cabe resaltar que las mayores concentraciones de los elementos mencionados se registraron en las API IV y API V.

Estas elevadas concentraciones de calcio están relacionadas al proceso de neutralización del tratamiento de aguas ácidas, donde se usa como insumo la lechada de cal ($Ca(OH)_2$[71], la cual contiene el calcio en su fórmula. Además, el lodo proveniente de dicha poza se caracteriza por tener una concentración de calcio entre 42833 mg/kg y 158509 mg/kg, estos valores son similares a las concentraciones reportadas en las API (664,1 mg/kg – 157988 mg/kg) y difieren de los niveles de fondo (1812 mg/kg) y referencia (2984 mg/kg) de calcio en esta unidad de suelo (Tucarani Bajo).

Cabe resaltar que de acuerdo la caracterización geológica local de la zona de estudio, el suelo se encuentra emplazado en rocas volcánicas de composición andesítica y rocas piroclásticas (tobas) del Grupo Barroso, las cuales presentaron bajas concentraciones de calcio (GR-FT-21, GR-FT-22, GR-FT-23 y GR-FT-24), que no superaron el valor medio de la corteza superior (CST = 25658 mg/kg). Asimismo, la cantera de agregados (CA-AG-1), el material removido 2 (CA-AG-2), los puntos blanco (SU-BK-01 al SU-BK-05), los puntos de nivel de fondo y referencia (NF1-1 al NF1-15), y roca (geología local), ubicados en áreas colindantes a las API, tambien presentaron bajas concentraciones de calcio, en comparación con las API (especialmente las API IV y V), Figura 7.64.

Por lo expuesto, el suelo de las API está contaminado por lodos provenientes de la poza de sedimentación N.º 5 o 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur, los cuales fueron depósitos mediante el uso de mangas y mangueras (línea de conducción que finalizaba en la margen derecha de la quebrada Apostoloni).

---

70 Informe N. ° 251-2020-OEFA-DEAM-STEC. Determinación de los valores de nivel de fondo y referencia para metales y metaloides de los suelos consociación de suelos denominada Tucarirani bajo

71 Registro N° 2020-E01-085173

MEMORIA DESCRIPTIVA SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS TAJO TUCARI
(…)

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL
El sistema de tratamiento inicia su proceso con el tratamiento de los efluentes (aguas ácidas) proveniente de depósito de desmonte y el tajo Tucari. Actualmente se viene operando con una tasa de tratamiento promedio de 25 m3/h. El objetivo es tratar las aguas acidas mediante el proceso de neutralización con lechada de cal, y previa dosificación enviar el efluente a las pozas de sedimentación.

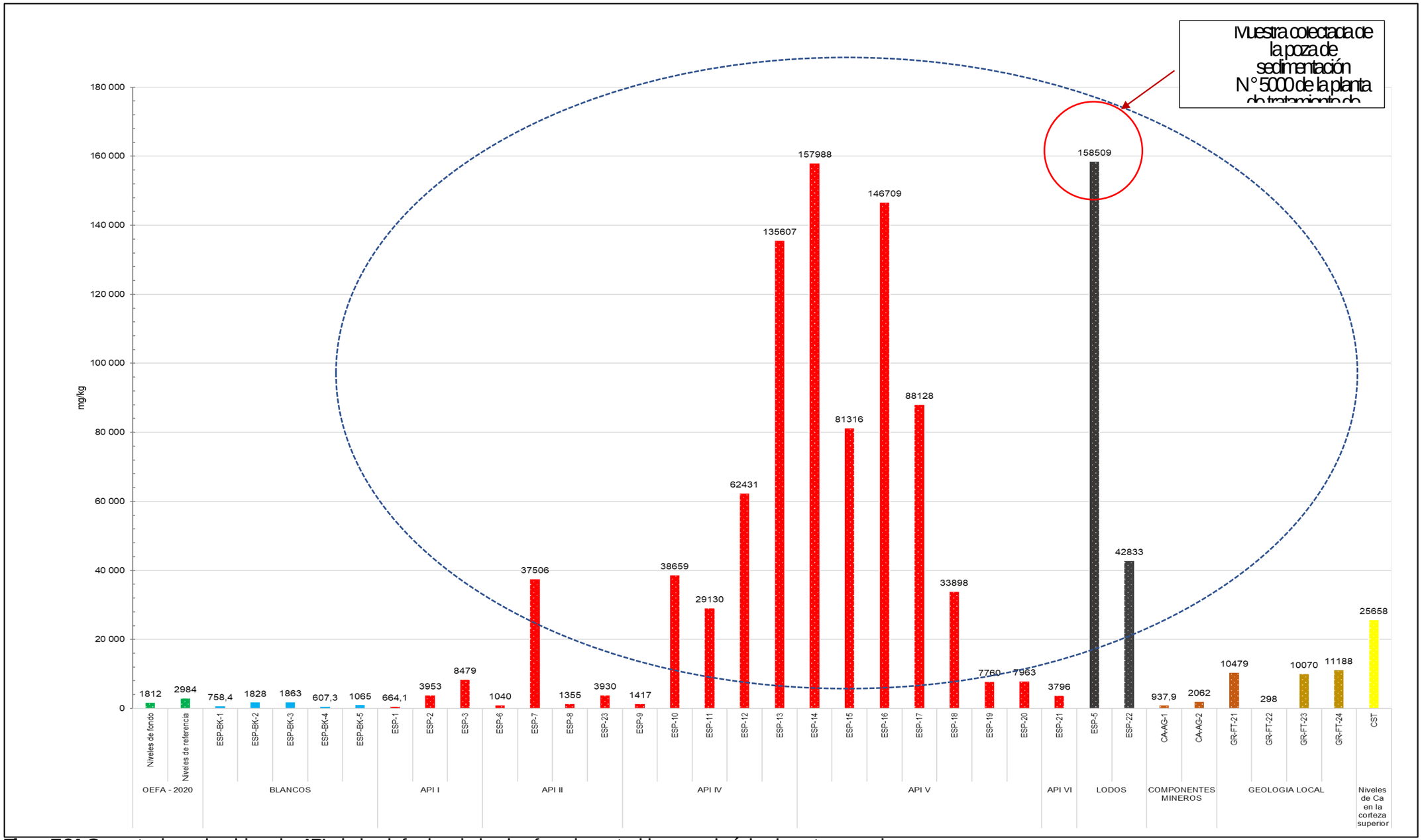


Figura 7.64. Concentraciones de calcio en las API, niveles de fondo y niveles de referencia, puntos blanco, geología local y corteza superior

Por otra parte, se realizó el análisis comparativo de imágenes satelitales Spot y PeruSAT-1 de los meses abril, mayo, junio y diciembre de 2020 (Figura 7.65), para verificar si ha existido eventos de derrames de lodos similares a los que se identificó en la presente evaluación.

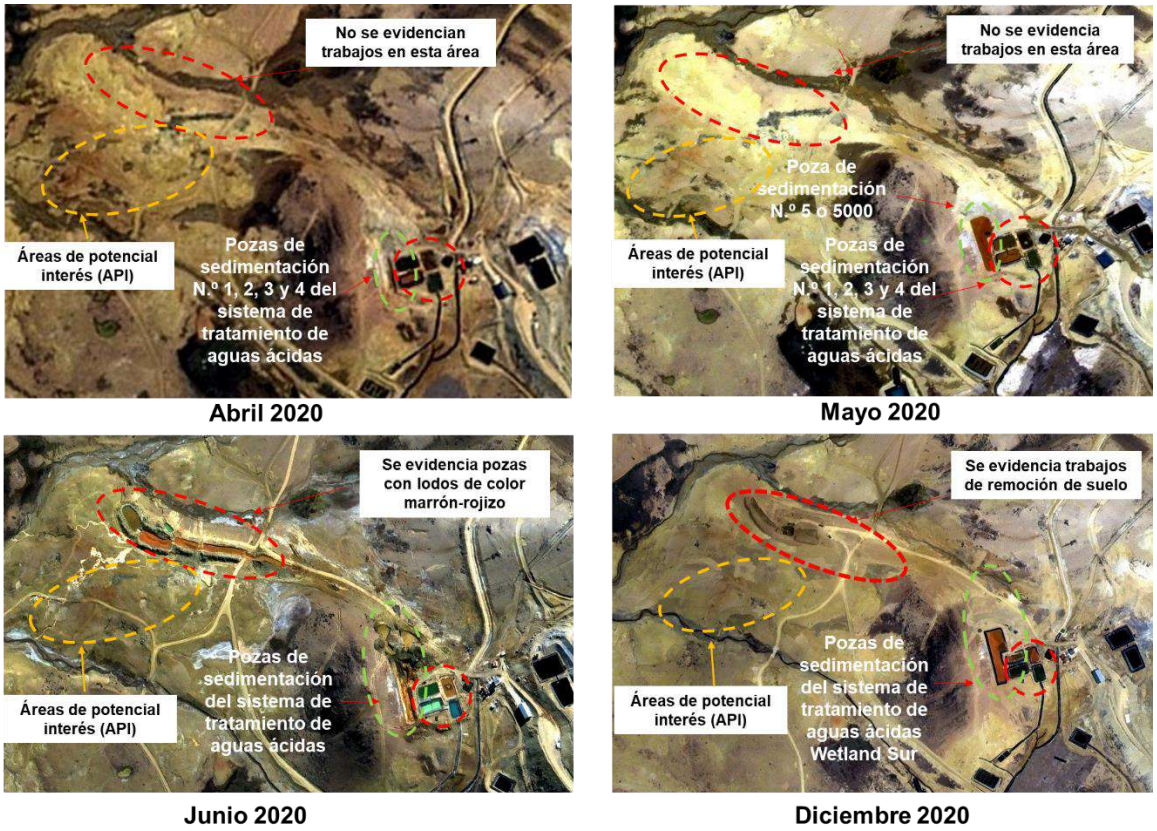


Figura 7.65. Análisis comparativo con imágenes satelitales de la presencia de una mancha de color marrón-rojizo, sobre la superficie del suelo aledaño a las API ubicados en la zona baja del wetland sur en los meses de a) abril, b) mayo, c) junio y d) diciembre de 2020.
Fuente: Spot (abril) y PeruSAT-1 (mayo, junio y diciembre).

En la Figura 7.65a se observa la imagen satelital de abril donde no se aprecian trabajos en las API ni en zonas aledañas, lográndose apreciar el inicio de la construcción de la poza de sedimentación 5000. En mayo, se observa dicha poza ya implementada, pero sin cobertura de geomembrana y con lodos dispuestos en ella (Figura 7.65b). Luego en junio se evidencia la apertura de zanjas al norte de la poza 5000, así como de pozas al norte de las API de la zona baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo-wetland sur (Figura 7.65c). Finalmente, en diciembre, se observa nuevamente excavaciones del terreno al norte de las API identificadas (Figura 7.65d). Cabe indicar que, en esta zona no existen componentes a implementar aprobados para Aruntani S.A.C., tal como se puede observar en la Figura 7.66. Por lo tanto, según los resultados de suelo y el análisis de las imágenes satelitales se evidencia que Aruntani viene depositando lodo de forma sistemática sobre el suelo natural de la zona baja del wetland sur.

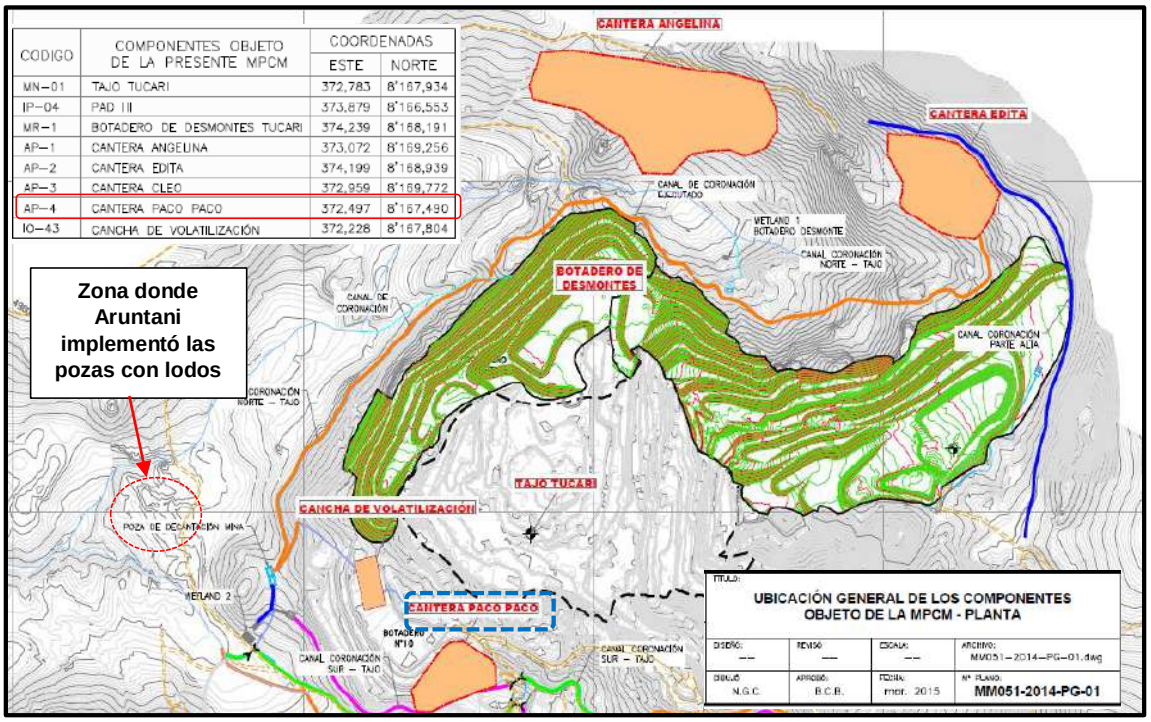


Figura 7.66. Plano de ubicación de componentes de la unidad Florencia-Tucari
Fuente: Tercera Modificación del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera "Florencia-Tucari" aprobado mediante la Resolución Directoral N° 382-2015-MEM-DGAAM del 01 de octubre de 2015.

Respecto a la evaluación de calidad de agua, la naciente de la quebrada Apostoloni Norte (TU-12 y AG-25) presentó bajas concentraciones de arsénico y cobre que no excedieron los ECA para agua Cat 3. No obstante, presentó altas concentraciones de otros elementos como Al, Fe, Mn, Co, Ni y Zn que excedieron ligeramente el mencionado estándar, lo que se relaciona a la presencia de DAR en la naciente.

Después se observa un cambio en la coloración del agua y un notorio incremento en las concentraciones de sulfatos y metales como arsénico, cobre, cadmio, zinc, níquel, mercurio y cobalto entre los puntos AG-25 y TU-04 (Tabla 7.7), ubicados en la quebrada Apostoloni Norte (aguas de no contacto), cuyo curso recorre la parte baja de la ampliación del depósito de desmonte (zonas 10, Hechadero y Disal), Figura 7.67.

Tabla 7.7. Concentraciones de metales totales en la quebrada Apostoloni Norte (aguas de no contacto), aguas arriba y debajo de la ampliación del depósito de desmonte

Cuerpo de agua		**Quebrada Apostoloni Norte**		**% de incremento de AG 25 a TU-04**	**ECA para Agua 2017(1)**	
Código		**AG-25**	**TU-04**			
Parámetro	**Unidad**	Aguas arriba (naciente)	Aguas abajo		**D1**	**D2**
Arsénico total	mg/L	0,00947	0,98481	**10299%**	0,1	0,2
Cadmio total	mg/L	0,01395	0,15713	**1026%**	0,01	0,05
Cobalto total	mg/L	0,93192	1,7299	**86%**	0,05	1
Cobre total	mg/L	0,4101	20,97	**5013%**	0,2	0,5
Mercurio total	mg/L	0,003617	0,013335	**269%**	0,001	0,01
Níquel total	mg/L	0,6807	1,376	**102%**	0,2	1
Zinc total	mg/L	2,11	14,7	**597%**	2	24

(1) Estándares Nacionales de calidad ambiental para Agua Categoría 3, riego de vegetales y bebida de animales, D.S. N.° 004-2017-MINAM
Subcategoría D1: Riego de vegetales
Subcategoría D2: Bebida de animales

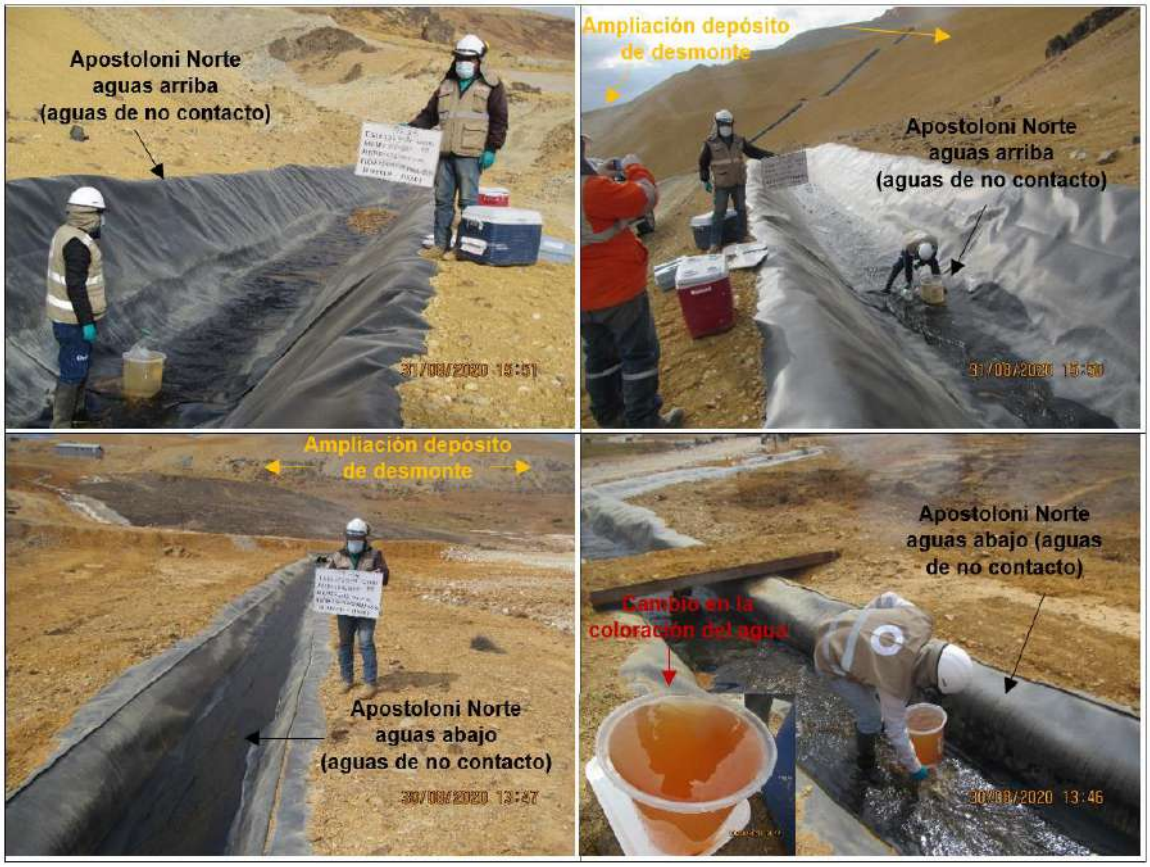


Figura 7.67. Vistas de las muestras colectadas en la quebrada Apostoloni Norte: a) y b) aguas arriba y c) y d) aguas abajo de la ampliación del depósito de desmonte, nótese el cambio en la coloración del agua

Tal como se menciona en los párrafos anteriores, la quebrada Apostoloni Norte, canalizada con geomembrana, debería mantener sus características a lo largo de todo su recorrido, ya que corresponde a un canal de aguas de no contacto, que según su diseño no presenta algún tipo de aporte (Figura 7.68).

En ese sentido, el análisis geomorfológico evidencia que la ampliación del depósito de desmonte (zona Hechadero) presenta flujos superficiales paralelos que descargan en la quebrada Apostoloni Norte, canal de coronación del PAD 3 lado norte, que recibe agua de la naciente de la quebrada en mención (aguas de no contacto), dichos desmontes no cuentan con cobertura tipo 1[72] (0,30 m de material morrénico), son generadores de acidez y lixivian sulfatos y metales, principalmente cobre y arsénico; además, de acuerdo a las imágenes aéreas (ortomosaico) se observa acumulaciones de agua coloración rojiza en la ampliación del depósito de desmonte zona 10 (Figura 7.69).

Según el plano de aguas contacto y no contacto (PHT-01)[73], el trazo del canal de aguas de no contacto debería abarcar la ampliación del depósito de desmonte (zona 10, Hechadero y Disal); sin embargo, este canal de mampostería solo abarca la zona 10 y parcialmente la zona Hechadero, captando en parte las aguas acidas de coloración rojiza hacia la poza de colección intermedia que fue caracterizada en el punto ARI-05, presentando elevadas concentraciones de cobre, arsénico, cadmio y zinc (DAM) que excedieron referencialmente los LMP.

[72] Resolución Directoral N.° 382-2015-MEM-DGAAM que a aprobó la 3MPCM Tucari 2015
[73] Expediente 0224-2017-DS-MIN

Por tanto, el incremento de sulfatos, cobre, mercurio y arsénico están asociados a las actividades mineras, ya que ampliación del depósito de desmonte (zona 10 y Hechadero) genera drenaje acido de mina, los cuales no son captados en su totalidad por el canal de coronación lado sur y parte de los mismos llegan por flujos superficiales hacia la quebrada Apostoloni Norte (canal de aguas de no contacto), Figura 7.70 y 7.71.

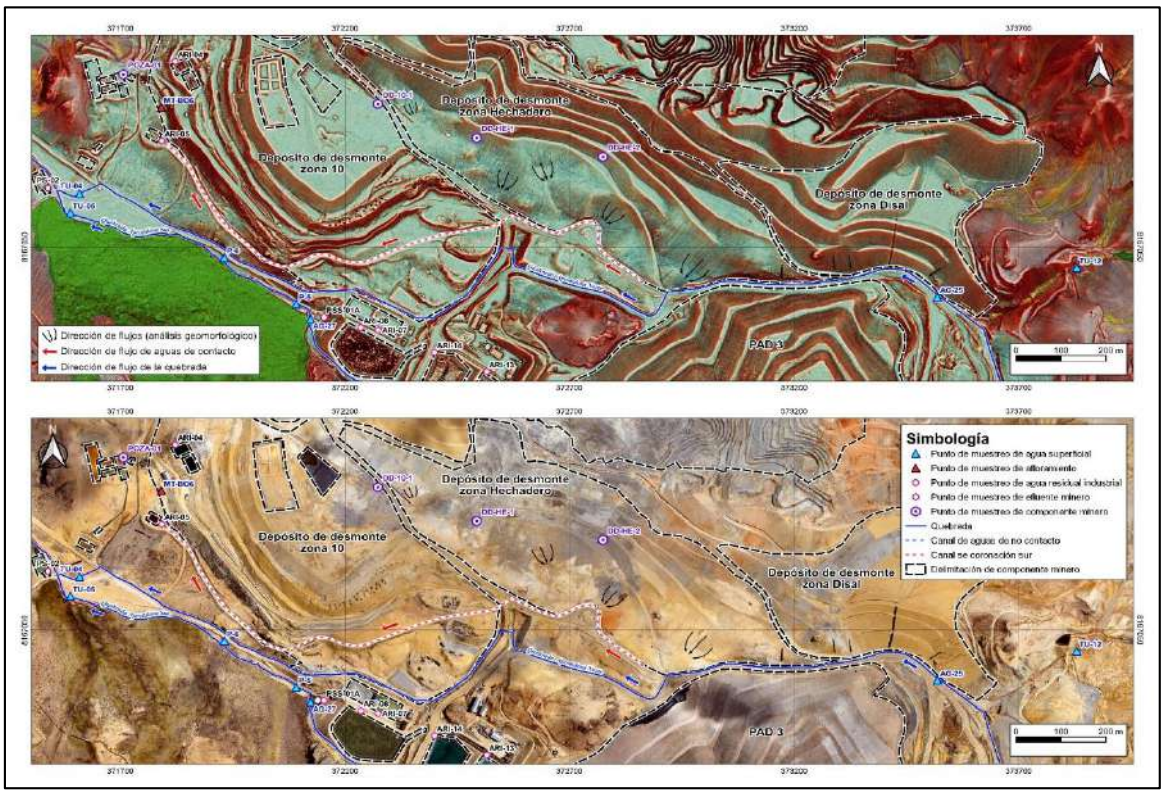


Figura 7.68. Mapa geomorfológico (superior) y de ubicación (inferior) donde se presentan flujos superficiales que llegan al canal de la quebrada Apostoloni Norte en el tramo desde el punto AG-25 hasta el Punto TU-04.

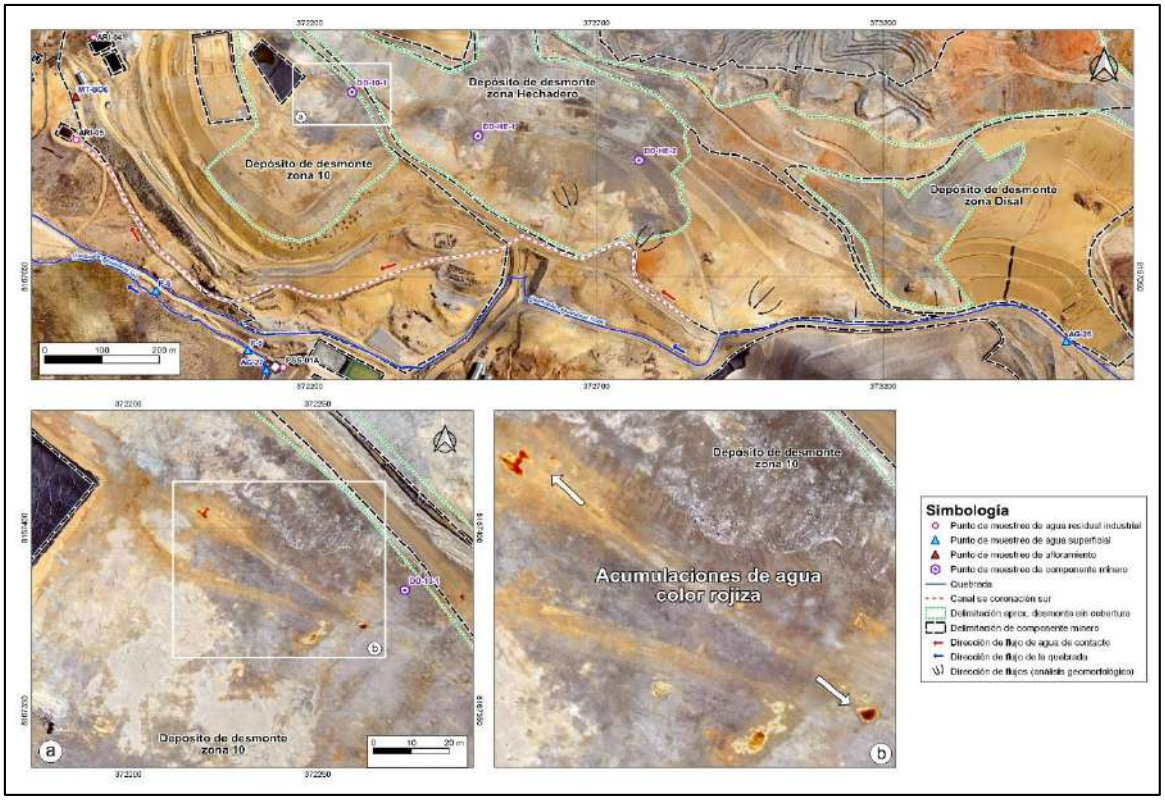


Figura 7.69. Vistas de ortomosaico con la delimitación de los componentes sin cobertura y presencia de acumulaciones de agua de coloración rojiza.
Fuente: Elaborado a partir del ortomosaico (Anexo 14) y Plano PHT-01.

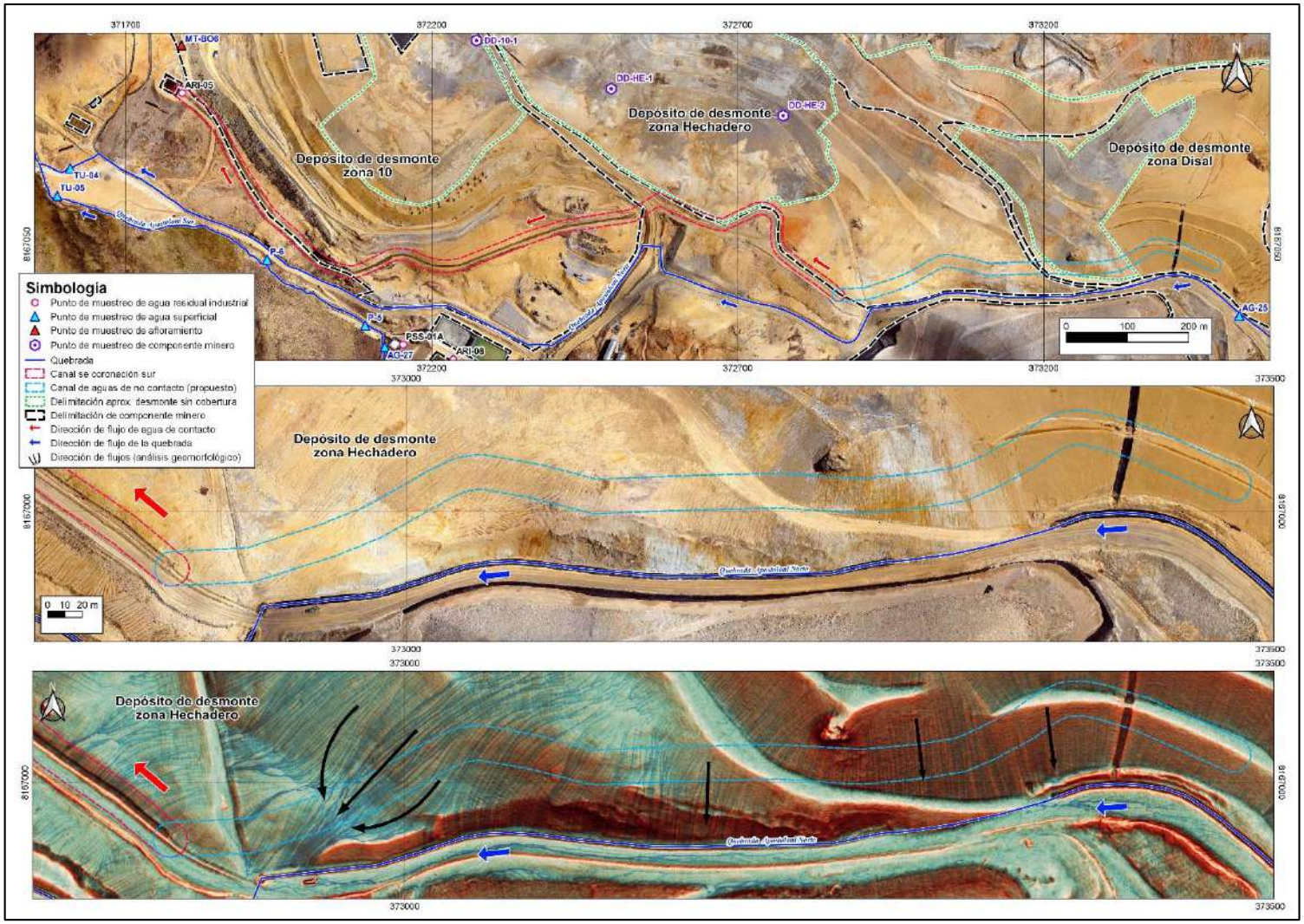


Figura 7.70. Flujos superficiales provenientes del depósito de desmonte zona Hechadero que llegan a la quebrada Apostoloni Norte



Figura 7.71. Depósito de desmonte zona Disal sin cobertura y sin presencia del canal de aguas de no contacto, los flujos superficiales llegan a la quebrada Apostoloni Norte

Posteriormente, también se ha evidenciado un incremento en la concentración de metales en agua, principalmente arsénico, cobre, mercurio, zinc y níquel entre los puntos TU-05 y AG-30, luego del aporte de la quebrada Apostoloni Norte (TU-04). Aguas abajo no se observan cambios significativos en el agua de la quebrada Apostoloni desde AG-30 hasta antes de la confluencia con la quebrada Margaritani (E-2), Figura 7.72.



Figura 7.72. Incremento en las concentraciones de sulfatos y metales en la quebrada Apostoloni luego del aporte de la quebrada canalizada Apostoloni Norte

Aporte de la quebrada Apostoloni Norte (aguas de no contacto)

De acuerdo a los registros históricos de agua desde el 2007 al 2020, en la naciente de la quebrada Apostoloni Norte, reportados por el administrado (E-12 y M-2) y el OEFA (TU-12 y AG-25), las concentraciones de sulfatos y metales como cobre, arsénico, aluminio, cadmio, cobalto, hierro, níquel y zinc se mantienen constantes en el periodo de tiempo indicado. Similar comportamiento se observa en la quebrada Apostoloni Sur, según lo reportado por el administrado (E-13 y MA-4) y el OEFA (AG-26) entre el 2009 y 2020 (Figuras 7.73 y 7.74). Lo que sugiere que el derretimiento del nevado Corini, no tiene influencia sobre las características del agua de la naciente de esta quebrada.

En cambio, en la quebrada Apostoloni, aguas abajo de la confluencia de las quebradas Apostoloni Norte y Sur, se observa un radical incremento en las concentraciones de sulfatos y metales como cobre, arsénico, aluminio, cadmio, cobalto, hierro, níquel y zinc a partir del 2015 al 2020, según los datos históricos desde el 2002 hasta el 2020 para las estaciones del administrado (E-2, MA-5 y P-7) y el OEFA (TU-11 y E-2), Figura 7.75. Dado que la quebrada Apostoloni Norte está influenciada por aportes de lixiviados de la ampliación del depósito de desmonte zona 10 y Hechadero.



Figura 7.73. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-12 y M-2), ANA (1318QAposs1) y el OEFA (TU-12 y AG-25) en la naciente de la quebrada Apostoloni Norte: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro.
Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos de los puntos ubicados en la naciente de la quebrada Apostoloni Norte.

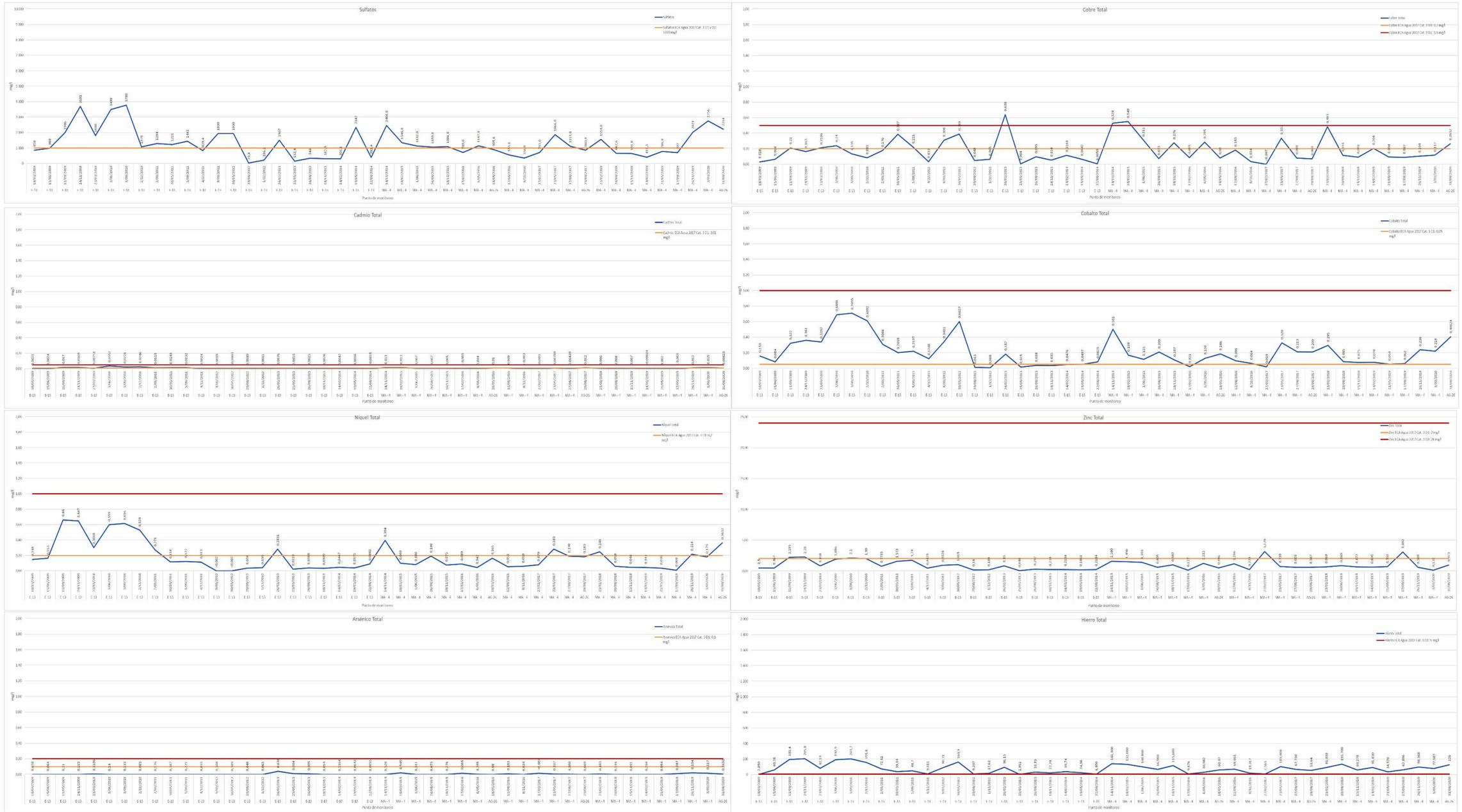
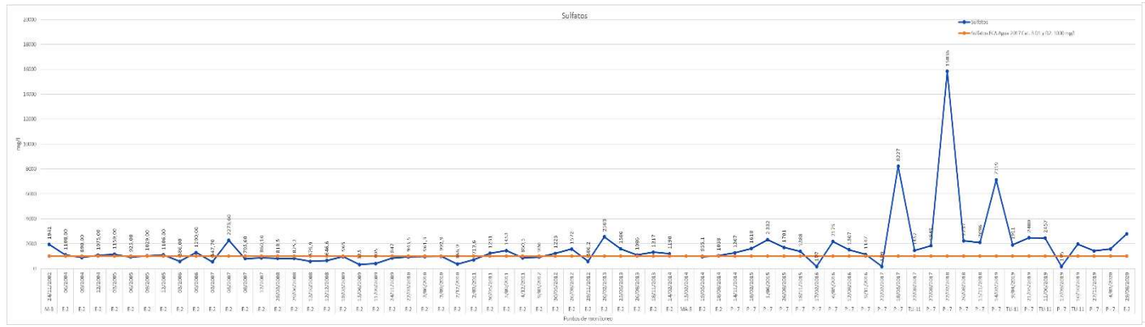
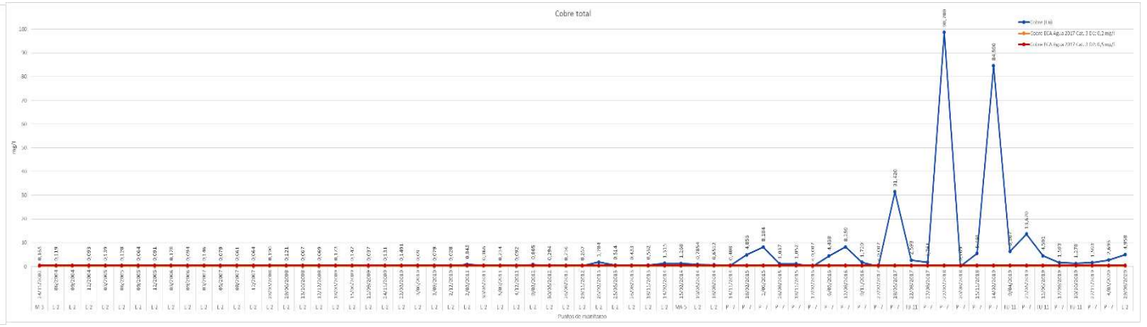
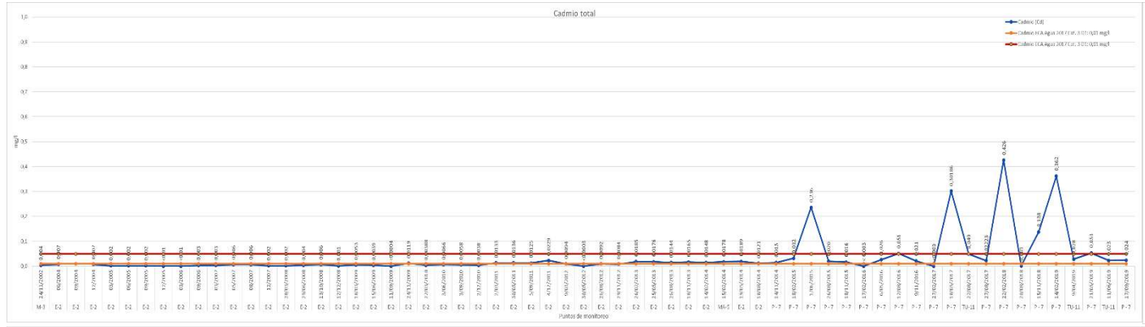
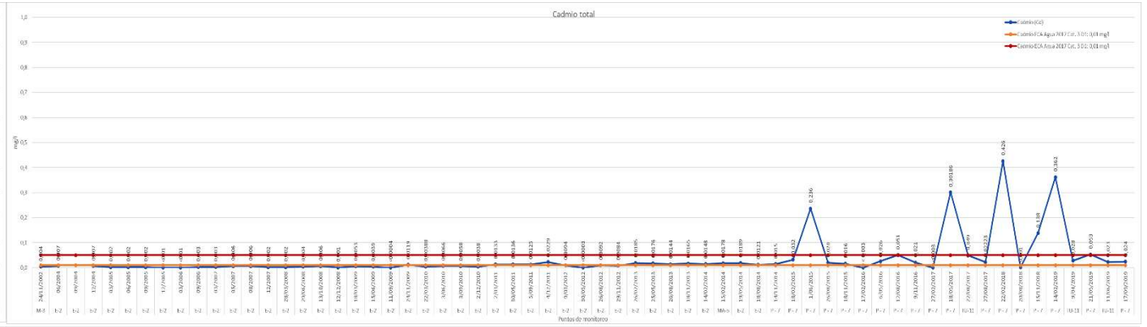


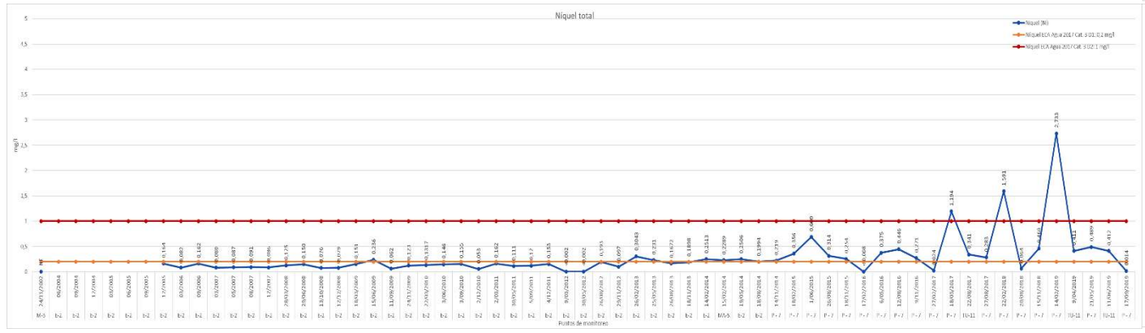
Figura 7.74. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-13 y MA-4) y el OEFA (AG-26) en la naciente de la quebrada Apostoloni Sur: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro.
Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos de los puntos ubicados en la naciente de la quebrada Apostoloni Sur.

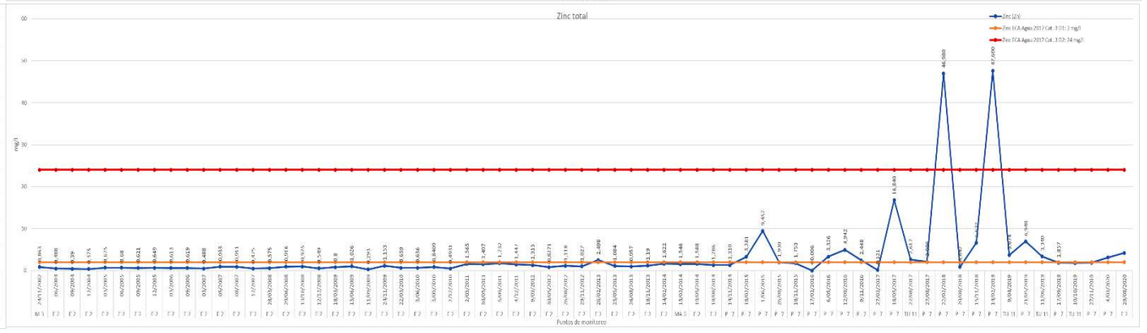


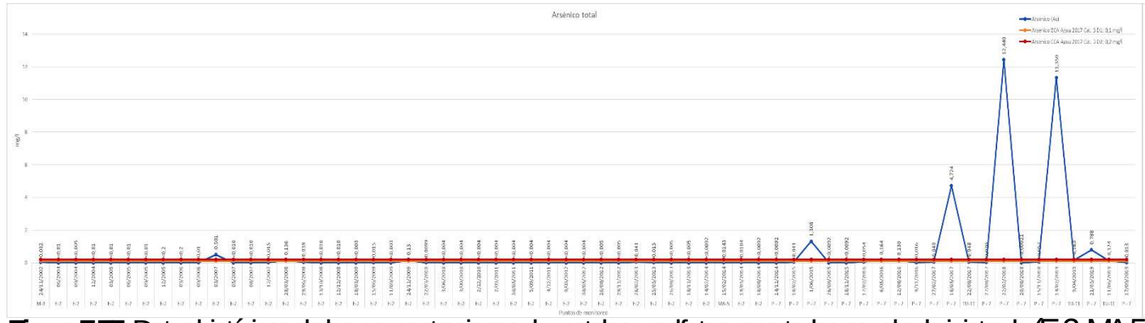












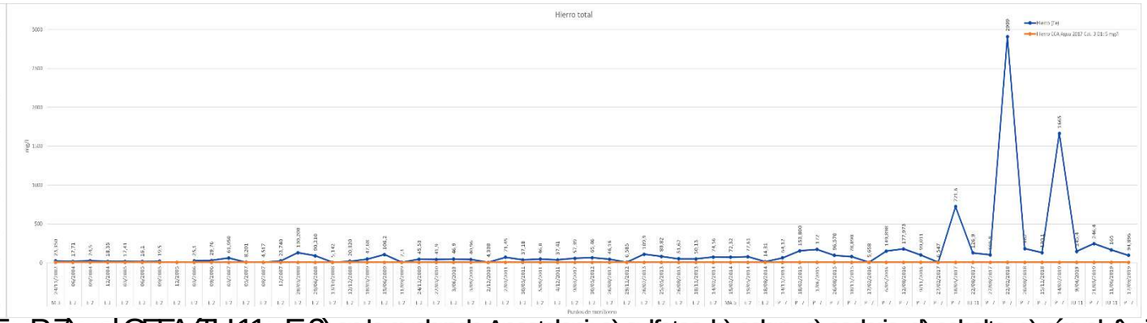


Figura 7.75. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-2, MA-5 y P-7) y el OEFA (TU-11 y E-2) en la quebrada Apostoloni: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro.
Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos de los puntos ubicados en la naciente de la quebrada Apostoloni Sur.

La Tabla 7.8 muestra los porcentajes de excedencia de las concentraciones de sulfatos y metales con respecto a los ECA para agua Cat. 3 (2017), para los valores mínimos y máximos reportados en los puntos de monitoreo ubicados en la naciente de las quebradas Apostoloni Norte y Sur, aguas arriba de los componentes mineros; y en la quebrada Apostoloni, ubicada aguas abajo de los componentes mineros, durante los periodos comprendidos entre el 2002 y 2020, donde se observa que los mayores porcentajes de excedencia de los ECA para agua Cat 3. D1 y D2, de sulfatos y metales se presentaron en la quebrada Apostoloni aguas abajo de los componentes mineros, a excepción del aluminio, que fue mayor en la naciente Apostoloni Norte.

Tabla 7.8. Porcentaje de excedencia de los ECA para agua para los valores mínimos y máximos reportados en las quebradas Apostoloni Norte, Apostoloni Sur y Apostoloni entre el 2002 al 2020.

Cuerpo de agua	Q. Apostoloni Sur (Aguas arriba)		% excedencia en comparación con los ECA para Agua Cat. 3	Q. Apostoloni Norte (Aguas arriba)		% excedencia en comparación con los ECA para Agua Cat. 3	Q. Apostoloni Aguas abajo		% excedencia en comparación con los ECA para Agua Cat. 3	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua	
Código de muestra	E-13 -MA-4 / AG-26			E-12 – M-2 / TU-12 -AG-25			E-2 – MA-5 – P-7 / TU -11 - E-2			D.S. N° 004-2017-MINAM Categoría 3	
Periodo	2009-2020			2007-2020			2002-2020				
Parámetros	Mínimo	Máxima		Mínimo	Máxima		Mínimo	Máxima		D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Potencial de hidrógeno	2,7	7,2	-	2,64	6,45	-	2,24	5,86	-	6,5-8,5	6,5-8,4
Conductividad eléctrica	215,8	4140	65,6%	303	4960	98,4%	257,6	10290	105,8%	2500	5000
Sulfatos	23,4	3780	278%	50,33	5078	407,8%	175	15836	1483,6%	1000	1000
Aluminio (Al)	5,298	446	8820%	1,995	1273	25360%	11,24	1009	20080%	5	5
Arsénico (As)	<0,00021	0,039	NE	<0,00021	0,27018	35,09%	<0,00021	12,44	6120%	0,1	0,2
Cadmio (Cd)	<0,0003	0,0352	NE	<0,00024	0,0776	55,20%	<0,0004	0,42601	752,02%	0,01	0,05
Cobalto (Co)	<0,0007	0,7095	1319%	0,004	1,385	38,50%	<0,001	3,064	206,4%	0,05	1
Cobre (Cu)	<0,002	0,638	27,6%	<0,007	0,696	39,20%	< 0,007	98,7	19640%	0,2	0,5
Cromo (Cr)	<0,0008	0,089	NE	<0,00023	0,13289	32,89%	<0,0008	0,1589	58,9%	0,1	1
Hierro (Fe)	2,859	205,8	4016%	1,099	481,5	9530%	4,338	2909	58080%	5	**
Mercurio (Hg)	< 0,00003	0,0007	NE	< 0,00003	0,003617	261,7%	< 0,00003	0,0348	248%	0,001	0,01
Níquel (Ni)	<0,002	0,66	230%	<0,002	0,87009	335,05%	<0,002	2,733	173,3%	0,2	1
Plomo (Pb)	< 0,00006	0,034	NE	<0,00026	0,039	NE	<0,00026	1,532	2964%	0,05	0,05
Zinc (Zn)	0,048	3,129	56,45%	0,009	7,164	258,20%	< 0,006	47,6	98,3%	2	24

Excede los ECA para Agua Cat. 3 Subcategoría D1: Riego de vegetales.

Excede los ECA para Agua Cat. 3 Subcategoría D2: Bebida de animales.

Fuente: Anexo 11 Registro de datos histórico en la UH Coralaque

De modo que, se puede indicar la influencia de drenaje acido de mina (DAM) en la quebrada Apostoloni, aguas abajo de la ampliación del depósito de desmonte, y de drenaje acido de roca (DAR) en la naciente de la quebrada Apostoloni.

El incremento de las concentraciones de los elementos mencionados en el sector de la quebrada Apostoloni (AG-30), se debe al aporte de flujos de agua subterránea desde el sector de los componentes mineros (depósitos de desmonte 10, zona Hechadero y tajo) hacia la quebrada Apostoloni, como se menciona en estudio hidrogeológico[74] del año 2013, que indica las zonas de recarga y descarga de flujos. *«El relieve topográfico juega un papel importante en la recarga del acuífero, la fuente de toda el agua subterránea en el área de estudio es la infiltración de la precipitación. Esta infiltración ocurre en casi toda el área de la concesión, excluyendo solo aquellos puntos en donde el agua subterránea descarga en la superficie. El agua que se infiltra a nivel subterráneo (precipitación que no es perdida por evaporación o escorrentía superficial) fluye aguas abajo y lateralmente hacia el fondo de los drenajes donde descarga al flujo de agua superficial. Una cantidad muy pequeña también descarga en manantiales locales de agua subterránea. La tasa de recarga del agua subterránea es bajo comparada con la precipitación anual dado que los valores típicos en la sierra peruana van entre el 10% a 20% de la precipitación. Muchas partes del área están cubiertas con suelos de baja permeabilidad que incrementan significativamente el agua de escorrentía superficial cuando hay lluvia y reducen la infiltración subterránea. Las zonas de descarga del agua subterránea dentro de la zona de estudio son la quebrada Apostoloni y del río Margaritani. El flujo base, es decir los volúmenes de agua subterránea y deshielo de nevados, representa entre el 22.31% y 23.29% del caudal medio anual para el área de estudio.»*

Cabe precisar que actualmente las zonas de recarga incluyen a los sectores del tajo y depósito de desmonte (zona 10 y zona Hechadero) los cuales no presentan material de cobertura (verificada durante la evaluación 2020 y Figura 7.75) y según la caracterización mineralógica, los materiales presentan sulfuros de hierro (pirita, marcasita y pirrotita), sulfuros de plomo (galena) y sulfuros de zinc (esfalerita), además, el material de los componentes mineros son potenciales generadores de acidez (prueba ABA), lixivian elevadas concentraciones de sulfatos (1719 mg/L a 8 276 mg/L), arsénico , cobre, hierro, plomo y zinc, generando drenaje ácido de mina (DAM), además el hierro es el elemento más soluble que se libera a partir del material de relleno del tajo (extracción secuencial Dold); en cambio el basamento conformado por andesitas porfiríticas del Grupo Barroso lixivian bajas concentraciones de metales y sulfatos (6,66 mg/L a 275 mg/L).

[74] Bradley – MDH. (2014). Estudio hidrológico e Hidrogeológico de la Unidad Minera Tucari, marzo 2014. 001.0513.07 – EG

El DAM generado a partir de la interacción de los sulfuros del material de los componentes mineros con agua (precipitaciones y derretimiento de nieve estacionaria) y oxígeno atmosférico se infiltra a niveles subterráneos y flujos subsuperficiales, condicionados por las fracturas del macizo rocoso donde se emplazan. La manifestación de los flujos subsuperficiales con lixiviados es el afloramiento MT-BO6 que presenta elevadas concentraciones de sulfatos (5420 mg/L) y metales (cobre, arsénico, aluminio, zinc, plomo y hierro disuelto), así como pH bajos (2,04). En cuanto a los flujos subterráneos, estos fluyen lateralmente hacia el drenaje superficial y finalmente descargan a la quebrada Apostoloni incrementando así la carga de metales y sulfatos (Figura 7.76).

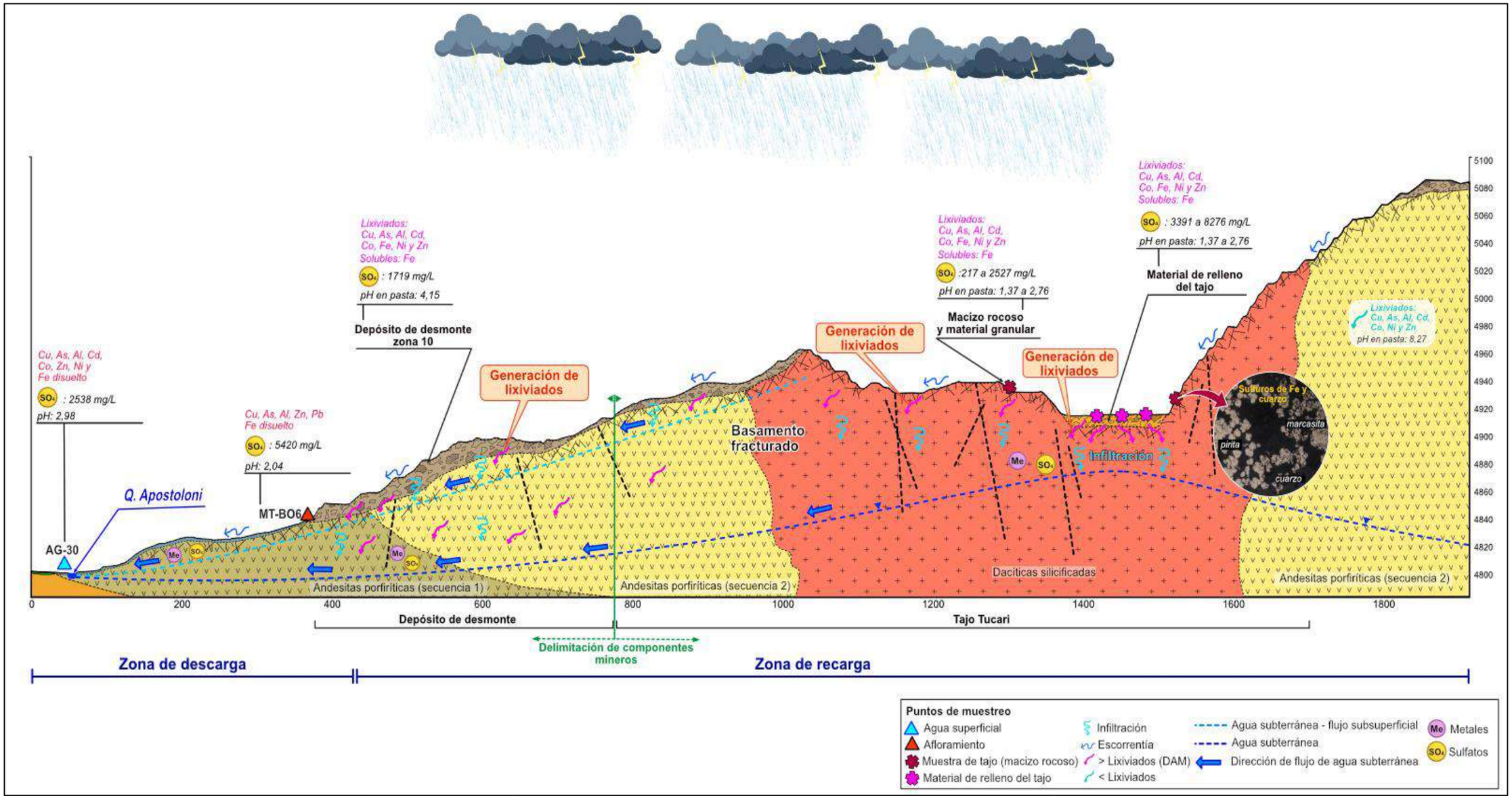


Figura 7.76. Modelo conceptual de la descarga de los flujos de aguas subterráneas influenciadas por los lixiviados generados en los componentes mineros (depósito de desmonte zona 10 y tajo)

El afloramiento identificado en el punto MT-BO6 corresponde a descargas provenientes del de los componentes mineros (depósito desmonte zona 10, Hechadero y tajo), se precisa la recurrencia de estos hechos desde el 2017 ya que durante las evaluaciones y supervisiones se identificaron mayor cantidad de afloramientos provenientes de los componentes, de lo mencionado se precisa la obligación de considerar como parte del cierre final del tajo y botadero de desmonte (zona Norte) además de la ampliación del botadero de desmonte (zona 10 y zona Hechadero), cuyo cierre debe garantizar la estabilidad física, geoquímica, e hidrológica; a su vez deberá priorizar el tratamiento de efluentes a fin de cumplir con los LMP[75]. Cabe precisar que se analizó el plano SD-01 presentado por Aruntani[76], en el cual, se aprecia que el tajo no cuenta con un sistema de subdrenaje para la captación del discurrimiento de las aguas ubicadas en el interior del tajo. Adicionalmente, la ampliación del depósito de desmonte tampoco cuenta con sistema de subdrenaje para la colección de aguas de contacto (lixiviados)[77].

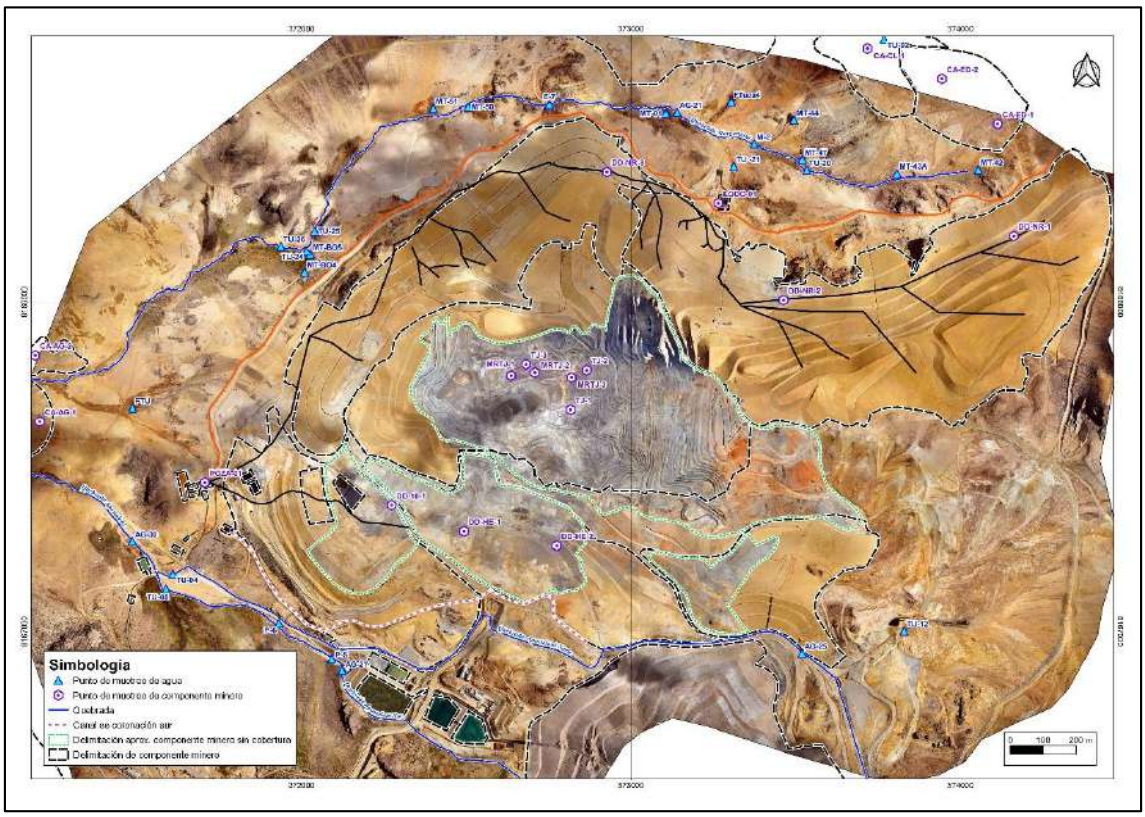


Figura 7.77. Mapa de ubicación de los componentes mineros y delimitación aproximada de componentes sin cobertura

Asimismo, durante la supervisión especial mayo 2018, verificaron acumulaciones de agua de coloración rojiza en el interior del tajo (niveles 4912 y 4928) y se indica las siguientes características. *«De la medición de parámetros de campo en dos puntos representativos se registró una lectura del parámetro pH por debajo del rango de medición, es decir, un pH<2, lo cual indica que se trata de aguas con características ácidas»*[78], cabe precisar que dichas aguas de coloración rojiza en la actualidad se siguen generando en el interior del tajo los

75 R.D. N.º 052-2018-OEFA-DSEM

76 Expediente de supervisión N.º 0274-2017-DSEM-CMIN

77 En el informe de supervisión del expediente de supervisión N.º 0272-2018-DSEM-CMIN, se determinó que la ampliación del botadero no contaba con subdrenajes.

78 R.D. N.º 0063-2020OEFA-DFAI

cuales fueron identificados durante el muestreo del material de relleno del tajo (componente minero) como se presenta la Figura 7.78 y 7.79 (agosto 2020).



Fotografía N° 15: Vista de tres (3) acumulaciones de agua de coloración rojiza en el interior del tajo, cada una con un área aproximada de 1m², 2m² y 32m² respectivamente.

Fotografía N° 16: Otra vista del punto medio de las acumulaciones de agua de coloración rojiza en el nivel 4912. Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 18: 372 655 E, 8 167 737 N y 4 922 m.s.n.m.

Fotografía N° 17: Vista de la acumulación de agua de coloración rojiza en el interior del tajo de un área aproximada de 1 m².

Fotografía N° 18: Otra vista de la acumulación de agua de coloración rojiza en el interior del tajo de un área aproximada de 1 m². Coordenadas UTM Datum WGS 84 Zona 19: 372 548 E, 8 167 713 N y 4 940 m.s.n.m.

Figura 7.78. Registro fotográfico de aguas de color rojiza en el interior del tajo evidenciado durante la supervisión de 2018.

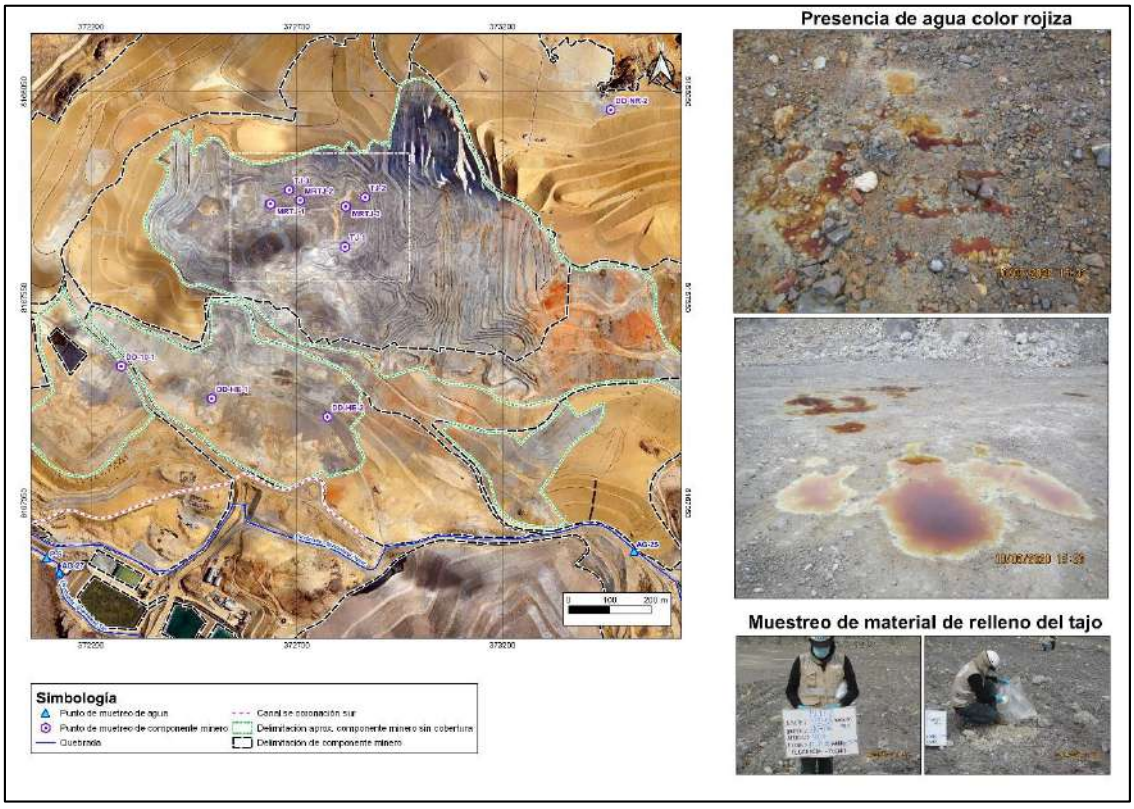


Figura 7.79. Mapa de ubicación de muestreo de material de relleno del tajo y acumulación de aguas de color rojiza.

Es importante precisar que el color rojizo de las acumulaciones de agua, es producto del proceso de interacción entre el agua (producto del derretimiento de nieve generado un día antes del muestreo del material de relleno del tajo), oxígeno y sulfuros (pirita, pirrotita y marcasita) del material de relleno del tajo identificados mediante los análisis mineralógicos, proceso en el cual se forma el hierro férrico (Fe^{3+}) que le da la coloración rojiza (Weiner, 2013); además teniendo en cuenta al ensayo de extracción secuencial de Dold, el hierro es el elemento más soluble que se libera a partir del material de relleno del tajo (sulfuros). Dicha reacción se ve acelerada debido a que el material presenta granulometría en el rango de tamaño de arenas a gravas (mayor porcentaje de grava y arena) lo que implica una mayor porosidad, y facilita la interacción con el agua y oxígeno. Adicionalmente de la prueba ABA indica que son materiales potenciales generadores de acidez y el resultado de pH en pasta presenta rangos de 1,37 a 2,76 que tendría relación con la lectura del pH del agua de color rojiza; a su vez este material lixivia elevadas concentraciones de sulfatos (3391 a 8276 mg/L)

y metales (cobre, arsénico, aluminio, cadmio, cobalto, hierro, níquel y zinc) características de un DAM.

De toda el área de estudio la única fuente de agua de coloración rojiza identificada fue la que se origina en los componentes mineros (tajo, depósito de desmonte y su ampliación), a diferencia de la identificada en el drenaje ácido de roca que fue incolora. Asimismo, según el estudio de línea base de Aruntani S.A.C. (R.D. N.º 171-2003-MINEM), describe que las aguas que discurren en el área de la UF Florencia Tucari, son ácidas y transparentes (incoloras), Figura 7.80.

CUADRO N° 01-CA
UBICACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS

CODIGO DE MUESTRA	LUGAR	FECHA y HORA	DESCRIPCION
M – 1	Quebrada Margaritani	24/11/02 9:30 a.m.	Localizada aguas arriba de la quebrada Margaritani, aproximadamente a una altitud de 4950 m.s.n.m., es una agua transparente, con un caudal de 3 litros por segundo, en medio del bofedal, existe una contaminación natural por la oxidación del mineral (principalmente pirita) de los cerros Cerca Cerca, Tucaritani y Tinlarirani, pH = 3.65
M – 2	Quebrada Apostoloni	24/11/02 11:30 a.m.	Localizada aguas arriba de la Quebrada Apostoloni, aproximadamente a una altitud de 4950 m.s.n.m., es una agua transparente, con un caudal de 8 litros por segundo, presenta vegetación típica de bofedal, existe una contaminación natural por la oxidación del mineral (principalmente pirita) de los cerros Tucaritani, Apostoloni y Santo Coronado, pH = 3.08
M – 3	Quebrada Apostoloni	24/11/02 12:30 p.m.	Localizada aguas arriba de la confluencia con la quebrada Margaritani, aproximadamente a una altitud de 4810 m.s.n.m., es una agua transparente, con un caudal de 50 litros por segundo, existe una contaminación natural por la oxidación del mineral, con pH = 3.20
M – 4	Quebrada Margaritani	24/11/02 12:50 p.m.	Localizada aguas arriba de la confluencia con la quebrada Apostoloni, aproximadamente a una altitud de 4810 m.s.n.m., es una agua transparente, con un caudal de 90 litros por segundo, existe una contaminación natural por la oxidación del mineral, con pH = 3.14
M – 5	Quebrada Tinlarirani	25/11/02 7:05 a.m.	Localizada aguas abajo del bofedal de la quebrada, aproximadamente a una altitud de 4710 m.s.n.m., es una agua transparente, con un caudal de 50 litros por segundo, presenta una contaminación de drenaje de agua ácida, pH = 3.69
M – 6	Río Queullirijahuiri	25/11/02 7:50 a.m.	Localizada aguas arriba de la confluencia con el río Aruntaya, aproximadamente a una altitud de 4410 m.s.n.m., es una agua transparente, pH = 3.37, en sus riberas existe poca vegetación ribereña típica (ichu y gramíneas)

Fuente: Observaciones y mediciones realizadas durante el trabajo de campo, del 23 al 25 de Noviembre del 2002.
Elaboración : Ing. Marco Antonio Meza Alvarez / D&MA S.A., Enero del 2002.

Figura 7.80. Descripciones de los cuerpos de agua de las zonas Margaritani, Queullirijahuiri y Aruntaya previo al desarrollo del proyecto Tucari

Nota: La quebrada Tinlarirani (M-5) corresponde para el presente estudio al rio Queullirijahuiri de la zona Queullirijahuiri, aguas arriba de la UF Florencia-Tucari.
El rio Queullirijahuiri (M-6) corresponde a la zona Aruntaya, aguas abajo de la UF Florencia-Tucari.
Resaltado agregado.

Las presuntas descargas no autorizadas se han venido produciendo de manera sistemática debido a las falencias del sistema de tratamiento de aguas ácidas del wetland Sur evidenciada, al tener que recurrir a la recirculación mediante cisternas de las aguas acidas de subdrenajes desde las pozas de colección del wetland sur, hacia zanjas realizadas en el interior del depósito de desmonte[79] y al Pad de lixiviación N.º 2[80], actividades no contempladas

[79] Informe N.º 335-2019-OEFA-DEAM-STEC. Registros fílmicos y fotográficos.

[80] Medida impuesta por Acta de Supervisión del 04 de mayo de 2019. Paralizar todo tipo de captación, transporte y descarga del agua proveniente del subdrenaje del depósito de desmonte, en componentes no autorizados

en sus IGAs vigentes[81] (Figuras, videos y registros) sin embargo, dicho proceso durante la ocurrencia de precipitaciones máximas se hace poco manejable ya que en el área de estudio se producen precipitaciones de agua en estado sólido (nieve estacional) al presentarse condiciones de temperatura de aire inferior a los 2-3 °C y según Quispe (2014)[82] la ocurrencia de nevadas es intensas a altitudes mayores a 3500 m s.n.m., cuyo número de eventos promedio es 6 para los meses de enero y febrero y 2 para los demás meses en esta zona (Senamhi, 2018)[83]. Además, el régimen pluviométrico se distribuye en tres temporadas, la época de lluvias se produce entre los meses diciembre - marzo, llegando a su pico entre los meses de enero y febrero, la época de transición se considera que ocurre en los meses de noviembre-abril y la época de estiaje se da entre los meses de mayo y octubre, siendo el mes de julio el más seco, corroborado con el hidrograma de precipitaciones (Figura 7.81).

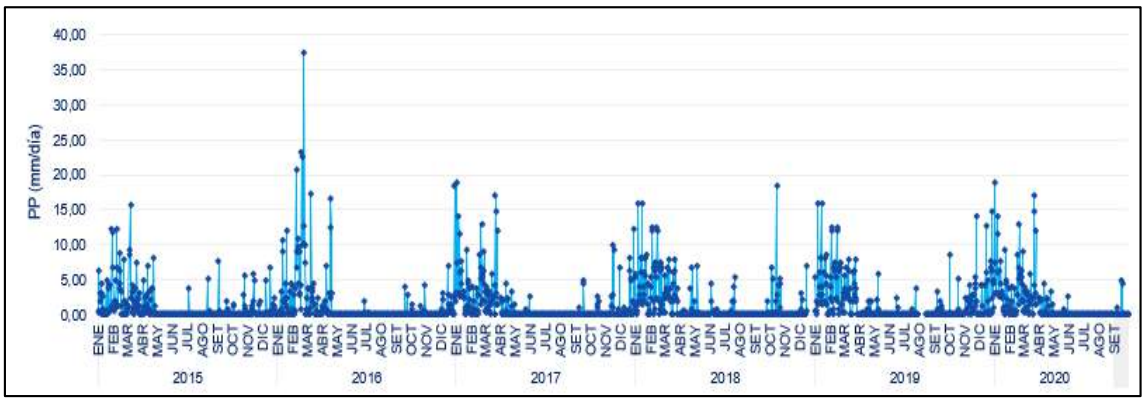


Figura 7.81. Hidrograma de precipitaciones diarias en la estación meteorológica Tucari
Fuente: Registros de datos meteorológicos solicitados mediante acta de supervisión – expediente N.° 0177-2020-DSEM-CMIN

Dichas condiciones meteorológicas generan la necesidad de contar con un sistema de almacenamiento y tratamiento de aguas acidas y lodos a su máxima capacidad durante todo el año, ya que la precipitación en su estado sólido (nieve estacional) o líquido se distribuye a lo largo de todos los componentes que al estar en contacto con el agua se genera escurrimiento de drenaje acido de mina. De acuerdo a las imágenes satelitales[84] (Figura 7.64) se aprecia que la poza 5000 se encontraba en construcción en abril 2020; en mayo 2020 antes de culminar su construcción (sin geomembrana) se evidencia que contiene aguas acidas y lodo (coloración marrón-rojiza) y en junio 2020 dicho contenido fue derivado mediante un tramo canalizado temporal, lo cual corrobora que durante esos meses (temporada seca) se requiere también de mayores pozas para la disposición de aguas acidas y lodos.

Asimismo, de acuerdo a las Resoluciones Directorales emitidas por la Dirección de Fiscalización y Aplicación de Incentivos desde el año 2016 al 2018 se evidencia deficiencias recurrentes en sus sistemas de tratamiento (Figura 7.82). Por lo cual, a pesar de la construcción de la poza 5000 se sigue manteniendo el potencial riesgo de descargas de aguas acidas y lodos hacia las quebradas Margaritani y Apostoloni.

81 Informe de supervisión N.º 741-2019-OEFA/DSEM-CMIN

82 Quispe, N. (2014). Evaluación climática de la depresión aislada en niveles altos (DANA) sobre Sudamérica y océanos adyacentes y estudio de un caso en el Pacifico Oriental.

83 Senamhi (2018). *Estudio de la frecuencia de nevadas en el Perú*. Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (Senamhi). Disponible en https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-46.pdf.

84 Spot y PeruSAT-1.



Figura 7.82. Línea de tiempo de ocurrencias de deficiencias en el sistema de tratamiento de la UF Tucari.

En los sedimentos de la quebrada Apostoloni entre los puntos TU-05 y AG-30, al igual que en el agua superficial, se evidenció un incremento en las concentraciones de sulfatos, hierro, calcio, mercurio, plomo, cobalto, níquel, arsénico, cadmio, cobre y zinc. De los cuales el cadmio y zinc llegaron a exceder el valor ISQG y el cobre el valor PEL de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG (Figura 7.83). También es importante mencionar las altas concentraciones de sulfatos, cadmio, cobre, zinc, hierro, cobalto, níquel, arsénico y calcio registrados en el lodo de la poza de sedimentación N.º 1 (POZA-01) del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur, ubicada a la margen derecha de la quebrada Apostoloni, entre los puntos E-2 y AG-30, y que son los mismos parámetros encontrados en altas concentraciones en la quebrada Apostoloni (AG-30).

En relación al índice de geoacumulación, la calidad de los sedimentos de la quebrada Apostoloni, paso de «no contaminado» por cadmio y calcio en el punto TU-05 a «fuertemente contaminado» y «moderadamente contaminado», respectivamente, en el punto AG-30. Asimismo, pasó desde «no contaminado a moderadamente contaminado» por cobre y zinc en el punto TU-05, a «fuertemente contaminado» y «moderadamente a fuertemente contaminado», en base a los metales mencionados respectivamente, en el punto AG-30. Teniendo en consideración que el cálculo de este índice tomo en consideración concentraciones de metales en tramos de cuerpos de agua sin influencia de actividades mineras (ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Vizcachas, Titire y las quebradas sin nombre 3 y Chilota).

En el gráfico de ordenación (nMDS) se muestra los agrupamientos por similitud de las características fisicoquímicas de los sedimentos de la quebrada Apostoloni (puntos P-5, P-6, TU-05, AG-30 y E-2), donde se observa un gradiente de contaminación desde el punto P-5, el cual presentó menores concentraciones de sulfatos y de los metales evaluados, hacia el punto E-2 (Figura 7.84a). Asimismo, se evidenció un aumento en las concentraciones de variables como sulfatos, cadmio, cobre, zinc, hierro, calcio, mercurio, plomo, cobalto, níquel, aluminio y arsénico (Figura 7.84b-f), a lo largo de la quebrada Apostoloni, principalmente en el punto AG-30.

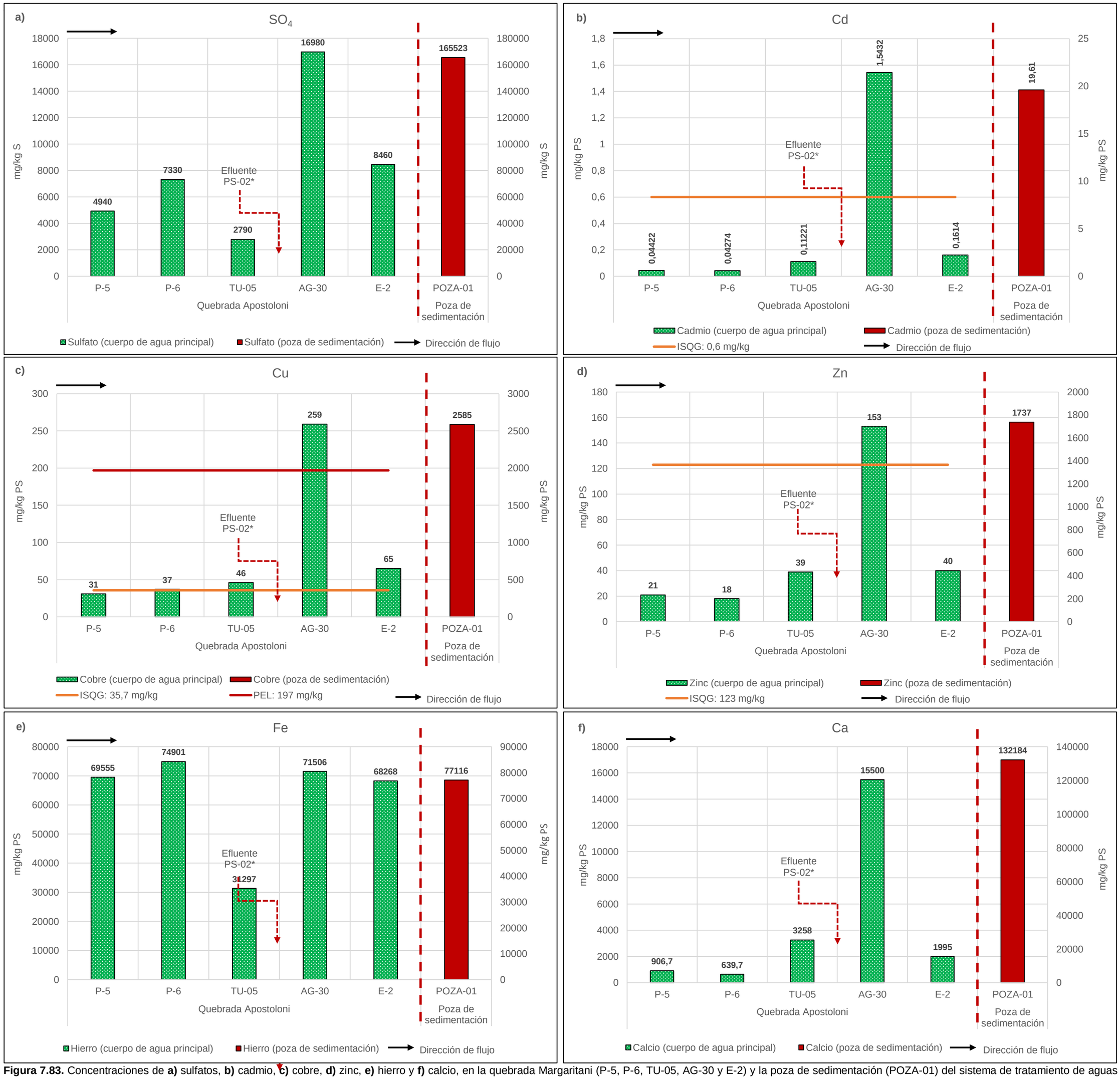


Figura 7.83. Concentraciones de **a)** sulfatos, **b)** cadmio, **c)** cobre, **d)** zinc, **e)** hierro y **f)** calcio, en la quebrada Margaritani (P-5, P-6, TU-05, AG-30 y E-2) y la poza de sedimentación (POZA-01) del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur. (*): El efluente minero PS-02 descarga a la quebrada Apostoloni entre los puntos TU-05 y AG-30.

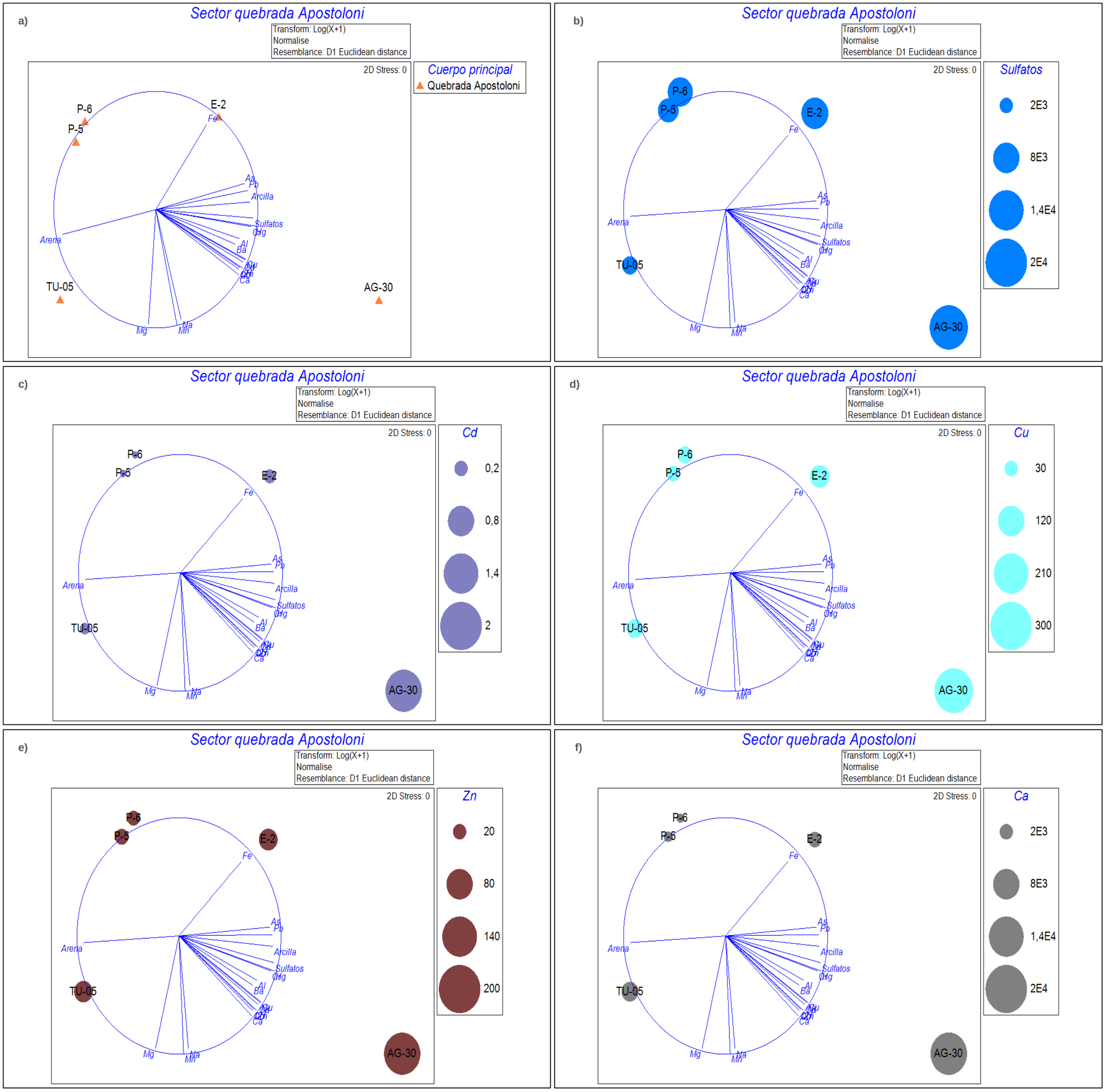


Figura 7.84. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (P-6, P-5, TU-05, AG-30 y E-2). La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los sedimentos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/kg PS) de **b)** sulfatos, **c)** cadmio, **d)** cobre, **e)** zinc y **f)** calcio en los sedimentos de la quebrada Apostoloni.

En la caracterización mineralógica por difracción de rayos X de los sedimentos de los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni y el lodo de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur (POZA-01), evidenciaron minerales en común como el yeso (sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$), con porcentajes de 3 %, 5 % y 97 % respectivamente, tal como se aprecia en la Figura 7.85a, el cual no fue registrado en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Aruntaya (RArun1 y M-4), que son cuerpos de agua sin influencia de actividades mineras y similar emplazamiento geológico, considerados como sitios blanco de comparación; lo que evidencia que la poza de sedimentación N.º 1 sería una de las principales fuentes de aporte de este mineral (yeso) y de parámetros relacionados como sulfatos y calcio, hacia la quebrada Apostoloni.

Además, la presencia de yeso en los sedimentos de la quebrada Apostoloni está relacionada con el valor de pH atípico registrado en el punto AG-30 de 5,07, en contraste con lo obtenido en los demás puntos de muestreo (P-5, P-6, TU-05 y E-2), en los cuales los valores de pH fueron menores y variaron desde 2,87 a 3,17 (Figura 7.85b). De manera semejante, el lodo de la poza de sedimentación presentó un valor de pH alcalino (9,7 unidades de pH), y que está relacionada con la composición mineralógica predominante de yeso (sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$), el cual se forma luego del proceso de neutralización con lechada de cal ($Ca(OH)_2$[85], de las aguas ácidas del tajo y depósito de desmonte Norte en el sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur. Se precisa que el mineral yeso no se identificó como mineral primario o secundario en las andesitas porfiríticas, rocas con presencia de alteración o tobas debido a que el origen de este mineral en el sector evaluado es el producto sistema de tratamiento de las aguas ácidas wetland sur.

[85] Registro N° 2020-E01-085173

MEMORIA DESCRIPTIVA SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS TAJO TUCARI
(…)

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL
El sistema de tratamiento inicia su proceso con el tratamiento de los efluentes (aguas ácidas) proveniente de depósito de desmonte y el tajo Tucari. Actualmente se viene operando con una tasa de tratamiento promedio de 25 m3/h. El objetivo es tratar las aguas acidas mediante el proceso de neutralización con lechada de cal, y previa dosificación enviar el efluente a las pozas de sedimentación.

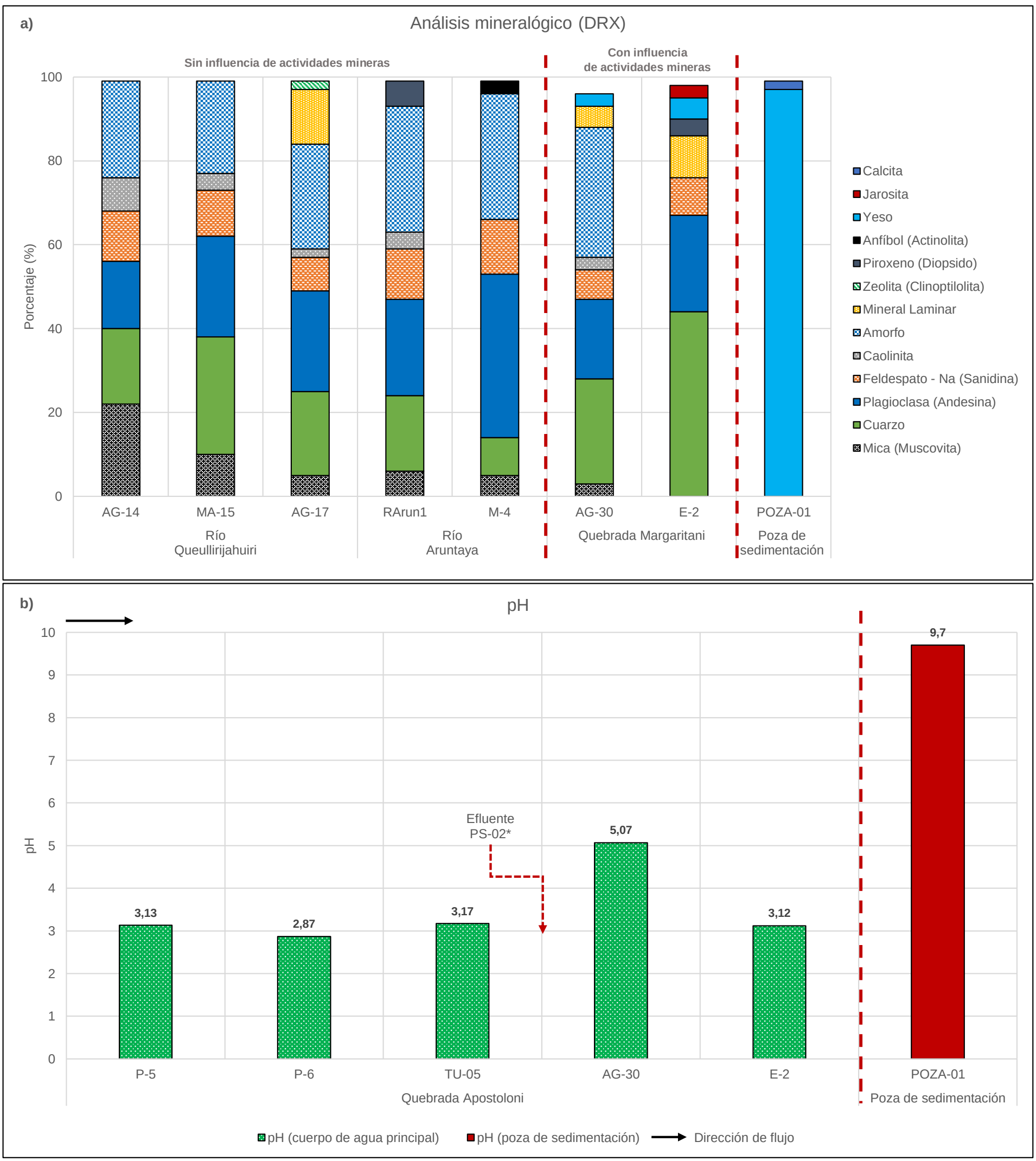


Figura 7.85. a) Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X, y **b)** pH en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (puntos AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4) y la quebrada Apostoloni (AG-21, TU-26 y E-3)

Por otra parte, las altas concentraciones de hierro y sulfatos encontradas en los sedimentos de la quebrada Apostoloni, principalmente en los puntos AG-30 y E-2, están relacionadas a minerales como la jarosita (fase de sulfatos, $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) identificado por difracción de rayos X en el punto E-2 de la quebrada Apostoloni, al igual que lo obtenido en la quebrada Margaritani (AG-21, TU-26 y E-3), y que contrasta a lo encontrado en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Aruntaya (RArun1 y M-4), que son cuerpos de agua sin influencia de actividades mineras y similar emplazamiento geológico, considerados como sitios blanco de comparación en la presente evaluación; donde no se encontró el mineral mencionado, tal como se aprecia en la Figura 7.85a.

La jarosita ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) secundario generador de acidez, que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH < 3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards *et al.,* 1999; Smith *et al*., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos de la quebrada Apostoloni principalmente en los puntos AG-30 y E-2. Asimismo, se ha reportado a la jarosita como mineral predominante en sedimentos superficiales contaminados por drenajes ácidos de mina (Boukhalfa *et al*., 2012).

Asimismo, la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro, se evidenció en la presencia de minerales como la goethita (FeO.OH), identificada por microscopía electrónica de barrido en los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni; además de otros minerales en base a hierro como la magnetita, hematita e ilmenita. En cuerpos de agua contaminados gravemente por drenajes ácidos de mina (DAM), se ha reportado ampliamente que los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias de hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos (Silva *et al*., 2013).

La presencia del hierro afecta el comportamiento geoquímico (solubilización/precipitación) de otros metales presentes en el sistema; además, conducen a la formación de recubrimientos a lo largo de los cuerpos de agua, debido a una notable acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro (color amarillo – anaranjado), los cuales tienen un impacto visual pronunciado (Thornber, 1985; Schmiermund y Drozd, 1997; Banks *et al*., 1997; Kim, 2015), lo cual fue evidenciado en la quebrada Apostoloni (Figura 7.86) al igual que en la quebrada Margaritani.

Se ha reportado que la contaminación de sistemas fluviales por drenajes ácidos de mina (DAM), tienen como característica la presencia de una fuerte cromatización ferruginosa en los márgenes y en el lecho de los ríos y quebradas, como resultado de la precipitación de oxihidróxidos de hierro (Favas *et al*., 2016); estos precipitados tienen colores entre amarillo y rojo, con predominio de tonos ocres que proporcionan un efecto visual agresivo, tal como se evidenció en la quebrada Apostoloni (Figura 7.86).

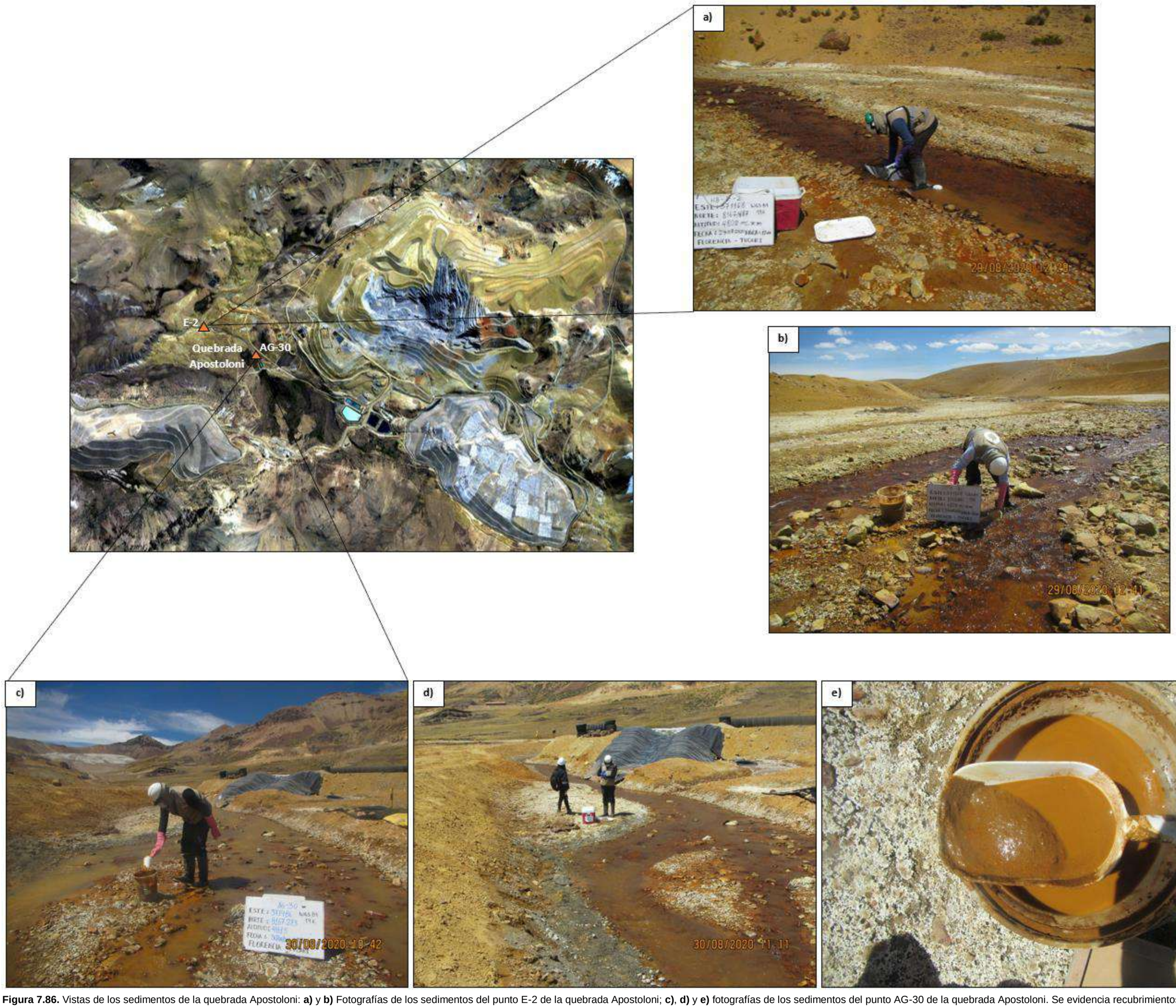


Figura 7.86. Vistas de los sedimentos de la quebrada Apostoloni: **a)** y **b)** Fotografías de los sedimentos del punto E-2 de la quebrada Apostoloni; **c)**, **d)** y **e)** fotografías de los sedimentos del punto AG-30 de la quebrada Apostoloni. Se evidencia recubrimientos de óxidos e hidróxidos de hierro (color anaranjado - rojizo) en el lecho de la quebrada Apostoloni

Asimismo, al comparar los resultados del muestreo de sedimentos en el punto AG-30 de la quebrada Apostoloni, realizados por el OEFA en las épocas de estiaje los años 2016 (SD-30), 2017 (SD-AG-30) y 2020 (AG-30), se evidencia un incremento (acumulación) de las concentraciones de cadmio, cobre, zinc y calcio en los sedimentos (Figura 7.87), que estaría atribuido al aporte de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur.

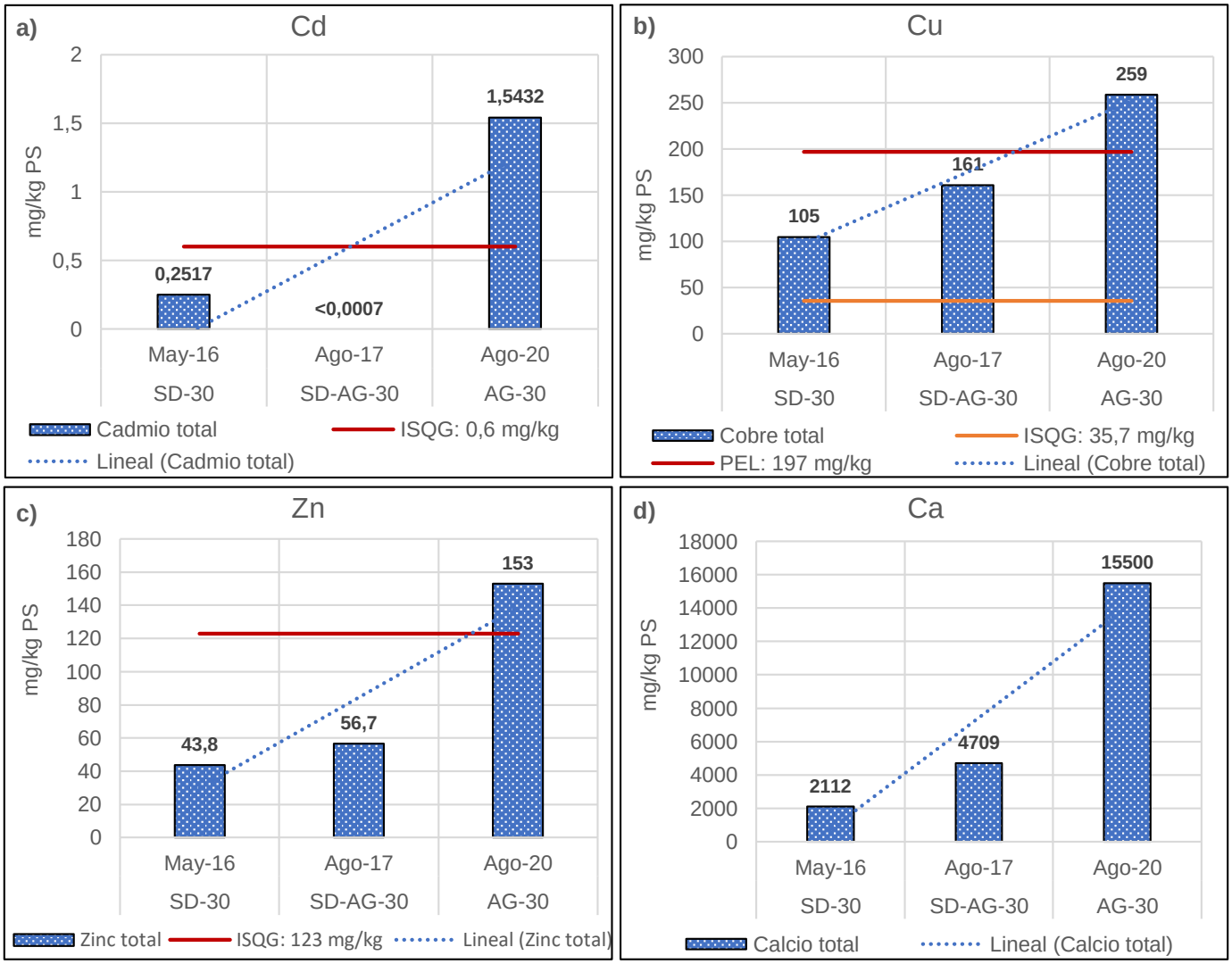


Figura 7.87. Comparación de las concentraciones de **a)** cadmio, **b)** cobre, **c)** zinc y **d)** calcio en los sedimentos del punto AG-30 de la quebrada Apostoloni, obtenidos por OEFA los años 2016 (SD-30), 2017 (SD-AG-30) y 2020 (AG-30)

Además, se compararon los resultados de los muestreos de sedimentos en el punto E-2 de la quebrada Apostoloni (ubicado luego del punto AG-30) obtenidos por el administrado en los años 2014 y 2015, en relación a lo registrado por el OEFA en 2017, 2019 y 2020 (Figura 7.88), observándose un incremento (acumulación) en las concentraciones de calcio en el 2020 en comparación a años anteriores hasta este tramo de la quebrada Apostoloni, el cual estaría atribuido al aporte de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur, tal como se mencionó anteriormente.

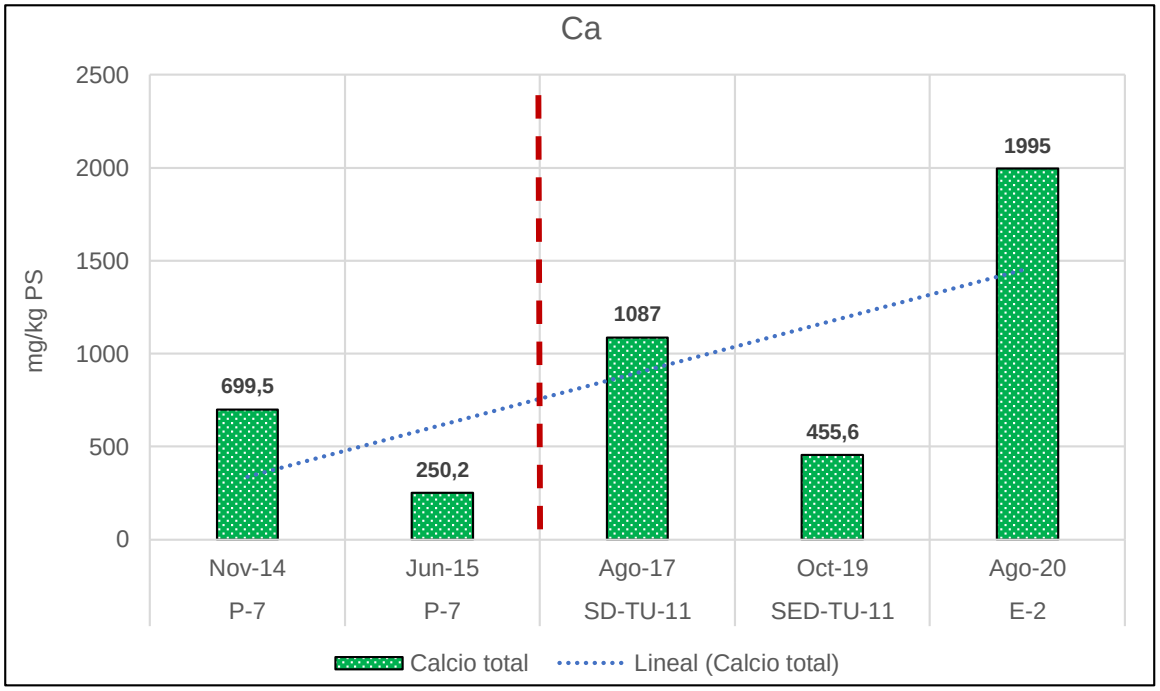


Figura 7.88. Comparación de las concentraciones de calcio obtenidas en los sedimentos del punto E-2 de la quebrada Apostoloni, obtenido por el administrado en los años 2014 (P-7) y 2015 (P-7), y por OEFA en 2017 (SD-TU-11), 2019 (SED-TU-11) y 2020 (E-2).

El incremento de los valores de sulfatos, cadmio, zinc, cobre, hierro, calcio y la presencia de minerales como el yeso en la quebrada Apostoloni (principalmente en los puntos AG-30 y E-2) y el gradiente de contaminación observado, está relacionada a las elevadas concentraciones de los mismos parámetros en los lodos de las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur (puntos POZA-01 y ESP-5), las cuales se encuentran ubicadas en la margen derecha de la quebrada Apostoloni, entre los puntos AG-30 y E-2; y que sería la principal fuente de aporte de los parámetros mencionados a la quebrada Apostoloni.

Esto se sustenta en las mangueras tipo HDPE, mangas, e instalaciones como una bomba de succión de lodos implementada en la poza 5000 por el administrado, desde el sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur hacia la quebrada Apostoloni, así como restos de lodos sobre el suelo en la zona baja del sistema wetland sur, identificadas durante la evaluación y que se discutió en párrafos anteriores, el cual sería el mecanismo de transporte de los lodos de las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000 hacia este tramo de la quebrada Apostoloni. El mecanismo de trasporte también se pude evidenciar al representar las concentraciones de calcio, cobre, hierro y los valores de pH en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000 del sistema wetland sur como fuente, y el suelo evaluado en dirección hacia la quebrada Apostoloni como se aprecia en las Figuras 7.89 al 7.92.

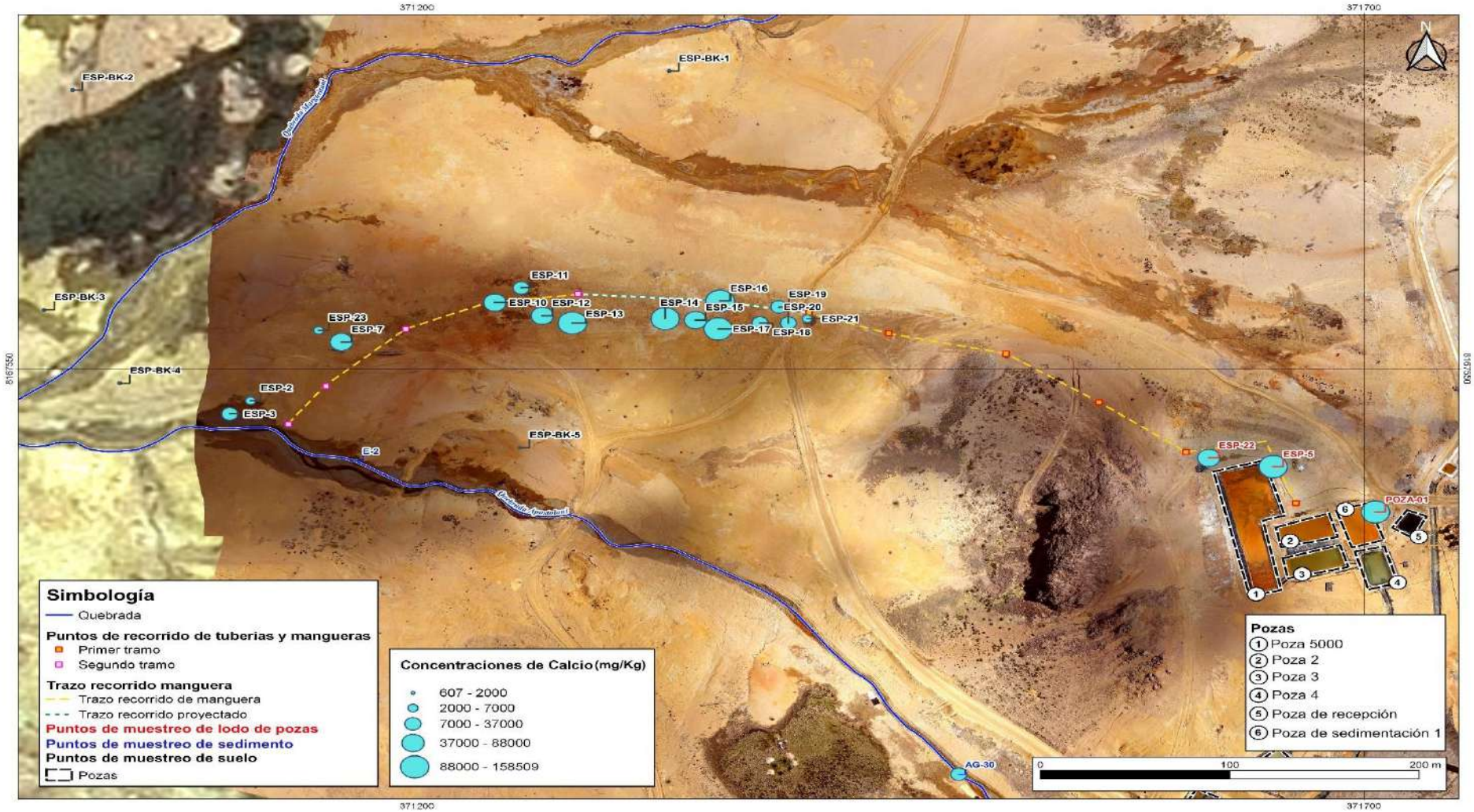


Figura 7.89. Concentración de calcio en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada

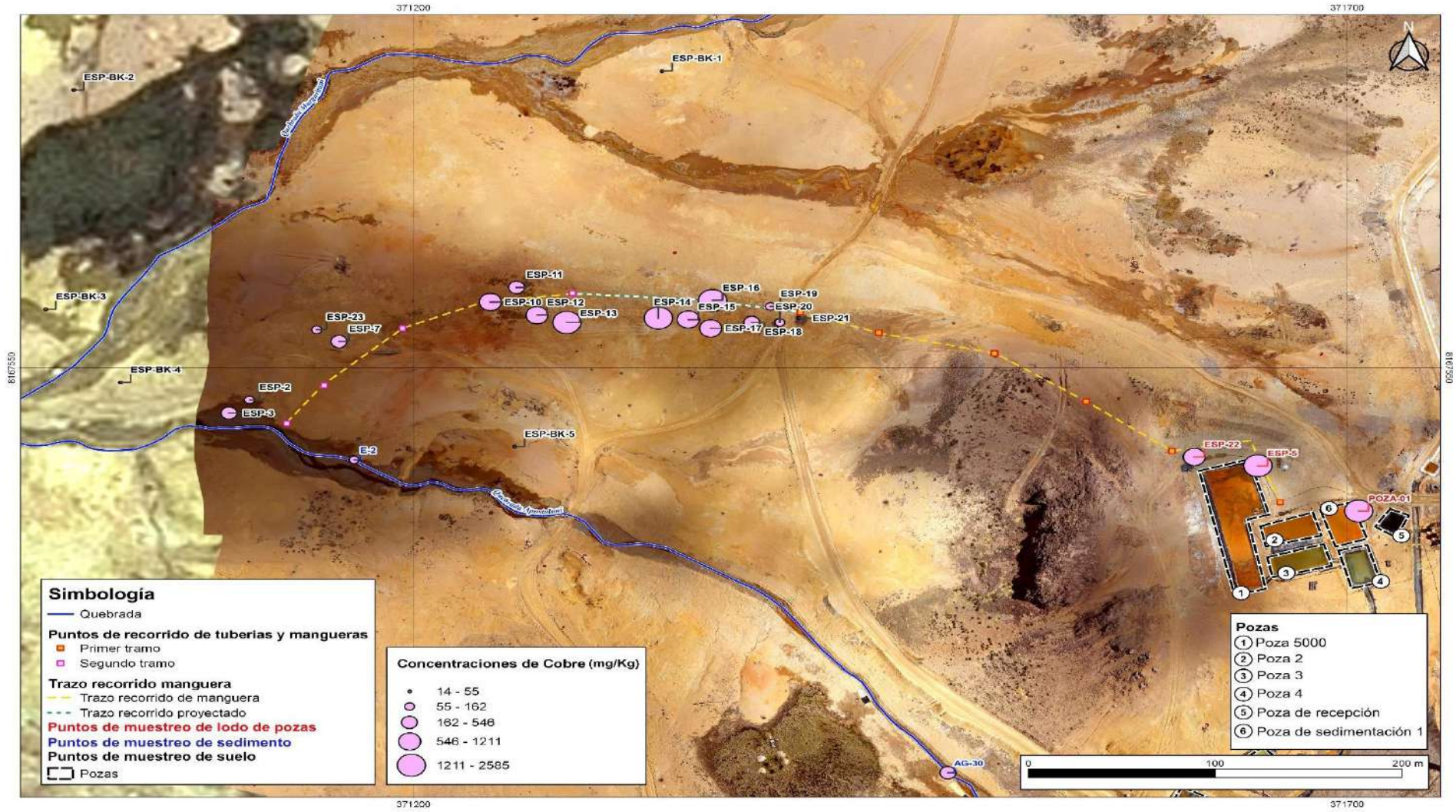


Figura 7.90. Concentración de cobre en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada

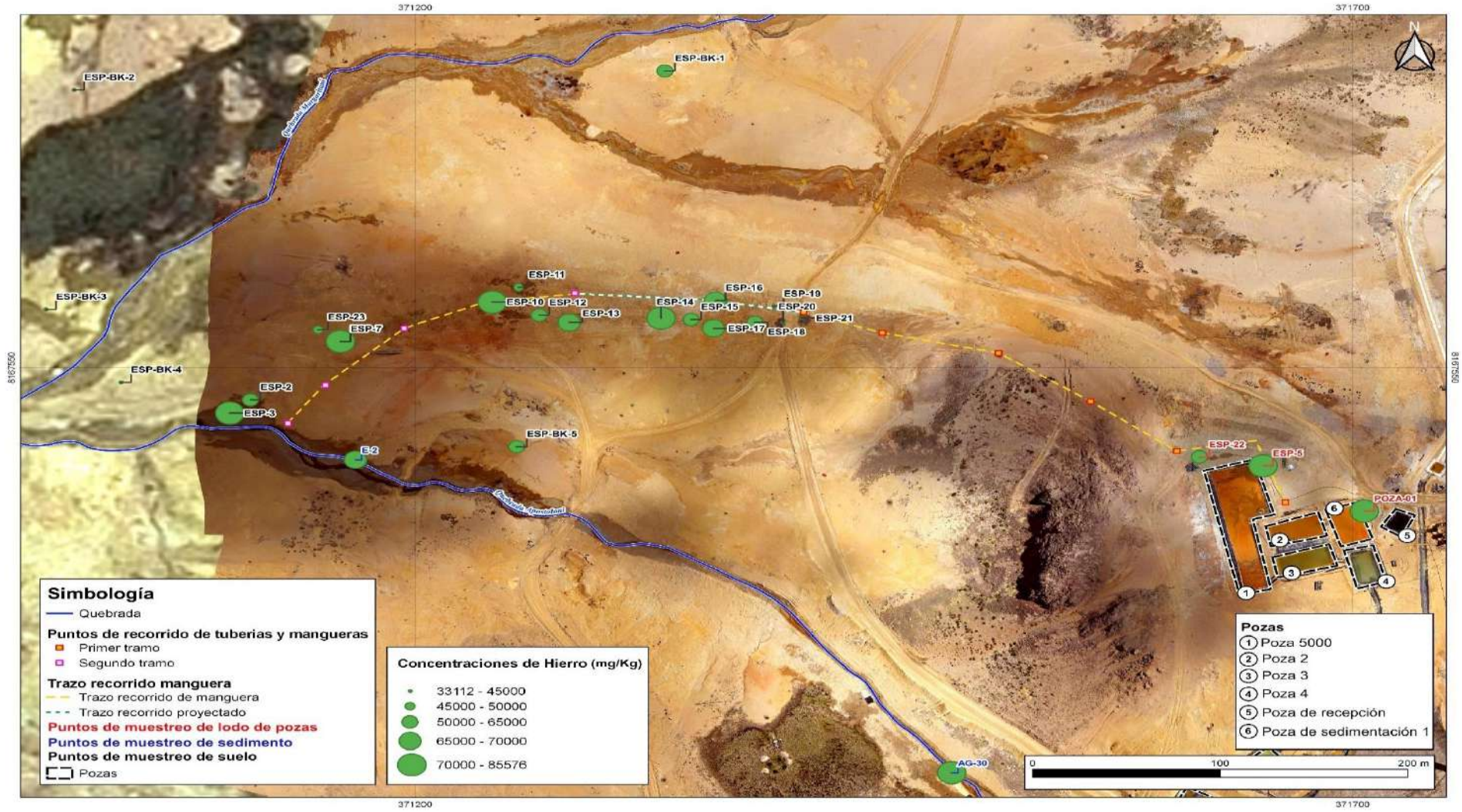


Figura 7.91. Concentración de hierro en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada

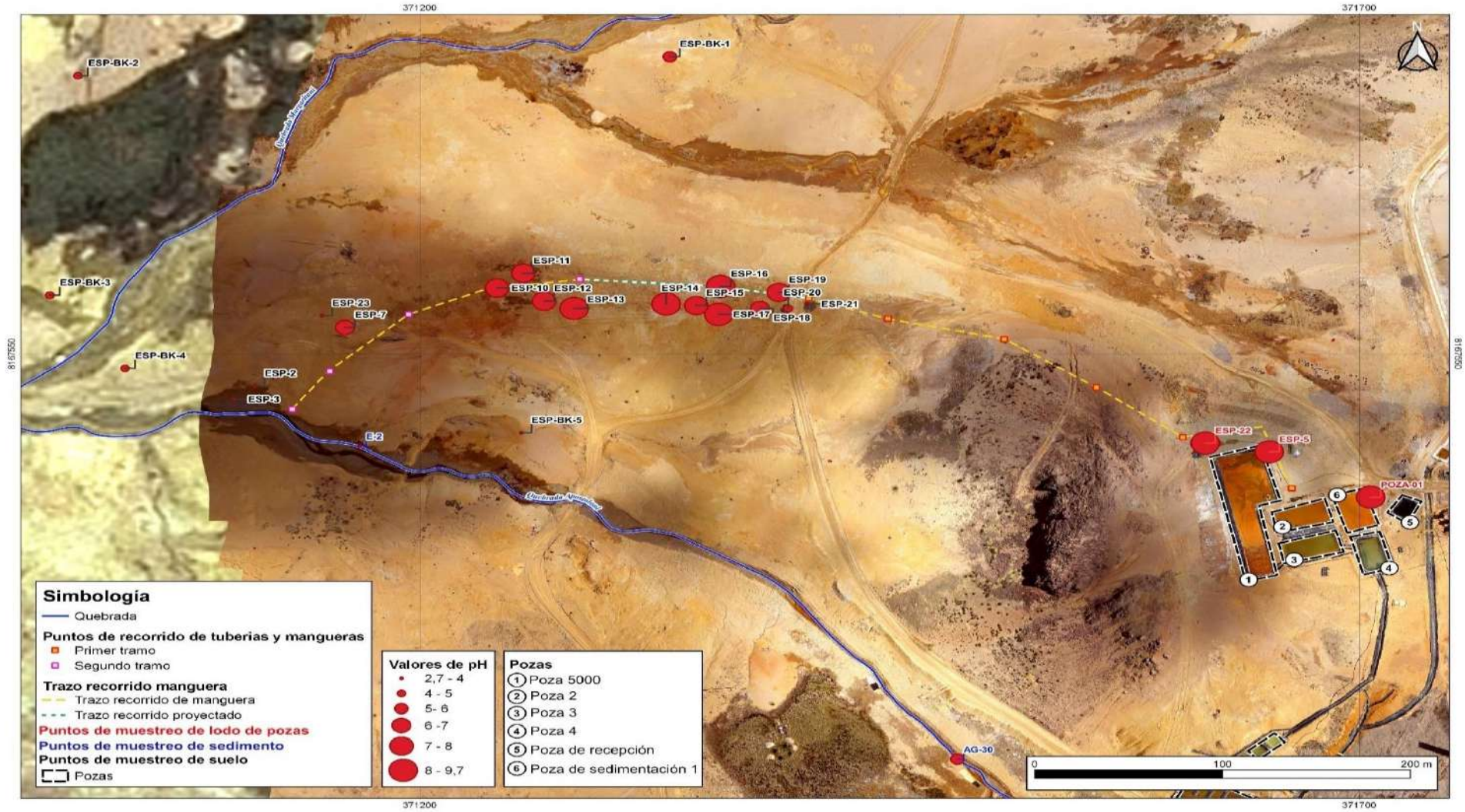


Figura 7.92. Valores de pH en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, lodo sobre suelo, puntos de evaluación de suelo y sedimentos de la quebrada Apostoloni

Asimismo, en el gráfico de ordenación (nMDS) donde se muestra los agrupamientos por similitud de las características fisicoquímicas de los puntos de suelo de las áreas de potencial interés de la zona baja del wetland sur (influenciados por los lodos de sedimentación), los puntos blancos de suelo sin influencia de componentes mineros (ESP-BK1 al ESP-BK-5), los lodos de las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000 (puntos POZA-01, ESP-5 y ESP-22), y los puntos de sedimento AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni; se observa que estos últimos, en especial el punto AG-30, muestran mayor similitud con los puntos de suelo afectados por los componentes mineros y con los lodos de las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, debido principalmente a las elevadas concentraciones de calcio, cadmio, cobre, zinc y valores de pH > 5 que comparten en común. Es importante mencionar que las altas concentraciones de estos parámetros y la presencia de yeso (sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$) en el punto AG-30 de la quebrada Apostoloni, así como su incremento desde el 2016 al 2020 (Figura 7.93), nos indican que la descarga de lodos proveniente del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur hacia la quebrada Apostoloni, se ha venido realizando (sistemáticamente) no sólo aguas abajo del punto E-2 de la presente evaluación, sino también en todo el tramo comprendido entre los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni.

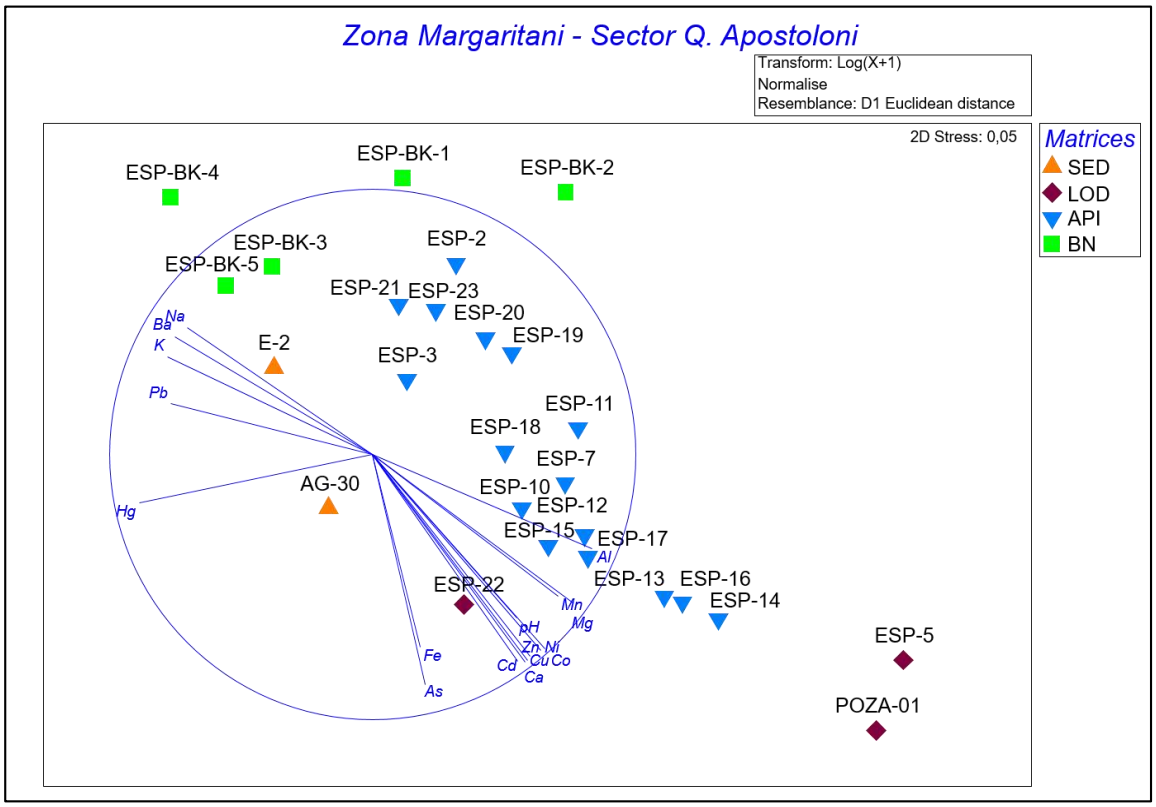


Figura 7.93. Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2, SED), suelo de las áreas de potencial interés (API), suelo sin influencia de componentes mineros (ESP-BK-1 al ESP-BK-5, BN) y los lodos de sedimentación de las pozas N.º 1 y 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur (POZA-01, ESP-5 y ESP-22, LOD). La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1).

Al comparar el contenido de calcio que puede ser aportado por diferentes fuentes en el área de emplazamiento de la quebrada Apostoloni (Figuras 7.94 y 7.95), se evidencia que los componentes mineros como el tajo (puntos TJ-1, TJ-2, TJ-3, MRTJ-1, MRTJ-2 y MRTJ-3), ampliación del depósito de desmonte zona 10 y Hechadero (DD-10-1 y DD-HE-2), y los depósitos cuaternarios de la geología local (GR-FT-28, GR-FT-29, GR-FT-31, GR-FT-32, GR-FT-33 y GR-FT-35), presentaron bajas concentraciones de calcio tanto en el contenido total (<10 mg/kg a 2394 mg/kg), así como en los lixiviados que pueden generar (0,56 mg/L a 13,06 mg/L), en comparación a las elevadas concentraciones de este metal en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000 del sistema de tratamiento de agua ácida wetland sur (42833 mg/kg a 158509 mg/kg), identificando a estas pozas como la única fuente de aporte de calcio y otros elementos asociados al mencionado lodo (cobre, cadmio, zinc, cobalto, níquel y arsénico)..

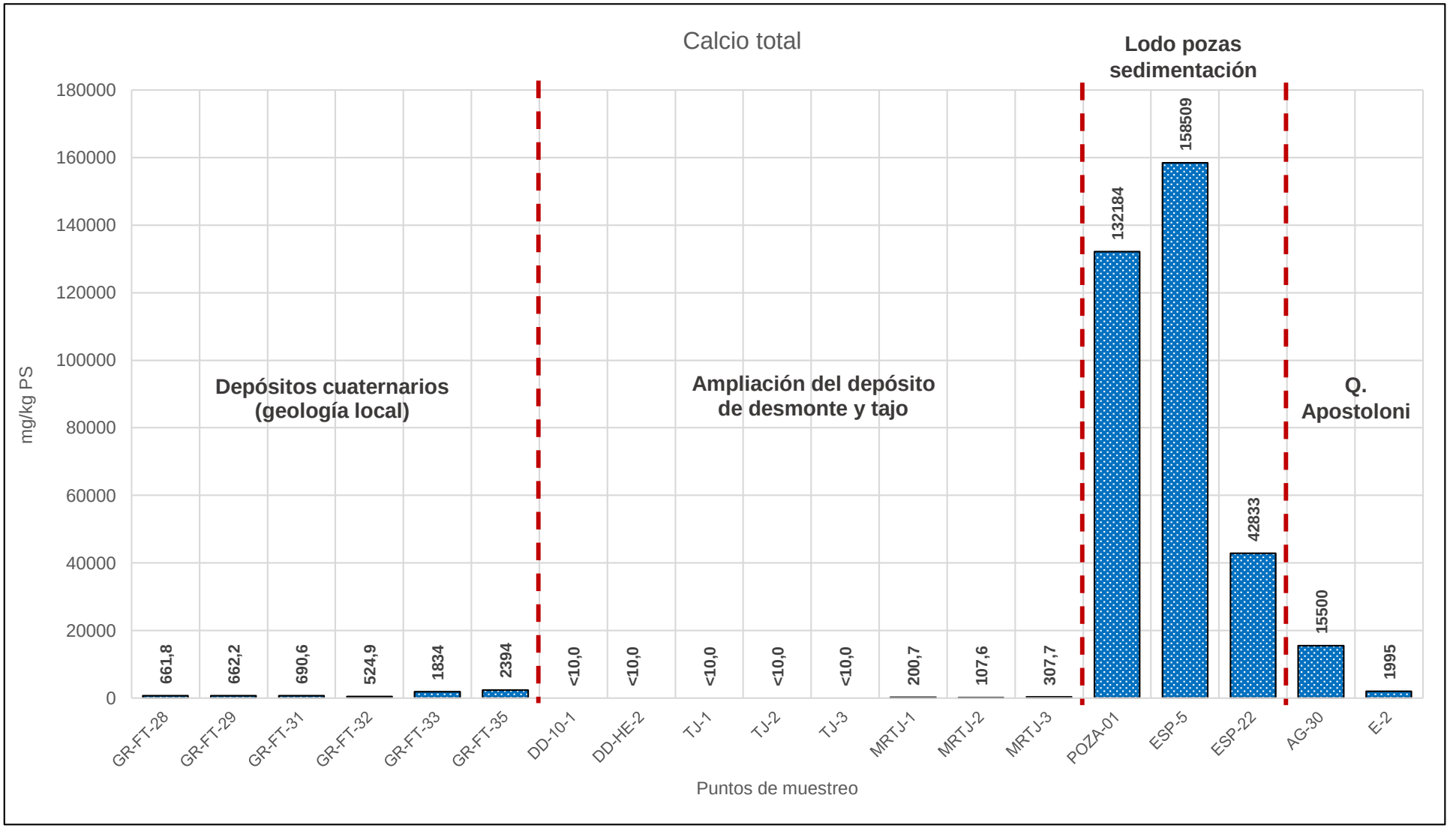


Figura 7.94. Comparación de las concentraciones de calcio total en los depósitos cuaternarios (geología local) del emplazamiento de la quebrada Apostoloni, ampliación del depósito de desmonte (zonas 10 y Hechadero) y tajo, pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, y sedimentos de los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni

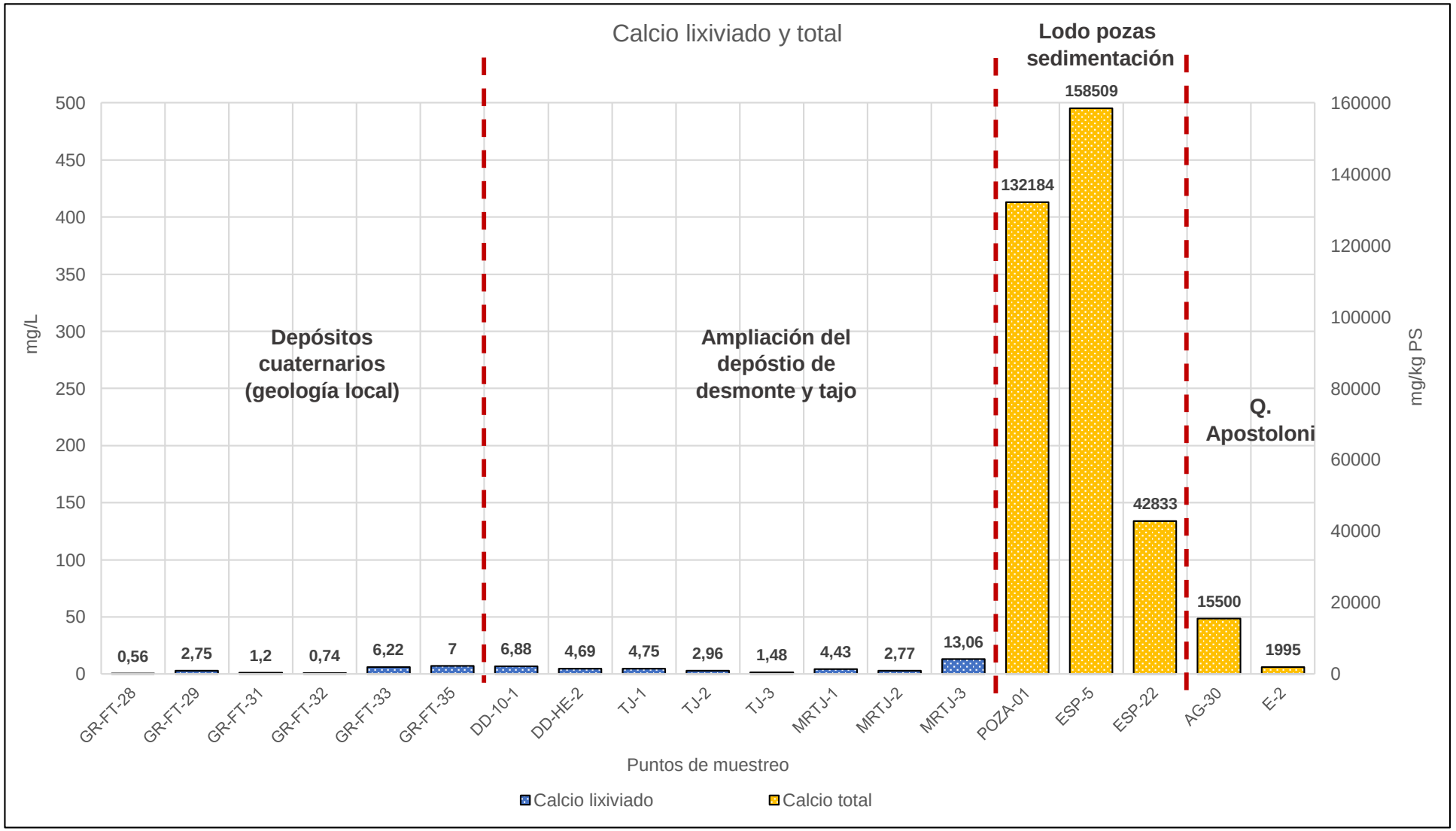


Figura 7.95. Comparación de las concentraciones de calcio lixiviado (*shake flask*) en los depósitos cuaternarios (geología local) del emplazamiento de la quebrada Apostoloni, ampliación del depósito de desmonte (zonas 10 y Hechadero) y tajo; y contenido de calcio total en las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000, y sedimentos de los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni

Además, el suelo circundante al tramo de los puntos AG-30 y E-2 en la quebrada Apostoloni, considerados como punto blanco (sin influencia de actividades mineras), presentó una baja concentración de calcio de 1065 mg/kg PS y poco significativo que pueden ser aportadas por procesos de erosión a la quebrada Apostoloni (Figura 7.96), en comparación a la elevada concentración de este elemento registrada principalmente en el punto AG-30 (15500 mg/kg PS). Asimismo, las concentraciones de calcio del nivel de fondo para el suelo circundate entre los sectores de las quebradas Margaritani y Apostoloni fue de 1815 mg/kg PS (Anexo 10).

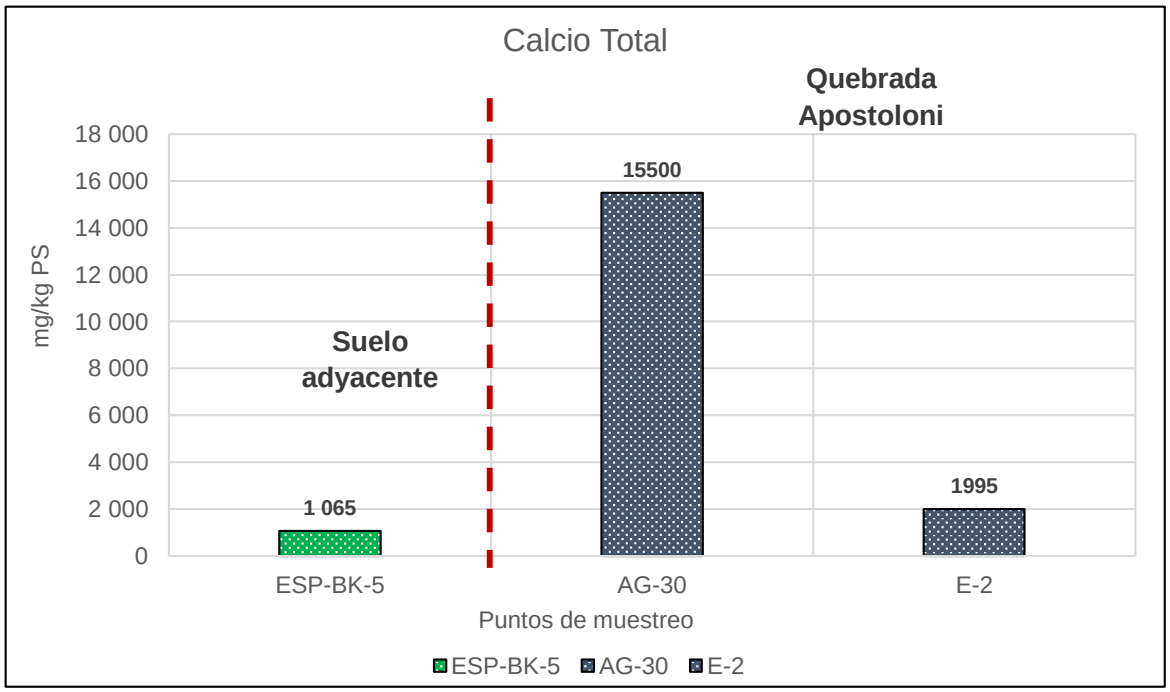


Figura 7.96. Comparación entre las concentraciones de calcio en suelo adyacente (ESP-BK-5) a la quebrada Apostoloni y el contenido en los sedimentos de los puntos AG-30 y E-2

El cambio en el comportamiento del fraccionamiento de los metales con respecto al pH, encontrados en altas concentraciones (metales) en la quebrada Apostoloni, principalmente en los puntos AG-30 y E-2 que estaría atribuido al aporte de la poza de sedimentación N.º 1 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur, y se muestra en la Figura 7.97. Para estudiar la influencia del pH en la partición de metales, los sedimentos de los puntos AG-30 y E-2 se dividieron en dos clases: (1) con pH < 4,5 que se considera extremadamente ácido y (2) 5,0 < pH < 5,5 considerado como fuertemente ácido.

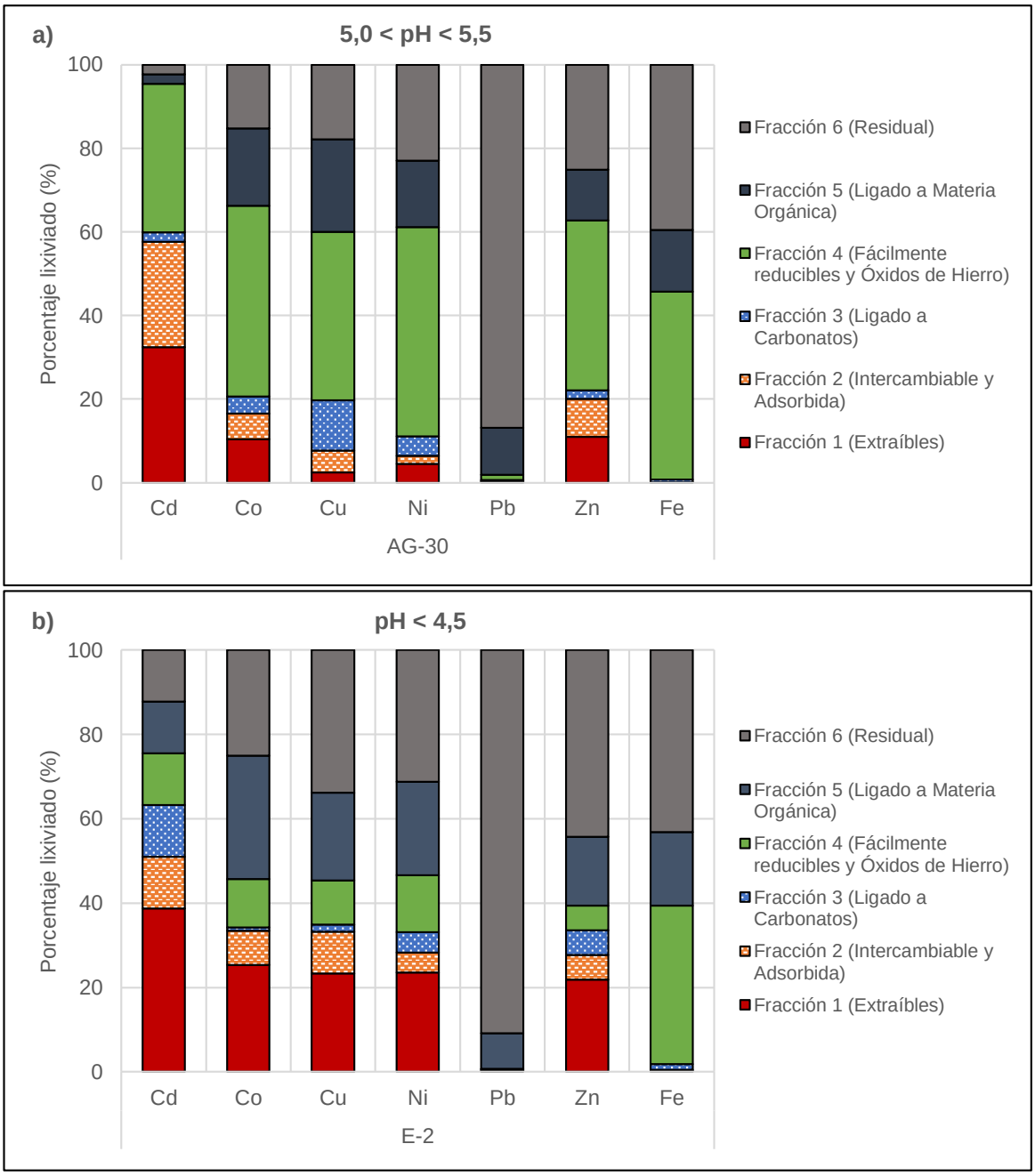


Figura 7.97. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a **a)** pH < 4,5 y **b)** 5,0 < pH < 5,5 en los sedimentos de la quebrada Apostoloni (AG-30 y E-2)

En los sedimentos fuertemente ácidos del punto AG-30, metales como cadmio, cobalto, cobre, níquel, zinc y hierro se fraccionaron principalmente en óxidos de hierro y manganeso (fracción 4); además, el cadmio, cobalto y zinc también se encontraron en fracciones intercambiables (fracciones 1 y 2). En un ambiente extremadamente ácido, registrado en el sedimento del punto E-2, se encuentra disponible una mayor cantidad de metales, como cadmio, cobalto, cobre, níquel y zinc, principalmente en las fracciones intercambiables (fracciones 1 y 2), considerados como biodisponibles. Además, el hierro se dividió principalmente en óxidos de hierro y manganeso, al igual que en los sedimentos fuertemente ácidos del punto AG-30. Por último, el plomo se encontró mayoritariamente en fracciones

orgánicas y residuales (fracciones 5 y 6), tanto en los sedimentos extremadamente y fuertemente ácidos (puntos E-2 y AG-30, respectivamente), por lo que el cambio en el pH del sistema no tiene influencia en la partición de este metal.

Respecto a las comunidades hidrobiológicas en este sector, para el análisis de las microalgas del perifiton se realizó un análisis separando en 3 tramos: Apostoloni Norte desde la naciente (HB-TU-12) hasta la quebrada canalizada (HB-AG-25); Apostoloni Sur desde los manantiales en la margen izquierda de la quebrada (HB-MT-26) hasta el punto aguas arriba del vertimiento PS-02 (HB-TU-05); y el tramo de la quebrada Apostoloni, luego de la confluencia de Apostoloni Norte y Sur, y aguas abajo del vertimiento PS-02 (AG-30) hasta antes de la confluencia con la quebrada Margaritani (HB-E-2).

En el tramo Apostoloni Norte, en aquellos puntos en donde se evaluó la comunidad del perifiton, se encontraron especies acidófilas, especialmente en la naciente (HB-TU-12) se registraron las microalgas *Microspora* sp. 1 y *Fragilaria capuccina*, esta última particularmente reportada como tolerante a metales (Cattaneo *et al.*, 2004), estas especies no se registraron en los manantiales HB-MT-37 y HB-MT-38; cabe mencionar que *F. capuccina* también fue registrada en la zona Queullirijahuiri en los puntos DAR; del mismo modo, de acuerdo al análisis en agua superficial HB-TU-12 está caracterizado como DAR.

Por otro lado, en el tramo Apostoloni Sur se evaluaron manantiales y quebradas para la comunidad de perifiton, los cuales de acuerdo al análisis de Coordenadas Principales (COP) de los parámetros de interés de agua superficial se separaron en dos grupos; uno que agrupa a los manantiales (HB-MT-27, HB-MT-26 y levemente más distante el HB-MT-25) y el otro grupo con los puntos en la misma quebrada Apostoloni Sur (HB-P-5, HB-P-6, HB-AG-27 y HB-TU-05) como se observa en la Figura 7.98. De todos los puntos evaluados el manantial polisurgente HB-MT-25 fue el de mayor riqueza con 30 especies; esta composición y riqueza está relacionada directamente al menor valor de acidez (7,43 mg/L CaCO3) y un potencial de hidrógeno de 5,54 unidades de pH (el mayor de todo el sector).

Los puntos HB-P-5, HB-P-6, HB-AG-27 y HB-TU-05 presentan una composición similar de géneros con especies acidófilas (*Pinnularia* sp., *Eunotia* sp. y *Microspora* sp.); sin embargo, adicionalmente a estos la microalga *Stigeoclonium* sp. se observó en los puntos HB-P-6 y HB-TU-05; si bien, en las concentraciones de agua los 4 puntos de este agrupamiento son similares, en sedimento se observa un incremento en cobre y plomo en los puntos HB-P-6 y HB-TU-05, todos los géneros arriba mencionados para este agrupamiento han sido relacionados o presentan especies asociadas a DAM (Sabater *et al*., 2003; Aguilar et al. 2007; Verb y Vis, 2001, Kwandras, 2007) debido a su tolerancia a la acidez y a las concentraciones de metales.

En el tramo de la quebrada Apostoloni (cuerpo principal, denominado unión) hay una disminución de especies en relación a los puntos aguas arriba del aporte de la quebrada Apostoloni Norte (TU-04); si bien, el mayor efecto en la composición y riqueza del perifiton es notorio en HB-E-2, el cual presenta el menor número de especies acumuladas para la quebrada Apostoloni; también, en HB-AG-30 se observa la influencia de este aporte en donde 3 de las 9 especies pertenecieron al género *Microspora* sp.

Como se sabe los efectos del DAM disminuyen el número de especies aguas abajo en el curso de un cuerpo de agua, de igual modo prevalecen aquellas especies que pueden

presentar mayor tolerancia a metales (Jacobs *et al*., 2014); tal es el caso que en HB-AG-30 el género *Microspora* sp. esta reportado como tolerante a metales y además como una especie que acumula manganeso de DAM (Kleinmann, 1990; Das *et al.,* 2009); mientras que para HB-E-2 la microalga *Stigeoclonium* sp. es un género tolerante a concentraciones de cobre, hierro, plomo y zinc (McLean, 1974), y como ya se mencionó ambos géneros han sido relacionados o presentan especies asociadas a DAM (Sabater *et al*., 2003; Aguilar *et al.* 2007; Verb y Vis, 2001, Kwandras, 2007), debido a su tolerancia a la acidez y a las concentraciones de metales (Figura 7.98).

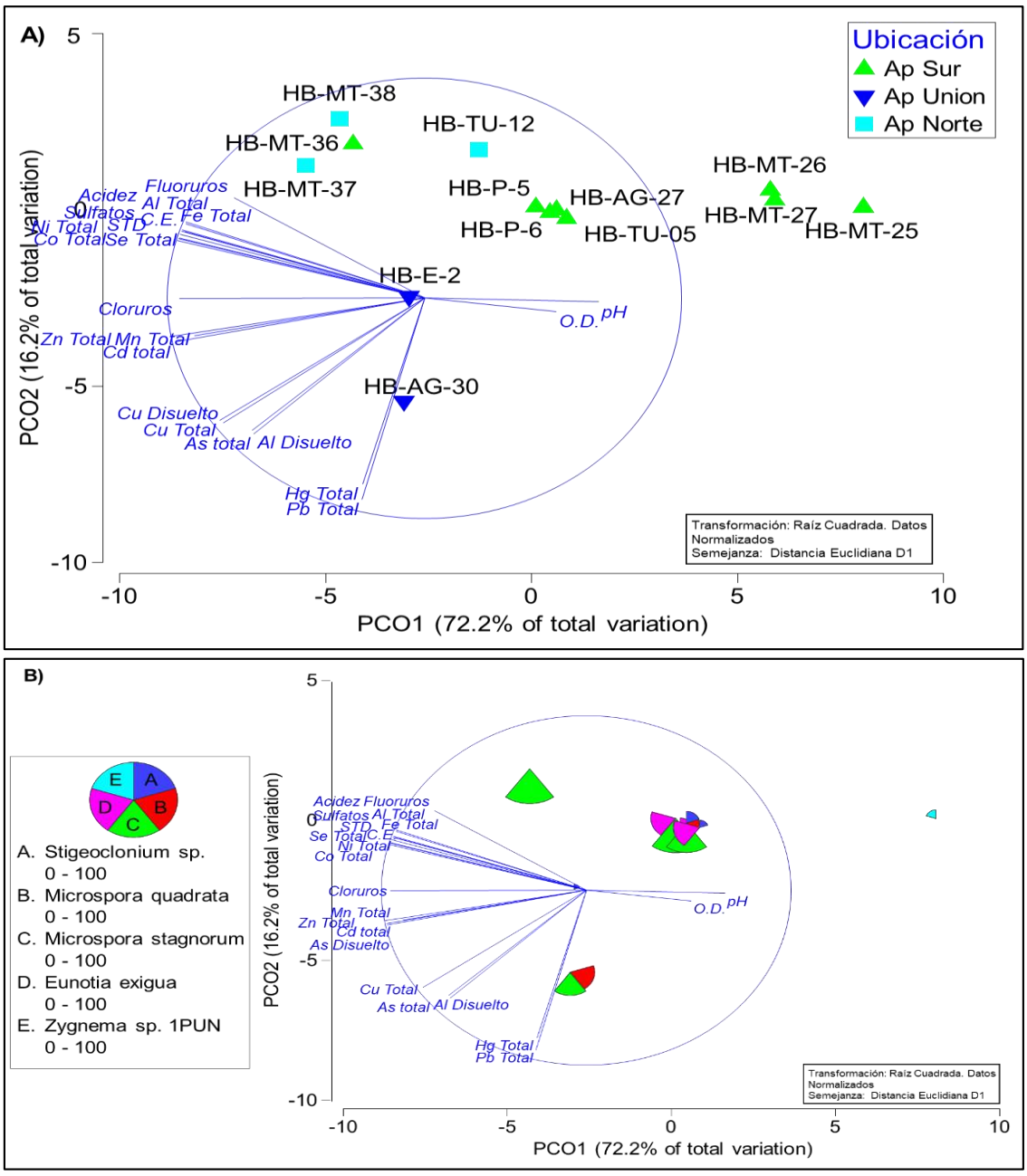


Figura 7.98. Análisis de Coordenadas Principales (COP) con los valores de agua superficial y la composición y abundancia de las microalgas del perifiton en el sector Apostoloni. A) Superposición de parámetros de agua superficial y B) Distribución de cinco especies de microalgas acidófilas y tolerantes a metales.

En las comunidades hidrobiológicas de macroinvertebrados bentónicos, cómo se indicó, el sector quebrada Apostoloni se caracterizó por presentar la captación de las aguas de cotas superiores, tanto para las quebradas Apostoloni Norte y Sur, para ser transportadas a través de canales hacia la quebrada Apostoloni (cuerpo principal). Considerando que, la alteración del hábitat producto de la canalización de los cauces naturales generan efectos negativos sobre la biota acuática (Roa-Fuentes & Pérez-Mayorga, 2018), se consideró la colecta de macroinvertebrados bentónicos en cauces naturales o aquellos que evidencien la menor alteración posible del hábitat. Hecha esta apreciación, fue necesario identificar dos condiciones importantes relacionadas a las quebradas que conforman la quebrada Apostoloni: la primera condición se identificó en el tramo posterior a la canalización de la quebrada Apostoloni Sur, en la cual se identificaron parámetros fisicoquímicos y concentraciones de metales relacionados a la influencia de DAR y DAM; mientras que, la segunda condición se identificó en la quebrada Apostoloni Norte (TU-04), la cual además de encontrarse canalizada, presentó aguas de características extremadamente ácidas (2,52 unidades de pH), así como parámetros fisicoquímicos y altas concentraciones de metales relacionados a la influencia de DAM.

Bajo estas condiciones, los macroinvertebrados bentónicos presentaron parámetros comunitarios (riqueza, abundancia y diversidad) bastantes reducidos, siendo el quironómido *Podonomus* sp. característico de ríos altoandinos (Acosta & Prat, 2018), el de mayor recurrencia debido a su capacidad tolerante como indicadora de metales presentes en ecosistemas acuáticos (Paggi, 1999; Merrit *et al.*, 2008). Sin embargo, es importante señalar que los puntos ubicados en la quebrada Apostoloni Sur, antes de la confluencia con la quebrada Apostoloni Norte, no solo tendrían la influencia de aguas con DAR y DAM, sino también estarían recibiendo flujos superficiales de un bofedal aledaño en su margen izquierda, el cual podría ser el principal aportante de materia orgánica (además de otros elementos) (Carrasco *et al.*, 2020), presente en los sedimentos de esta quebrada.

Es posible que la presencia de materia orgánica en HB-P-6, tenga relación con el rol trófico de *Podonomus* sp., recolector de detritos (Acosta, 2009), considerando además que, en este punto y en HB-P-5 se colectaron oligoquetos (Oligochaeta ND), los cuales cumplen similar rol trófico (Pavé & Marchese, 2005). Cabe señalar que, debido al reducido número de especies presentes en la zona (frecuentemente dos especies por punto), no se puede determinar el efecto del aporte de la quebrada Apostoloni Norte (con influencia de DAM) sobre el cauce natural del sector Apostoloni.

Este número reducido de especies podría estar relacionado a la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro (coloración rojiza en el lecho del cuerpo principal) que generarían limitaciones en el desarrollo de la comunidad biótica, causando menor disponibilidad del hábitat, menor calidad del alimento, menor visibilidad para los depredadores, dificultades en la respiración y obstrucción de las estructuras filtradoras, entre otras limitantes (Hanson *et al.,* 2010; Loayza-Muro *et al.*, 2010). Considerando además que, esta afectación del hábitat trae consigo la dominancia de especies tolerantes (de baja valoración de acuerdo a las puntuaciones dadas por el ABI), los puntos evaluados en el sector Apostoloni indicaron según el ABI una pésima calidad biológica.

7.3.3. Sector río Margaritani

Se colectaron muestras de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en el río Margaritani y su único tributario, la quebrada Planta (Figura 7.99); asimismo se realizó la caracterización geológica local en este sector, que incluyó muestras de roca. Cabe indicar que las discusiones de estas últimas fueron incluidas en el sector Apostoloni.

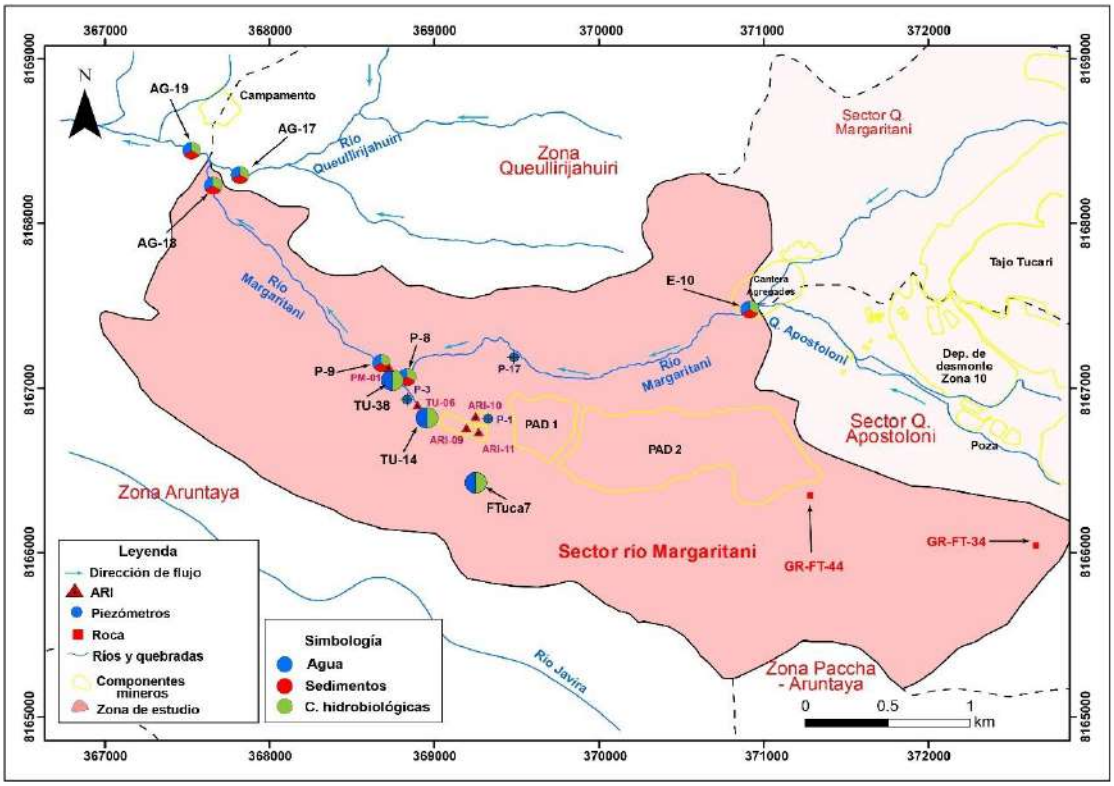


Figura 7.99. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua, sedimentos, comunidades hidrobiológicas y roca en el sector río Margaritani

El río Margaritani se forma a partir de la confluencia de las quebradas Margaritani (E-3) y Apostoloni (E-2), presentando características de aguas acidas (pH≤ 2,83 unidades) con altas concentraciones de sulfatos y metales (aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc) que excedieron los ECA para Agua categoría 3, 2008 o 2017.

De acuerdo al balance de masas calculado en la zona de mezcla, se determinó que el mayor aporte de carga contaminante de la quebrada Apostoloni son los metales aluminio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel, y de la quebrada Margaritani el arsénico, cadmio y zinc tal como se aprecia en la Figura 7.100. Asimismo, se aprecia que en la zona de mezcla el río Margaritani concentra una carga de hierro y aluminio mayor a los 10 g/s, seguidos por el cobre, manganeso y zinc con una carga mayor a los 0,1 g/s y para el caso de arsénico, cadmio y níquel la carga fue entre 0,01 a 0,1 g/s.

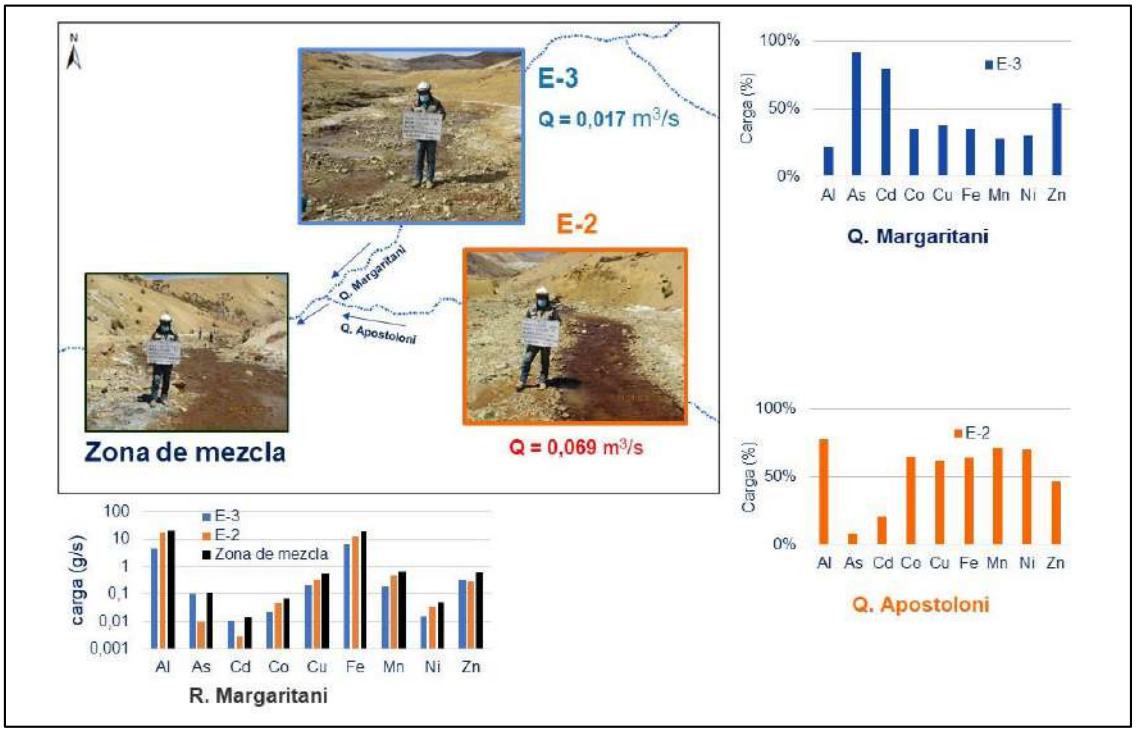


Figura 7.100. Aporte de carga contaminante de las quebradas Margaritani y Apostoloni al río Margaritani.

Posterior a su formación (E-10) el río Margaritani no presenta variaciones significativas hasta antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri (AG-18), manteniendo las características adoptadas por el aporte de DAM de las actividades mineras de la UF Florencia Tucari desarrolladas aguas arriba. Se precisa que en dicho tramo existe un aporte mínimo (<1 %) de carga de metales por aporte de la quebrada Planta (TU-38) cuyos parámetros no excedieron los ECA para agua a excepción de manganeso (Anexo 9).

Por otro lado, de acuerdo al análisis de los datos históricos reportados por el administrado para los puntos (E-10, MA-06, MA-9) y el OEFA (TU-28 y E-10) entre el 2006 y el 2020, ubicados en el río Margaritani, aguas abajo de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni, se observa un incremento de las concentraciones de sulfatos y metales como aluminio, hierro, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, níquel y zinc desde el 2012 al 2020; acompañados de una disminución en el pH (Figuras 7.101 y Anexo 11).

De igual manera, en los puntos reportados por el administrado (E-4 y MA-13) y por el OEFA (AG-18) entre el 2004 y 2020, ubicados en el río Margaritani, antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri, se observan tambien estos incrementos progresivos de las concentraciones de los elementos referidos desde el 2012 al 2020, así como la disminución en el pH (Figuras 7.102 y Anexo 11).

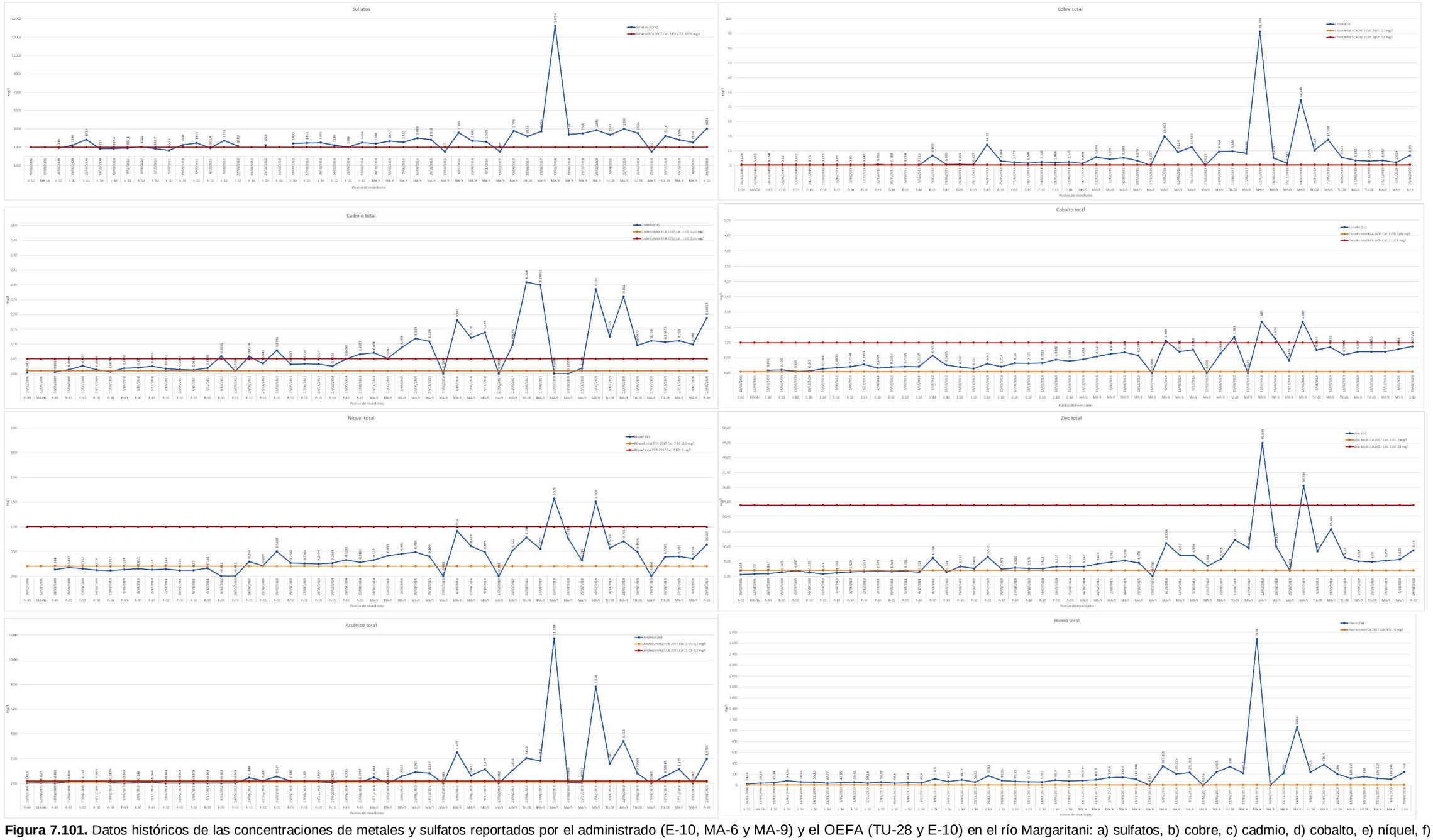


Figura 7.101. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-10, MA-6 y MA-9) y el OEFA (TU-28 y E-10) en el río Margaritani: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro.

Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos de los puntos ubicados en el río Margaritani.

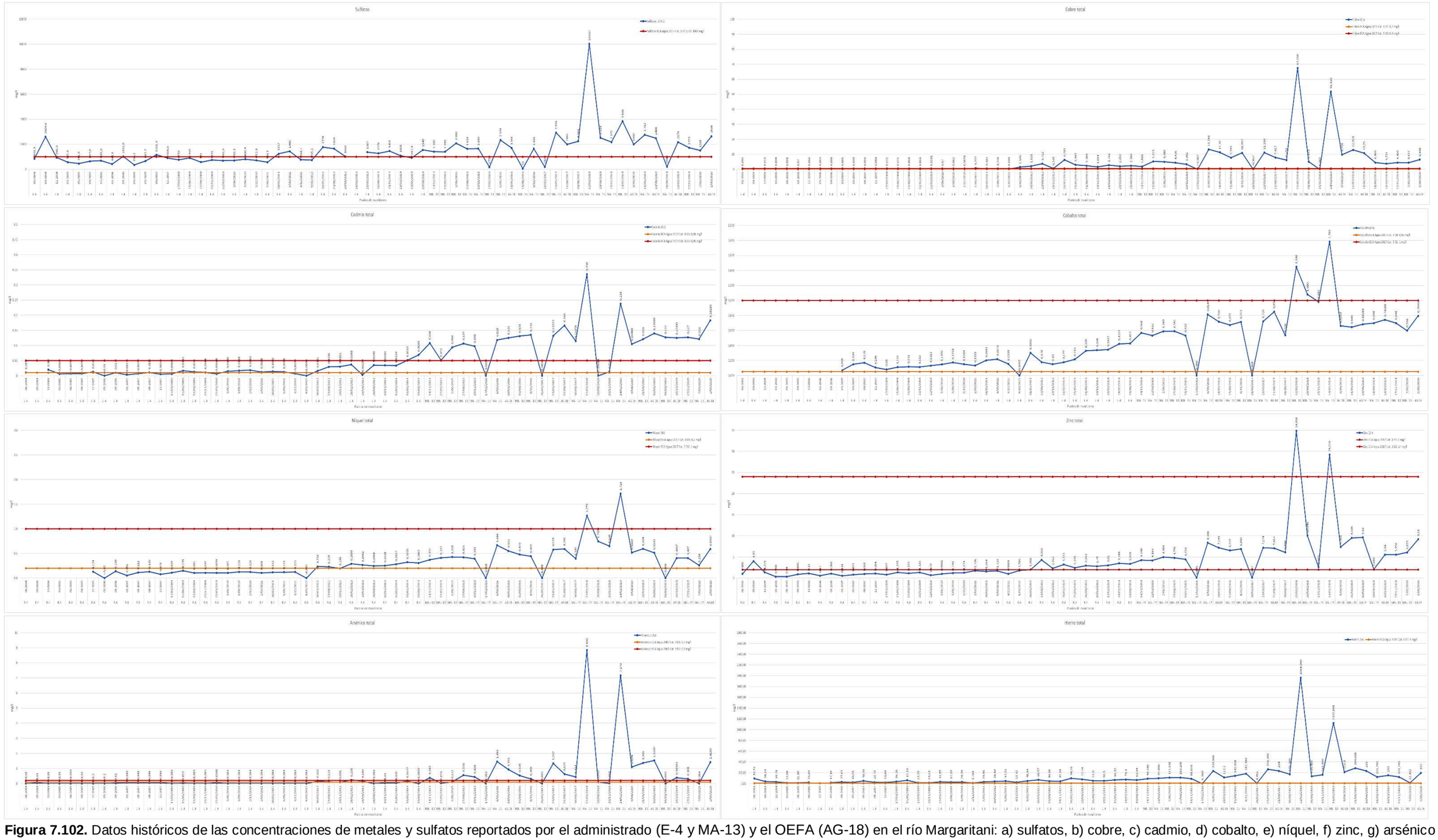


Figura 7.102. Datos históricos de las concentraciones de metales y sulfatos reportados por el administrado (E-4 y MA-13) y el OEFA (AG-18) en el río Margaritani: a) sulfatos, b) cobre, c) cadmio, d) cobalto, e) níquel, f) zinc, g) arsénico y h) hierro.

Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos de los puntos ubicados en el río Margaritani

En referencia a los sedimentos del río Margaritani (puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18), presentaron altas concentraciones de sulfatos (7680 – 22510 mg/kg PS), y de metales como plomo (136 – 165 mg/kg PS), mercurio (0,335 – 1,05 mg/kg PS) y arsénico (437 – 928 mg/kg PS), que excedieron los valores ISQG y PEL de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG (Figura 7.101), a excepción del mercurio en el punto P-9. También se obtuvieron concentraciones de cobre (67 – 123 mg/kg) que superaron el valor ISQG de la mencionada guía de comparación. Además, se encontraron concentraciones de cadmio que variaron desde 0,2244 a 0,55396 mg/kg PS en el río Margaritani, que no excedieron los valores establecido en la norma de comparación (Figura 7.103).

En relación al índice de geoacumulación, la calidad de los sedimentos del río Margaritani varió desde «moderadamente contaminado» a «moderadamente a fuertemente contaminado» por cobre, plomo y arsénico; además, por las altas concentraciones de mercurio los sedimentos fueron catalogados desde «moderadamente a fuertemente contaminado» a «fuerte a extremadamente contaminado» por este metal.

Las elevadas concentraciones de sulfatos, plomo, mercurio, arsénico, cobre, así como la presencia de cadmio, calcio y hierro, en el río Margaritani, están directamente relacionados a las quebradas Margaritani y Apostoloni que le dan origen; las cuales como se discutió anteriormente, vienen siendo afectadas por las actividades mineras emplazadas en los sectores de dichas quebradas específicamente por el aporte de quebradas (sin nombre 1 y 2) y afloramientos subterráneos alterados por drenaje ácido de mina (DAM), y a descargas provenientes de la poza de sedimentación N.º 1 y 5000, del sistema de tratamiento wetland sur, respectivamente.

Asimismo, la caracterización mineralógica por difracción de rayos X de los sedimentos del río Margaritani (E-10, P-8 y AG-18) y de los puntos E-3 y E-2 correspondientes a las quebradas Margaritani y Apostoloni que le dan origen se presenta en la Figura 7.102. Se evidenciaron minerales en común como el yeso (sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$), a lo largo del río Margaritani con porcentajes de 2 % (E-10), 7 % (P-8) y 4 % (AG-18) y que provienen de la quebrada Apostoloni (E-2), donde también se encontró este mineral en el punto E-2 (5 %) y que como se discutió anteriormente, proviene de descargas no autorizadas de la poza de sedimentación N.º 1 (POZA-01) del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur, el cual presentó una composición mineralógica predominante de yeso (Figura 7.104). Es importante señalar que este mineral no fue registrado en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Aruntaya (RArun1 y M-4), que son cuerpos de agua sin influencia de actividades mineras y similar emplazamiento geológico, considerados como sitios blanco de comparación.

Las elevadas concentraciones de sulfatos y la presencia de hierro en los sedimentos del río Margaritani, están relacionados a minerales como la jarosita (fase de sulfatos, $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) identificado a lo largo del mencionado cuerpo de agua en los puntos E-10, P-8 y AG-18, y que provienen además de las quebradas Margaritani (E-3) y Apostoloni (E-2), donde también fue registrado este mineral; teniendo en consideración que su presencia nos indica que estos sistemas fluviales se encuentran afectados por drenaje ácido de mina (DAM). Es importante señalar que la jarosita, al igual que el yeso, no fue encontrado en los sedimentos sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Aruntaya (RArun1 y M-4).

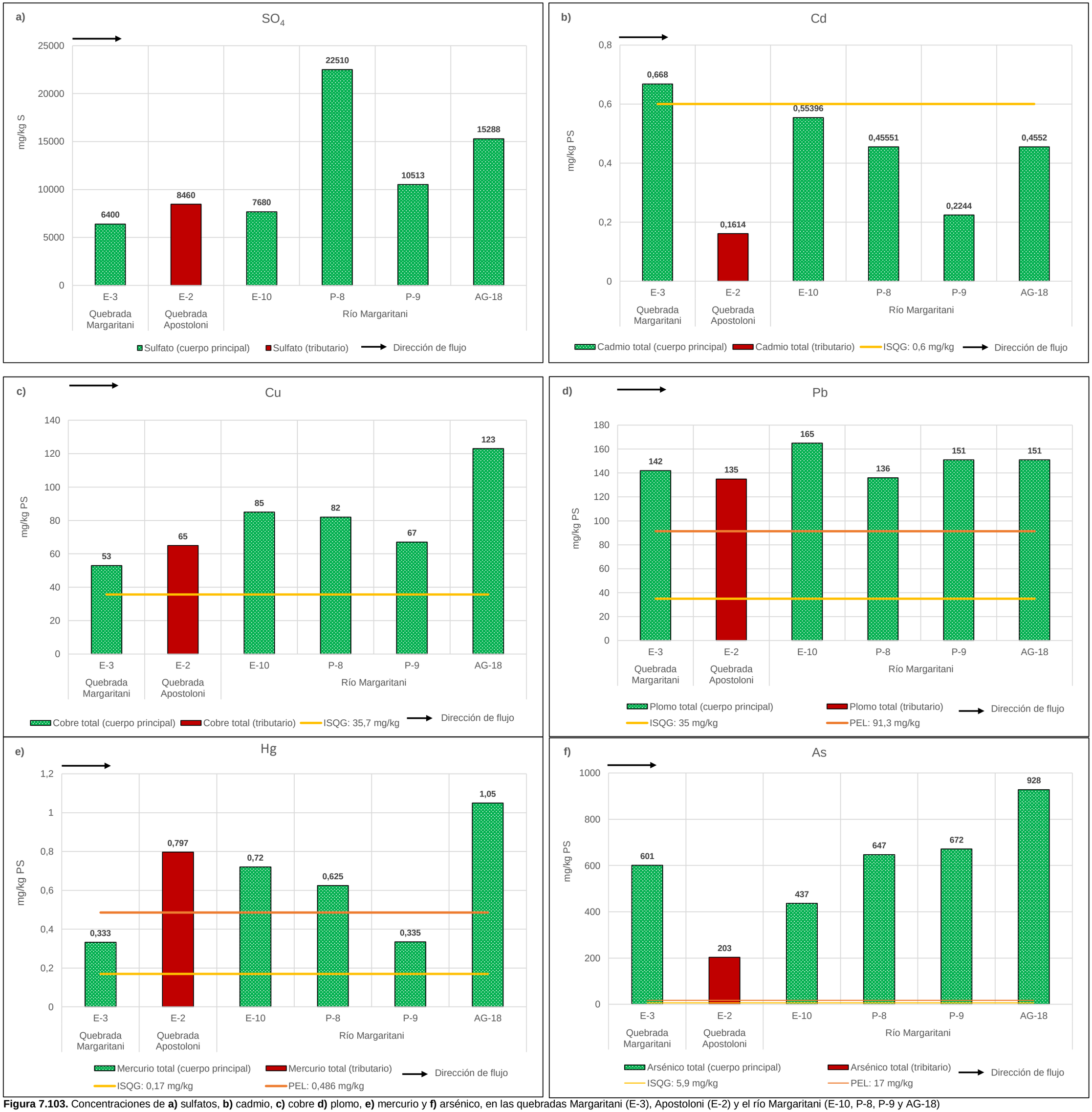


Figura 7.103. Concentraciones de **a)** sulfatos, **b)** cadmio, **c)** cobre **d)** plomo, **e)** mercurio y **f)** arsénico, en las quebradas Margaritani (E-3), Apostoloni (E-2) y el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18)

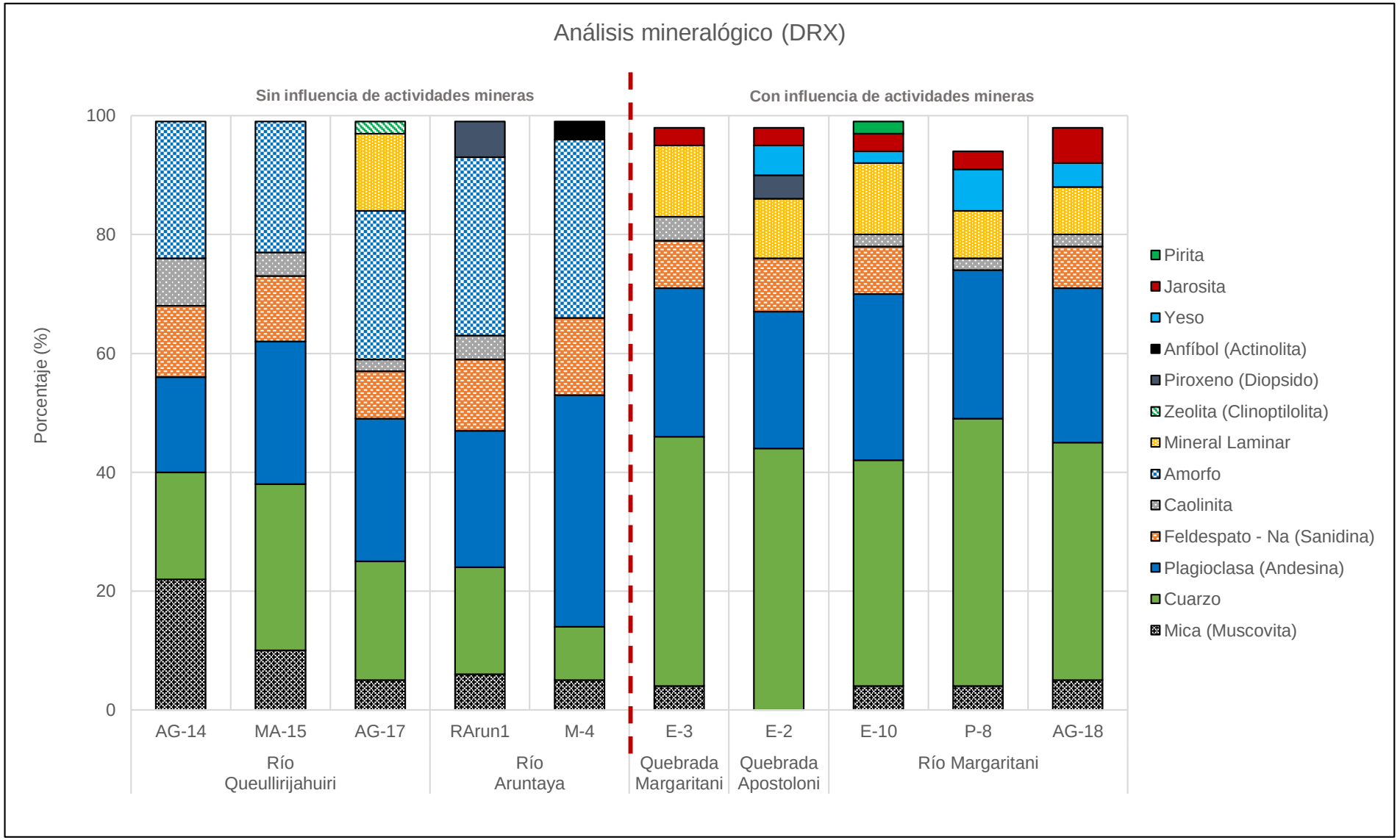


Figura 7.104. Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (puntos AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4), las quebradas Margaritani (E-3), Apostoloni (E-2) y el río Margaritani (E-10, P-8 y AG-18)

Asimismo, la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro, se evidenció en la presencia de minerales como la goethita (FeO.OH), identificada por microscopía electrónica de barrido en los puntos E-10, P-8 y AG-18 del río Margaritani; además de otros minerales en base a hierro como la hematita, magnetita e ilmenita. En cuerpos de agua contaminados gravemente por drenajes ácidos de mina (DAM), se ha reportado ampliamente que los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias de hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos (Silva *et al.,* 2013).

La presencia del hierro afecta el comportamiento geoquímico (solubilización/precipitación) de otros metales presentes en el sistema; además, conducen a la formación de recubrimientos a lo largo de los cuerpos de agua, debido a una notable acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro (color amarillo – anaranjado), los cuales tienen un impacto visual pronunciado (Thornber, 1985; Schmiermund y Drozd, 1997; Banks *et al*., 1997; Kim, 2015), Figura 7.105, lo cual fue evidenciado en el río Margaritani al igual que en las quebradas Margaritani y Apostoloni.

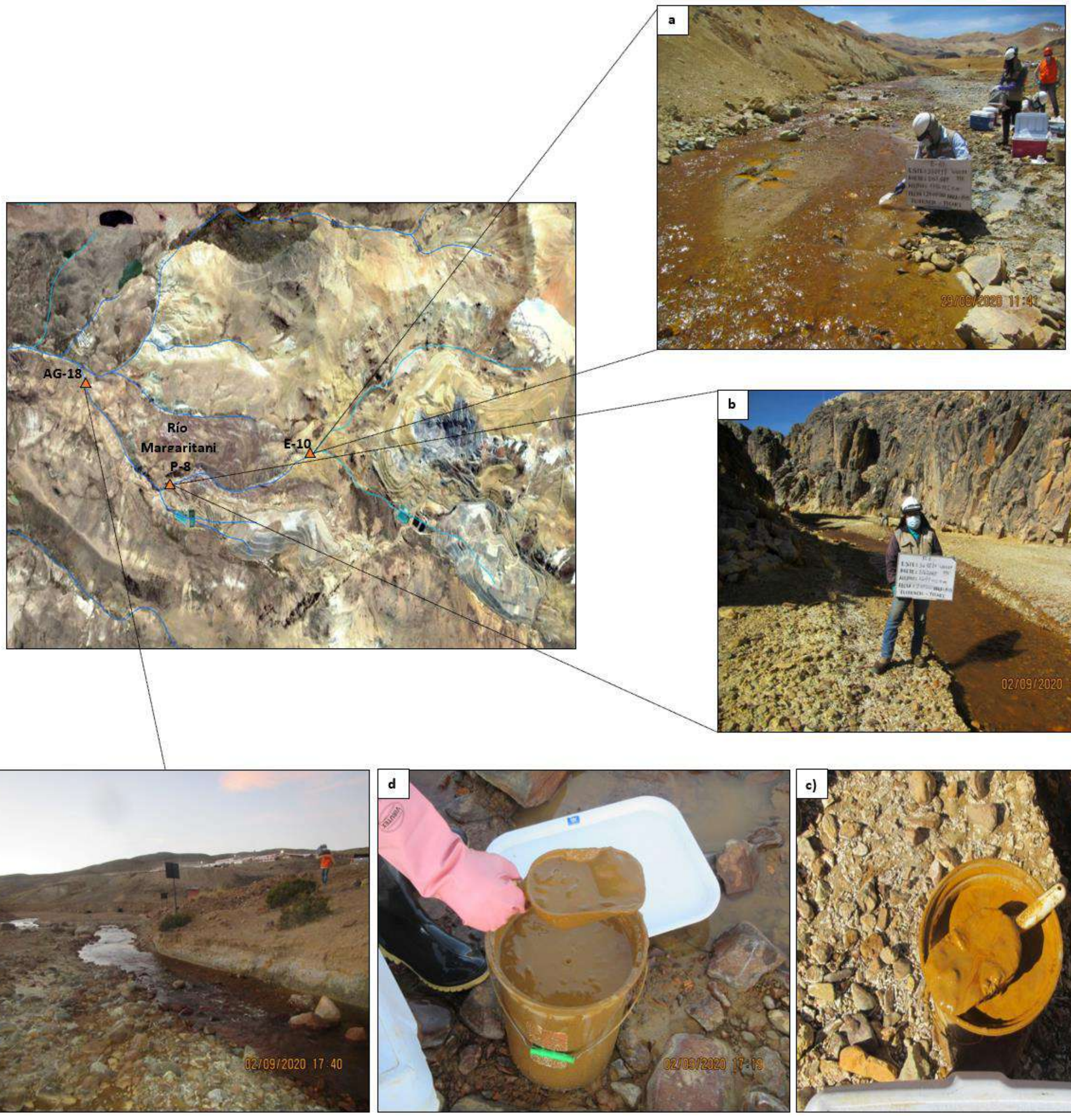


Figura 7.105. Vistas de los sedimentos en el río Margaritani **a)**, **b)**, **c)**, **d)** y **e)** Fotografía de los sedimentos del punto E-10, P-8 y AG-18 del río Margaritani. Se evidencia recubrimientos de óxidos e hidróxidos de hierro (color marrón - rojizo) en el lecho del río Margaritani

En el gráfico de ordenación (nMDS) se muestra los agrupamientos por similitud de las características fisicoquímicas de los sedimentos de las zonas Margaritani (sector río Margaritani con los puntos E-2, E-3, E-10, P-8, P-9 y AG-18), Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Paccha – Aruntaya (RArun1 y M-4), estas dos últimas corresponden a tramos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya que no tienen influencia de actividades mineras (sitios blanco de comparación), y que tienen en conjunto similares características de emplazamiento geológico al de la zona Margaritani (Figura 7.106a).

Se observa una separación espacial marcada entre los puntos de muestreo de las 3 zonas evaluadas, debido a una alta concentración de metales como cadmio, cobre, plomo, mercurio y arsénico (Figura 7.106b-f) en el río Margaritani (E-10, P-8, P-9 y AG-18), que viene siendo afectado por las actividades mineras emplazadas en los sectores de las quebradas Apostoloni y Margaritani que le dan origen, en comparación con lo registrado en los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Aruntaya (RArun1 y M-4).

Para determinar si existe o no diferencias significativas entre las zonas Margaritani (sector río Margaritani), Queullirijahuiri y Paccha – Aruntaya, evaluadas mediante la ordenación nMDS (escalamiento multidimensional no métrico), se realizó el análisis de PERMANOVA (*Permutational MANOVA*), el cual demostró mediante el test principal diferencias significativas (p = 0,001) como se aprecia en la Tabla 7.9a.

Tabla 7.9. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zonas) para las variables fisicoquímicas de los sedimentos, basado en la similitud de distancia euclidiana (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) un resumen del test pareado

(a) Test principal				
Origen de variación (Factor)	Pseudo-F	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Agrupamientos	4,9337	0,001	893	0,004

(b) Test pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Zonas	Queullirijahuiri; Paccha – Aruntaya	0,88643	0,693	10	0,504
	Queullirijahuiri; Margaritani	2,579	0,013	84	0,004
	Paccha – Aruntaya; Margaritani	2,5469	0,036	28	0,004

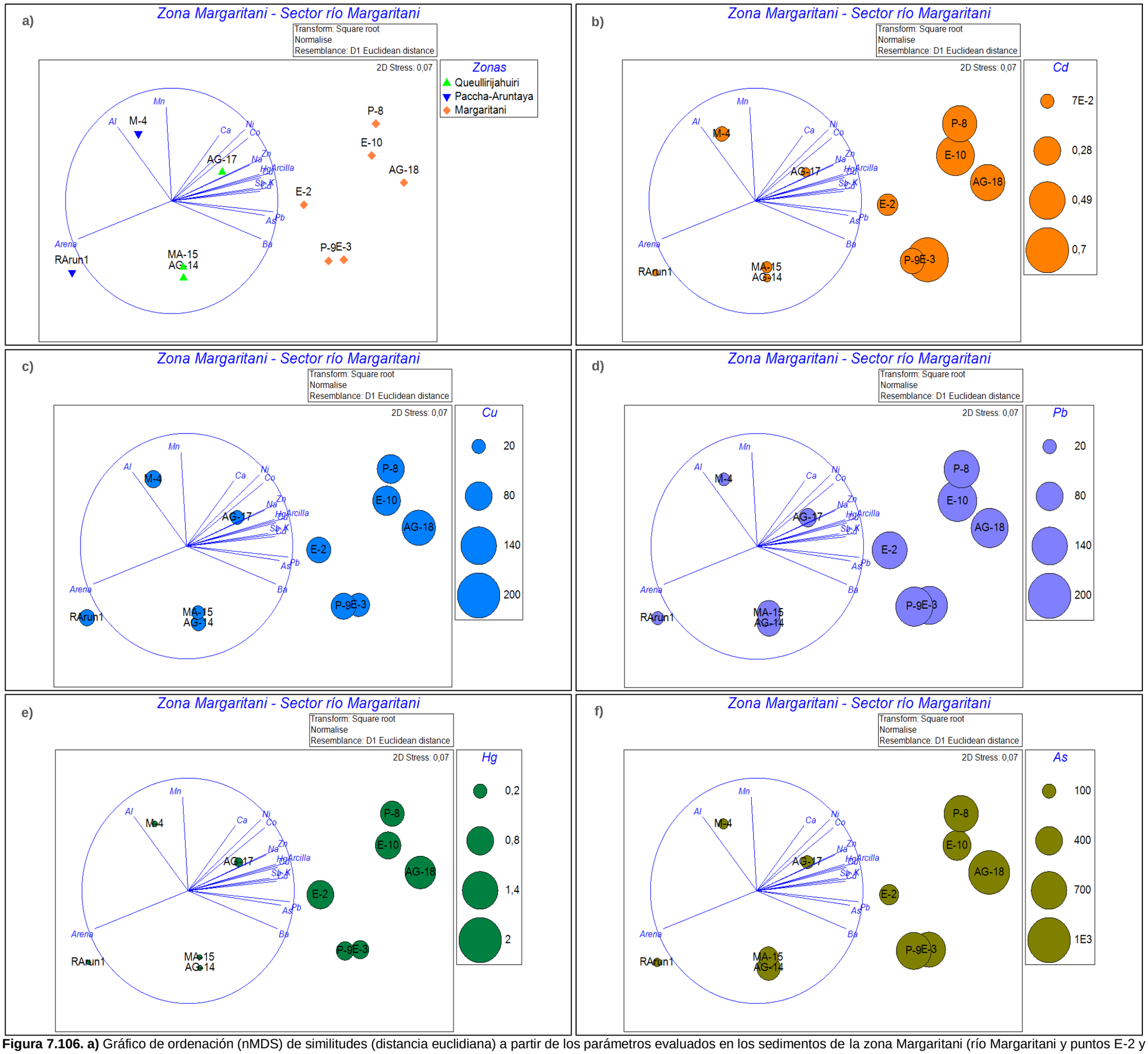


Figura 7.106. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la zona Margaritani (río Margaritani y puntos E-2 y E-3 de las quebradas Apostoloni y Margaritani) y las zonas Queullirijahuiri y Paccha – Aruntaya. La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los sedimentos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/kg PS) de **b)** cadmio, **c)** cobre, **d)** plomo, **e)** mercurio y **f)** arsénico en los sedimentos de los cuerpos de agua de las zonas evaluadas

Asimismo, el test principal se complementó por un test pareado entre los agrupamientos de zonas (Tabla 7.9b), el cual determinó que los sedimentos de la zona Margaritani, la cual se encuentra afectada por actividades mineras, son diferentes a las zonas Queullirijahuiri y Paccha - Aruntaya (sin influencia de actividades mineras), en base a las variables fisicoquímicas evaluadas (pH, sulfatos, hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico, antimonio, aluminio, manganeso, calcio, sodio, potasio, magnesio, bario, y el contenido de arena y arcilla) ya que presentaron diferencias significativas ($p = 0,004$); mientras que las zonas Queullirijahuiri y Paccha - Aruntaya, consideradas como sitios blanco de referencia, no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$).

Además, se compararon los resultados de los muestreos de sedimentos en el punto E-10 del río Margaritani obtenidos por el administrado en los años 2014 y 2015, en relación a lo registrado por el OEFA en 2017, 2019 y 2020 (Figura 7.107), observándose un incremento (acumulación) en las concentraciones de cobre, plomo, hierro y calcio hasta el 2020 en comparación a años anteriores en este tramo del río Margaritani.

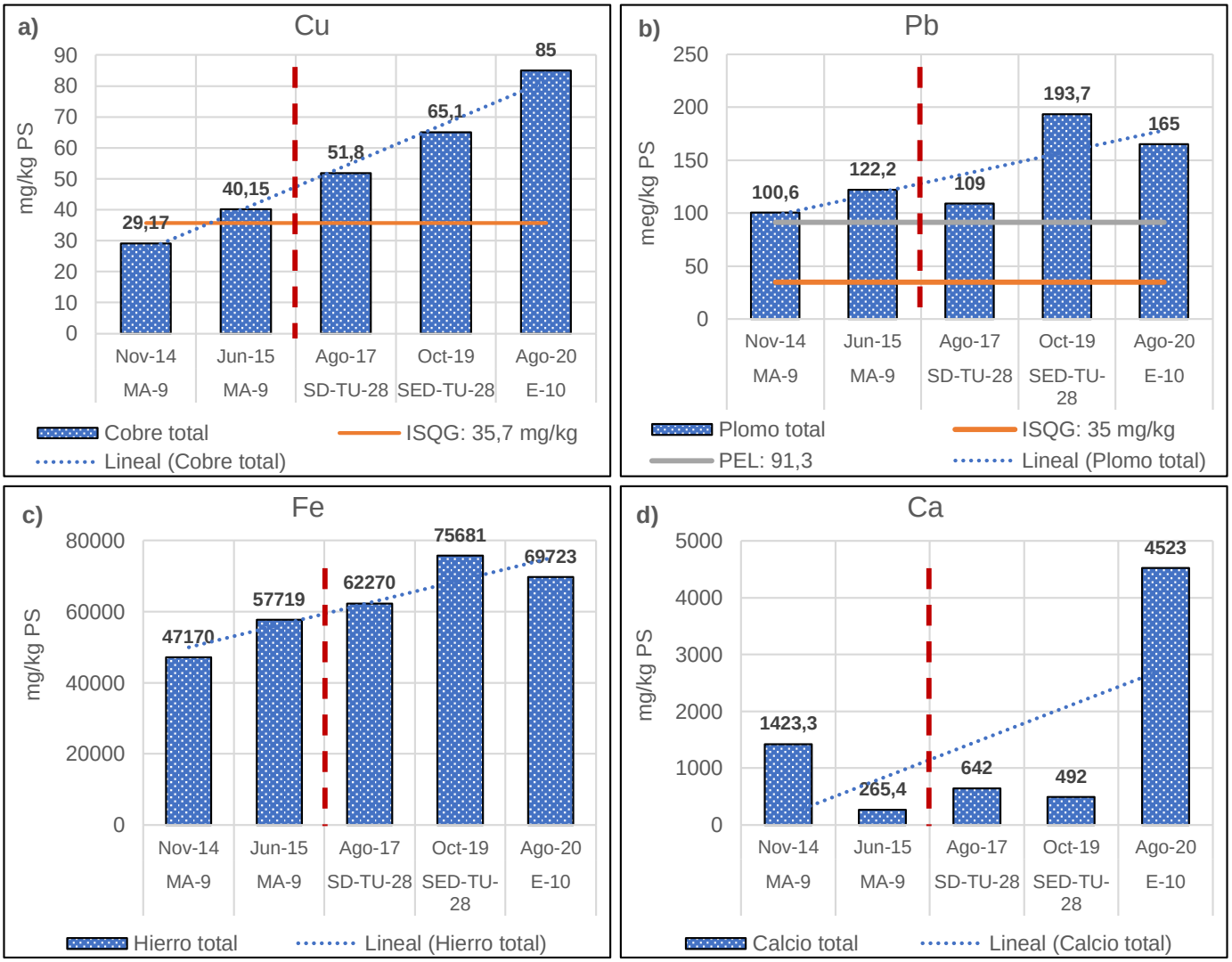


Figura 7.107. Comparación de las concentraciones de hierro en los sedimentos del punto E-10 del río Margaritani, obtenido por el administrado en los años 2014 (MA-9) y 2015 (MA-9), y por el OEFA en 2016 (SD-18), 2017 (SD-TU-28), 2019 (SED-TU-28) y 2020 (E-10)

También, se compararon los resultados de los muestreos de sedimentos en el punto AG-18 del río Margaritani obtenidos por el administrado en los años 2014 y 2015, en relación a lo registrado por el OEFA en 2017, 2019 y 2020 (Figura 7.108), observándose un incremento (acumulación) en las concentraciones de cobre y plomo hasta el 2020 en comparación a años anteriores en este tramo del río Margaritani, antes de la confluencia con el río Queullirijahuiri.

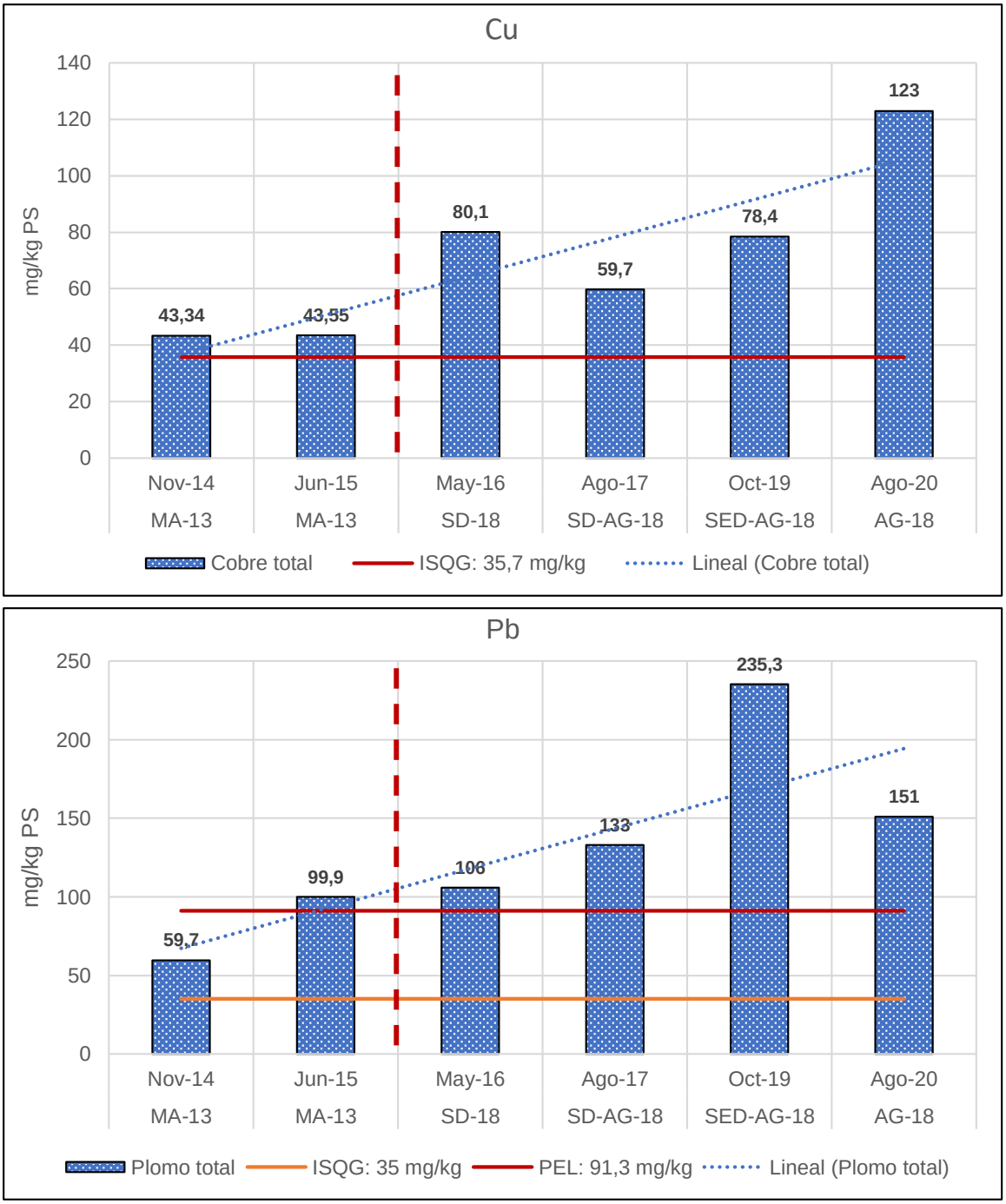


Figura 7.108. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre y **b)** plomo en los sedimentos del punto AG-18 del río Margaritani, obtenido por el administrado en los años 2014 (MA-13) y 2015 (MA-13), y por el OEFA en 2017 (SD-AG-18), 2019 (SED-AG-18) y 2020 (AG-18)

El cambio en el comportamiento del fraccionamiento de los metales, encontrados en altas concentraciones en el río Margaritani, respecto al pH se muestra en la Figura 7.109. Para estudiar la influencia del pH en la partición de metales, los sedimentos del río Margaritani se agruparon en una clase: con pH < 4,5 que se considera extremadamente ácido.

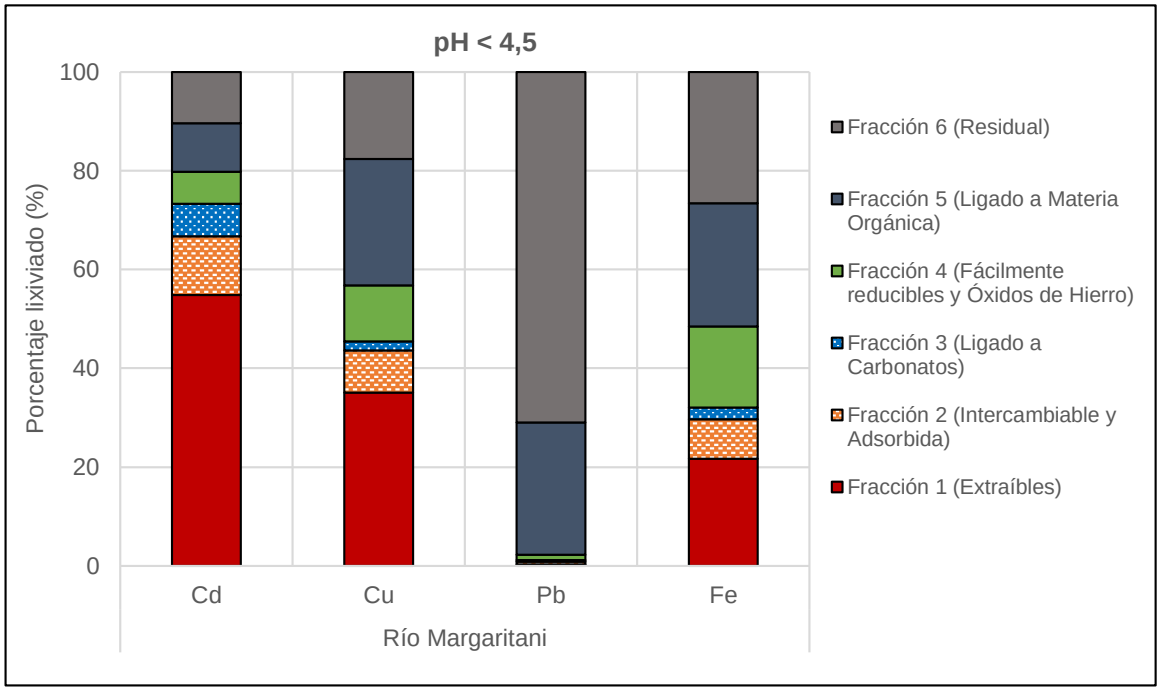


Figura 7.109. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a pH < 4,5 (n = 3, puntos E-10, P-8 y AG-18) en los sedimentos del río Margaritani

En los sedimentos extremadamente ácidos del río Margaritani, metales como el cadmio, cobre y hierro se distribuyeron principalmente en fracciones intercambiables (fracciones 1 y 2); además, el hierro también se fraccionó en óxidos de hierro y manganeso (fracción 4). Por último, el plomo se encontró mayoritariamente en fracciones orgánicas y residuales (fracciones 5 y 6).

Las fracciones intercambiables (fracciones 1 y 2) indican la forma en la que los metales se vuelven a introducir más fácilmente en el agua, mientras que se espera que los retenidos en la fracción residual (fracción 6) permanezcan inmóviles. Asimismo, las fracciones intercambiables se consideran biodisponibles (Equeenuddin *et al*., 2013), y la fracción 4 (óxidos de hierro y manganeso) potencialmente biodisponible; por lo que el contenido de cadmio, cobre y hierro registrados en el río Margaritani, y su porcentaje de fraccionamiento intercambiables, nos indican biodisponibilidad en los sedimentos.

En cuanto a las comunidades hidrobiológicas, el análisis de las microalgas del perifiton se realizó separando los puntos sobre el río Margaritani en 3 tramos: Tramo 1 después de la unión de las quebradas Margaritani y Apostoloni (HB-E-10); Tramo2 que comprende el área antes y después de la confluencia con la quebrada Planta (HB-P-8); y el Tramo3 (HB-P-9 y HB-AG-18). Así también, los puntos de la quebrada Planta se diferenciaron, aquel que se encuentra ubicado debajo de un bofedal (HB-TU-14) del que se encuentra antes del ingreso de al río Margaritani (HB-TU-38) marcándolos para el análisis como CompMBof y CompM respectivamente como se observa en la Figura 7.110.

Al realizarse el análisis multivariado de las composiciones de especies por punto se determinó que existen diferencias significativas entre los tramos asignados y los puntos de la quebrada Planta (factor «ubicación»), para este análisis se realizó el análisis de PERMANOVA (*Permutational MANOVA*), el cual demostró mediante el test principal diferencias significativas (p = 0,001) como se aprecia en la Tabla 7.10. Con este resultado se procedió a realizar un Análisis Canónico de Coordenadas principales (CAP) con base en la Ubicación

Tabla 7.10. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (Ubicación) para la composición de especies del perifiton, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el test principal

Test principal				
Origen de variación (Factor)	Pseudo-F	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Ubicación	3,3434	0,001	996	0,001

Todas las especies presentes en el río Margaritani son acidófilas y pueden tolerar las elevadas concentraciones de metales y aniones que sobrepasan el ECA para Agua categoría 3, 2008 o 2017 como se observa en la Figura 7.107 la composición de especies separa al punto ubicado aguas abajo de la confluencia de las quebradas Margaritani y Apostoloni (HB-E-10), conforme el río se desplaza aguas abajo hay una mayor cercanía entre los puntos del tramo 2 y 3 en lo que respecta a composición de especies; sobresaliendo las microalgas de los géneros *Klebsormidium* sp., *Microspora* sp. 1 y *Pinnularia* sp. todos géneros acidófilos y reportados en DAR y DAM; sin embargo, por presentar una relación con las concentraciones de metales elevados de agua superficial y sedimentos corresponde a posicionar estas asociaciones de microalgas acidófilas como especies indicadoras de DAM, ampliamente citadas en la literatura (Sabater *et al*., 2003; Aguilar *et al*., 2007; Verb y Vis, 2001, Kwandras, 2007; Krammer, 2000).

Se ha demostrado que los efectos del DAM disminuyen el número de especies aguas abajo en el curso de un cuerpo de agua, de igual modo prevalecen aquellas especies que pueden presentar mayor tolerancia a metales (Jacobs *et al*., 2014); tal es el caso que en HB-P-09 la riqueza disminuye y prevalece *Microspora* sp. que esta reportado como tolerante a metales y además como una especie que acumula manganeso de DAM (Kleinmann, 1990; Das *et al.,* 2009); mientras que para HB-AG-18 donde, además de los parámetros que sobrepasan el ECA para Agua categoría 3, 2008 o 2017 también se encuentran concentraciones de arsénico, cobre y mercurio en el sedimento que han excedido los valores ISQG y PEL de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG, prevaleció la microalga *Klebsormidium* sp. que es un género tolerante a concentración de metales como cadmio, cobre, hierro, níquel, manganeso entre otros asociados a DAM (Stevens *et al.,* 2001; Sabater *et al*., 2003; Valente y Gomes, 2007; Gaysina *et al.*, 2009), Figura 7.111.

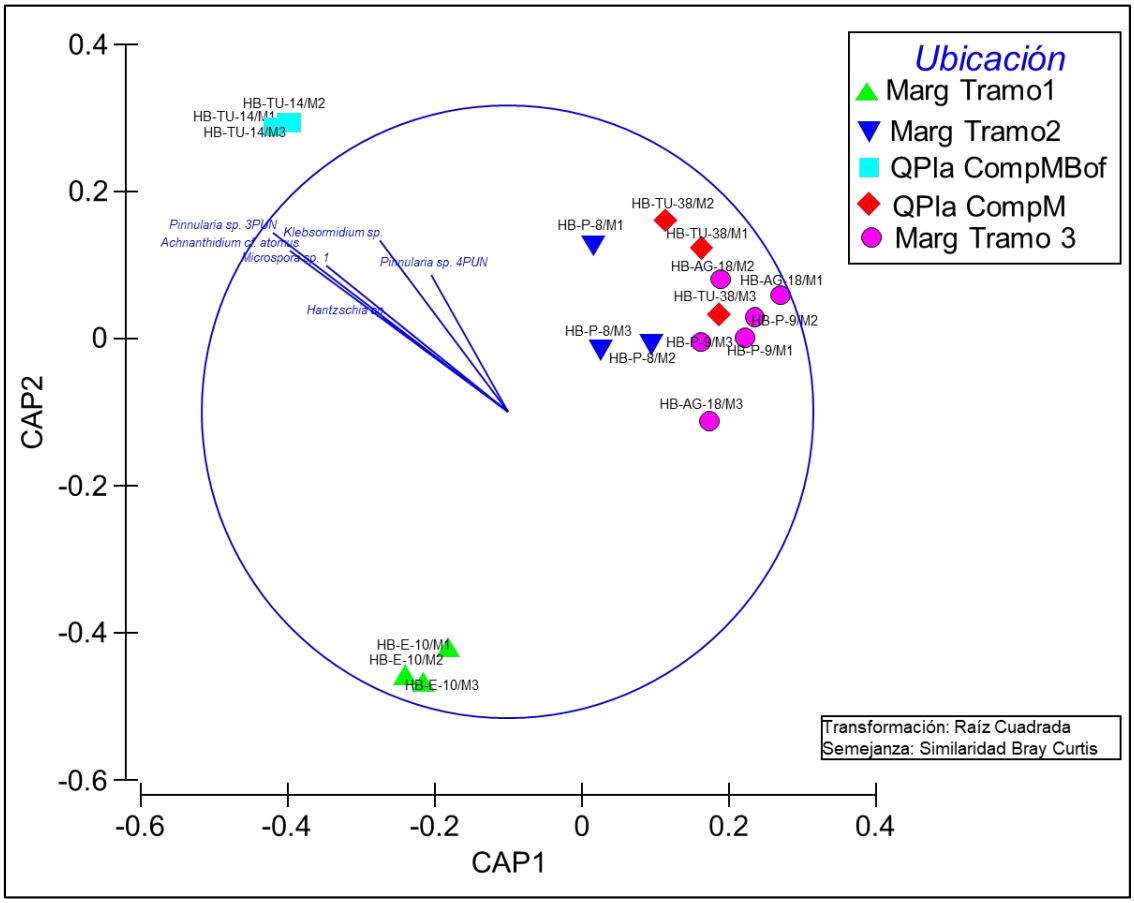


Figura 7.110. Análisis Canónico de Coordenadas principales (CAP) con base en la ubicación de las microalgas del perifiton en el sector río Margaritani.

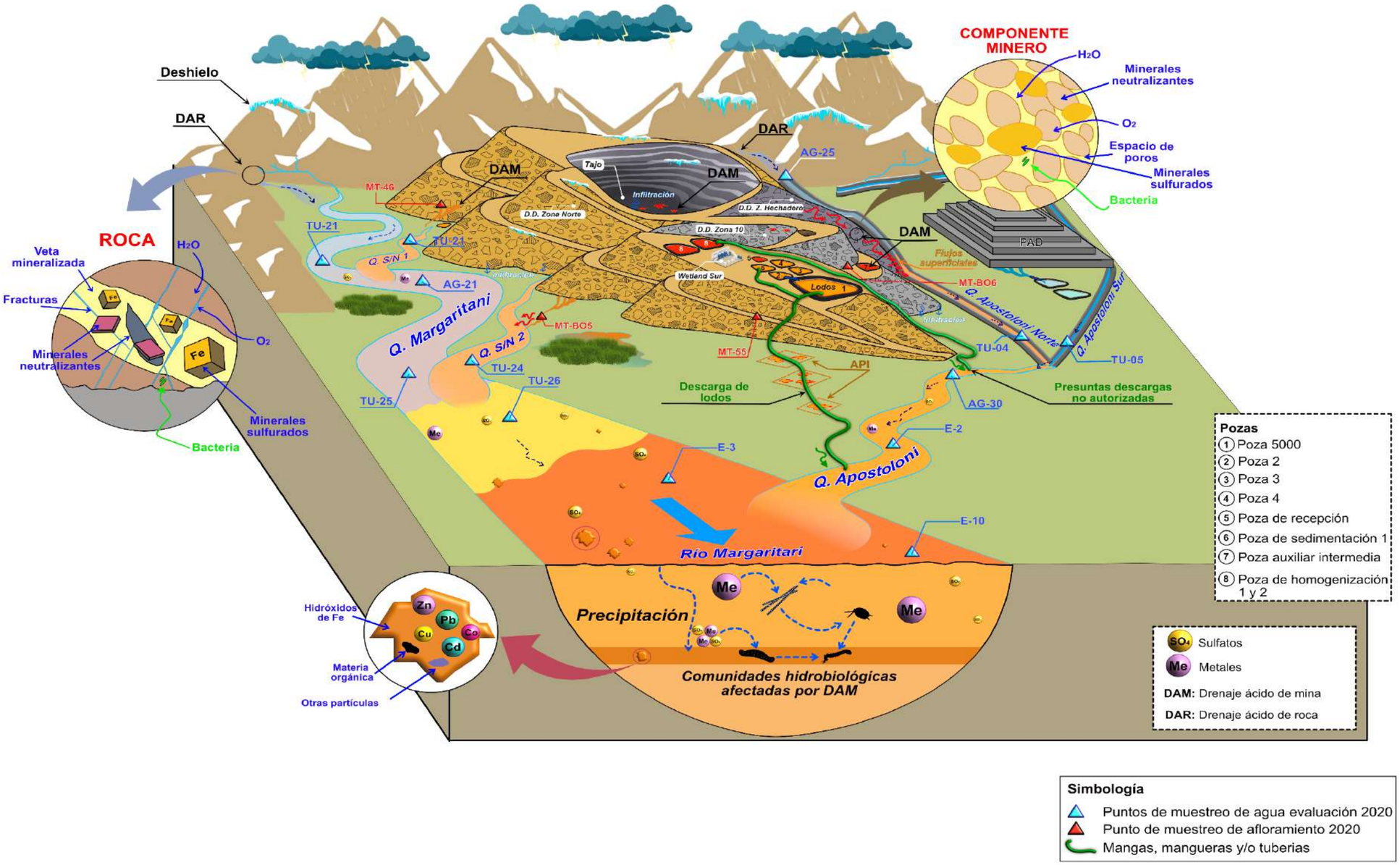


Figura 7.111. Modelo conceptual de la influencia del drenaje acido de mina en el río Margaritani

La quebrada Planta; si bien, presenta un potencial de hidrógeno ligeramente ácido, muestra diferencias entre la composición de microalgas entre sus dos puntos aquel más cercano a la confluencia con el río Margaritani se encuentra con una menor distancia al Tramo3, esto podría deberse a la influencia de las concentraciones de manganeso y zinc que sobrepasan el ECA para agua categoría 3, 2017, mientras que esto no sucede en el punto aguas arriba de la quebrada.

En cuanto a los macroinvertebrados bentónicos, bajo las condiciones descritas en agua y sedimento, y al igual que en los sectores de las quebradas Margaritani y Apostoloni, la especie más recurrente fue *Podonomus* sp., asociada a la presencia de otros quironómidos (familia Chironomidae) con hábitos recolectores y tolerantes a las condiciones ambientales encontradas en el río, como *Cricotopus* sp. y *Limnophyes* sp.; asimismo, se asociaron especies facultativas como *Austrelmis* sp. (familia Elmidae) y *Ochthebius* sp. (familia Hydraenidae), consideradas recolectora y fragmentadora respectivamente, de acuerdo a Merritt *et al.* (2008) y Jerez & Moroni (2006), Figura 7.113. El ligero incremento en los parámetros comunitarios (riqueza, abundancia y diversidad) hacia aguas abajo de la UM Florencia-Tucari, a pesar de no observarse esta condición en HB-AG-18 (antes de su aporte al río Queullirijahuiri), señalaría que las condiciones para el restablecimiento de la estructura comunitaria mejorarían a mayor distanciamiento del área del proyecto, a pesar de ser recurrente la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro (coloración rojiza en el lecho del cuerpo principal), que generarían limitaciones en el desarrollo de la comunidad biótica, de acuerdo a lo señalado por Hanson *et al.* (2010) y Loayza-Muro *et al.* (2010).

La dominancia de especies tolerantes sobre las facultativas en todos los puntos del río Margaritani, indicaron según el ABI una pésima calidad biológica, a excepción de HB-P-9 que presentó una mala calidad biológica. Cabe señalar que el punto HB-TU-14, ubicado en la parte alta de la desembocadura de la quebrada Planta y aledaño a un bofedal, presentó altos valores de los parámetros comunitarios (asociado a un mayor número de especies tolerantes y facultativas) y mejores condiciones ambientales (pH ligeramente ácido y bajas concentraciones de metales) para el desarrollo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, en comparación al resto de puntos de la zona; es importante señalar que este punto no presentó influencia directa de alguna actividad o componente minero (Figura 7.112).

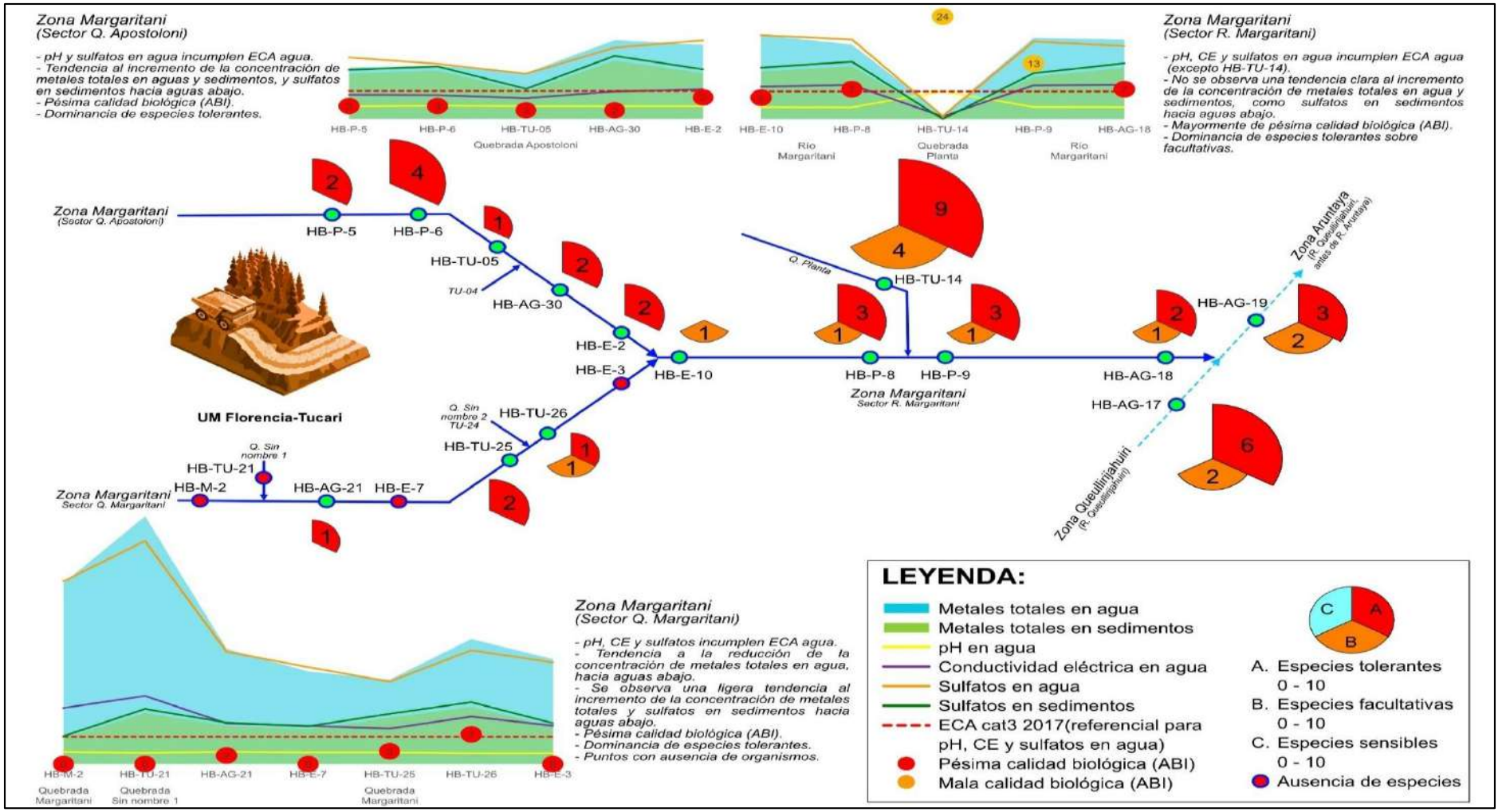


Figura 7.112. Análisis de especies bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos relacionados a condiciones ambientales encontradas en los puntos de muestreo de la zona Margaritani, en los tres sectores (quebrada Margaritani, quebrada Apostoloni y río Margaritani).

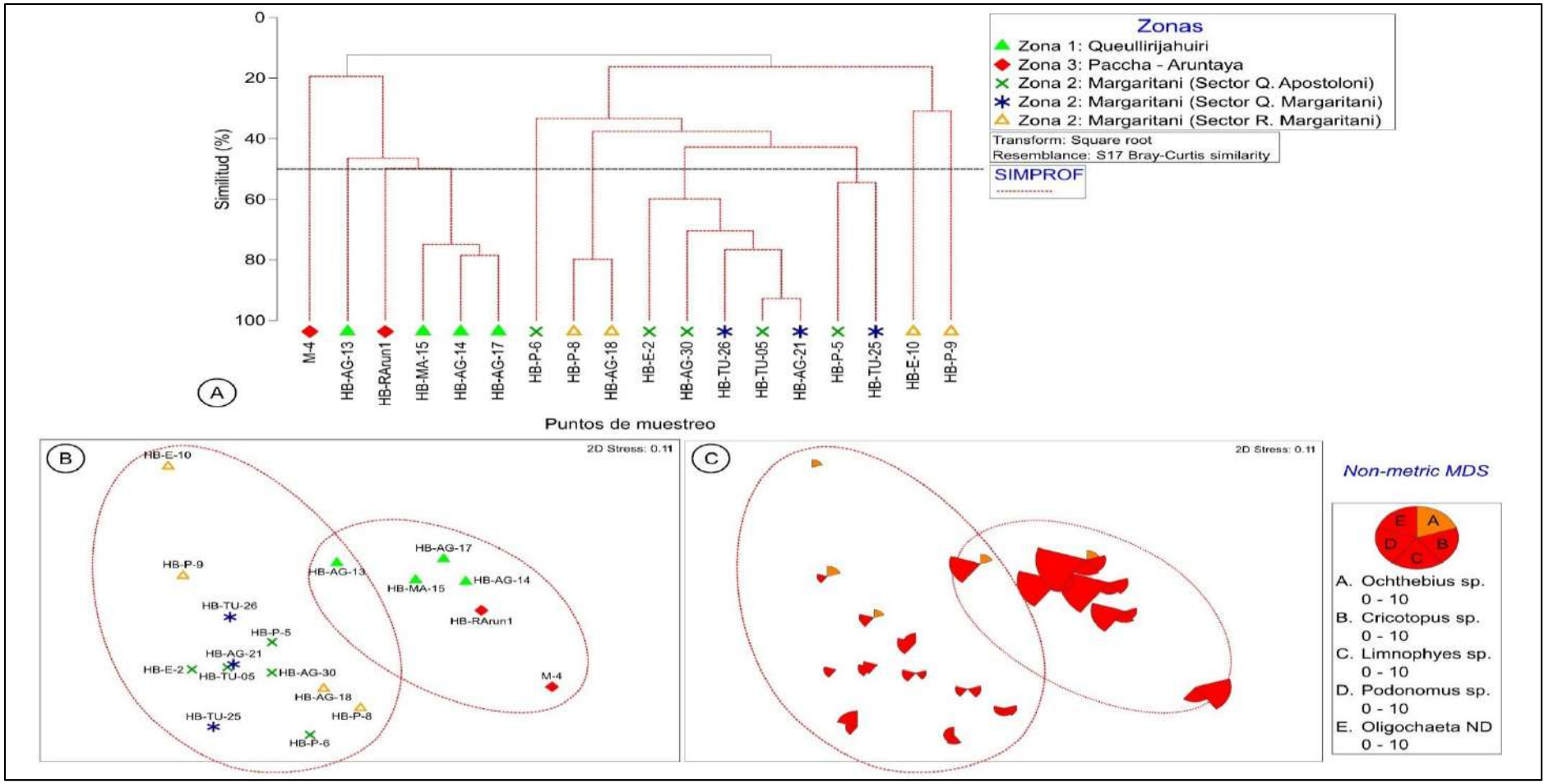


Figura 7.113. Análisis multivariados que explican dos agrupamientos establecidos por la prueba SIMPROF para las zonas Queullirijahuiri, Paccha-Aruntaya y Margaritani: (A) Análisis de agrupamiento (similitud de Bray-Curtis), (B) Análisis multidimensional no métrico (nMDS) y (B) nMDS con las especies más abundantes (abundancia transformada a raíz cuadrada), presentando especies tolerantes (color rojo) y facultativas (color naranja).

Determinada la influencia negativa de la UF Florencia-Tucari en la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos de la UH Coralaque, principalmente en las quebradas Margaritani y Apostoloni, así como en el río Margaritani, se buscó determinar si esta influencia ha sido puntual o ha venido siendo una condición común, comparando los resultados de la evaluación actual 2020 (agosto, época seca), con evaluaciones previas realizadas por el OEFA[86] en los años 2017 (agosto, época seca) y 2019 (abril, época húmeda; octubre, época seca) en la zona Margaritani.

Para determinar si existen o no diferencias significativas entre las evaluaciones ambientales en la zona Margaritani, se realizó el análisis de PERMANOVA, el cual demostró mediante el test principal diferencias significativas (p=0,001) (Tabla 7.11a); asimismo, el test principal se acompañó por un test pareado entre las evaluaciones realizadas (Tabla 7.11b), el cual determinó que las diferencias en las evaluaciones están relacionadas a la temporalidad, influyendo la evaluación de abril 2019 (época húmeda) en las diferencias significativas con el resto de evaluaciones realizadas sen la época seca (agosto 2017, octubre 2017 y agosto 2020). Esto quiere decir que las estructuras comunitarias no presentaron diferencias significativas (p>0,05) en las evaluaciones realizadas en la época seca en los años 2017, 2019 y 2020, por lo cual la afectación a los organismos de macroinvertebrados bentónicos ha venido siendo recurrente en los últimos años, de acuerdo a lo señalado en los informes previos[1].

Tabla 7.11. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (Evaluaciones Zona Margaritani) para el ensamble de macroinvertebrados bentónicos, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) test pareado

(a) Test principal				
Origen de variación (Factor)	Pseudo-F	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Evaluaciones ambientales - Zona Margaritani	2,844	0,001	999	0,001

(b) Test Pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Evaluaciones - Zona Margaritani	Ago-17, Abr-19	2,423	0,001	982	0,002
	Ago-17, Oct-19	1,0675	0,301	943	0,336
	Ago-17, Ago-20	1,3662	0,052	992	0,065
	Abr-19, Oct-19	2,1403	0,003	547	0,004
	Abr-19, Ago-20	2,269	0,001	972	0,001
	Oct-19, Ago-20	0,94027	0,52	880	0,513

[86] Informes revisados, realizados por el OEFA: Informe 2017 «N.° 102-2017-OEFA/DE-SDLB-CEAME» e Informe 2019 «N.° 335-2019-OEFA-DEAM-STEC»

Para el análisis de cobertura vegetal en la zona Margaritani se evaluaron 6 sectores, que incluyeron 4 bofedales: Wetland Norte, Botadero Norte, Qda. Margaritani y Qda. Apostoloni, además de 2 formaciones de césped de puna, denominados como sector Wetland Sur y sector Qda. Apostoloni.

La evaluación de la flora silvestre y sus coberturas (vegetación muerta, medio físico, vegetación tipo cojín y vegetación graminoide) se presenta en las Tablas 7.12 y 7.13, donde se observa el contraste entre las coberturas de los bofedales Wetland Norte y Botadero Norte con los bofedales blanco 1 y 2 de la zona Queullirijahuiri (Tabla 7.14 y Figura 7.114). Evidenciándose mayor pérdida de cobertura vegetal y mayor cobertura de vegetación muerta en ambos bofedales (Wetland y botadero Norte) con respecto a los bofedales de la zona Queullirijahuiri.

Tabla 7.12.. Porcentaje de coberturas entre Bo. Wetland Norte y Bo. Blanco 1 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.

Clasificación		Cobertura (%) Parcelas – Bo. Wetland Norte	Cobertura (%) Parcelas – Bo. Blanco - 1	Cobertura (%) Imágenes Wetland Norte	Cobertura (%) Imágenes – Bo. Blanco - 1
Vegetación muerta		57,6	0,9	18,6	15,1
Medio físico	Suelo descubierto	25,4	0,8	57,4	
	Espejo de agua				
Vegetación de cojín		7,6	76,6	--	47,1
Vegetación graminoide		9,4	21,7	24	37,8

Tabla 7.13. Porcentaje de coberturas entre Bo. Wetland Norte y Bo. Blanco 2 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.

Clasificación		Cobertura (%) Parcelas – Bo. Wetland Norte	Cobertura (%) Parcelas – Bo. Blanco - 2	Cobertura (%) Imágenes Wetland Norte	Cobertura (%) Imágenes – Bo. Blanco - 2
Vegetación muerta		57,6	--	18,6	38,1
Medio físico	Suelo descubierto	25,4	0,5	57,4	
	Espejo de agua				
Vegetación de cojín		7,6	38,3	--	35,3
Vegetación graminoide		9,4	61,2	24	26,6

Tabla 7.14. Porcentaje de coberturas entre Bo. Botadero Norte y Bo. Blanco 1 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.

Clasificación		Cobertura (%) Parcelas – Bo. Botadero Norte	Cobertura (%) Parcelas – Bo. Blanco - 1	Cobertura (%) Imágenes Bo. Botadero Norte	Cobertura (%) Imágenes – Bo. Blanco - 1
Vegetación muerta		31,9	0,9	51,8	38,1
Medio físico	Suelo descubierto	15,4	0,8	17,5	
	Espejo de agua				
Vegetación de cojín		13,1	76,6	20,5	47,1
Vegetación graminoide		31,1	21,7	10,1	37,8

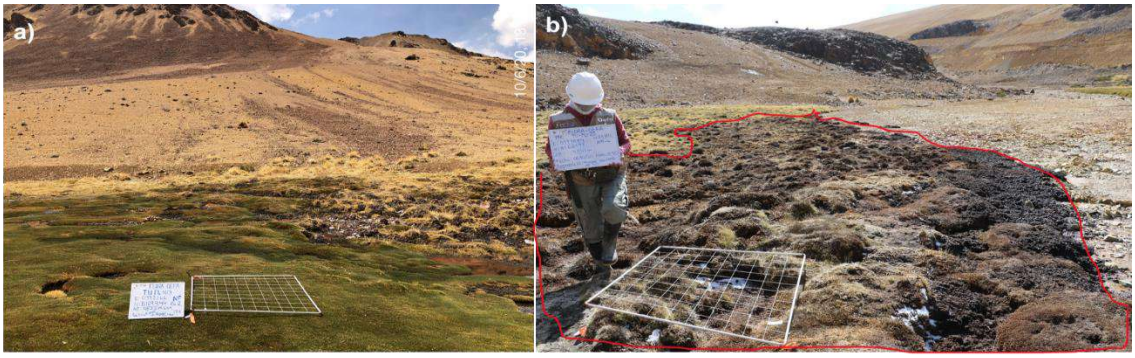


Figura 7.114. Presencia de vegetación muerta en: a) bofedal Blanco 1 de la zona Queullirijahuiri y b) bofedal Botadero Norte de la zona Margaritani

Por otro lado, el bofedal Qda. Margaritani Tabla 7.15 y Figura 7.115, evidencia mayor porcentaje de cobertura vegetal (tipo cojín y tipo graminoide) y menor cobertura de vegetación muerta. Debido principalmente a que no se encuentra directamente relacionado a los aportes de cuerpo principal (quebrada Margaritani). Asimismo, a nivel de ecosistemas no presenta diferencias considerables con los bofedales blanco 1 y blanco 2 de la zona Queullirijahuiri.

Tabla 7.15. Porcentaje de coberturas entre Bo. Qda. Margaritani y Bo. Blanco 2 - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.

Clasificación		Cobertura (%) Parcelas – Bo. Qda. Margaritani	Cobertura (%) Parcelas – Bo. Blanco - 2	Cobertura (%) Imágenes Qda. Margaritani	Cobertura (%) Imágenes – Bo. Blanco - 2
Vegetación muerta		2,5	--	6,9	38,1
Medio físico	Suelo descubierto	12,6	0,5	28	
	Espejo de agua				
Vegetación de cojín		55,6	38,3	14,6	35,3
Vegetación graminoide		24,6	61,2	50,5	26,6



Figura 7.115. Presencia de mayor cobertura de vegetación (tipo graminoide y cojín) bofedal Qda. Margaritani

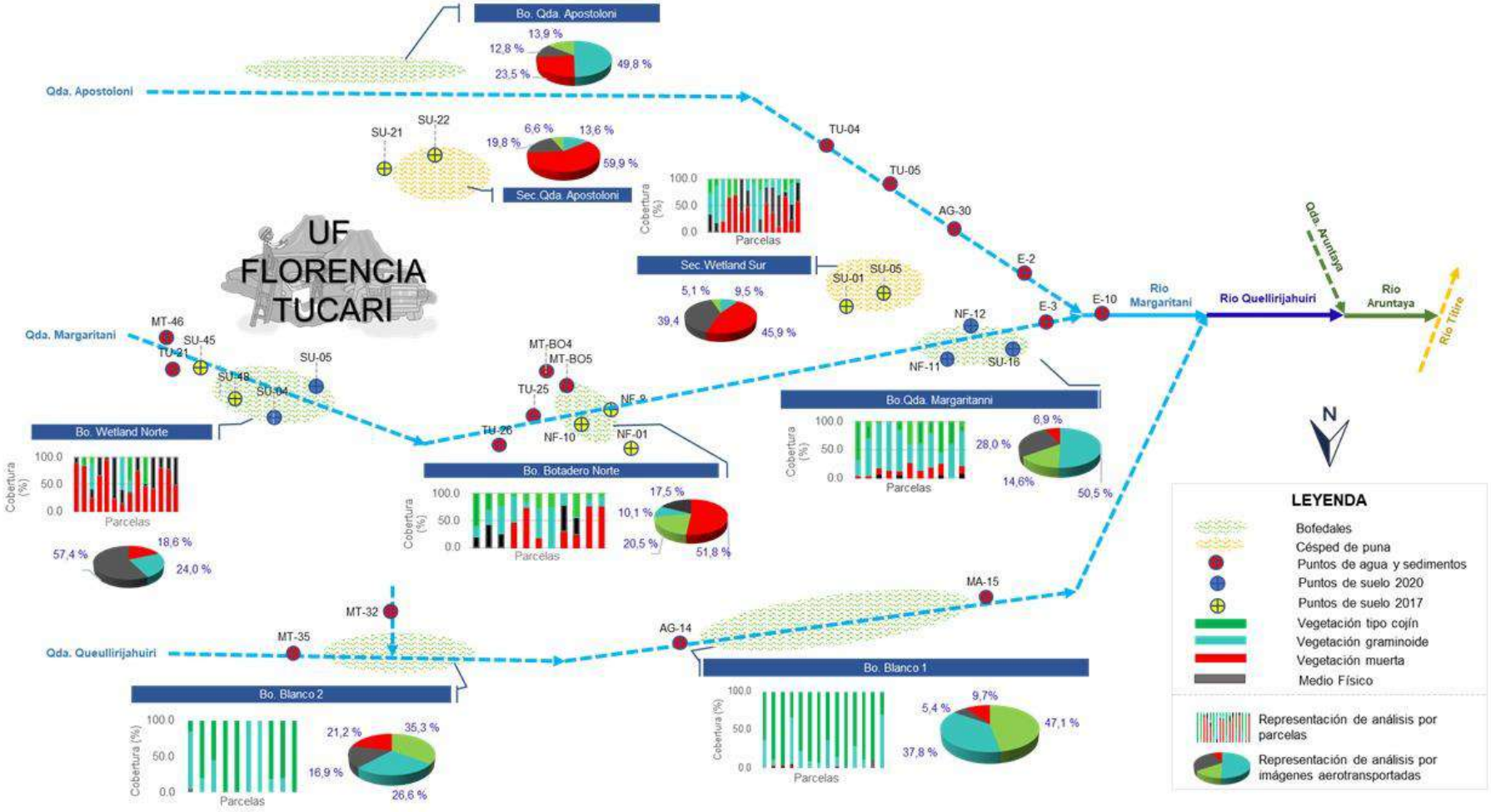


Figura 7.116. Perdida de la cobertura vegetal entre la zona Margaritani, Queullirijahuiri y Aruntaya

Como se evidencia, la mayor pérdida de cobertura vegetal se presenta de forma gradual (de mayor a menor) en el bofedal Wetland Norte, seguida del bofedal Botadero Norte, siguiendo el curso de la quebrada Margaritani Figura 7.116, debido principalmente a la mala calidad de suelos, con elevadas concentraciones de arsénico y cadmio, producto descarga de los afloramientos afectados con lixiviados provenientes del depósito de desmonte Norte, de acuerdo a lo señalado por OEFA (2017), en el área del bofedal Wetland Norte. Por otro lado, la perdida de cobertura de vegetal en el bofedal Botadero Norte, ubicado en las márgenes de la quebrada Margaritani, aguas abajo de la quebrada sin nombre 2, está relacionado con el aporte de agua y sedimento afectados con DAM que presentan elevadas concentraciones de metales. Como consecuencia de ello, la presencia de mayor cobertura de vegetación muerta y suelo descubierto, en comparación con los resultados de la zona Queullirijahuiri.

Asimismo, el análisis de tejido vegetal evaluados en ambas zonas, presentaron concentraciones de metales notoriamente marcadas, llegando en algunos casos a bioacumular más de 5000 % en la zona Margaritani, respecto a zona Queullirijahuiri.

En los análisis de tejido vegetal, las concentraciones de As = 14 mg/kg, Cd = 1,68 mg/kg, Hg = 0,28 mg/kg y Pb = 52,9 mg/kg en las hojas de la especie *Calamagrostis* sp. (Figura 7.117 y Figura 7.118) presente en el bofedal Wetland Norte (TU-TV-IN7-H) exceden los niveles máximos propuestos por el Real Decreto 465/2003 (en adelante RD) relacionado a sustancias indeseables para alimento animal. Por otro lado, las concentraciones de estos elementos (As = 6,5 mg/kg, Cd = 0,10 mg/kg, Hg = 0,01 mg/kg y Pb = 4.51 mg/kg) en el Bofedal Blanco 2 (TU-TV-CR3-H), no superan los niveles máximos del RD, a excepción del arsénico. No obstante, las concentraciones de arsénico en el bofedal Wetland Norte (14 mg/kg) superan en 115,4 % a las reportadas en el bofedal Blanco 2 (6,5 mg/kg)

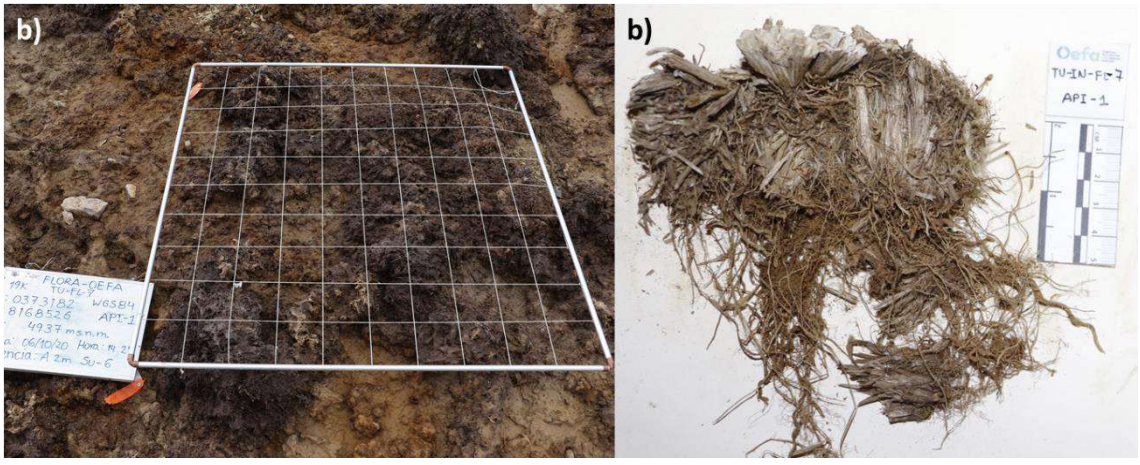


Figura 7.117. *Calamagrostis* sp. – parcela TU-FL7, y código de tejido vegetal TU-TV-IN7 a) formando parte del ecosistema y b) muestra para seleccionar partes de tejido (raíz y hojas).

Por otro lado, la concentración de metales en las hojas (TU-TV-IN2-H y TU-TV-IN27-H) de la especie *Oxychloe andina* obtenidas en la zona Margaritani, presentan concentraciones que exceden los niveles máximos del RD en arsénico, cadmio, mercurio y plomo, además se reportaron altas concentraciones de cobre, níquel y zinc en comparación a los bofedales blanco

de Queullirijahuiri, asimismo, en esta zona blanco no se excedieron los niveles máximos del RD (Figura 7.115).

Del mismo modo, para la especie *Distichia muscoides*, del bofedal Wetland Norte (TU-TV-IN6-H) presenta concentraciones de arsénico (80 mg/kg), cadmio (1,42 mg/kg) y mercurio (0,66 mg/kg) que superaron los valores del RD, y que son mayores a las reportadas en la muestra blanco (TU-TV-DM3-H), ubicada en el río Javira, donde se obtuvo arsénico (8,3 mg/kg), cadmio (1,0 mg/kg) y mercurio (0,01 mg/kg). Por otro lado, la concentración de cobre en esta especie, en el bofedal Wetland Norte (3130 mg/kg) supera en 25000 %, las concentraciones de la muestra blanco (12 mg/kg), Figura 7.118.

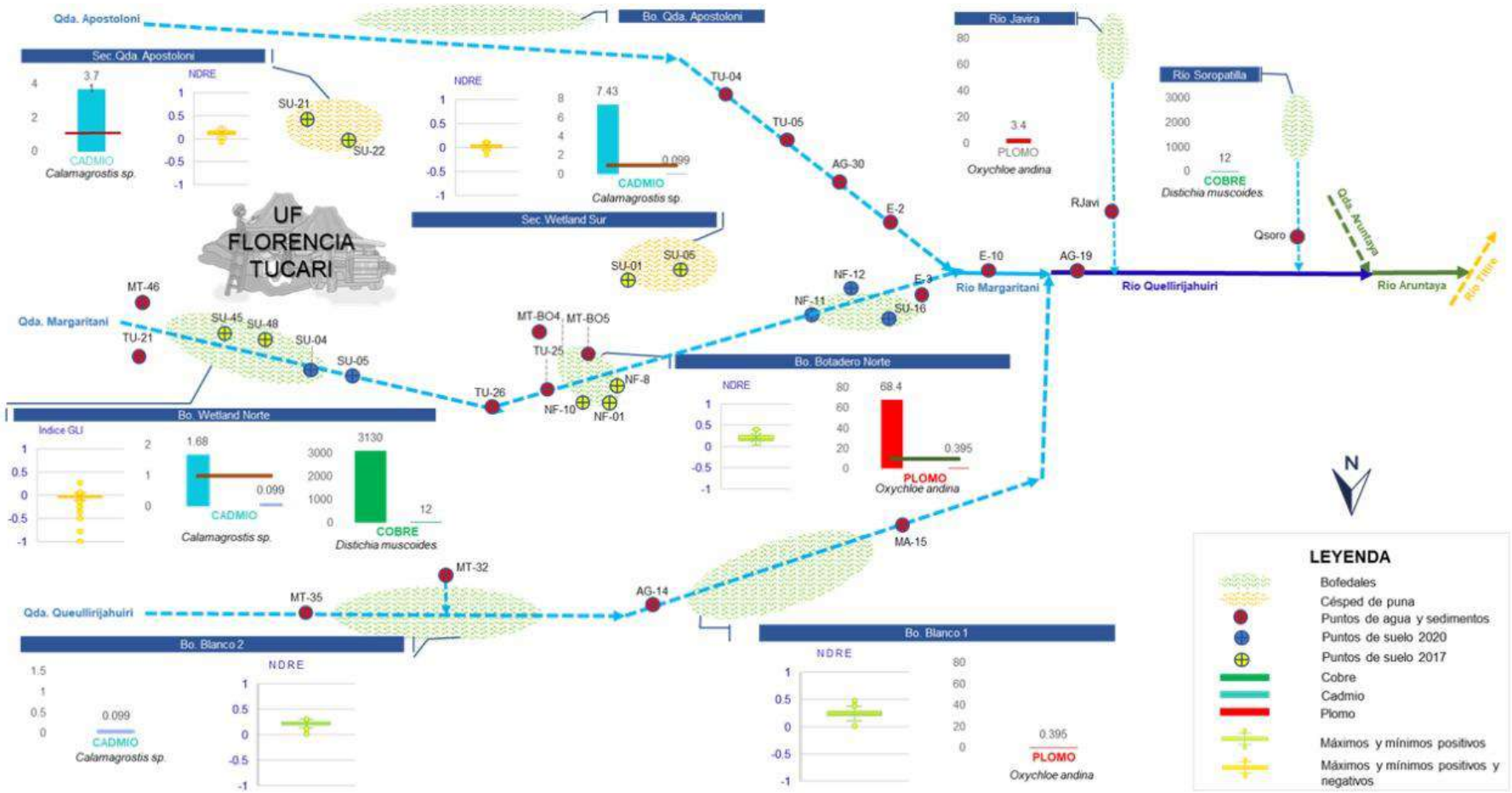


Figura 7.118. Concentraciones de metales (Cd, Cu y Pb) en tejido vegetal entre la zona Margaritani y Queullirijahuiri, además de la parte baja de la zona Aruntaya en el río Queullirijahuiri



Figura 7.119. *Distichia muscoides* – parcela TU-FL6, y código de tejido vegetal TU-TV-IN6. a) formando parte del ecosistema y b) muestra para análisis de tejido (raíz y hojas).

Las altas concentraciones de metales en el suelo, pH ácidos, debido principalmente al aporte de drenaje ácido de mina en la quebrada Margaritani, tiene como consecuencia, procesos graduales de degradación, como ocurre en los sectores evaluados (bofedal Wetland Norte y bofedal Botadero Norte) causando efectos inmediatos en la vegetación, como la inhibición de crecimiento normal y el desarrollo de la planta, producto de la degradación tipo químico y su bioacumulación de sustancias toxicas (Martín, 2000 citado por Prieto *et al.,* 2009); (Albes *et al.,* 2017); (Rábago, 2011 citado por Cordero, 2015); (Azevedo y Rodriguez, 2012); y (Pineda, 2004).

Asimismo, las fracciones intercambiables pueden estar disponibles y ser absorbidas por microrganismos y plantas (Equeenuddin *et al*., 2013; Peinenburg *et al*., 2007), teniendo como efecto la perdida gradual de vigorosidad y muerte de las especies de flora, perdida gradual de la cobertura vegetal y como consecuencia final degradación del ecosistema como se evidencia en la Figura 7.119 y 7.120.

Por otro lado, las concentraciones en tejidos vegetales que exceden los niveles máximos de metales, según el Real Decreto 465/2003 para sustancias indeseables en alimento animal, además de lo mencionado por la *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO, 1996), exponen su disponibilidad en la dieta alimenticia de la fauna silvestre, pudiéndole causar daños irreversibles en el organismo a futuro.

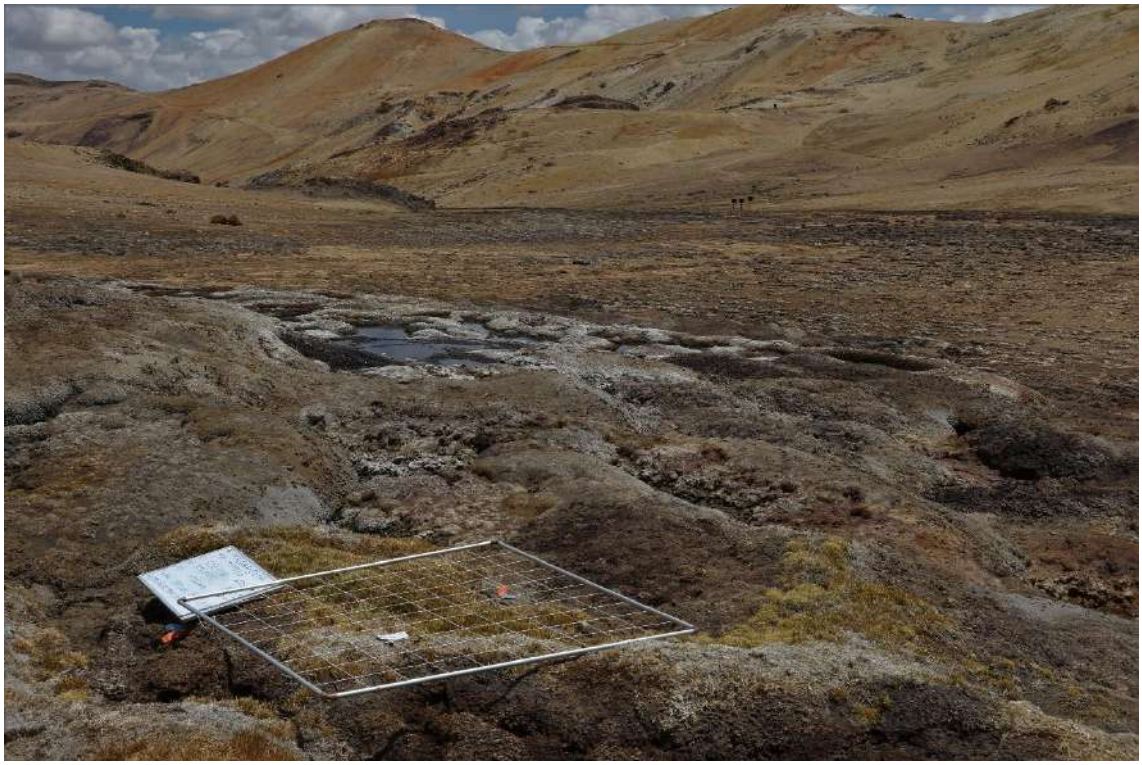


Figura 7.120. Perdida de cobertura vegetal (Bofedal) en la zona Margaritani (Bo. Wetland Norte)

Por otro lado, los sectores Wetland Sur y Qda. Apostoloni también evidencian perdida de cobertura vegetal y mayor presencia de vegetación muerta como se muestra en el esquema de la Figura 7.116, lo cual está directamente relacionado con la calidad de suelos, alterados por los drenajes ácidos de mina provenientes de la ampliación depósito de desmonte (OEFA, 2017), que presentan concentraciones elevadas de arsénico y plomo, lo cual se evidencia en el análisis de tejido vegetal presentados en la especie *Calamagrostis* sp. (TU-TV-IN22-H).

Dado las altas concentraciones de cadmio, mercurio y plomo, es importante señalar que al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor predisposición a acumularse en las plantas. Una de las consecuencias de ello es, que causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas (Singh & Tewari, 2003). Sin embargo, las plantas han desarrollado mecanismos únicos para absorber, translocar y almacenar algunos metales (Lasat, 200), que en concentraciones elevadas las convierten toxicas, causándoles gradualmente perdida de vigorosidad.

Por otro lado, como el plomo no es un elemento esencial para el metabolismo de las plantas, una concentración en ellas superior a 5 mg/kg evidencia una contaminación de las mismas, habiéndose detectado efectos a concentraciones superiores a 30 mg/kg en la parte aérea de las plantas. (Rábago 2011 citado por Cordero, 2015), como ocurre en las muestras (TU-TV-IN5-H, TU-TV-IN7-H y TU-TV-IN1-H) del bofedal Wetland Norte.

En relación a los otros elementos como arsénico, cobre, níquel, zinc y bario siguiendo la clasificación de los metales altamente tóxicos, tóxicos, moderadamente tóxicos y ligeramente tóxicos según la AAFCO (1996) determinan que el cobre y bario superan los niveles máximos, considerándolas en el nivel de tóxico. Los mecanismos implicados en esta resistencia parecen específicos para cada metal. Mientras que la resistencia simultánea a muchos metales presentes en el sustrato (resistencia múltiple) es una respuesta común en las metalofitas que han evolucionado sobre sustratos con altas concentraciones de varios metales (Reigosa *et al*., 2003). Sin embargo, la presencia de especies vegetales resistentes que acumulan (bioacumulan metales), las hace biodisponibles como alimento para los receptores finales (fauna silvestre).

Asimismo, otros metales analizados (aluminio, cobre, níquel, manganeso, hierro y zinc) como se detalla en el Anexo 3 (RRE-047-2020-STEC), siguen eventualmente los mismos patrones mostrados en la Figura 7.118, donde, la concentración de metales en la zona Queullirijahuiri, es considerablemente menor a las presentadas en los sectores de la zona Margaritani, que como consecuencia y efectos colaterales trae consigo la degradación gradual (muerte de especies) y perdida de cobertura vegetal en los ecosistemas entorno a los componentes mineros de la UF Florencia – Tucari (Figura 7.121).

Con respecto a los índices de vegetación, considerando que los valores negativos en el rango de -1 a 0 representan zonas de suelo o vegetación muerta y los valores positivos en el rango de 0 a 1 un incremento gradual de la vigorosidad y salud de las plantas asociadas a su estructura interna y coloración, se tiene que, en las zonas de muestreo de tejido vegetal, en la zona Margaritani, en el sector bofedal Wetland Norte los valores del índice GLI están en el rango de -1 a 0,2, en comparación con los resultados de la zona Queullirijahuiri, donde, en ambos bofedales; bofedal Blanco 1 y bofedal Blanco 2 presentan valores positivos en el rango de 0 a 0,5. Evidenciando un estado de afectación de la cobertura vegetal en la mayoría de los sectores de la zona de Margaritani, incluido los sectores de la Qda. Apostoloni y Sector Wetland Sur donde los valores del índice NDRE están en el rango de -0,2 a 0,3.

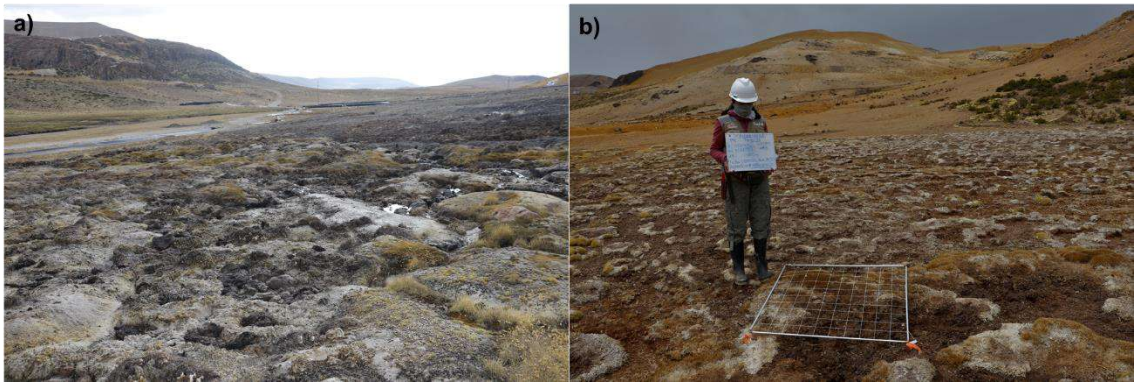


Figura 7.121. Coberturas de vegetación muerta a) Sector Qda. Apostoloni y b) Sector Wetland Sur

Los impactos a la comunidad biológica se ven reflejados también en las aves que, por tener mayor contacto con la vegetación y suelos contaminados, por ejemplo, el cobre que es uno de los metales traza más abundantes, esencial para el crecimiento y metabolismo de todos los organismos vivos (Eisler, 2000), no obstante, la abundancia de este metal puede suponer una fuente adicional de estrés para las aves (Debacker *et al.*, 2000).

En la zona Margaritani (sector Apostoloni), se obtuvieron 6 muestras de plumas de aves, donde la concentración de cobre obtenida se encuentra entre 10,58 a 26,42 va mg/kg (Figura 7.122). Estos valores son similares a las reportadas por Leonzio *et al*., (2009) en plumas de aves insectívoras expuestas a cobre cuyos valores obtenidos oscilaron entre 13 a 38 mg/kg; ellos atribuyen esta concentración a la contaminación exógena, relacionada al contacto con vegetación y suelos contaminados. Esta forma de contaminación es la que sucede en la zona Margaritani debido a que, tanto en el agua y sedimento de la quebrada Apostoloni como en el suelo de algunos sectores, existen concentraciones altas de cobre, que excedieron los ECA para agua, los valores ISQG de la guía ambiental canadiense y los niveles de fondo y de referencia en suelo, por lo que el metal al estar disponible en el ambiente está siendo bioacumulado por las aves.

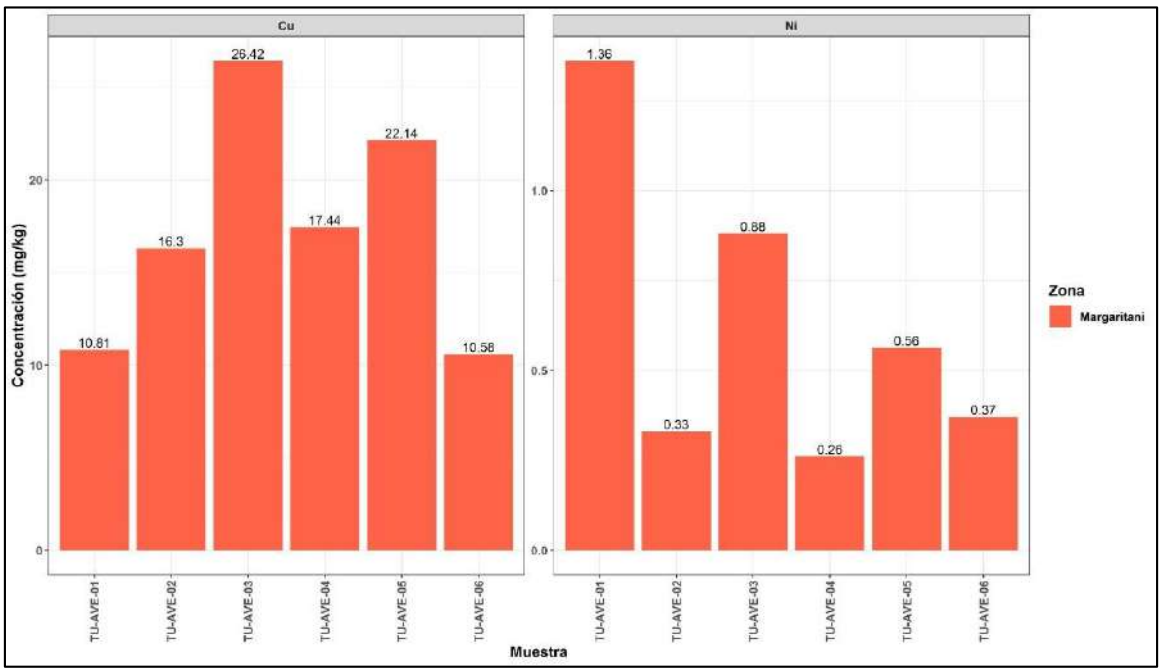


Figura 7.122. Concentraciones de cobre y níquel en muestras de aves de la Zona Margaritani

El cadmio es un elemento raro en la corteza terrestre, sin función fisiológica conocida. A pesar de que normalmente se encuentra en bajas concentraciones en el suelo y agua, muchas plantas y animales lo absorben eficazmente y lo concentran en sus tejidos (Duffus, 1983). Las muestras de plumas obtenidas en la zona Margaritani, presentaron una concentración de este metal en un rango entre 0,09 a 0,1 mg/kg, estos son valores relativamente altos en comparación con otros, por ejemplo, en un estudio de metales en plumas de *Otus scops* «autillo», se menciona que la concentración promedio de cadmio fue de 0,049 mg/kg. La acumulación de este elemento está asociada a la disponibilidad del metal en la zona, debido a las altas concentraciones en agua (excedieron los ECA en agua Cat.3, 2017) y su disponibilidad en el sedimento (Tessier), lo cual está influenciando en la concentración del metal en las aves.

El plomo es un elemento no esencial que ha sido utilizado como indicador de la contaminación ambiental durante años, debido a que puede encontrarse en partículas en el agua, suelo, y aire (polvo), y porque puede ingresar por diversas vías a los organismos (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011). De acuerdo con Burger & Gochfeld (1993, 1994, 1995, 2000), niveles de 4000 ppb (4 mg/kg) de plomo en plumas son asociados con retraso en el reconocimiento de los padres y hermanos, alteración de la termorregulación, locomoción, alteración en el comportamiento de alimentación y menor supervivencia de polluelos. En la zona Margaritani, las muestras de plumas de aves presentaron una concentración de plomo, con valores entre 1,93 a 11,74 mg/kg (Figura 7.123), estos valores son elevados, en comparación con lo registrado por Burger & Gochfeld.

Esta elevada concentración presentada está relacionada con las actividades antrópicas que se realizan en la zona, según Hill (2020), las principales fuentes de contaminación de plomo son aguas residuales, soldaduras, fundición de acero, minería, entre otras, lo cual indica que la actividad minera en Tucari está influenciando en la acumulación de plomo en las aves, pues al estar el elemento presente en el ambiente estaría siendo bioacumulado por las aves en sus actividades diarias como desplazamiento, alimentación, refugio o descanso. Es importante señalar que los niveles tóxicos de plomo en aves provocan anorexia, ataxia, pérdida de peso y producción de huevos, afectan la fertilidad, el sistema inmunológico y el éxito de nacimiento, así como modificaciones en la tasa de crecimiento de las plumas (Burger, 1995; Talloen *et al.*, 2008).

El plomo y el cadmio no tienen función biológica conocida, pero bioacumulados, aun en pequeñas cantidades, pueden resultar tóxicos (Jakimska *et al.*, 2011).

Kolf-Clauw *et al.* (2007) consideran que algunas de las fuentes de altas concentraciones de metales pesados en los ecosistemas son los suelos situados cerca de industrias metalúrgicas, explotaciones mineras o incineradores, entre otros. Esto se corrobora con los resultados obtenidos de la presencia de metales en muestras de plumas de aves de la zona Margaritani, cuyas concentraciones de arsénico oscilaron entre 1,1 a 4,6 mg/kg (Figura 7.123), estas concentraciones son elevadas, en comparación con otros estudios que indican un promedio de 0,07 ± 0.03 mg/kg de arsénico en plumas (Estrada y Soler, 2014). Eisler (1988) indica que el valor límite de concentración de arsénico en plumas es de 1,54 mg/kg, concentraciones arriba de ese valor producen efectos adversos en las aves. Esta concentración de arsénico en plumas de aves está relacionada con la presencia de este metal en los cuerpos de agua y suelos, cuyos valores sobrepasaron los ECA, favoreciendo la bioacumulación del metal. El arsénico ha sido clasificado como una de las 20 sustancias

más peligrosas presentes en el ambiente (Hughes *et al*., 2011), siendo su forma inorgánica una de las más peligrosas, ya que se le considera carcinogénica para varios tejidos como hígado, riñón, vejiga, piel, sistema nervioso central y sistema digestivo.

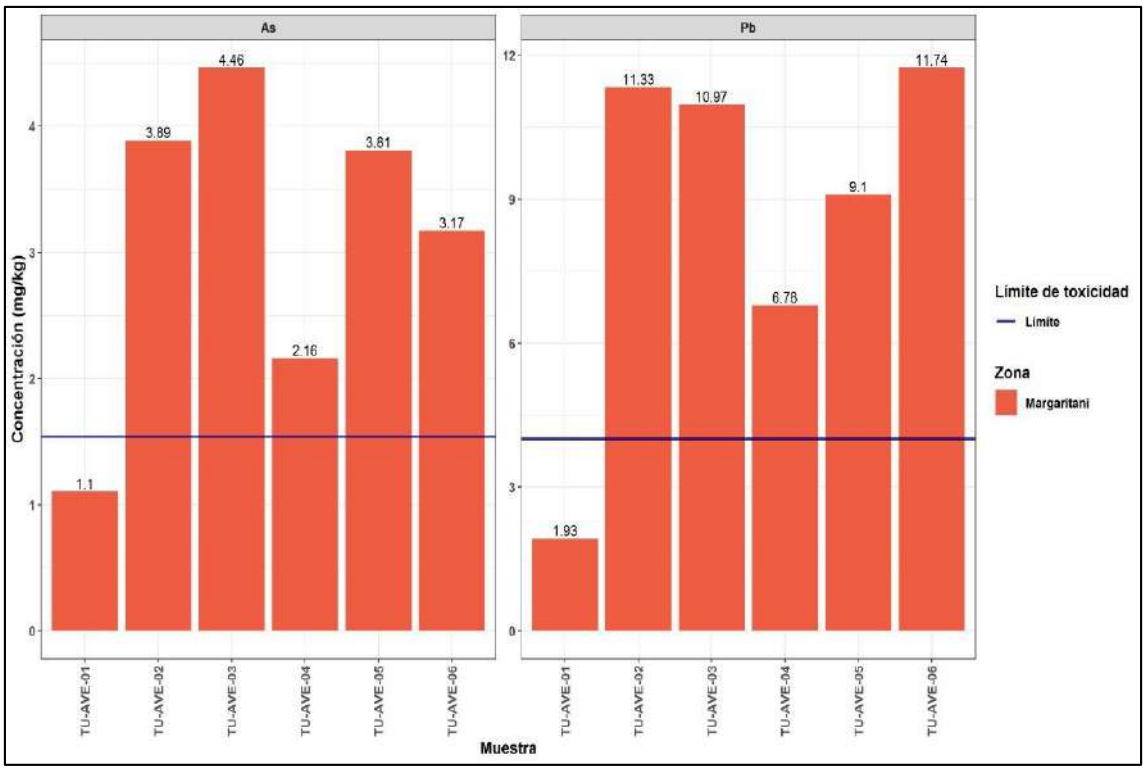


Figura 7.123. Límite máximo y valores de concentración de arsénico y plomo en muestras de aves de la Zona Margaritani

Respecto a las muestras de tejido de roedores en la zona Margaritani, presentaron una concentración elevada respecto a cobre con valores de 4,62 mg/kg y 4,259 mg/kg para las muestras obtenidas en los puntos Mm-Tuca-04 y Mm-Tuca-07, ubicadas específicamente en el sector de la planta de tratamiento de aguas ácidas del depósito de desmonte del Wetland Norte y del canal de coronación lado norte respectivamente, frente a los puntos tomados como blanco en la zona Queullirijahuiri (Figura 7.124). A estos resultados podemos comparar lo encontrado por Madero y Marrugo (2011) en su estudio sobre concentraciones de metales pesados en roedores con 2,63 mg/kg para cobre y como soporte para ello se puede mencionar los resultados encontrados en el afloramiento como MT-46 en cuanto concentraciones elevadas en metales, entre ellos al cobre, y que también se identificaron en similares afloramientos en el 2017 con influencia de lixiviados que aún no han sido captados en su totalidad.

En cuanto al cobre, como uno de los elementos traza, tienen una alta afinidad en los componentes mineros que, en las muestras de la geología local, demostrada según los resultados obtenidos en el estudio geológico realizado, derivando así la influencia de este elemento bioacumulable en los organismos vivientes como los roedores.

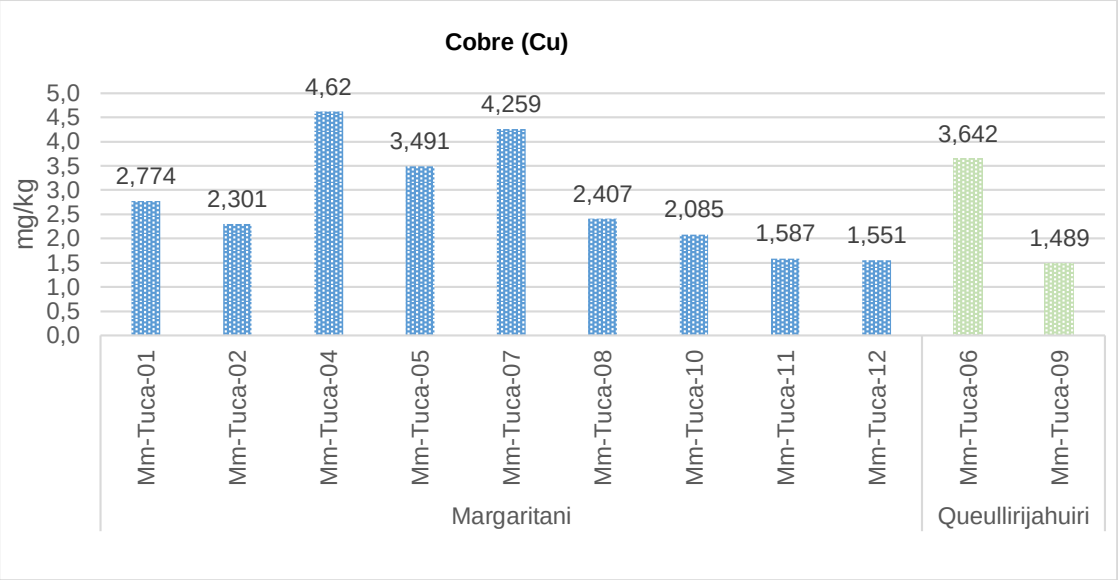


Figura 7.124. Concentraciones de cobre en muestras de tejido de roedores en las zonas Margaritani y Queullirijahuiri

Una última acotación particular de los metales pesados, es que tienen características químicas semejantes (Ahumada, 1994; Gil *et al*., 2006) y al encontrarse en bajas concentraciones en los organismos, son denominados trazas u oligoelemento que aseguran el crecimiento y desarrollo adecuado de los organismos vivos. Sin embargo, debe tomarse en cuenta el hecho que la toxicidad de los metales en los organismos no se da por su naturaleza química sino por su concentración (Jacinto y Aguilar, 2007) el cual de encontrarse por encima del nivel tolerable es perjudicial para el organismo, llegando a ser incluso tóxicos en cantidades excesivas.

Siguiendo el curso principal del río Margaritani en la zona de mezcla, después del aporte del río Queullirijahuiri, se determinó que el río Margaritani aportó una carga entre el 85 % y 95 % en todos los metales que exceden los ECA para Agua ECA para Agua categoria 3, 2008 ó 2017 (aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc), tal como se aprecia en la Figura 7.125. Asimismo, en dicha zona de mezcla el río Queullirijahuiri (por el aporte del río Margaritani) concentra una carga de hierro y aluminio mayor a los 10 g/s, seguidos por el cobre, manganeso y zinc con una carga mayor a los 0,1 g/s y para el caso de arsénico, cadmio y níquel la carga fue entre 0,01 a 0,1 g/s.

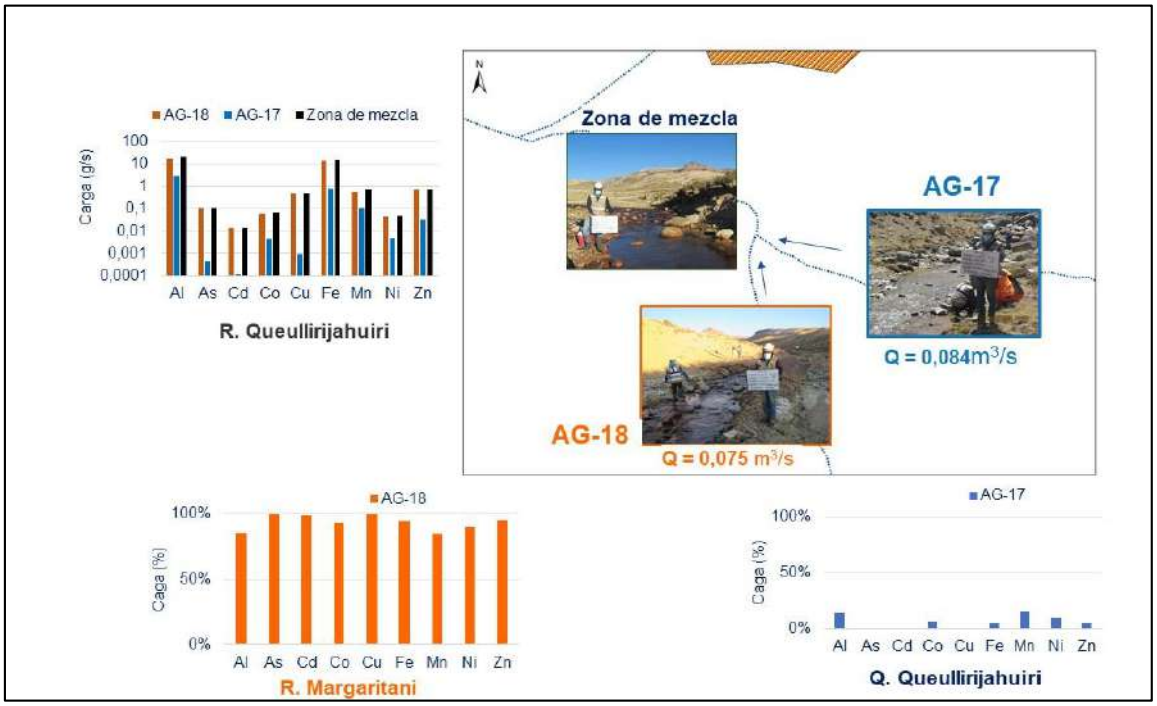


Figura 7.125. Aporte de carga contaminante de los ríos Margaritani y Queullirijahuiri al río Queullirijahuiri.

De acuerdo a los datos históricos en el río Margaritani (AG-18) se evidencia un incremento en la concentración de metales como arsénico, cadmio, cobre, níquel, zinc, hierro, manganeso, aluminio y cobalto, a partir del año 2012 producto del aporte de DAM del depósito de desmonte zona Norte hacia la quebrada Margaritani, lo cual ha repercutido en el incremento de concentraciones de metales en el río Queullirijahuiri (AG-19) aguas abajo del aporte del río Margaritani. No obstante, el río Queullirijahuiri antes del aporte del río Margaritani, no ha presentado variaciones significativas en las concentraciones de metales. Figura 7.126 y Anexo 9.

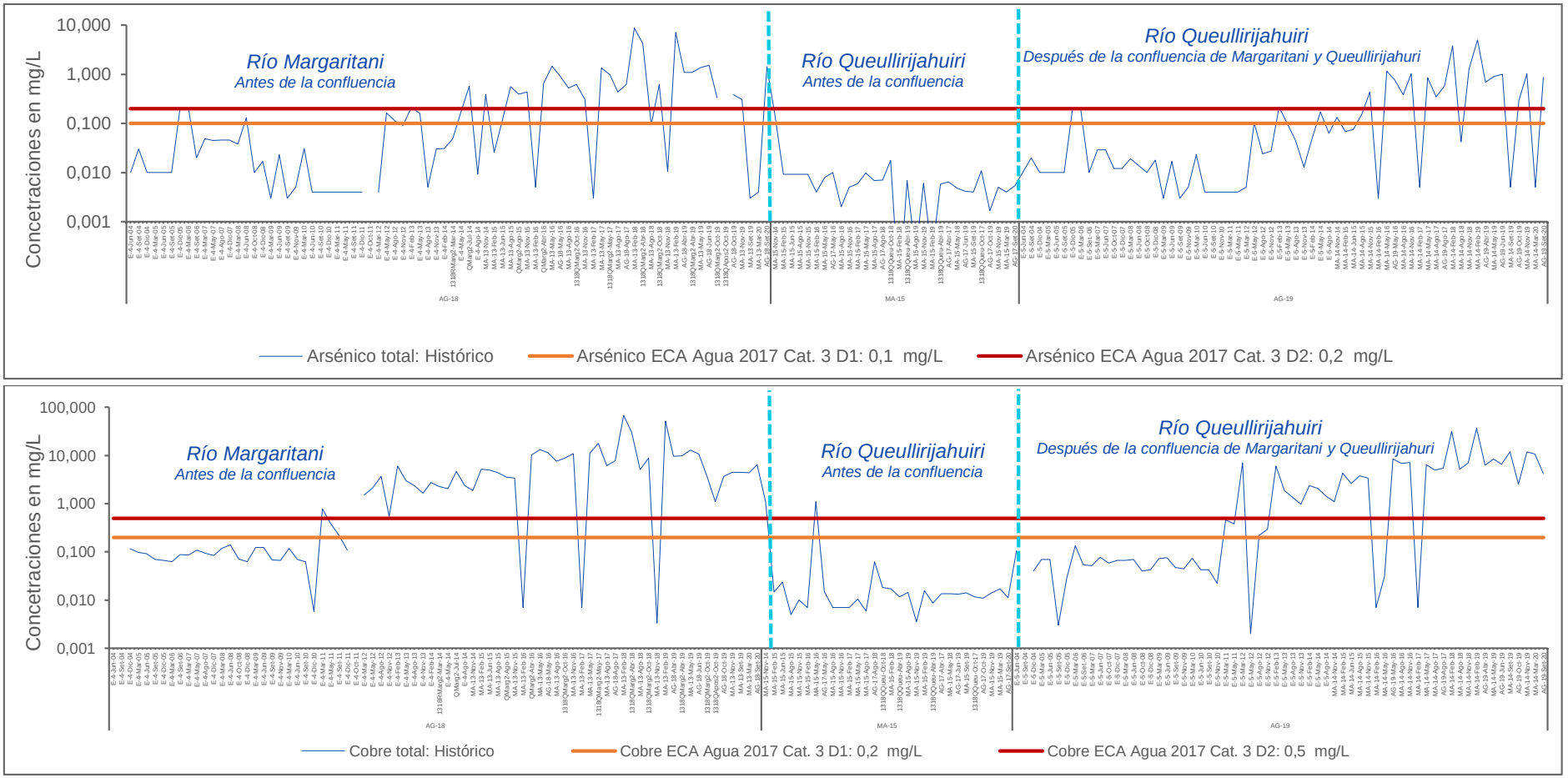


Figura 7.126. Datos históricos de las concentraciones de arsénico y cobre reportados por el administrado en el río Margaritani (E-4, MA-13), ANA (1318QMarg2) y el OEFA (AG-18), y el río Queullirijahuiri antes (administrado, MA-15, ANA 1318QQueu y OEFA AG-17) y después (administrado E-5 y MA-14; y OEFA, AG-19) de la confluencia con el río Margaritani

Fuente: Anexo 11: Registro de datos históricos en la UH Coralaque.

En cuanto a la evaluación de flora, de vegetación de ribera (césped de puna) en las márgenes de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, fue dividida 2 sectores denominados parte alta y parte baja de Aruntaya), Figura 7.127.

La parte alta de Aruntaya, presenta valores que muestran degradación de la cobertura vegetal; donde, 9 de 17 parcelas evidencia en promedio la perdida cobertura vegetal (vegetación muerta 78,3 %), quedando únicamente en promedio 5,9 % de vegetación graminoide y 6,1 % del tipo cojín, quedando el restante como medio físico (suelo descubierto con 9,7 %). Por otro lado, en 8 parcelas consideradas «blanco», presentan vegetación tipo cojín en promedio 68,16 % y 28,48 % de vegetación graminoide (Figura 7.128).

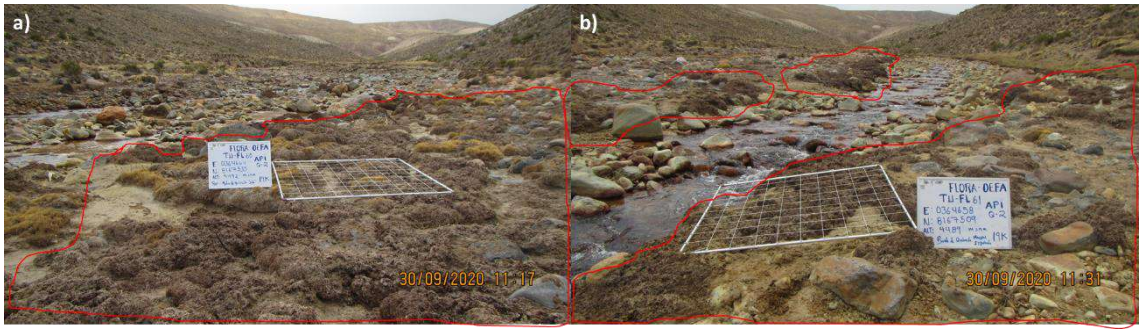


Figura 7.127. Perdida de cobertura vegetal en la parte alta de Aruntaya a y b) vegetación muerta.

Asimismo, el análisis de tejido vegetal en la parte alta de Aruntaya (río Queullirijahuiri) corresponde a 6 especies, de las cuales la especie *Oxychloe andina* tiene como blanco la muestra TU-TV-OA3-H, ubicada en el margen derecho del río Javira y a 200 metros del punto de agua RJavi; Asimismo, *Distichia muscoides* con la muestra TU-TV-DM3-H, ubicada en la margen derecha de la quebrada Soropatilla a 20 metros del punto de agua QSoro, y las especies *Pycnophyllum* aff. *filiforme* (TU-TV-AC3-H) y *Calamagrostis* sp. a 10 metros de la orilla del mismo río Queullirijahuiri.

En ese sentido, las concentraciones de As = 47 mg/kg en las hojas de la especie *Distichia muscoides*. (Figura 7.129) presente en la parte alta de Aruntaya (TU-TV-DM1-H) exceden los niveles máximos propuestos por el RD, asimismo, las concentraciones del Cu = 34 mg/kg es 183,3 % más respecto a la muestra blanco (12 mg/kg). Por otro lado, las concentraciones de arsénico (47 mg/kg) en la parte alta del Aruntaya supera en 466,3 %, las concentraciones de la muestra blancoTU-TV-DM3-H (8,3 mg/kg).

Del mismo modo, la concentración de metales en las hojas de la especie *Oxychloe andina* (TU-TV-OA2-H), presenta concentraciones que exceden los niveles máximos del RD en arsénico (21 mg/kg), cadmio (2,43 mg/kg) y mercurio (0,16 mg/kg); además, presenta altas concentraciones de cobre, níquel y zinc (Anexo 3, RRE 047-2020-STEC). Mientras que, para la muestra blanco (TU-TV-OA3-H), no exceden los niveles máximos del RD excepto el arsénico (2,10 mg/kg), no obstante, las concentraciones son mucho menores en el sitio blanco. Por otro lado, las concentraciones de cobre para esta especie (TU-TV-OA2-H = 238 mg/kg) supera en 1600 % la concentración de la muestra blanco TU-TV-OA3-H = 14 mg/kg).

Asimismo, en la especie *Pycnophyllum* aff. *filiforme* las concentraciones de cobre (TU-TV-AC1-H = 269 mg/kg) y la muestra blanca (TU-TV-AC3-H = 18 mg/kg), evidencia considerables diferencias (Figura 7.125).

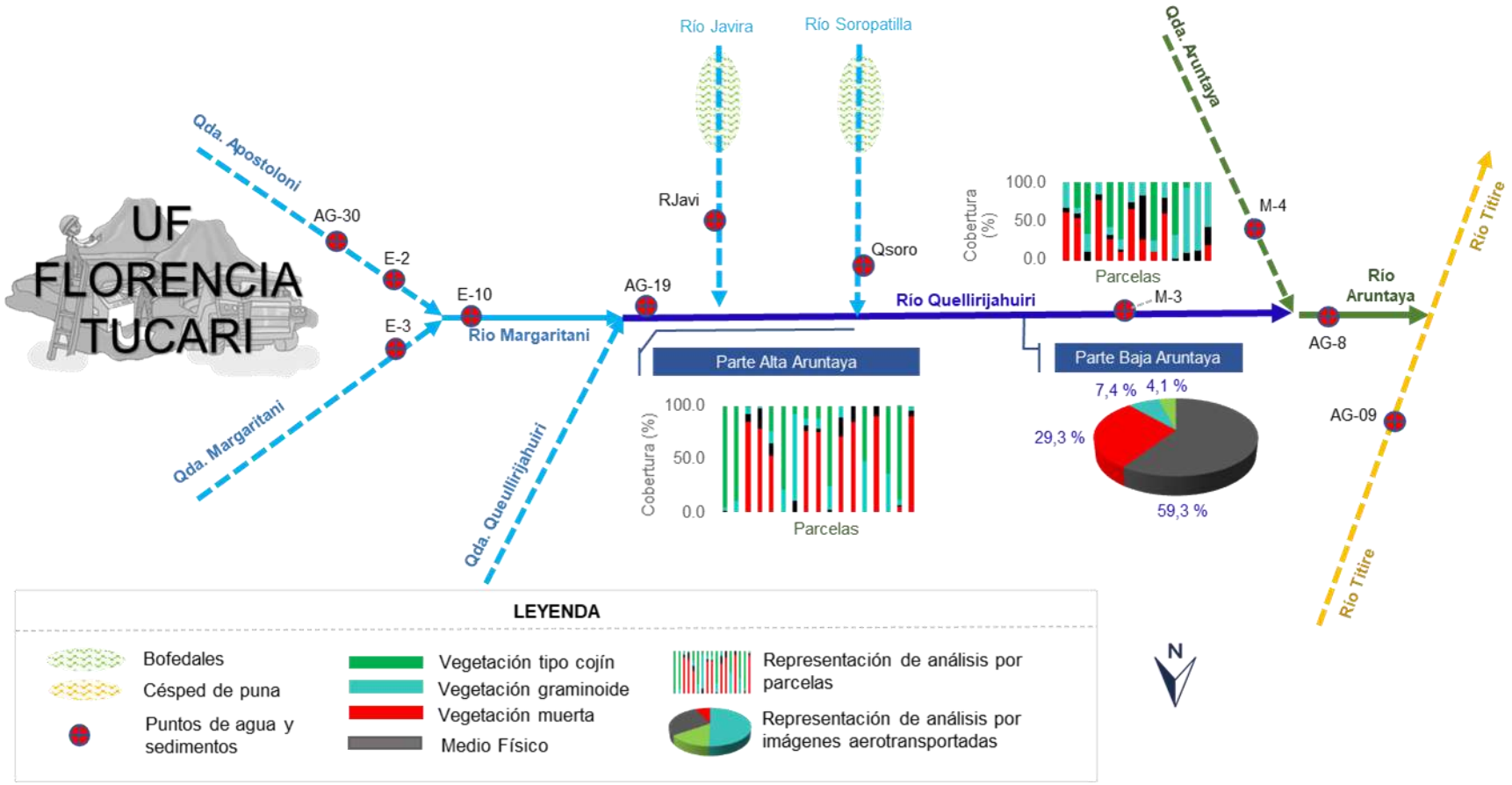


Figura 7.128. Coberturas de las parcelas en el sector Parte alta de Aruntaya

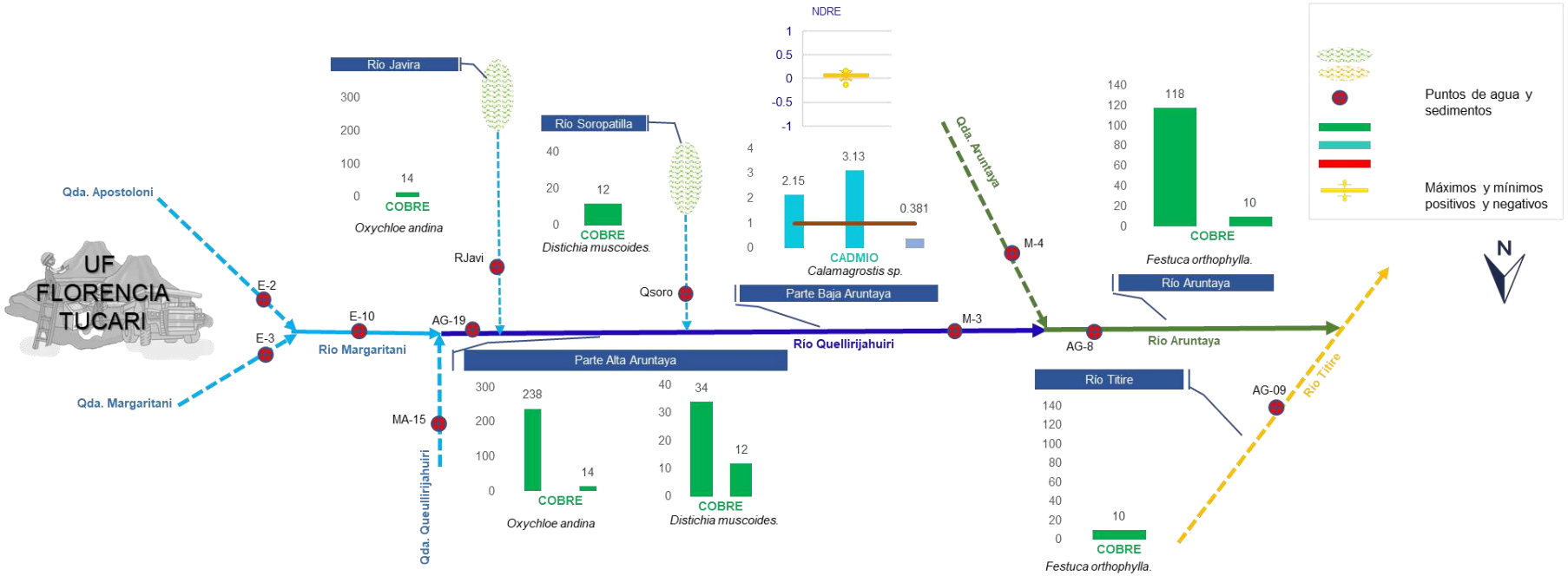


Figura 7.129. Análisis de tejido vegetal en el sector Parte alta de Aruntaya

Las muestras de tejido vegetal analizadas en la parte alta de Aruntaya, evidencia claramente mayores concentraciones de estos metales en las plantas que están en contacto con el agua y sedimento del río Queullirijahuiri (AG-19), que reciben aporte en las concentraciones de estos metales desde el río Margaritani afectado por DAM. Trayendo consigo efectos negativos sobre la vegetación, perdida de cobertura vegetal y degradación del ecosistema (Figura 7.128)

La evaluación de la flora silvestre y sus coberturas en la parte baja del Aruntaya, muestran una pérdida de cobertura vegetal (tipo graminoide y tipo cojín) en ambos márgenes e islotes que forman los meandros del río Queullirijahuiri, evidenciándose en gran parte, vegetación muerta que se encuentra en proceso de descomposición como se detalla en la Tabla 7.16, Figura 7.130.

Tabla 7.16. Porcentaje de coberturas en la parte baja de Aruntaya - parcelas e imágenes a nivel de ecosistema.

Clasificación		Cobertura (%) Parcelas – Parte baja Aruntaya	Cobertura (%) Imágenes Parte baja de Aruntaya
Vegetación muerta		49,8	29,3
Medio físico	Suelo descubierto	16,7	59,2
	Espejo de agua		
Vegetación de cojín		11	4,1
Vegetación graminoide		22,6	7,4



Figura 7.130. Perdida de cobertura vegetal en la parte baja de Aruntaya.

Como se evidencia en las Figuras 7.131 y 7.132 la mayor pérdida de cobertura vegetal se presenta de forma gradual (de mayor a menor) cuanto más cerca se está al cuerpo de agua alterado por DAM, o en áreas (islotes) entre ambas márgenes, donde se observan depósitos de sedimentos afectados con DAM, evidenciados en el punto M-3.

En ese sentido, los análisis de metales en las hojas (TU-TV-CV4-H) de la especie *Calamagrostis* sp., presenta concentraciones que exceden los niveles máximos del RD en arsénico, cadmio y mercurio, además presentan altas concentraciones en cobre, níquel y zinc (Anexo 3.1). En cambio, en la muestra blanco no exceden los niveles máximos del RD excepto el arsénico (6,5 mg/kg), no obstante, la concentración entre ambas muestras es considerablemente distinta; arsénico en la parte baja (36 mg/kg) y en la muestra blanco (6,5 mg/kg) como se muestra en la Figura 7.129.

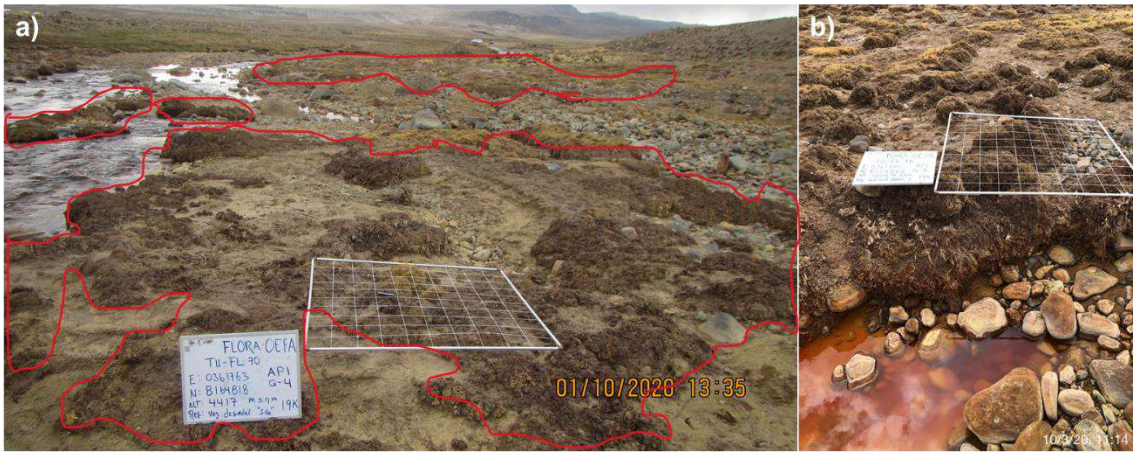


Figura 7.131. Perdida de cobertura vegetal en la parte baja de Aruntaya. a) vegetación muerta en islotes b) vegetación muerta a borde de quebrada



Figura 7.132. Vegetación en proceso de degradación, producto de contaminación por DAM.

Del mismo modo, en la parte baja de Aruntaya (río Aruntaya) cercano al río Titire, la concentración de metales en las hojas de la especie *Festuca Orthophylla* (TU-TV-FO2-H), presenta concentraciones que exceden los niveles máximos del RD en arsénico y mercurio. Además, altas concentraciones en cobre, níquel y zinc (Anexo 3. RRE-047-2020-STEC). En cambio, para la muestra blanco el mercurio no excede los niveles máximos del RD, pero si el arsénico (12 mg/kg); sin embargo, esta concentración es considerablemente baja, con respecto a los 500 mg/kg de TU-TV-FO2-H. Por otro lado, la concentración de cobre en esta especie, ubicada en el río Aruntaya (118 mg/kg) superó en 1080 %, las concentraciones de la muestra blanco (10 mg/kg) Figura 7.129.

Del análisis de los 2 sectores evaluados en las márgenes de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, se evidencia efectos inmediatos en la vegetación, como la inhibición de crecimiento normal y el desarrollo de la planta, producto de la degradación del suelo tipo químico y su bioacumulación de sustancias tóxicas (Martín, 2000 citado por Prieto et al., 2009); (Albes et al, 2017); (Rábago, 2011 y Cordero, 2015), (Azevedo y Rodriguez, 2012) y (Pineda, 2004). Asimismo, ocasiona un disturbio funcional entre otros componentes, como la disminución de poblaciones microbianas del suelo «polución de suelos» (Martín, 2000).

De los metales analizados, varios estudios han reportado que los efectos más dañinos del arsénico en las plantas es el estrés oxidativo causado por un aumento en la producción de oxígeno reactivo (ROS), que puede alterar el metabolismo normal de las plantas y dañar las membranas celulares, causando la inhibición de la fotosíntesis y eventual muerte celular. Asimismo, afecta la germinación de las plantas y disminución en la absorción de fósforo y la inhibición en el crecimiento de la raíz, también perdida de biomasa como consecuencia de la disminución del número de hojas y altura de la planta (Carbonell-Barrachina et al. 1998; Miteva, 2002; Ahmed et al. 2006; Shaibur et al. 2008; Smith et al. 2009; Finnegan & Chen, 2012; Farnese et al. 2014)

Por otro lado, la contaminación por cadmio puede causar serios problemas a todos los organismos vivos, resultando altamente tóxico para la fauna silvestre y los humanos. Asimismo, el cadmio es un metal que no tiene una función biológica y puede ser tóxico a niveles relativamente bajos. En general el cadmio, interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) además del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (Poschenrieder *et al*., 1989; Sandalio *et al*., 2001; Singh y Tewari 2003). Además, se puede acumular en plantas y en la fauna edáfica o animales superiores a través de pastos o aguas contaminadas (Rábago, 2011).

Asimismo, algunas especies de flora silvestre son insensibles a los efectos nocivos de los compuestos de mercurio; sin embargo, se sabe que el mercurio afecta la fotosíntesis y el metabolismo oxidativo al interferir con el transporte de electrones en cloroplastos y mitocondrias. También, inhibe la actividad de las aquaporinas y reduce la absorción de agua de la planta (Tangahu *et al.*, 2011). Asimismo, puede reducir procesos como la fotosíntesis, la velocidad de transpiración, la incorporación de agua y la síntesis de la clorofila (Azevedo y Rodriguez, 2012 citado por Cordero, 2015).

La acumulación de plomo en los suelos genera alteraciones en la actividad biológica inhibiendo procesos microbianos y acumulándose en la microflora, flora y fauna edáfica. Altas concentraciones de plomo soluble en el suelo pueden provocar una acumulación radicular de este elemento y como consecuencia de ello, una posible toxicidad en la fauna.

Como el plomo no es un elemento esencial para el metabolismo de las plantas, una concentración en ellas superior a 5 mg/kg evidenciaría una contaminación de las mismas, habiéndose detectado efectos a concentraciones superiores a 30 mg/kg en la parte aérea de las plantas. (Rábago, 2011 citado por Cordero, 2015).

Por otro lado, según las concentraciones de cobre (mayores a 40 mg/kg) como las registradas en las muestras (TU-TV-AC1-H, TU-TV-AC2-H, TU-TV-CV3-H, TU-TV-CV4-H, TU-TV-FO2-H), es considerado tóxico según la AAFCO (1996) ya que no se degrada en el ambiente, por esa razón se puede acumular en la flora y fauna cuando se encuentra en el suelo. Es importante recalcar que, en suelos ricos con altas concentraciones de cobre, sólo una cantidad pequeña de plantas pueden sobrevivir y desarrollarse, por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de fábricas o minas de cobre (Pineda, 2004).

Con respecto a los índices de vegetación, considerando que los valores negativos en el rango de -1 a 0 representan zonas de suelo o vegetación muerta y los valores positivos en el rango de 0 a 1 representan in incremento gradual de la vigorosidad y salud de las plantas asociadas a tu estructura interna y coloración, se tiene que, en la zona de muestreo de tejido vegetal, en la zona Aruntaya, en el sector Aruntaya parte baja los valores del índice NDRE están en el rango de -0,1 a 0,2, evidenciando un estado de afectación de la cobertura vegetal.

7.4. Zonas Aruntaya y Titire – Coralaque

En este sector se tomaron muestras de agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en los ríos Aruntaya, Titire y Coralaque; así como en los principales tributarios (Figuras 7.133 y 7.134). También se evaluaron manantiales y fuentes termales. Además, se realizó la caracterización geológica regional, que incluyó puntos de muestreo de sedimento fluvial. Adicionalmente, se evaluó la flora y fauna silvestre.

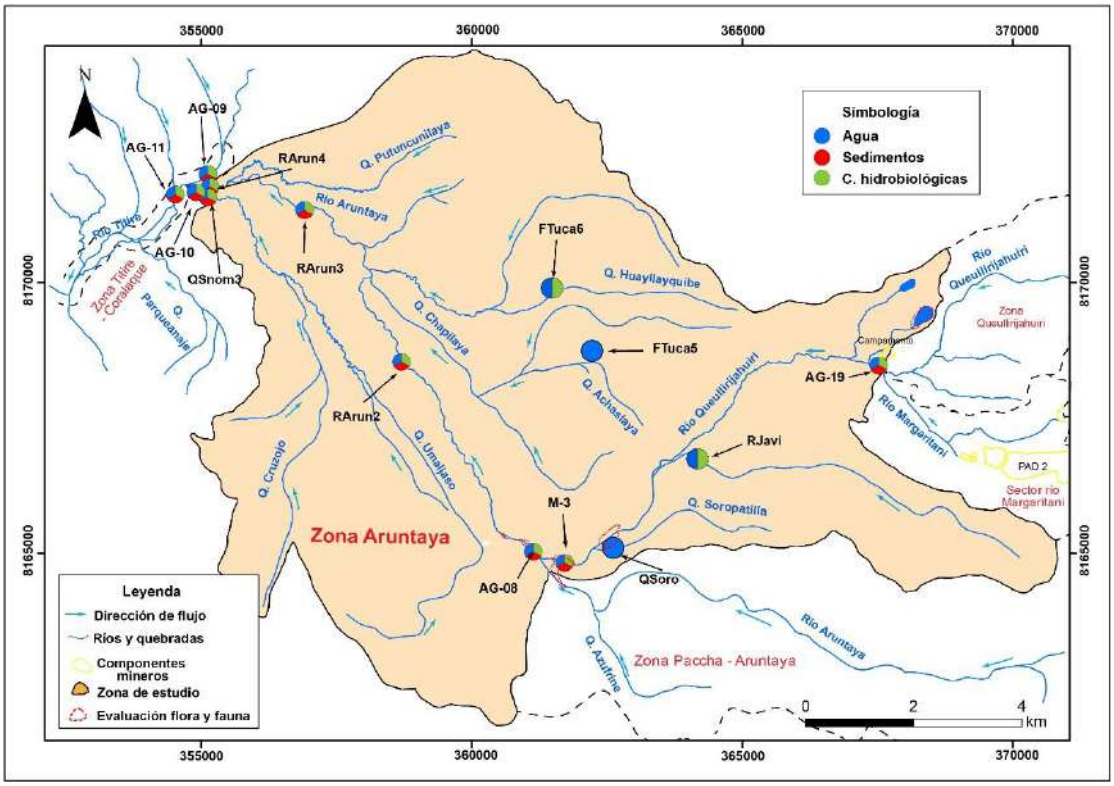


Figura 7.133. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; así como en los principales tributarios

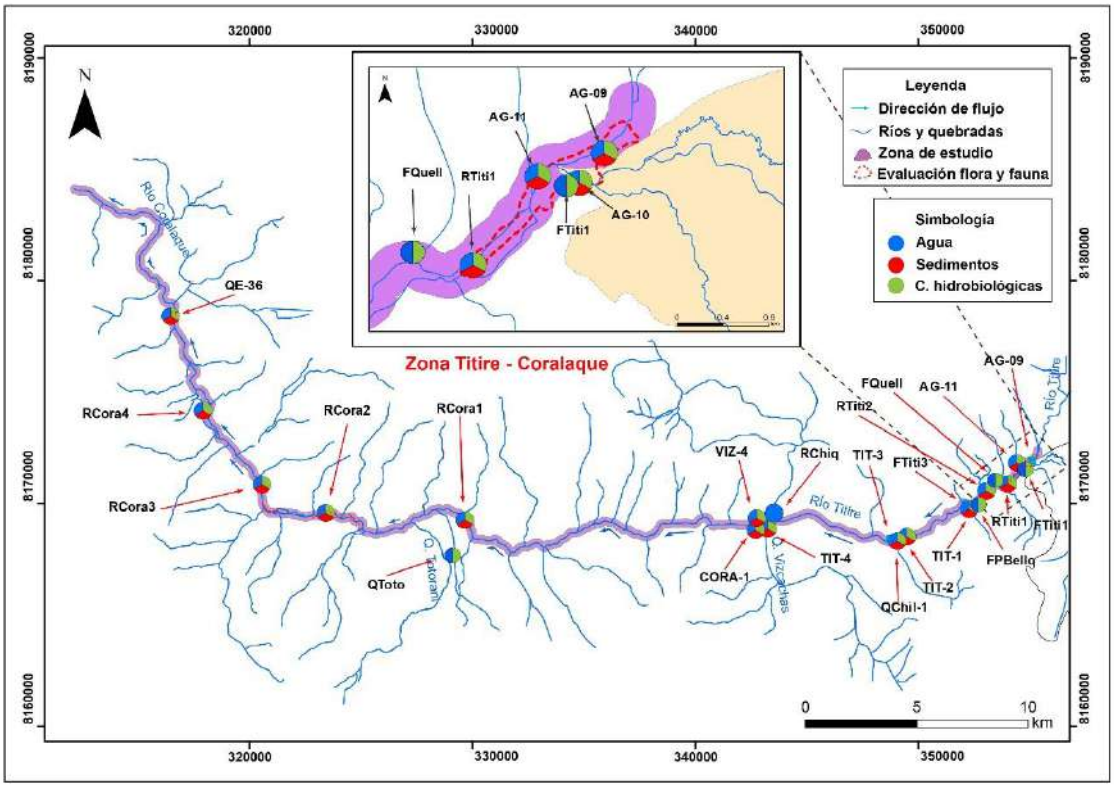
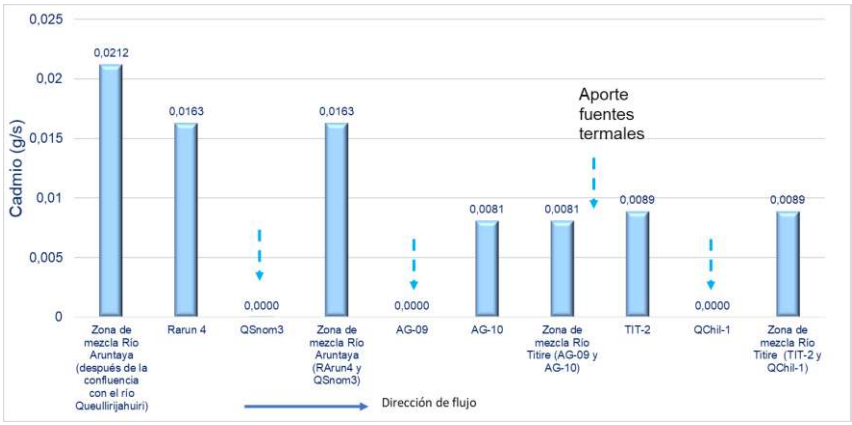


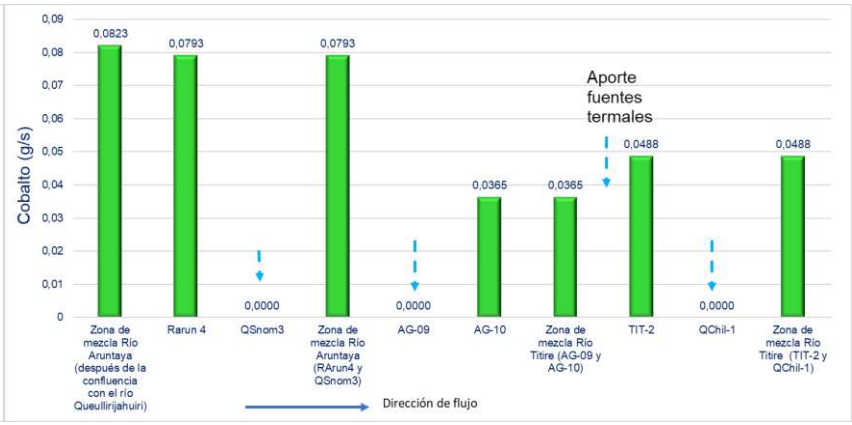
Figura 7.134. Esquema de ubicación de los puntos de muestreo para agua superficial, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya; así como en los principales tributarios y fuentes termales

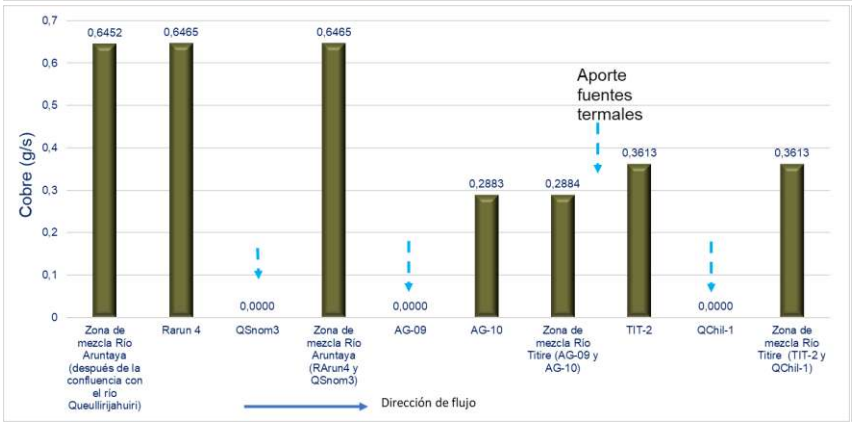
Posterior a la confluencia del río Queullirijahuiri con el río Aruntaya (AG-08), la carga de metales que excedieron los ECA para Agua categoría 3, 2008 o 2017 no presentan variaciones significativas hasta el punto RArun4. Continuando con el curso principal del río Aruntaya se evaluó el aporte de carga de la quebrada sin nombre 3 (QSnom3) el cual aportó menos del 2 % de los metales cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc; sin embargo, se aprecia un aporte importante de arsénico (58 %), boro (74 %) y sodio (68 %) al río Aruntaya, que excedieron los ECA para agua.

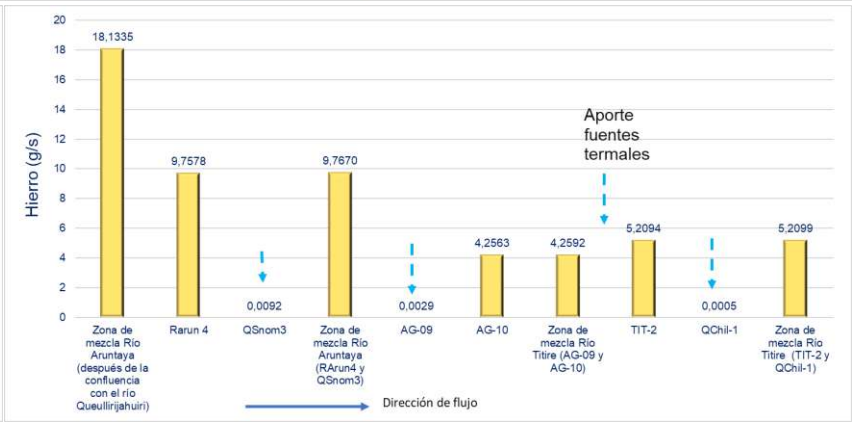
Después del aporte del río Titire (AG-11) se diluye ligeramente la carga de los metales mencionados; sin embargo, debido al aporte de otras fuentes termales (FQuell, FPBello, FTiti3) se incrementó la carga de arsénico, boro y sodio (Figuras 7.135h, 7135i y 7.135j). Luego, aguas abajo se evidenció que la quebrada Chilota (QChil-1) aportó una mínima carga (menor a 1%) al río Titire en todos los parámetros que excedieron los ECA para Agua (cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel, zinc, boro y sodio) en dicho tramo.

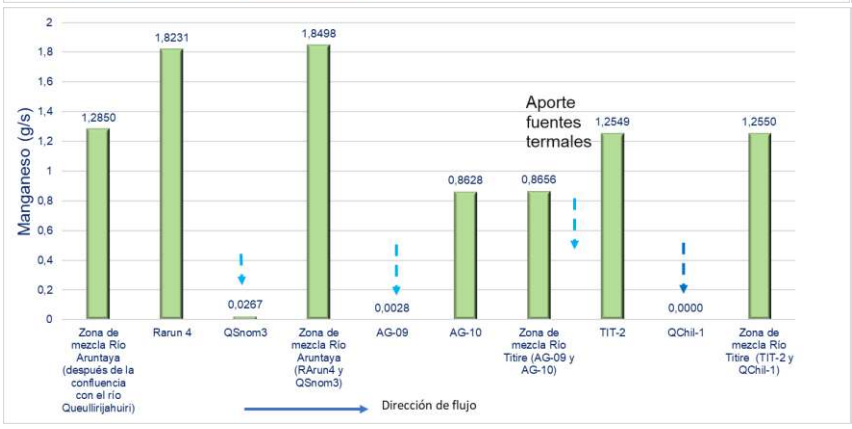
Cabe indicar que de acuerdo a la relación de metales en su fase disuelta y no disuelta entre el tramo comprendido desde la naciente de los ríos Queullirijahuiri y Margaritani hasta antes del punto TIT-2 en el río Titire, predominan los metales en su forma disuelta, sin embargo, a partir de dicho punto, influenciado por el aporte de fuentes termales y la quebrada sin nombre 3, dicha predominancia se invierte principalmente para los metales aluminio, antimonio, arsénico, hierro, cobre y zinc. En la Figura 7.135 se puede evidenciar que la quebrada sin nombre 3, las fuentes termales, la quebrada Chilota, y los ríos Chiquirani y Vizcachas aportan una mínima carga de metales al curso principal de los ríos Aruntaya, Titire y Coralaque.

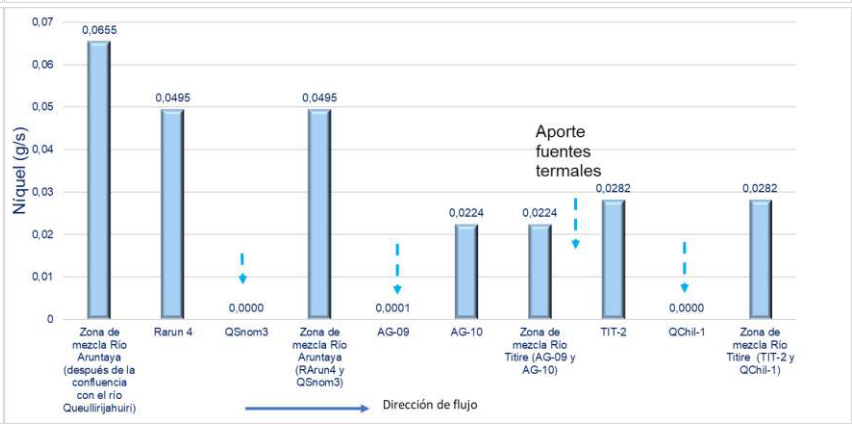


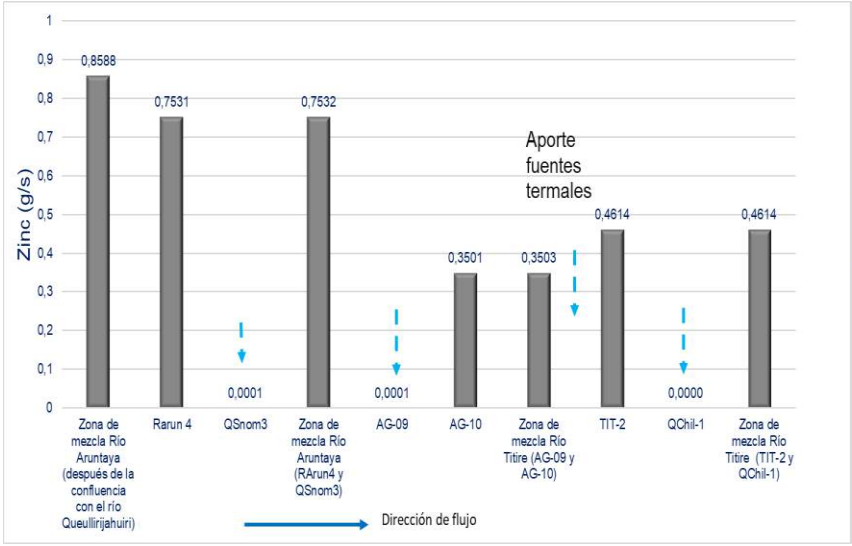


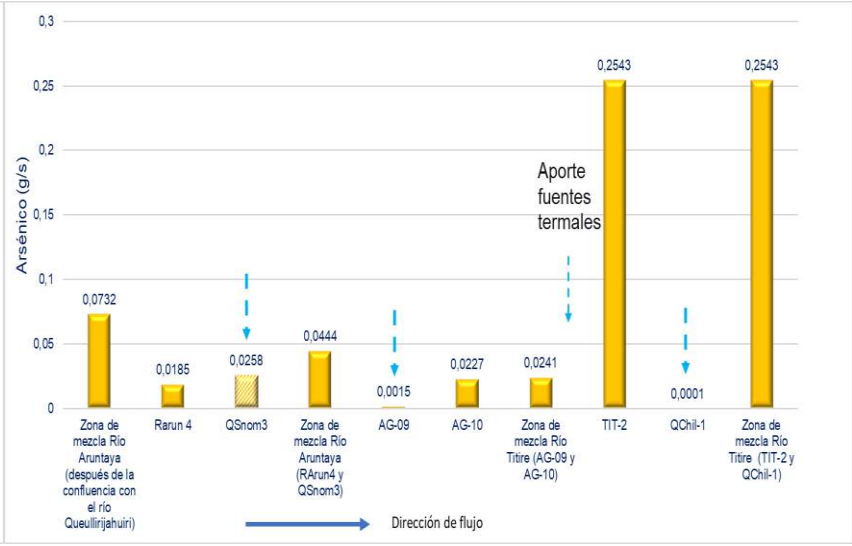


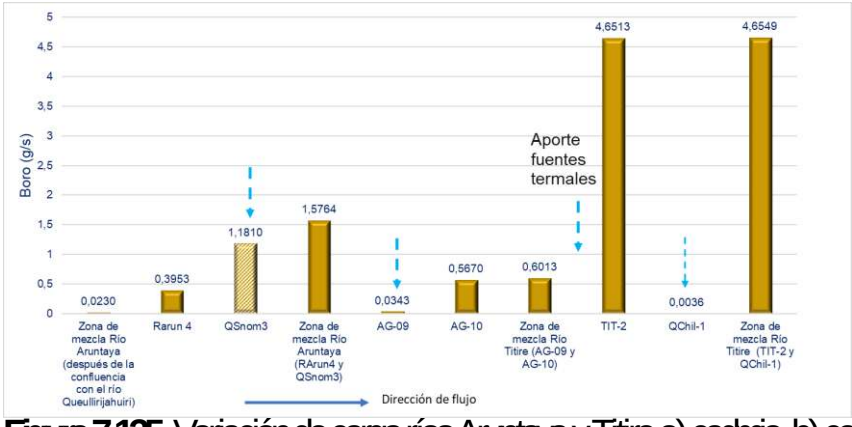












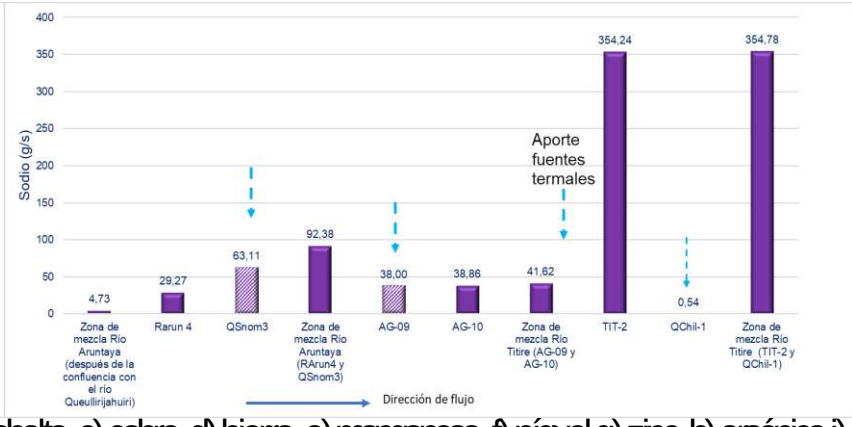


Figura 7.135. Variación de carga ríos Aruntaya y Titire a) cadmio, b) cobalto, c) cobre, d) hierro, e) manganeso, f) níquel g) zinc, h) arsénico i) boro y j) sodio

De acuerdo a los datos históricos registrados del 2007 al 2020 en los puntos de monitoreo ubicados en el río Aruntaya (M-5 y AG-10), y en el río Titire, aguas arriba (AG-09) y abajo (M-6 y AG-11) de su confluencia con el río Aruntaya. Se evidencia que los ríos Aruntaya y Titire (aguas abajo) presentan características ligeramente ácidas en cambio el río Titire (aguas arriba) presenta características ligeramente alcalinas o cercanas a la neutralidad. Del mismo modo las concentraciones de sulfatos y metales como aluminio, arsénico, cadmio, cobre, níquel, hierro, cobalto y zinc del río Aruntaya alteran la calidad de agua del rio Titire, evidenciado en los incrementos de dichos elementos a partir del año 2012 a la fecha, acompañados por un descenso en el pH. (Anexo 11).

Luego, en el río Coralaque según los datos históricos en el punto QE-36, se ha evidenciado un descenso en el pH, y un aumento de las concentraciones de cobre a partir del año 2016 a la actualidad, relacionado al aporte de DAM en la zona Margaritani (Anexo 11).

En el río Coralaque posterior al aporte de fuentes termales se evidencia un incremento de la carga de arsénico, boro, sodio y manganeso que excedieron los ECA para Agua 2008 o 2017 Categoría 3, además de la presencia de cloruros y litio, dichos elementos son característicos de las fuentes termales en la cuenca Tambo (Mallén, 2013). La carga de arsénico en el curso principal desde el río Queullirijahuiri (MA-15) hasta el río Coralaque (QE-36), se incrementa después del aporte de fuentes termales en el río Titire, asimismo la variación espacial de los demás metales mencionados mantiene similar tendencia. (Anexo 9: análisis de balance de masas y carga contaminante)

Sin embargo, para el caso de los metales cadmio, cobre, hierro, aluminio y zinc la carga se mantiene elevada a lo largo del curso principal de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, presentándose una disminución posterior a la confluencia con el río Titire (AG-11). De acuerdo al balance de masas el aporte del río Titire, quebrada Chilota, ríos Chiquirani y Vizcacha y quebrada Totorani representó menos del 5 % de aporte de carga en los metales aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y zinc al río Coralaque, cuyo aporte principal proviene del río Margaritani, afectado por DAM producido por las actividades de la UF Florencia Tucari. Similar variación espacial se presentó en los demás metales mencionados. (Anexo 9: análisis de balance de masas y carga contaminante)

En los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-17, AG-19, M-3) y Aruntaya (AG-08 a AG-10), que conforman el cuerpo de agua principal, se registraron valores de pH < 4,5, considerados «extremadamente ácidos», al igual que en los principales tributarios como el río Margaritani (AG-18) y el Aruntaya (M-4), considerando que el primero se encuentra afectado por las actividades mineras emplazadas en las quebradas que le dan origen (Margaritani y Apostoloni); y el segundo es un cuerpo de agua sin influencia de actividades mineras (blanco), Figura 7.136.

Seguidamente, las características de los sedimentos del cuerpo de agua principal en los ríos Titire (AG-11 a TIT-4) y Coralaque (CORA1 a QE-36) variaron desde «extremadamente ácido (pH < 4,5)» a «moderado a ligeramente ácido (5,5 < pH < 6,8)», debido principalmente al aporte de los tributarios como las quebradas sin nombre 3 (QSnom3), Chilota (QChil1) y los ríos Titire (AG-09) y Vizcachas (VIZ-4), donde los valores de pH fueron más altos y variaron desde 6,82 a 7,26 unidades de pH.

Además, en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque (cuerpo de agua principal), se obtuvieron altas concentraciones de sulfatos y metales como cadmio (puntos RCora3), cobre (RArun4, AG-10, AG-11, RTiti1, RTiti2, TIT-1, TIT-2, TIT-3, TIT-4, CORA1, RCora1, RCora2, RCora2, RCora3, RCora4 y QE-36), zinc (RCora3, RCora4 y QE-36), plomo (AG-19,M-3, AG-08, RArun2 y RArun4), mercurio (AG-19 a QE-36) y arsénico (AG-17 a QE-36) que excedieron el valor PEL de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG; mientras que en los principales tributarios como los ríos Aruntaya (M-4), Titire (AG-09), Vizcachas (VIZ-4), y las quebradas sin nombre 3 (QSom3), Chilota (QChil1), se registraron concentraciones inferiores de sulfatos, y de cadmio, cobre, plomo, mercurio y arsénico que no superaron los valores ISQG y PEL de la guía de comparación mencionada; a excepción de lo encontrado en el río Margaritani (AG-18), donde se obtuvieron altas concentraciones de cadmio y zinc, así como de cobre que excedió el valor ISQG, además de plomo, mercurio y arsénico que superaron el valor PEL, Figuras 7.136 al 7.139.

Asimismo, se observa que las concentraciones de cadmio, cobre, zinc, mercurio y arsénico, tienden a aumentar en el cuerpo de agua principal, conforme incrementan los valores pH en el sedimento, debido principalmente al aporte de los tributarios como la quebrada sin nombre 3 (QSnom3), Chilota (QChil1) y los ríos Titire y Vizcachas, lo que evidencia que el pH tiene influencia en la movilización y precipitación de los metales en el sedimento; el cual es un fenómeno que ya ha sido reportado por Luo *et al*., 2020, al estudiar la distribución y movilización de metales pesados en suelos y sedimentos afectados por drenaje ácido de mina (DAM). Asimismo, Nystroem *et al*., 2005, ha reportado una alta precipitación y baja liberación de metales a valores de pH muy altos, a través de experimentos de laboratorio con sedimentos contaminados.

Así, las elevadas concentraciones de sulfatos, cadmio, cobre, zinc, plomo, mercurio y arsénico en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque (cuerpo de agua principal), están principalmente atribuidos al aporte del río Margaritani, que a su vez, están directamente relacionados a las quebradas Margaritani y Apostoloni que le dan origen; las cuales como se discutió anteriormente, vienen siendo afectadas por las actividades mineras emplazadas en los sectores de dichas quebradas específicamente por el aporte de quebradas (sin nombre 1 y 2) y afloramientos subterráneos alterados por drenaje ácido de mina (DAM), y a descargas provenientes de la poza de sedimentación N.º 1 y 5000, del sistema de tratamiento wetland sur, respectivamente.

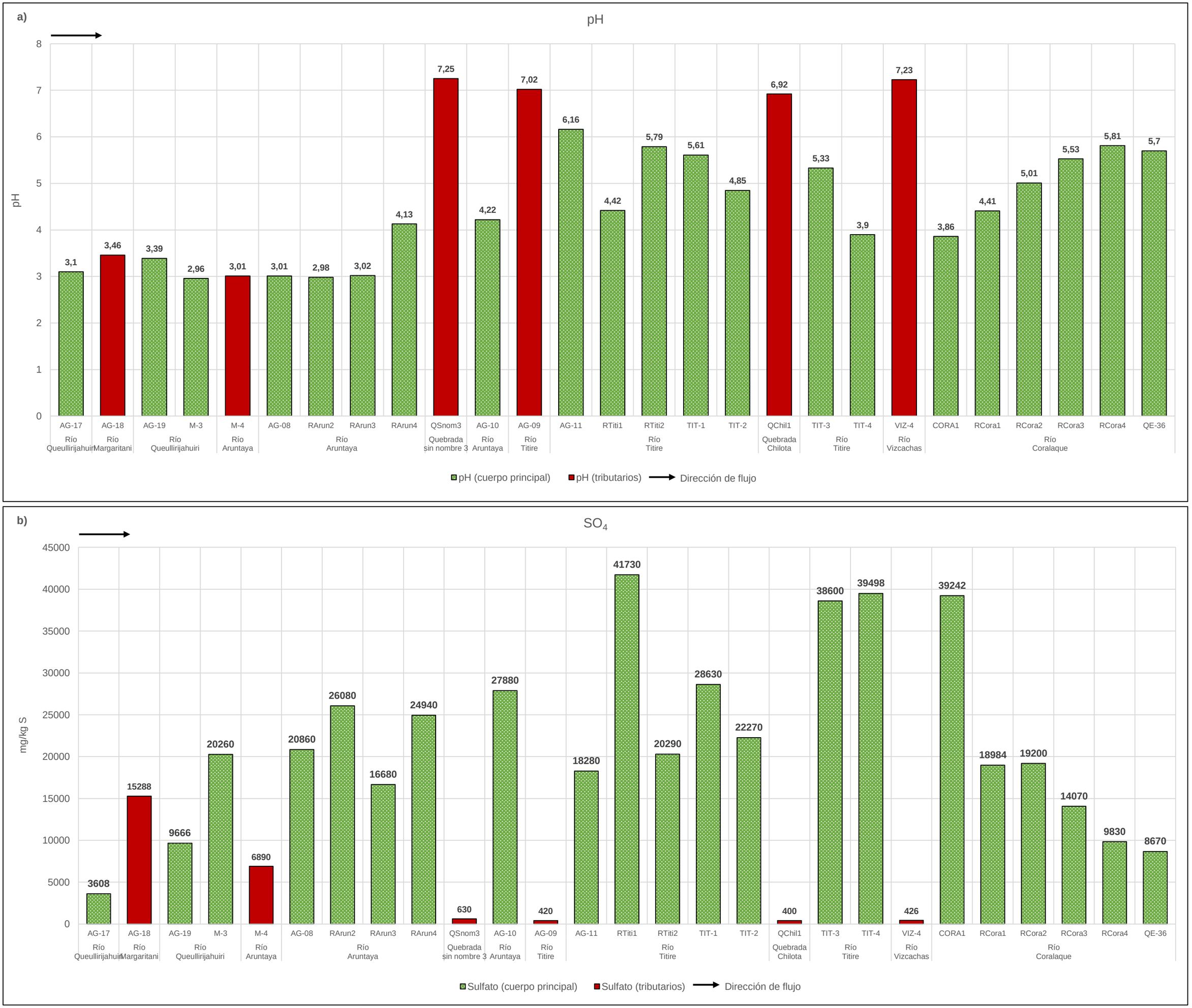


Figura 7.136. Valores de **a)** pH, y concentraciones de **b)** sulfatos en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios

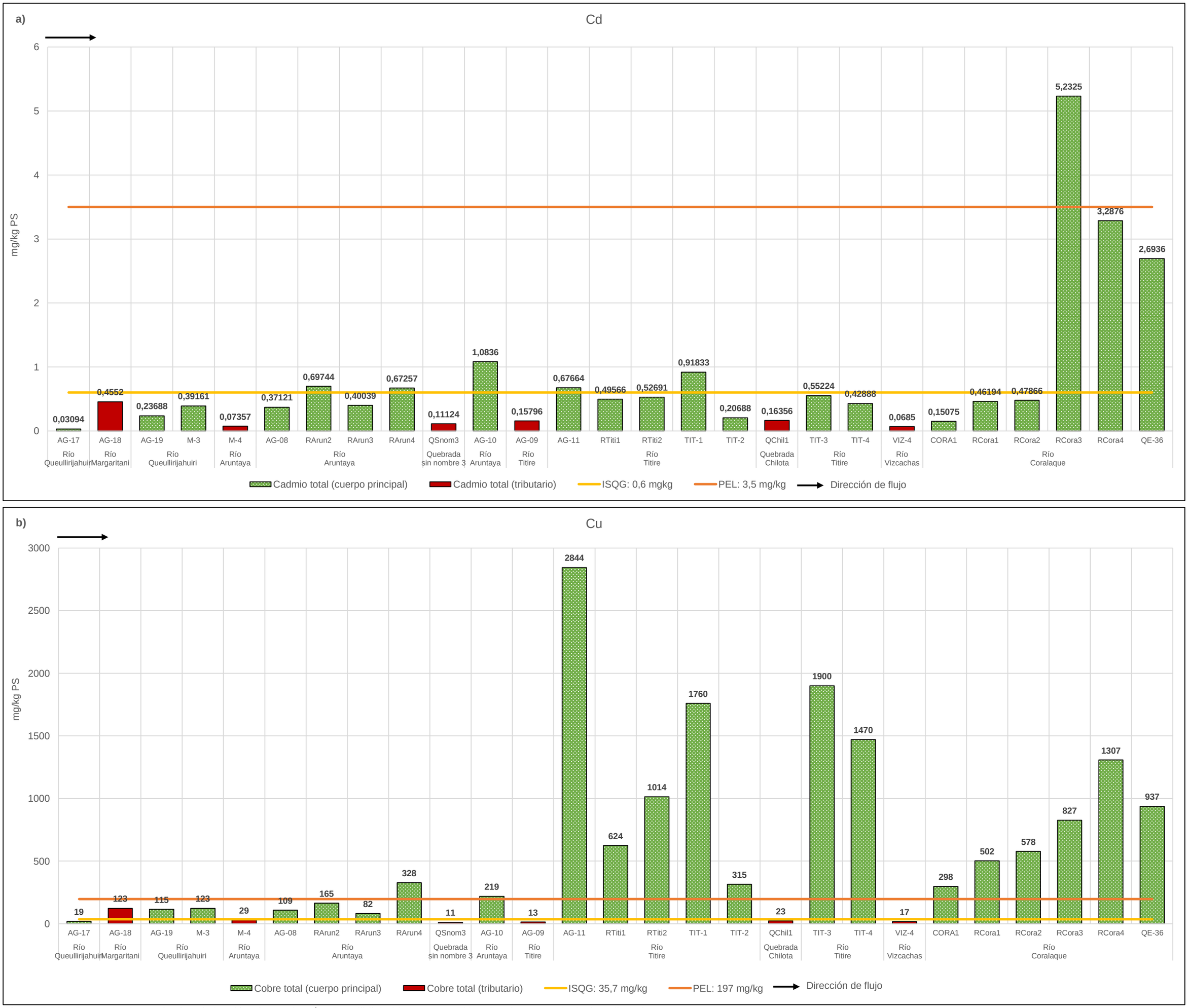


Figura 7.137. Concentraciones de a) cadmio y b) cobre en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios

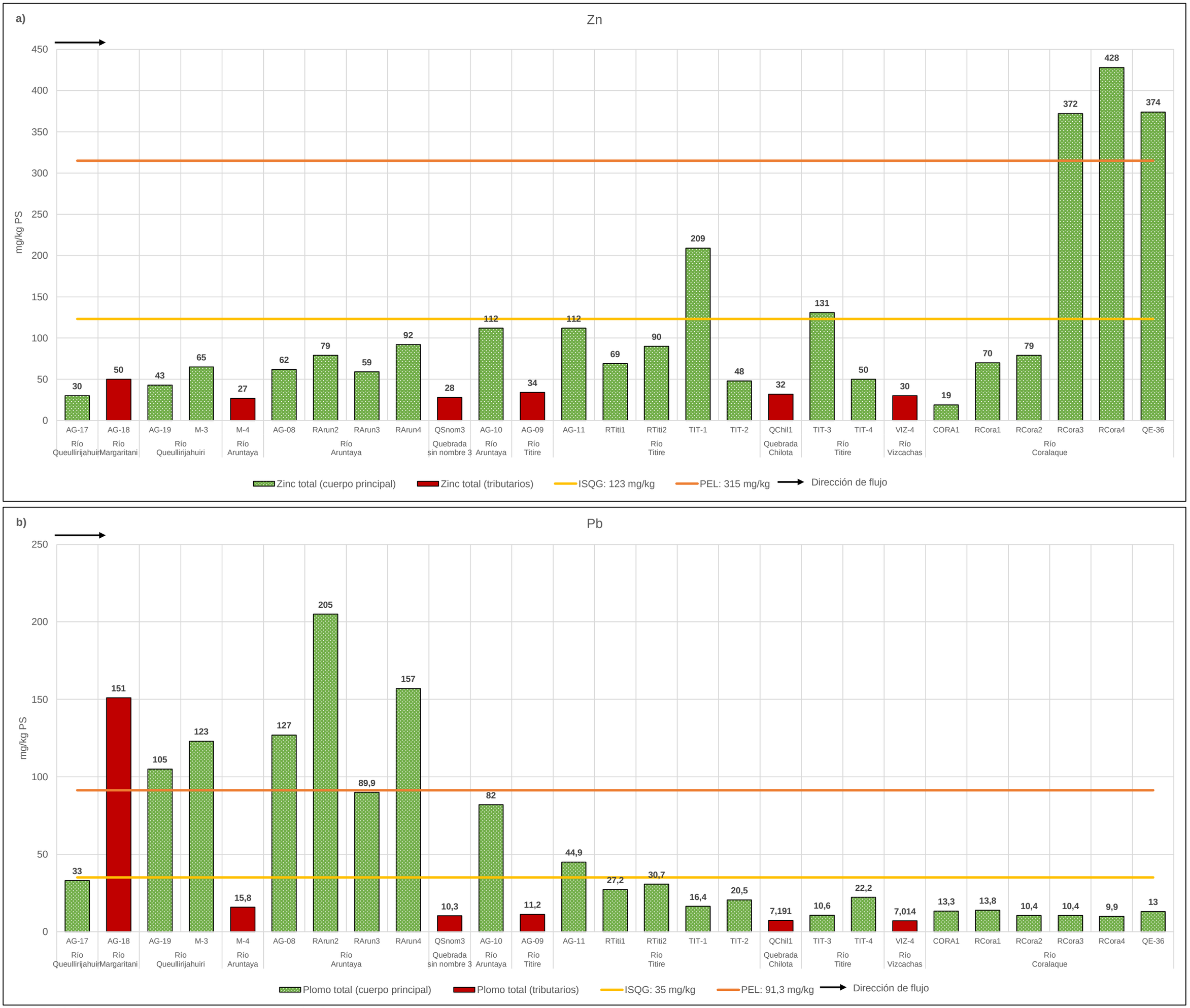


Figura 7.138. Concentraciones de **a)** zinc y **b)** plomo en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios



Figura 7.139. Concentraciones de **a)** mercurio y **b)** arsénico en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque, y principales tributarios

Además, en la caracterización mineralógica por difracción de rayos X de los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-19 y M-3), Aruntaya (AG-08 y AG-10) y Titire (AG-11), que forman el cuerpo de agua principal, se registró minerales relacionados con las altas concentraciones de hierro y sulfatos como la jarosita (fase de sulfatos, $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$), con porcentajes de 3 %, 4 %, 6 %, 4 % y 2 % (Figura 7.140), al igual que en el punto AG-18 del tributario Margaritani, con una proporción de 6 %; en contraste a lo encontrado en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4), Titire (AG-09) y Vizcachas (VIZ-4), que son tramos del cuerpo de agua sin influencia de actividades mineras, donde no se encontró el mineral mencionado.

La jarosita ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) es un mineral (grupo isoestructural de jarosita-alunita) que se encuentra comúnmente en ambientes ácidos (pH < 3) y óxicos como depósitos de minerales sulfurados, desechos de industria extractiva metalúrgica, suelos sulfatados ácidos y ambientes fluviales contaminados por rocas ácidas o drenaje ácido de mina (Dutrizac y Jambor, 2000; Hudson-Edwards *et al*., 1999; Smith *et al*., 2006); condiciones que fueron identificadas en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri (AG-19 y M-3), Aruntaya (AG-08 y AG-10) y Titire (AG-11). Además, se ha reportado a la jarosita como mineral predominante en sedimentos superficiales contaminados por drenajes ácidos de mina (Boukhalfa *et al*., 2012).

Asimismo, la presencia de este mineral en el cuerpo de agua principal se reportó sólo hasta el punto AG-11 del río Titire; y seguidamente no fue identificado en el resto de los puntos de los ríos Titire (RTiti1, TIT-1, TIT-3 y TIT-4) y Coralaque (CORA1, RCora1, RCora3 y QE-36), que presentaron una composición mineralógica predominante de cuarzo, plagioclasa y feldespato, siendo más semejantes a los tramos de los ríos Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17), Aruntaya (RArun1 y M-4), Titire (AG-09) y Vizcachas (VIZ-4) sin influencia de actividades mineras.

De lo mencionado anteriormente, se evidencia que la única fuente de aporte de jarosita al cuerpo de agua principal (hasta el punto AG-11 del río Titire) en la zona evaluada, es el río Margaritani (AG-18), que su vez está directamente relacionado a las quebradas Margaritani (E-3) y Apostoloni (E-2) que le dan origen, en las cuales también se registró la presencia de este mineral y como se discutió anteriormente vienen siendo afectadas por las actividades mineras emplazadas en los sectores de dichas quebradas; teniendo en consideración que la jarosita puede incorporar en su estructura, transportar, adsorber y coprecipitar cantidades considerables de elementos potencialmente tóxicos como arsénico, cadmio y plomo (Domenech *et al.*, 2002; Dutrizac *et al*., 1980; 1987; 1996; Gonzalez-Ibarra *et al*., 2016; Gunneriusson *et al*., 2009; Smith *et al*., 2006), elementos que fueron identificados a lo largo del cuerpo de agua principal.

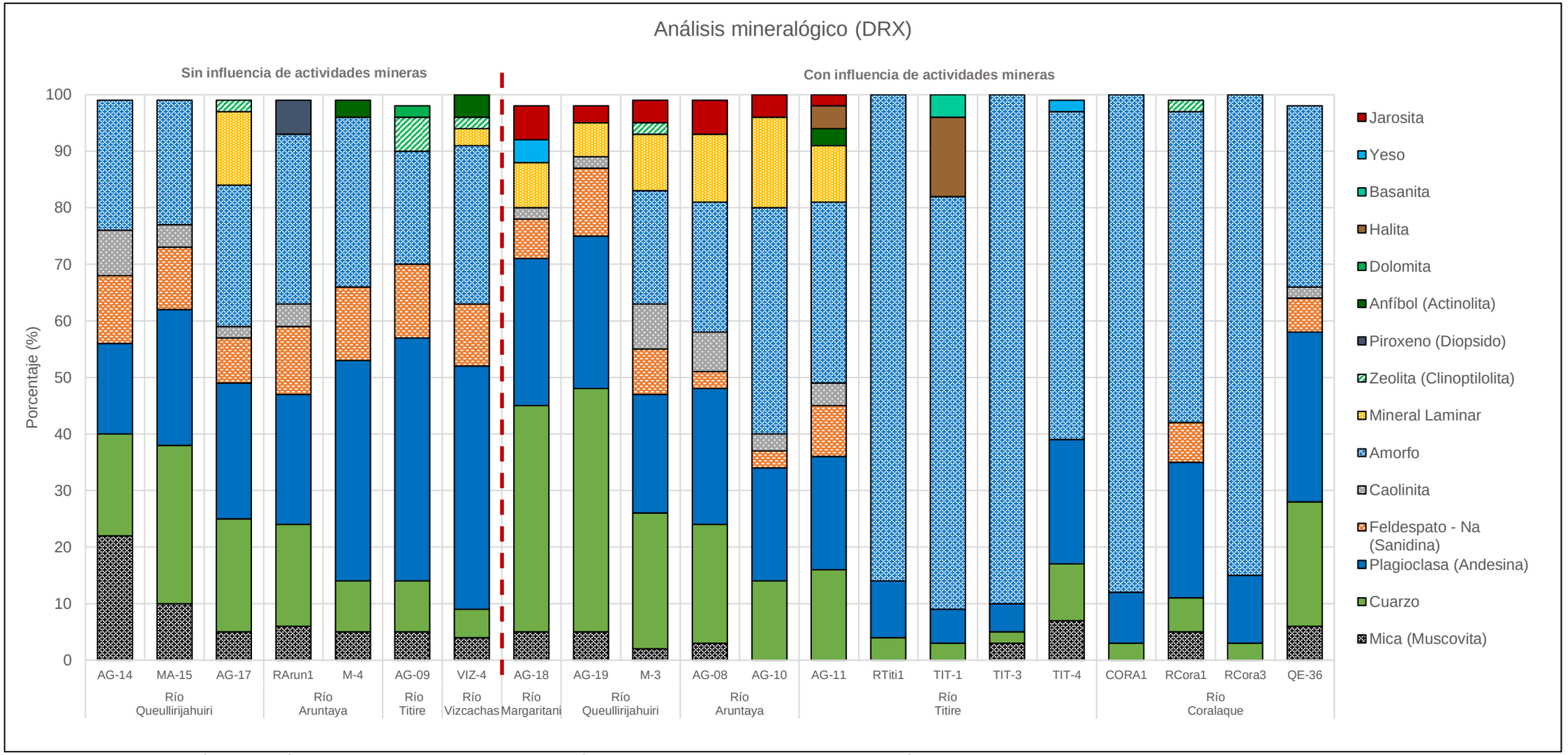


Figura 7.140. Composición mineralógica (%) obtenida mediante difracción de rayos X en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya , Titire, Coralaque y principales tributarios

Por otra parte, la precipitación de óxidos e hidróxidos de hierro, se evidenció en la presencia de minerales como la goethita (FeO.OH), identificada por microscopía electrónica de barrido en los ríos Queullirijahuiri (AG-19 y M-3), Aruntaya (AG-08), Titire (TIT-1 y TIT-4,) y Coralaque (RCora1); además de otros minerales en base a hierro como la magnetita, hematita e ilmenita. En cuerpos de agua contaminados gravemente por drenajes ácidos de mina (DAM), se ha reportado ampliamente que los sedimentos consisten en una mezcla compleja de fases secundarias de hierro que contienen elementos potencialmente tóxicos (Silva *et al*., 2013).

La presencia del hierro afecta el comportamiento geoquímico (solubilización/precipitación) de otros metales presentes en el sistema; además, conducen a la formación de recubrimientos a lo largo de los cuerpos de agua, debido a una notable acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro (color amarillo – anaranjado), los cuales tienen un impacto visual pronunciado (Thornber, 1985; Schmiermund y Drozd, 1997; B-anks *et al*., 1997; Kim, 2015), que fue evidenciado en tramos de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque aguas abajo de la UF Florencia Tucari.

Se ha reportado que la contaminación de sistemas fluviales por drenajes ácidos de mina (DAM), tienen como característica la presencia de una fuerte cromatización ferruginosa en los márgenes y en el lecho de los ríos y quebradas, como resultado de la precipitación de oxihidróxidos de hierro (Favas *et al*., 2016); estos precipitados tienen colores entre amarillo y rojo, con predominio de tonos ocres que proporcionan un efecto visual agresivo, tal como se evidenció en el Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque.

En el gráfico de ordenación (nMDS) de la Figura 7.141a se muestra los agrupamientos por similitud (características fisicoquímicas) de los sedimentos de las zonas Margaritani (sector río Margaritani), Aruntaya, Titire – Coralaque, Queullirijahuiri (AG-14, MA-15 y AG-17) y Paccha - Aruntaya (RArun1 y M-4), estas dos últimas corresponden a tramos de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya que no tienen influencia de actividades mineras (sitios blanco de comparación). Asimismo, se consideró como un grupo a los tributarios de los ríos Aruntaya, Titire y Coralaque, puesto que son cuerpos de agua que no tienen influencia de actividades mineras.

Se observa una separación espacial entre los puntos de muestreo de las zonas Margaritani, Aruntaya y Titire – Coralaque en relación a las zonas Queullirijahuiri, Paccha - Aruntaya y el grupo de tributarios. Esta diferencia se da principalmente por el aporte de elevadas concentraciones de sulfatos, cadmio, cobre, zinc, plomo, mercurio y arsénico del río Margaritani (puntos E-10, P-8, P-9 y AG-18), el cual viene siendo afectado por actividades mineras en los sectores de las quebradas que le dan origen (Margaritani y Apostoloni), al cuerpo de agua principal (ríos Aruntaya, Titire y Coralaque), donde también se observa elevadas concentraciones de los parámetros mencionados (Figura 7.141b-f).

Para determinar si existe o no diferencias significativas entre las zonas Margaritani (sector río Margaritani), Aruntaya, Titire – Coralaque, Queullirijahuiri, Paccha – Aruntaya y el grupo de tributarios evaluados mediante la ordenación nMDS (escalamiento multidimensional no métrico), se realizó el análisis de PERMANOVA (*Permutational MANOVA*), el cual demostró mediante el test principal diferencias significativas ($p = 0,001$) como se aprecia en la Tabla 7.17a.

Tabla 7.17. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zonas) para las variables fisicoquímicas de los sedimentos, basado en la similitud de distancia euclidiana (transformación a raíz cuadrada), mostrando el (a) test principal y (b) un resumen del test pareado

(a) Test principal				
Origen de variación (Factor)	Pseudo-F	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Agrupamientos	10,904	0,001	998	0,001

(b) Test pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Zonas	Queullirijahuiri, Paccha-Aruntaya	1,4985	0,096	10	0,15
	Queullirijahuiri, Margaritani	2,6499	0,01	83	0,008
	Queullirijahuiri, Aruntaya	3,2754	0,009	120	0,003
	Queullirijahuiri, Titire-Coralaque	3,126	0,002	468	0,001
	Queullirijahuiri, Tributarios	4,0936	0,034	35	0,004
	Paccha-Aruntaya, Margaritani	3,2908	0,042	28	0,001
	Paccha-Aruntaya, Aruntaya	3,2599	0,029	36	0,005
	Paccha-Aruntaya, Titire-Coralaque	2,5546	0,008	105	0,002
	Paccha-Aruntaya, Tributarios	3,3307	0,072	15	0,01
	Margaritani, Aruntaya	2,3465	0,01	761	0,009
	Margaritani, Titire-Coralaque	3,6051	0,001	982	0,001
	Margaritani, Tributarios	5,316	0,004	204	0,001
	Aruntaya, Titire-Coralaque	2,8337	0,001	992	0,001
	Aruntaya, Tributarios	5,139	0,002	312	0,001
	Titire-Coralaque, Tributarios	3,8639	0,002	817	0,001

Asimismo, el test principal se complementó por un test pareado entre los agrupamientos de las zonas y tributarios (Tabla 7.17b), cual determinó que los sedimentos de las zonas Aruntaya y Titire – Coralaque que tienen como principal aportante al río Margaritani, el cual se encuentra afectado por actividades mineras, son diferentes a las zonas Queullirijahuiri, Paccha – Aruntaya y el grupo de tributarios (sin influencia de actividades mineras), en base a las variables fisicoquímicas evaluadas (pH, sulfatos, hierro, cobre, plomo, zinc, cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, arsénico, antimonio, aluminio, manganeso, calcio, sodio, potasio, magnesio, bario, y el contenido de arena y arcilla) ya que presentaron diferencias significativas ($p<0,05$); mientras que las zonas Queullirijahuiri y Paccha – Aruntaya, consideradas como sitios blanco de referencia, no presentaron diferencias significativas ($p>0,05$).

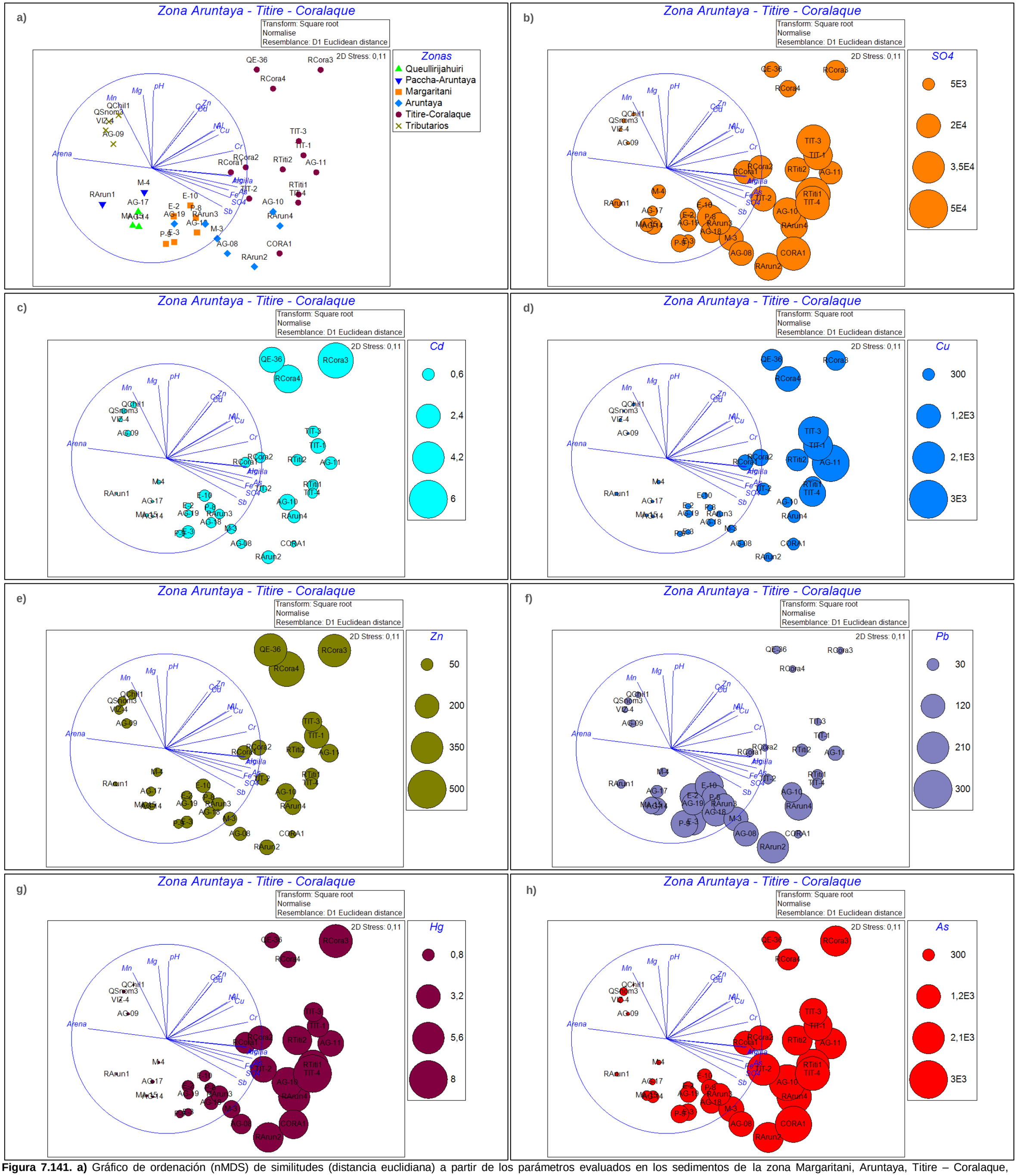


Figura 7.141. a) Gráfico de ordenación (nMDS) de similitudes (distancia euclidiana) a partir de los parámetros evaluados en los sedimentos de la zona Margaritani, Aruntaya, Titire – Coralaque, Queullirijahuiri, Paccha – Aruntaya y el grupo de tributarios (QSnom3, AG-09, QChil1 y VIZ-4). La gráfica vectorial (izquierda) muestra la dirección del incremento lineal de las concentraciones de las variables evaluadas en los sedimentos, y la correlación múltiple de cada variable en la ordenación nMDS (el círculo es la correlación de 1). Gráfico de burbujas, que es el mismo gráfico de ordenación (nMDS), pero con círculos de tamaño creciente que representan las concentraciones (expresadas en mg/kg PS) de **b)** sulfatos, **c)** cadmio, **d)** cobre, **e)** zinc, **f)** plomo**, g)** mercurio **y h)** arsénico en los sedimentos de los cuerpos de agua de las zonas evaluadas

Al comparar los resultados del muestreo de sedimentos en los puntos AG-19 y AG-08 del río Queullirijahuiri y Aruntaya (zona Aruntaya), realizados por el OEFA en los años 2016, 2017, 2019 y 2020 (Figuras 7.142 y 7.143), se evidencia un incremento (acumulación) de las concentraciones de cobre, plomo y hierro en ambos puntos de muestreo, además de mercurio y arsénico en el punto AG-08. Asimismo, se evidencia un aumento (acumulación) en el tiempo en las concentraciones de cobre, plomo, mercurio, arsénico y hierro en el punto AG-10 del río Aruntaya, antes de la confluencia con el río Titire, al comparar los muestreos realizados en el 2015, 2016, 2019 y 2020 por el OEFA (Figura 7.144).

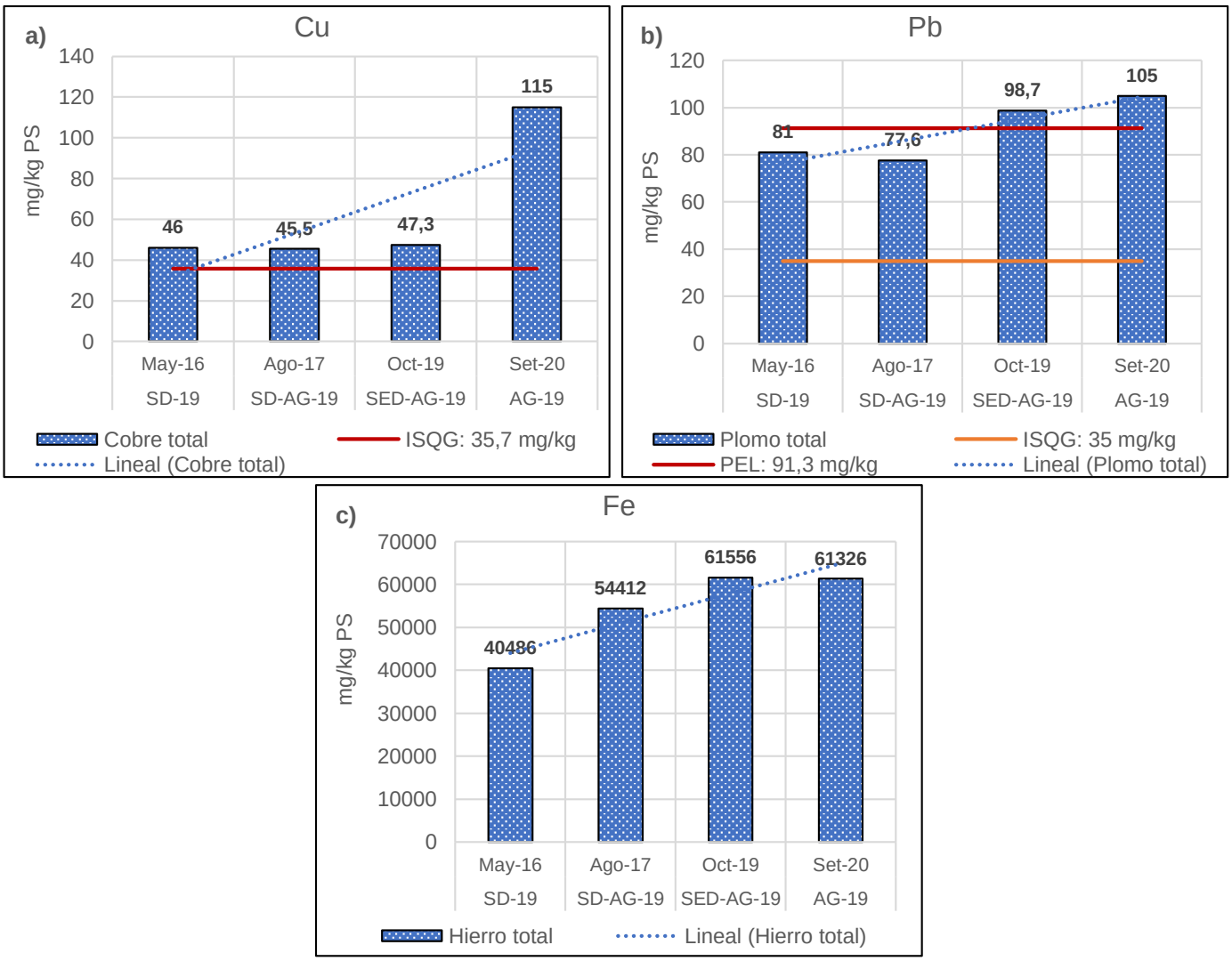


Figura 7.142. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** plomo y **c)** hierro en los sedimentos del punto AG-19 del río Queullirijahuiri obtenidos por el OEFA los años 2016 (SD-19), 2017 (SD-AG-19), 2019 (SED-AG-19) y 2020 (AG-19)

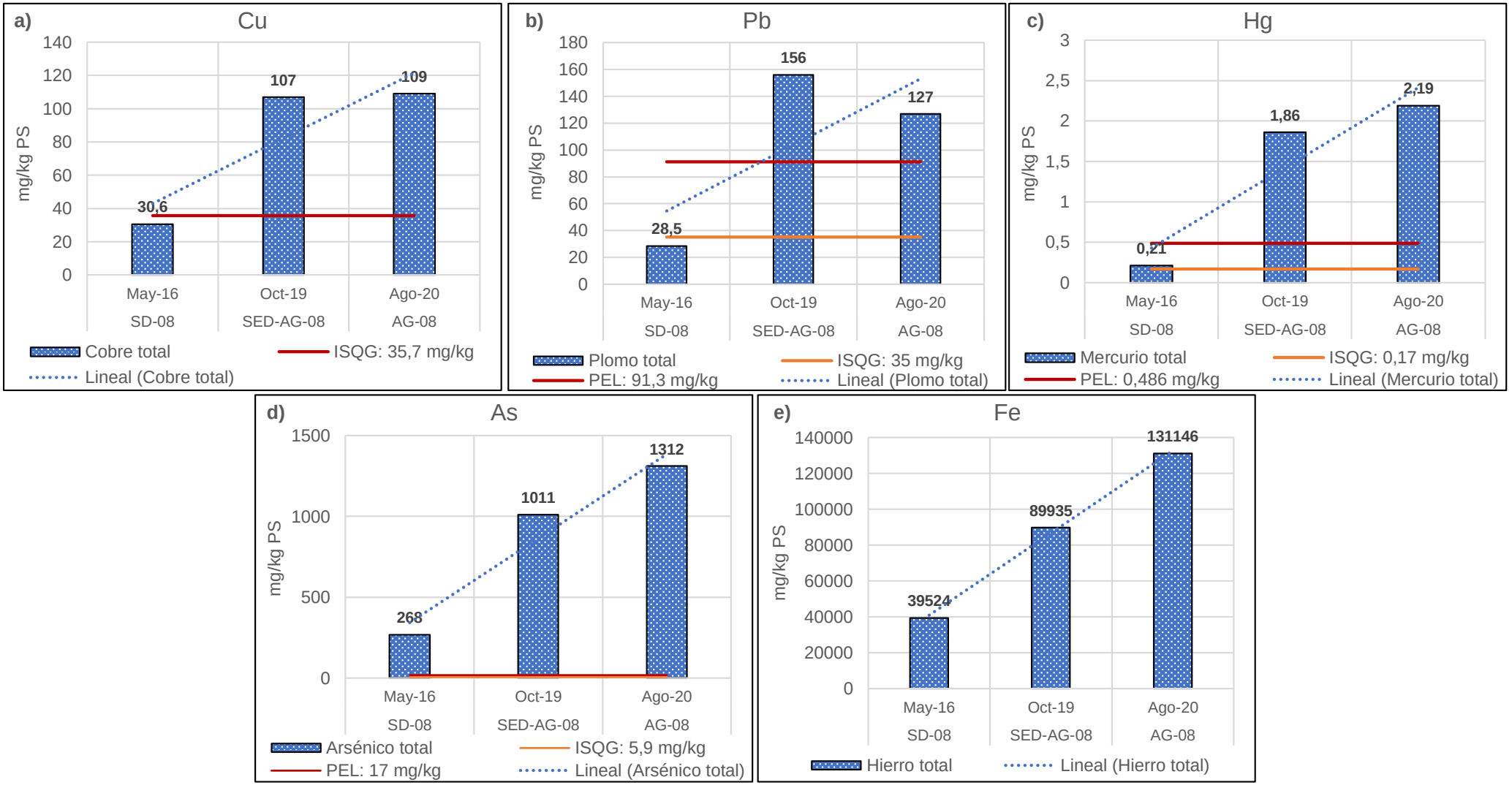


Figura 7.143. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** plomo, **c)** mercurio, **d)** arsénico y **e)** hierro en los sedimentos del punto AG-08 del río Aruntaya obtenidos por OEFA en los años 2016 (SD-08), 2019 (SED-AG-08) y 2020 (AG-08)

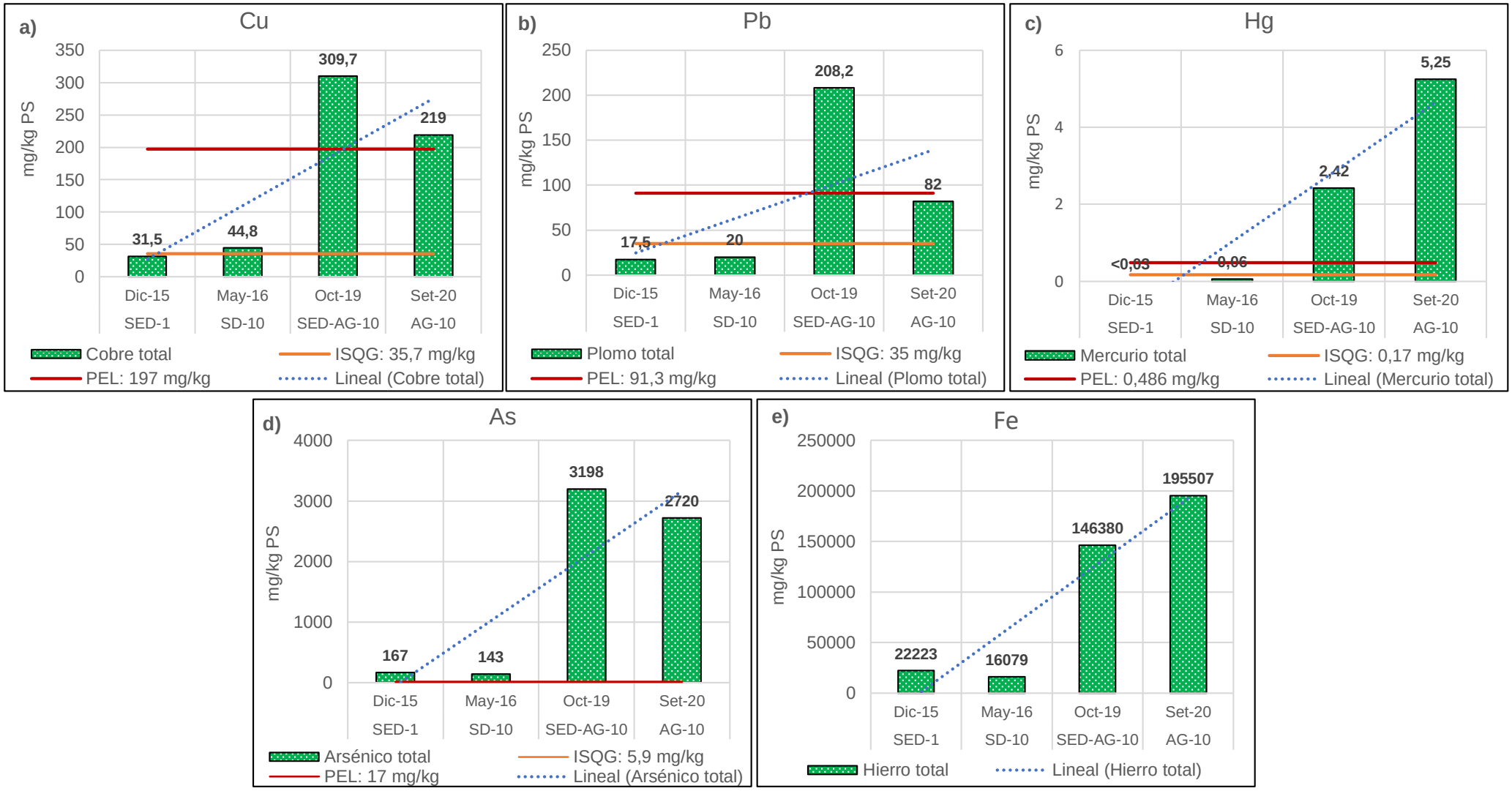


Figura 7.144. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** plomo, **c)** mercurio, **d)** arsénico y **e)** hierro en los sedimentos del punto AG-10 del río Aruntaya obtenidos por el OEFA en los años 2015 (SED-1), 2016 (SD-10), 2019 (SED-AG-10) y 2020 (AG-10)

En cuanto al río Titire (zona Titire – Coralaque), también se evidenció un incremento (acumulación) en las concentraciones de cobre, zinc, plomo, mercurio, arsénico y hierro en los sedimentos del punto AG-11, al comparar los resultados obtenidos por el OEFA en los años 2015, 2016, 2019 y 2020 (Figura 7.145). Seguidamente, en el punto TIT-1 del río Titire también se evidencia un aumento en las concentraciones de cobre, zinc, arsénico y hierro en los sedimentos, al contrastar los resultados obtenidos por el programa monitoreo de Anglo American Quellaveco S.A. (proyecto Quellaveco) en el 2015, y lo registrado por el OEFA en los años 2019 y 2020 (Figura 7.146).

Finalmente, en el río Coralaque (zona Titire – Coralaque), se aprecia un incremento (acumulación) en las concentraciones de cobre, zinc, arsénico y hierro en los sedimentos de los puntos RCora4 y QE-36 al comparar los resultados obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y American Quellaveco S.A (proyecto Quellaveco) en el 2015, en relación a lo registrado por el OEFA en 2020 (Figuras 7.147 y 7.148).

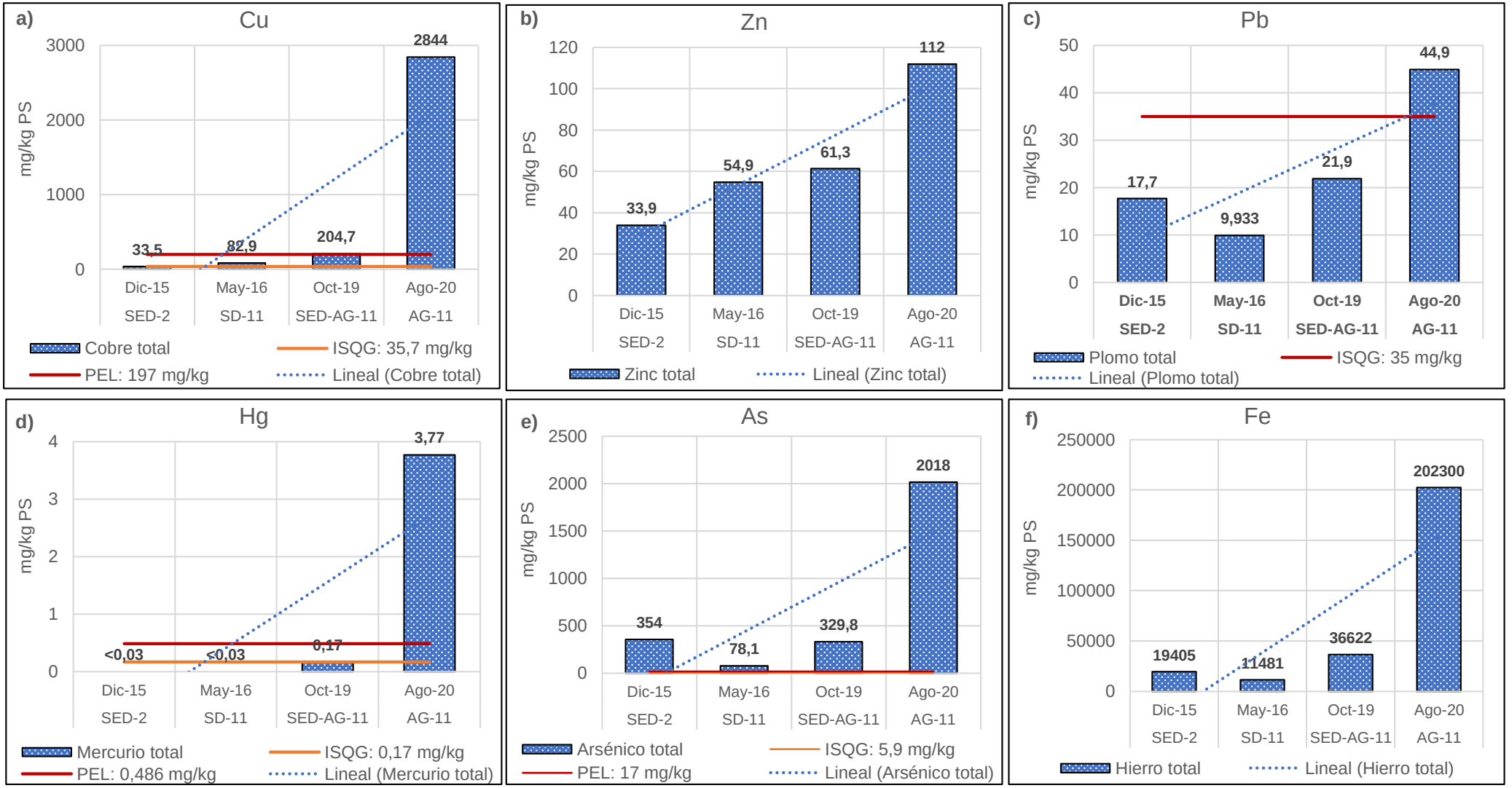


Figura 7.145. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** plomo, **d)** mercurio, **e)** arsénico y **f)** hierro en los sedimentos del punto AG-11 del río Titire obtenidos por el OEFA en los años 2015 (SED-2), 2016 (SD-11), 2019 (SED-AG-11) y 2020 (AG-11)

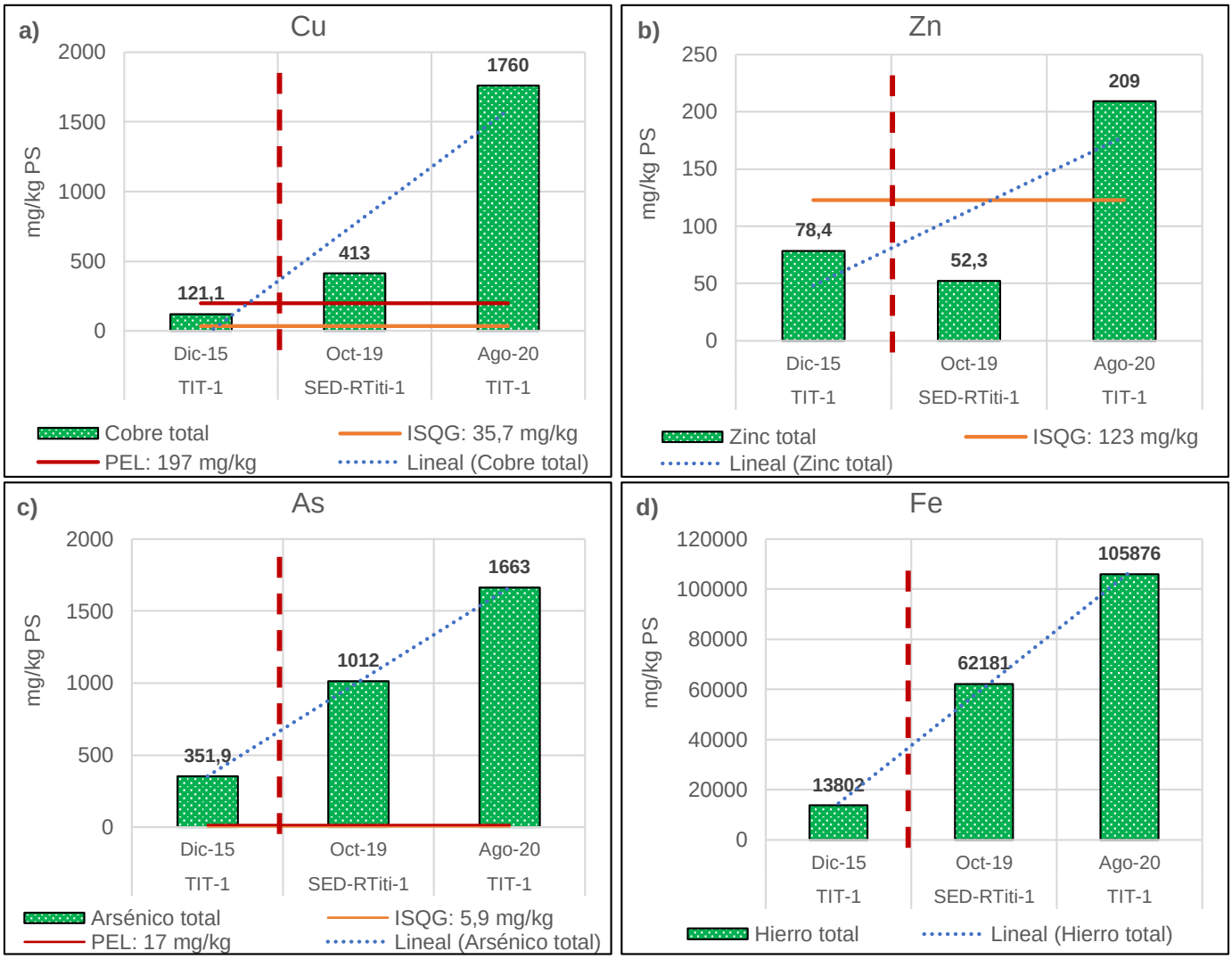


Figura 7.146. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** arsénico y **d)** hierro en los sedimentos del punto TIT-1 del río Titire obtenidos por Anglo American Quellaveco S.A. (proyecto Quellaveco) en el 2015 (TIT-1) y por el OEFA en 2019 (SED-RTiti-1) y 2020 (TIT-1)

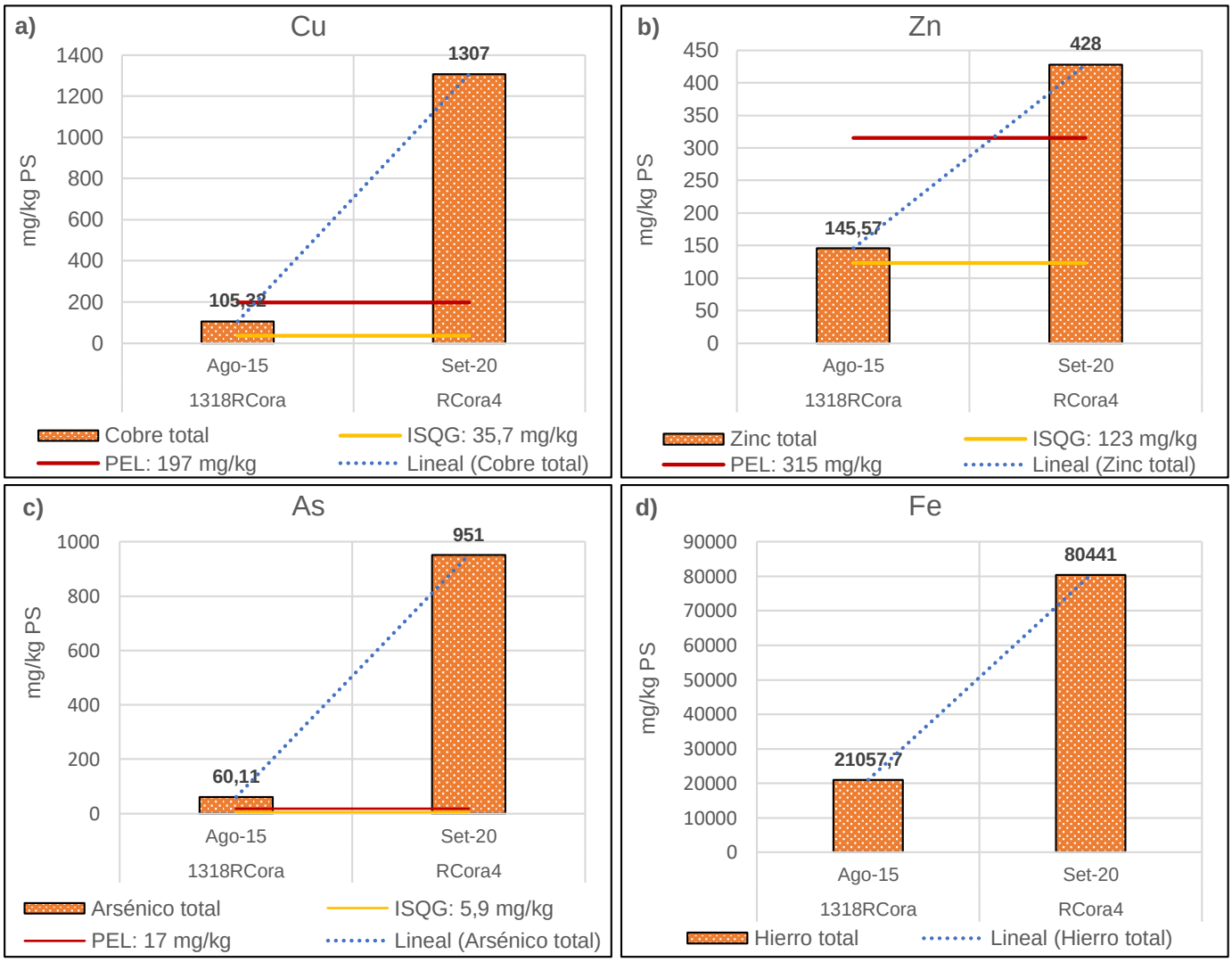


Figura 7.147. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** arsénico y **d)** hierro en los sedimentos del punto RCora4 del río Aruntaya obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el 2015 (1318RCora) y por el OEFA en 2020 (RCora4)

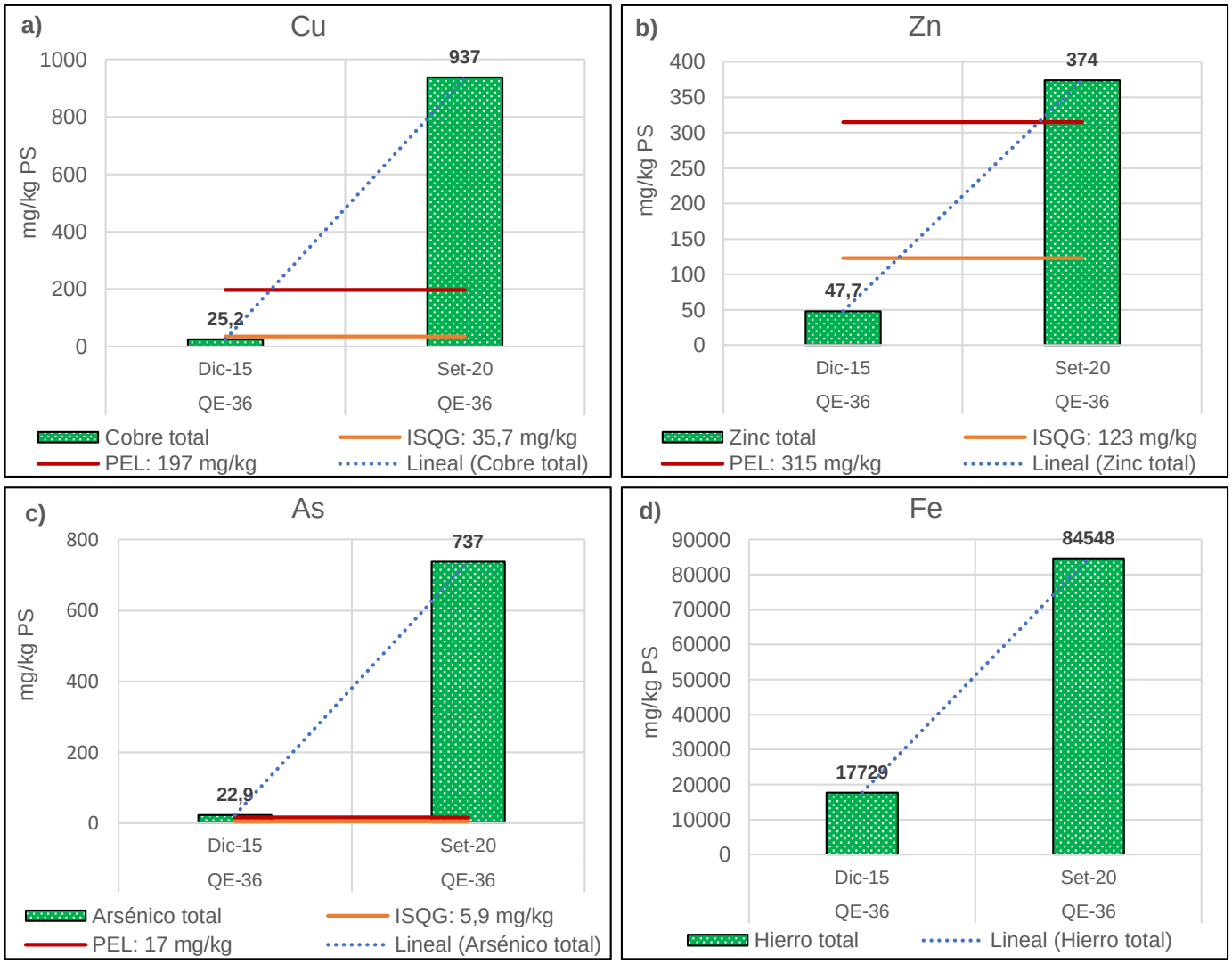


Figura 7.148. Comparación de las concentraciones de **a)** cobre, **b)** zinc, **c)** arsénico y **d)** hierro en los sedimentos del punto RCora4 del río Aruntaya obtenidos por Anglo American Quellaveco S.A. (proyecto Quellaveco) en el 2015 (QE-36) y por el OEFA en 2020 (QE-36)

El cambio en el comportamiento del fraccionamiento de los metales con respecto al pH, encontrados en altas concentraciones (metales) en los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque (cuerpo de agua principal), se muestra en la Figura 7.149. Así, los sedimentos de los puntos del cuerpo de agua principal y tributarios se dividieron en 4 clases: (1) con pH < 4,5 que se considera extremadamente ácido; (2) 5,0 < pH < 5,5 considerado como fuertemente ácido; (3) 5,5 < pH < 6,8, clasificado como moderado a ligeramente ácido y (4) 6,8 < pH < 7,3, considerado como neutro.

En los sedimentos «extremadamente ácidos» de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque, metales como el cobre, cadmio y zinc se presentaron principalmente en fracciones intercambiables (fracciones 1 y 2); mientras que en los sedimentos desde «fuertemente ácidos» a «moderado a ligeramente ácidos» (puntos TIT-3, RCora3, AG-11, TIT-1 y QE-36), los metales mencionados se encontraron en mayor proporción en óxidos de hierro y manganeso (fracción 4); lo que evidencia que la biodisponibilidad del cobre, cadmio y zinc en los sedimentos del cuerpo de agua principal disminuye a medida que aumenta el pH.

En relación al contenido de hierro y plomo, se fraccionaron predominantemente en óxidos de hierro y manganeso (fracción 4) así como en minerales primarios y secundarios (fracción 6), respectivamente, a lo largo de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque, independientemente de los valores de pH registrados en los sedimentos, por lo que el cambio en el pH del sistema no tiene influencia en la partición de estos metales. Esto evidencia que sólo el hierro se encuentra potencialmente biodisponible en los sedimentos del cuerpo de agua principal.

Finalmente, en los sedimentos considerados neutros (6,8 < pH 7,3) de los tributarios Vizcachas (VIZ-4) y Titire (AG-09) el cobre, zinc, plomo y hierro se encontraron predominantemente en las fracciones 5 y 6 (ligado a materia orgánica y residual), por lo que el contenido de estos metales no se encuentra disponible a partir de los sedimentos en estos puntos de muestreo.

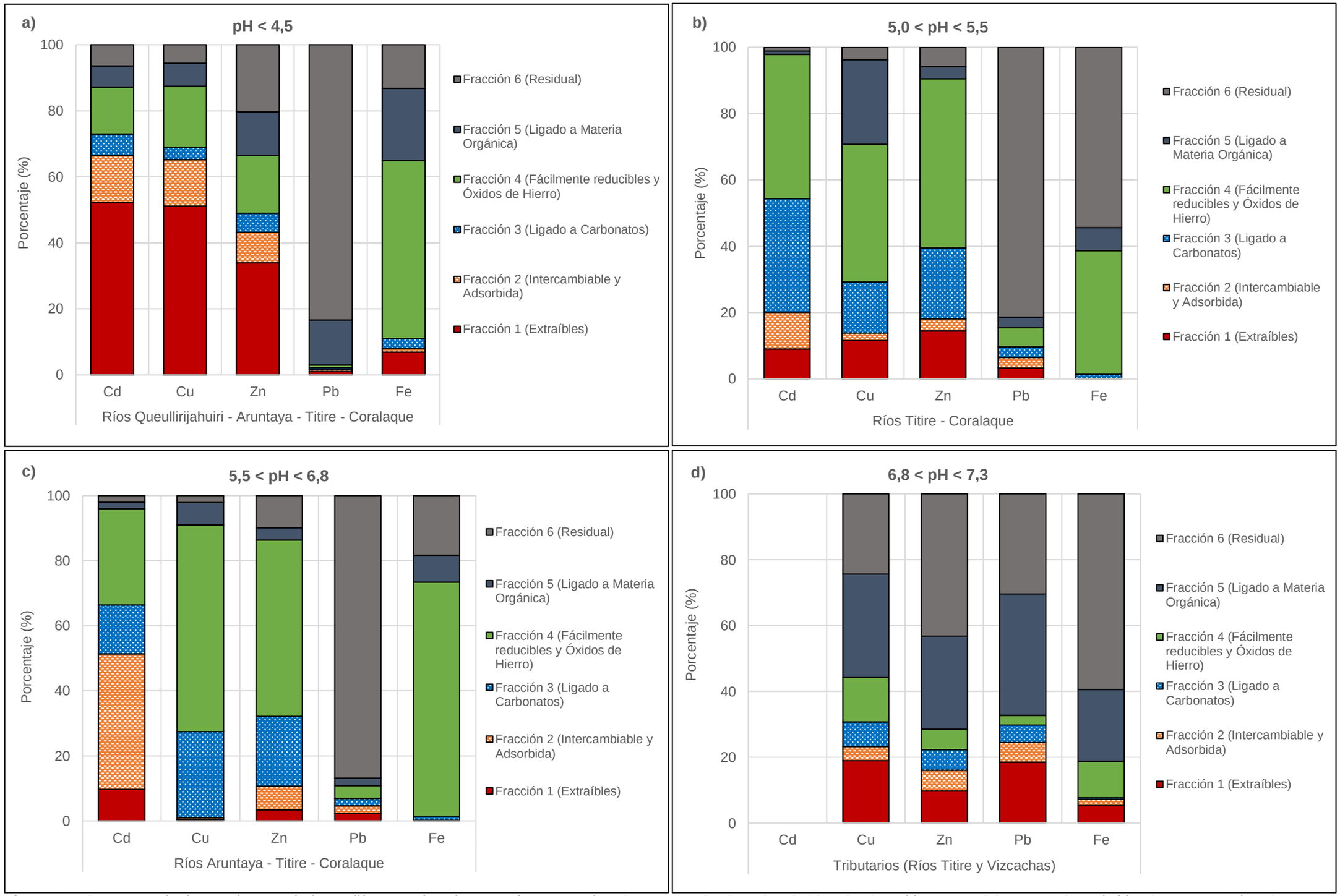


Figura 7.149. Porcentaje de metales asociados a diferentes fracciones a **a)** pH < 4,5 (n = 8, puntos AG-19, M-3, AG-08, AG-10, RTiti1, TIT-4, CORA1 y RCora1); **b)** 5,0 < pH < 5,5 (n = 2, puntos TIT-3 y RCora3); **c)** 5,5 < pH < 6,8 (n = 3, puntos AG-11, TIT-1 y QE-36); y **d)** 6,8 < pH < 7,3(n = 2, puntos AG-09 y VIZ-4) en los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire, Coralaque y tributario (río Vizcachas). (*): El cadmio presentó valores por debajo del límite de detección (< 0,05 m

Los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque, se emplazan principalmente en secuencias volcánicas y sedimentarias (Formación Sencca, Grupo Maure y Grupo Barroso), los cuales son cubiertos por depósitos cuaternarios (fluvioaluvial, aluvial, coluvial y biogénico).

Para el análisis de los resultados de sedimentos de quebrada (depósitos cuaternarios fluviales) se consideró como río principal el tramo que van desde río Queullirijahuiri (GSED-1 y GSED-18), Aruntaya (GSED-20 y GSED-29) hasta Coralaque (GSED-14 y GSED-5A, GSED-5B y GSED-5C), se precisa que el río principal recibe el aporte de 21 quebradas y 1 río, los cuales también fueron muestreados, siendo el principal aportante el río Margaritani (GSED-2). De los resultados de sedimentos de quebrada, las concentraciones de arsénico en el punto GSED-1 del río Queullirijahuiri son bajas (70,5 mg/kg) y luego del aporte del río Margaritani en el punto GSED-2 (1056 mg/kg), las concentraciones se incrementan en el punto GSED-18 (924 mg/kg) del río Queullirijahuiri (Figuras 7.151 y 7.152). Similar comportamiento se presentó para el cobre, plomo y mercurio. Además, los resultados del punto GSED-2 fue comparado con los resultados obtenidos por INGEMMET[87] en el año 2000, antes del inicio de operaciones de la UF Florencia Tucari, y se aprecia en la Figura 7.150 un incremento en las concentraciones de arsénico, cobre, mercurio y plomo en el río Margaritani (GSED-2) desde el año 2000 hasta la presente evaluación (2020), lo cual reafirma la influencia de las actividades de la UF Florencia Tucari sobre el río Margaritani. Cabe precisar que para la comparación de los resultados se utilizó la misma metodología de muestreo utilizada por INGEMMET (tamizado de muestras a malla N.° 30 y 80).

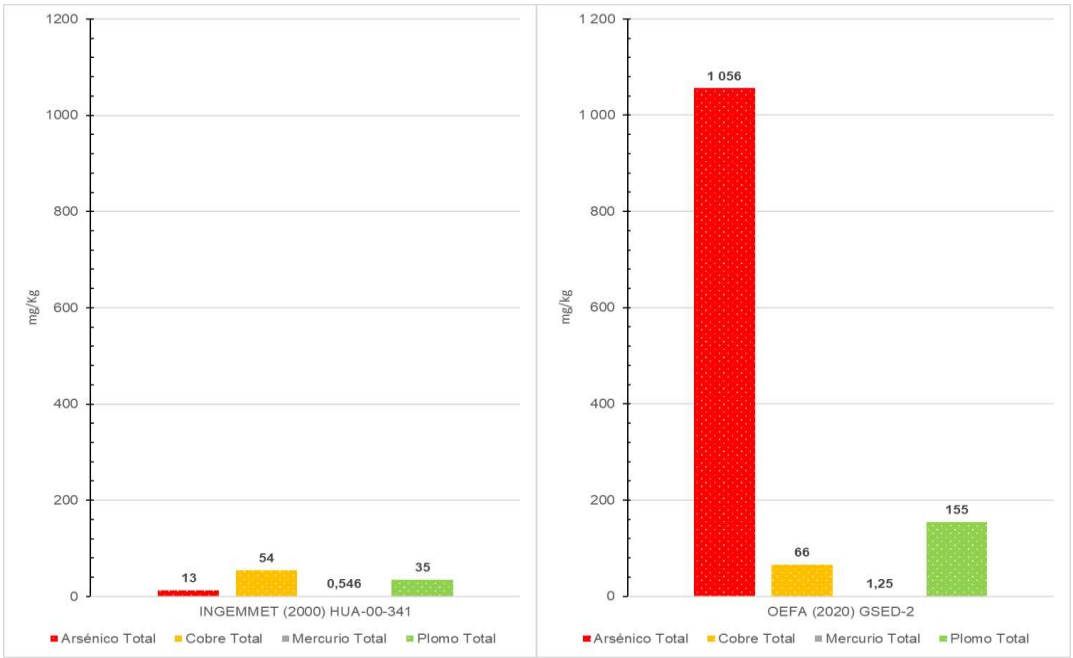


Figura 7.150. Comparación de concentraciones de arsénico, plomo, cobre y mercurio en los sedimentos del punto GSED-2 (muestreado por OEFA en 2020) y Punto HUA-00-341 (muestreado por INGEMMET en 2000) ubicados en el río Margaritani.

87 Estudio de los recursos minerales del Perú Franja N. 1, diciembre 2000.

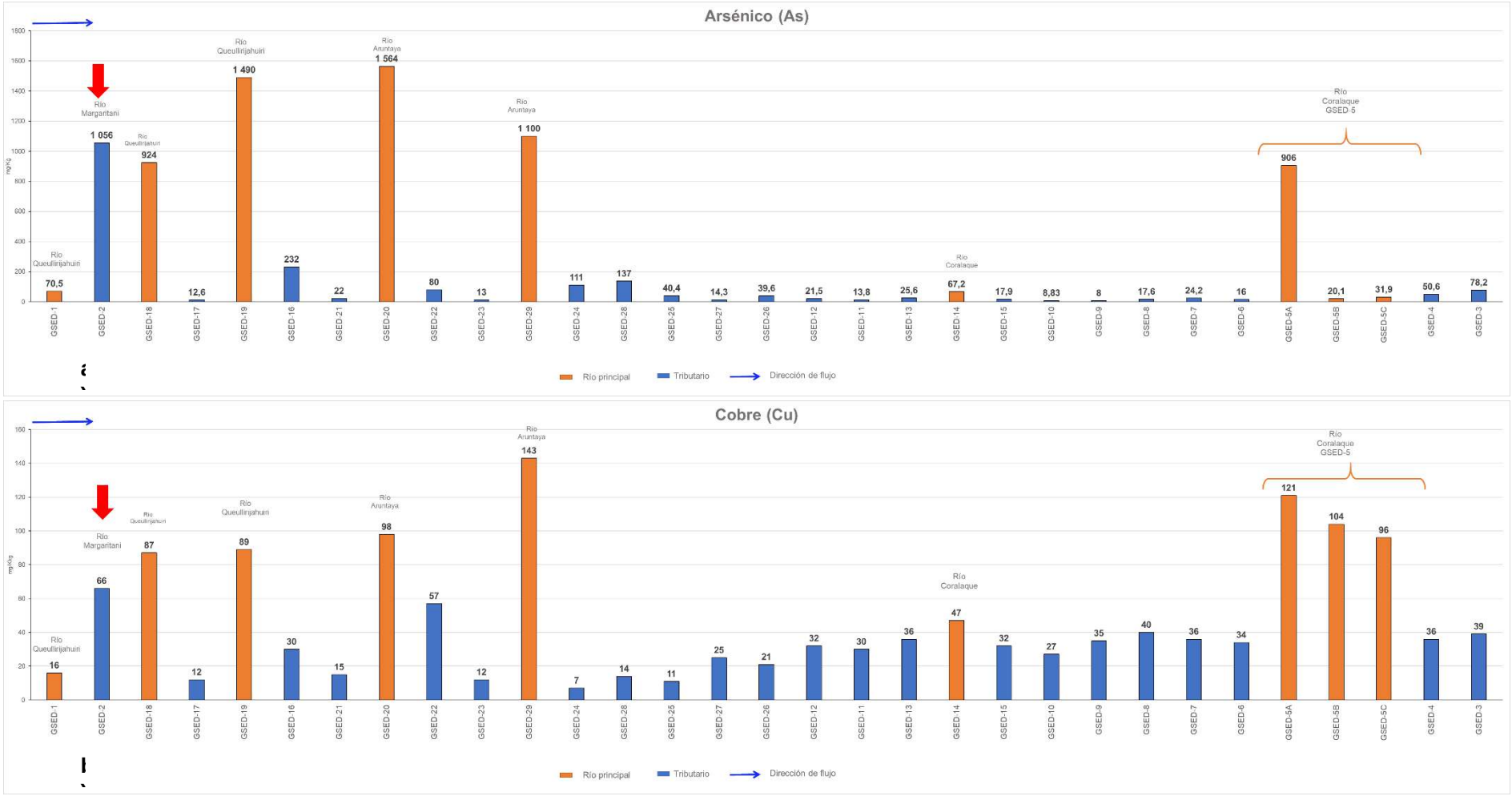


Figura 7.151. Concentraciones de **a)** arsénico y **b)** cobre en sedimentos a lo largo del río Queullirijahuiri, Aruntaya, Coralaque, y principales tributarios.

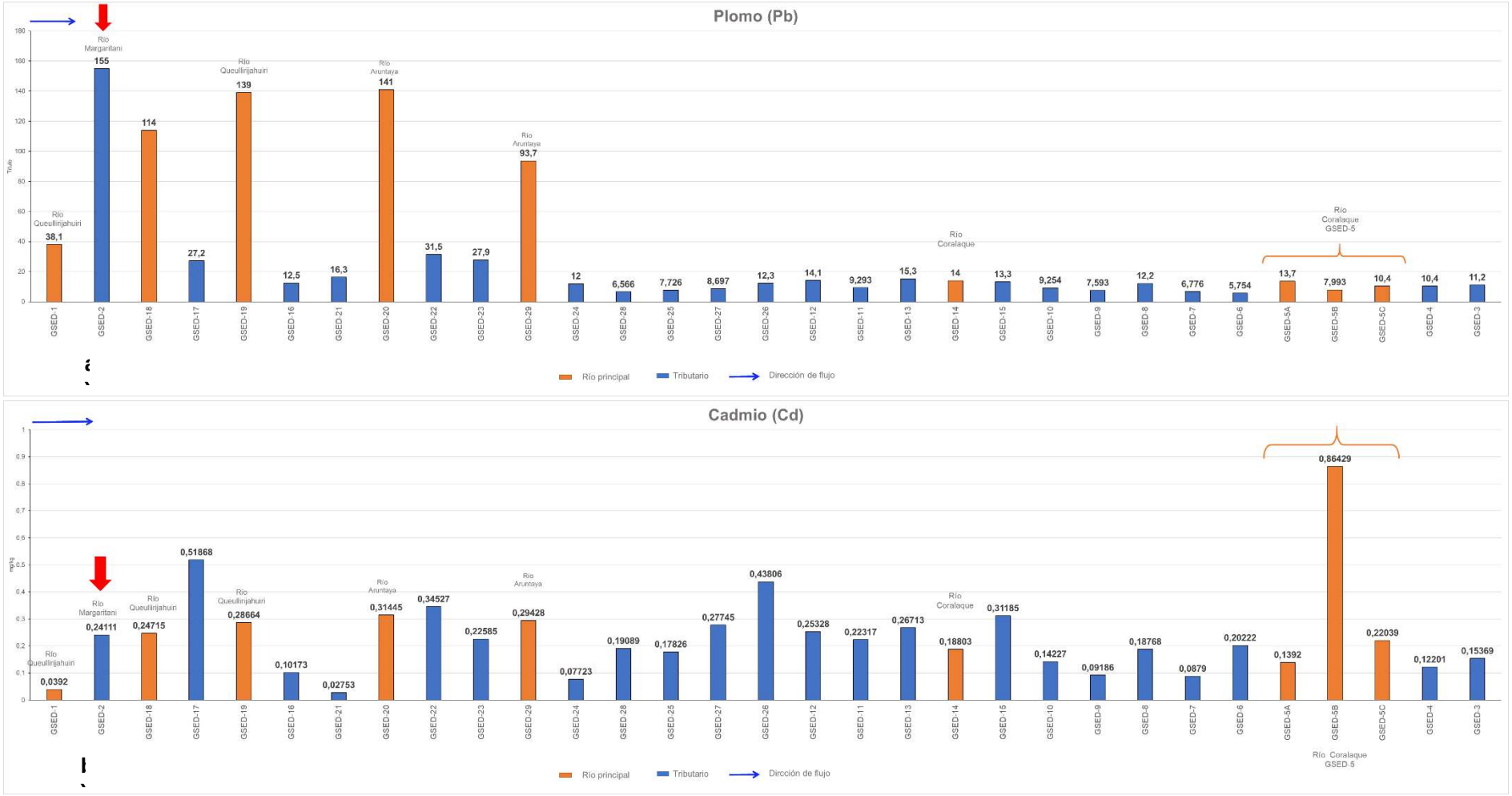


Figura 7.152. Concentraciones de **a)** plomo y **b)** cadmio en sedimentos a lo largo del río Queullirijahuiri, Aruntaya, Coralaque, y principales tributarios.

Como se observa en las Figuras 7.151 y 7.152, el río Queullirijahuiri posterior al aporte de sedimentos del río Margaritani (GSED-2) presenta elevadas concentraciones de arsénico, cobre, plomo y cadmio (GSED-18); luego en la muestra GSED-14 del río Coralaque estas concentraciones han disminuido, sin embargo, las muestras GSED-5 (A-B-C) presentan altas concentraciones lo que se debe a que este tramo del río Coralaque presenta bajas pendientes, lo que condiciona una zona de acumulación de sedimentos (de acuerdo al análisis geomorfológico regional); además, de acuerdo a la inspección de campo se observó que los sedimentos provenientes de las quebradas aportantes presentan una coloración gris (Figura 7.153 y 7.154). En cambio, en esta zona de acumulación se encuentran sedimentos de coloración anaranjado amarillento (con contenido de oxi-hidróxidos de hierro), que junto con las altas concentraciones de metales argumenta su procedencia del río Margaritani.

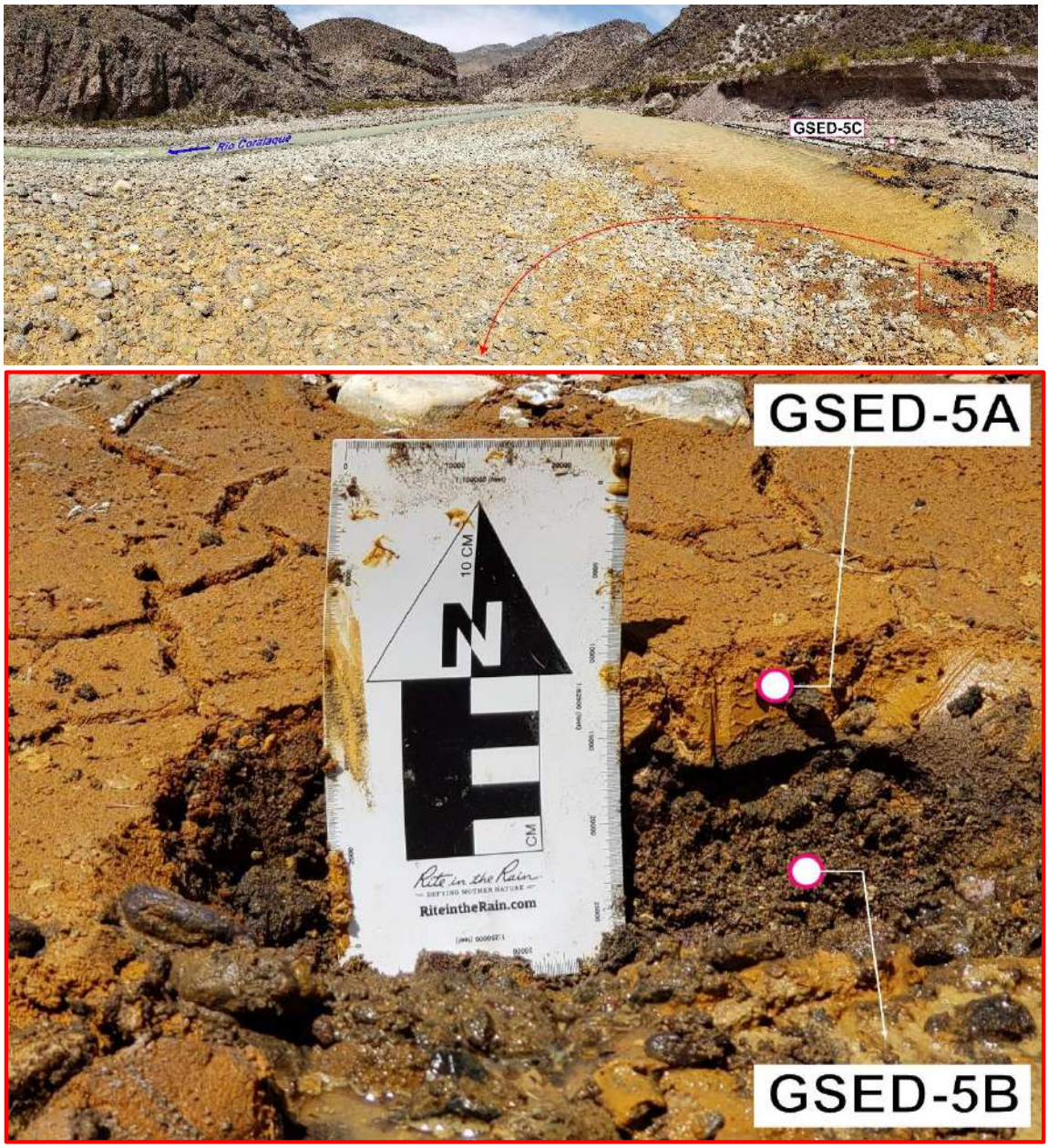


Figura 7.153. Muestra de sedimento GSED-5A de coloración anaranjado amarillento junto a las muestras GSED-5B y GSED-5C ubicadas en la llanura de inundación del río Coralaque.

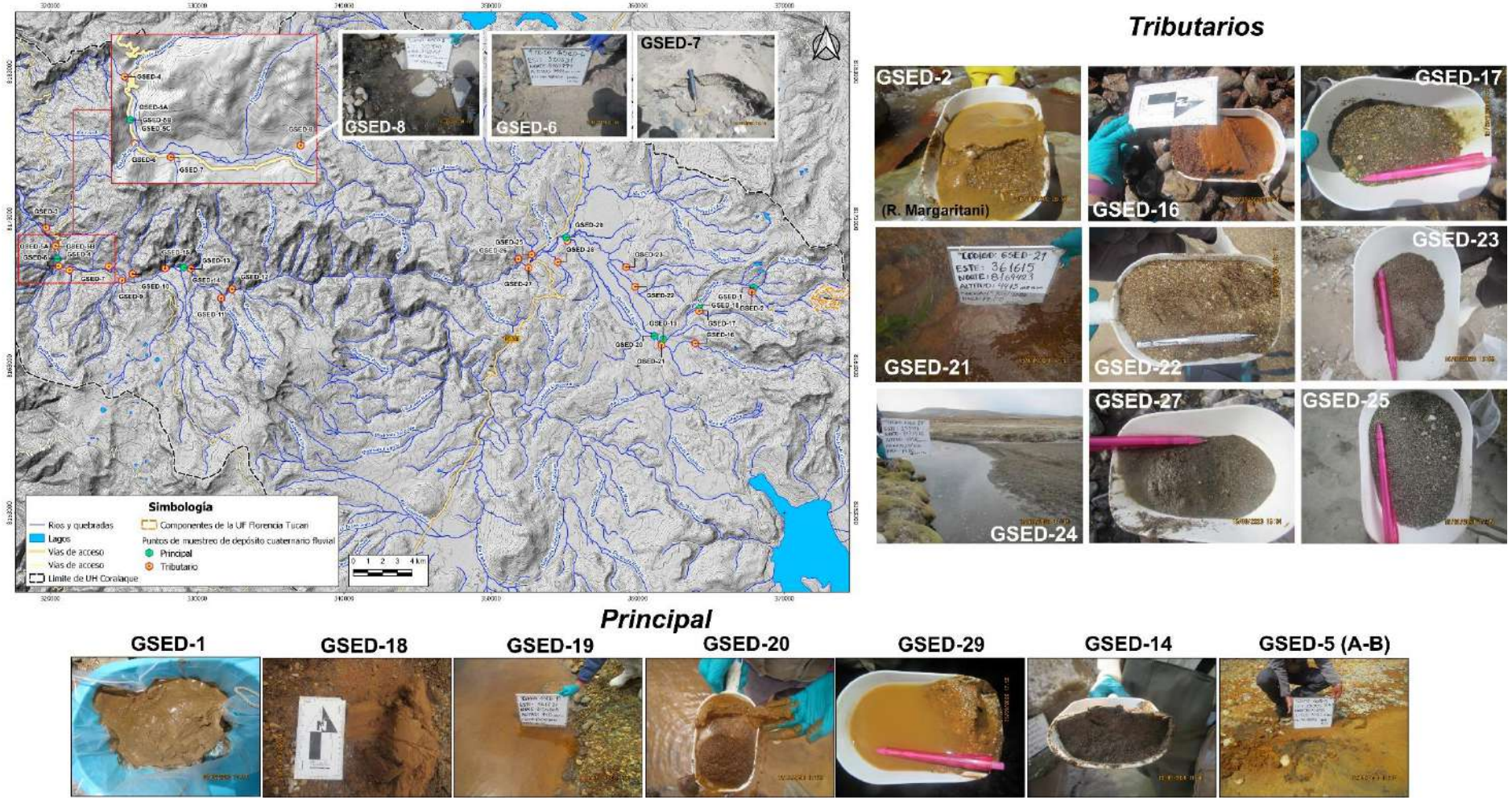


Figura 7.154. Fotografías de sedimentos muestreados en el río principal y tributarios

En las comunidades hidrobiológicas para el análisis de las microalgas del perifiton se tuvo en cuenta el análisis de las zonas Aruntaya y Titire-Coralaque separando los aportantes al sistema Aruntaya-Titire-Coralaque con la denominación Ap como se observa en la Figura 7.155. Estas zonas abarcan el río Aruntaya desde aguas abajo de la confluencia del río Margaritani y Queullirijahuiri (HB-AG-19) hasta antes de su confluencia con el río Titire (HB-AG-10) para la zona 4; mientras que, para la zona 5 desde el punto en el río Titire antes del aporte del río Aruntaya hasta el punto aguas abajo antes del centro poblado Pacchas (QE-36).

Al realizarse el análisis multivariado de las composiciones de especies por punto se determinó que existen diferencias significativas entre los tramos asignados (factor «Zona»), para este fin se realizó la prueba de PERMANOVA (*Permutational MANOVA*), el cual demostró mediante el test principal diferencias significativas (p = 0,001) como se aprecia en la Tabla 7.18. Con este resultado se procedió a realizar un Análisis Canónico de Coordenadas principales (CAP[88]) con base en la zona.

Tabla 7.18. Análisis de PERMANOVA bajo el diseño de un solo factor (zona) para la composición de especies del perifiton, basado en la similitud de Bray Curtis (transformación a raíz cuadrada), mostrando el test principal

Test principal				
Origen de variación (Factor)	Pseudo-F	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Zona	2,2738	0,001	999	0,001

Los puntos más cercanos a la confluencia del río Margaritani y Queullirijahuiri (HB-AG-19 y HB-M-3) se encuentran menos distantes entre sí del resto de puntos en lo que respecta a composición de especies. De acuerdo a una correlación de Pearson del 50% las especies acidófilas que estarían influenciando este resultado serían *Pinnularia* cf. *subcapitata, Pinnularia* sp. 3PUN. y *Stigeoclonium* sp. Estos dos géneros tienen especies no sólo acidófilas sino también asociadas a DAM (Sabater *et al*., 2003; Aguilar *et al*. 2007; Verb y Vis, 2001, Kwandras, 2007) debido a su tolerancia a la acidez y las concentraciones de metales; por lo que se demuestra el efecto directo del río Margaritani; incluso hasta el punto M-3 ubicado luego de los aportes del río Javira y la quebrada Soropatilla, en donde continua disminuyendo su potencial de hidrógeno; aunque se produce una ligera disminución de las concentraciones que superan el ECA para Agua categoría 3, 2008 ó 2017 en comparación con HB-AG-19 también se registra una disminución en la riqueza de especies, como ya se ha mencionado los efectos del DAM disminuyen el número de especies aguas abajo en el curso de un cuerpo de agua, de igual modo prevalecen aquellas especies que pueden presentar mayor tolerancia a metales (Hogsden y Harding, 2012; Jacobs *et al*., 2014).

[88] Principal Component Analysis (PCA) es un método estadístico que permite simplificar la complejidad de espacios muestrales con muchas dimensiones a la vez que conserva su información Inicialmente desarrolladas por Pearson en el siglo XIX y estudiadas por Hotelling a inicios del XX.

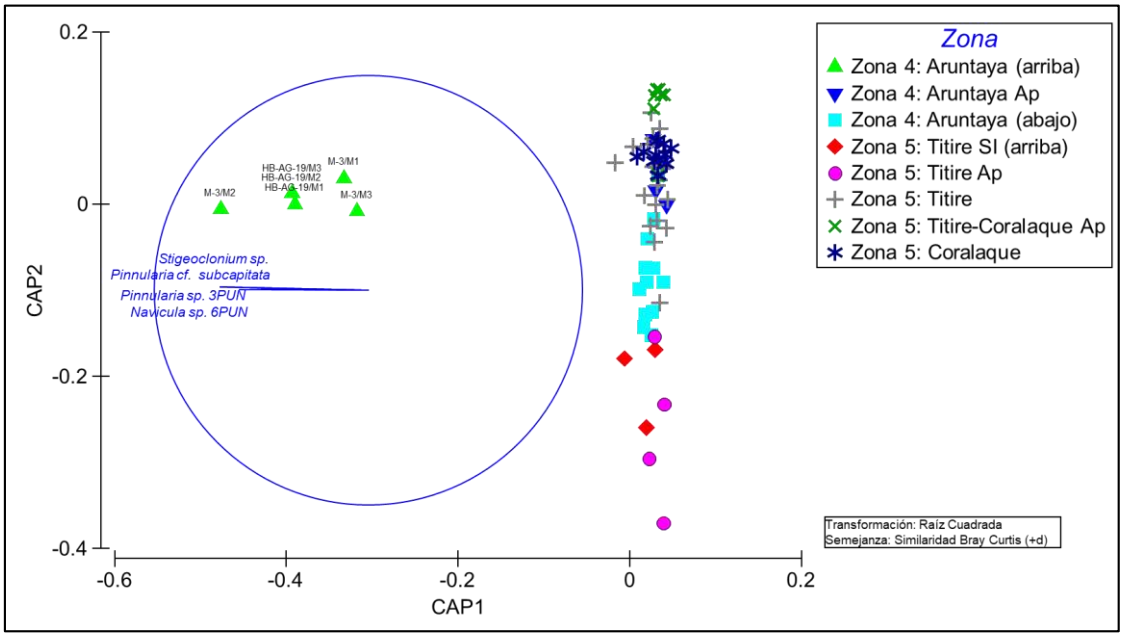


Figura 7.155. Análisis Canónico de Coordenadas principales (CAP) con base en la ubicación de las microalgas del perifiton en las zonas Aruntaya y Titire-Coralaque

El aporte del río Margaritani influenciados con DAM tiene un efecto en la composición de microalgas del perifiton incluso hasta el río Coralaque donde; si bien se observa que la riqueza de especies es baja en gran parte de los puntos del río en comparación con la mayoría de aportantes (Verb y Vis, 2005) y en los sedimentos se presenta una extrema acidez que incide en la biodisponibilidad de cobre, cadmio y zinc, toda vez que en el río Titire luego de su confluencia con el Aruntaya y en el río Coralaque hasta antes del poblado Pacchas se registra en diversos puntos la presencia de especies pertenecientes a los géneros *Klebsormidium* sp, *Microspora* sp. y *Stigeoclonium* sp. los cuales como se ha mencionado son tolerantes a metales (McLean, 1974; Takamura *et al*., 1989; Sabater *et al*., 2003; Aguilera *et al*., 2007; Weber *et al.*, 2007)

De acuerdo a la evaluación de los macroinvertebrados bentónicos en la zona Aruntaya, se determinó que las especies más recurrentes en esta zona fueron los quironómidos recolectores (alimentación de detritos asociados a los sedimentos) *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp., presentando una alta dominancia en el cauce principal de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya, debido a su capacidad tolerante e indicadora de metales (Paggi, 1999; Merrit *et al.*, 2008), considerando las altas concentraciones de metales totales y sulfatos en sedimentos asociados a la presencia de precipitados de óxidos con coloración rojiza en el lecho del cauce principal (Figura 7.156, 7.157 y 7.159).

Considerando la influencia que pueda generar la presencia de altas concentraciones de metales (agua y sedimentos) y óxidos e hidróxidos de hierro en el lecho del cauce principal, sobre la estructura comunitaria de los distintos puntos evaluados en la zona (Figura 7.159), se determinó mediante la prueba nMDS la existencia de diferencias significativas en la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos, mediante la generación de dos agrupamientos de puntos con una estructura comunitaria similar (prueba SIMPROF) (Figura 7.157); se conformó un primer agrupamiento por los puntos ubicados en el cauce principal de la zona (a excepción de RArun4) y HB-AG-18 (río Margaritani), los cuales presentarían una estructura comunitaria similar dada por las condiciones ambientales generadas por el transporte de elementos a través del cauce principal desde la zona Margaritani. Por otro lado, se conformó un segundo agrupamiento por los tributarios de la zona (QSnom3 y RJavi), M-4 (zona Paccha-Aruntaya) y HB-AG-17 (aguas arriba del río Queullirijahuiri), los cuales no presentaron influencia del cauce principal.

Si bien el nMDS determinó un agrupamiento conformado por los puntos ubicados en el cauce principal, el importante aporte de caudal proveniente de la zona Paccha-Aruntaya (M-4) sobre el cauce principal, generó comportamientos particulares en la estructura comunitaria de los macroinvertebrados bentónicos, tanto aguas arriba como aguas abajo de su aporte. El primer comportamiento asociado a los puntos aguas arriba del aporte de M-4 (desde HB-AG-19 hasta M-3) se caracterizó por presentar un mayor número de especies tolerantes (principalmente Chironomidae) con hábitos recolectores, así como un menor número de especies facultativas (principalmente por coleópteros de las familias Elmidae e Hydraenidae), predadores de niveles tróficos inferiores (Merritt *et al.*, 2008). La presencia de estas familias (tolerantes y facultativas) indicaría una mala calidad biológica (ABI) para este tramo, mejorando la calidad biológica en relación a las aguas del río Margaritani (HB-AG-18 con pésima calidad biológica) y presentando el mismo tipo de calidad biológica con el punto del río Queullirijahuiri aguas arriba del aporte del río Margaritani (HB-AG-17 con mala calidad biológica) sin influencia de la actividad minera (Figura 7.156 y 7.158).

El segundo comportamiento asociado a los puntos aguas abajo del aporte de M-4 (desde AG-08 hasta AG-10) se caracterizó por presentar principalmente quironómidos y oligoquetos (Oligochaeta ND), especies tolerantes con hábitos recolectores que indicarían una pésima calidad biológica (ABI); sin embargo, AG-08 fue el único punto del tramo que presentó una mala calidad biológica, debido a la presencia de especies facultativas. Cabe señalar que, el incremento en el número de especies de RArun4 a AG-10, tendría relación con la influencia de QSnom3 (de moderada calidad biológica) en el río Aruntaya. A pesar que QSnom3 presentó altas concentraciones de elementos provenientes de fuentes termales (cloruros, arsénico, manganeso, sodio, boro y litio) asociados a una alta conductividad, estas características no tendrían una influencia negativa para el desarrollo de macroinvertebrados bentónicos; al contrario, diversas publicaciones asocian la diversificación de grupos taxonómicos de macroinvertebrados bentónicos (hemípteros, coleópteros, dípteros, etc.) en aguas con características termales (Brues, 1924; Pritchard, 1991; Hanson *et al.,* 2010), Figuras 7.156 y 7.158.

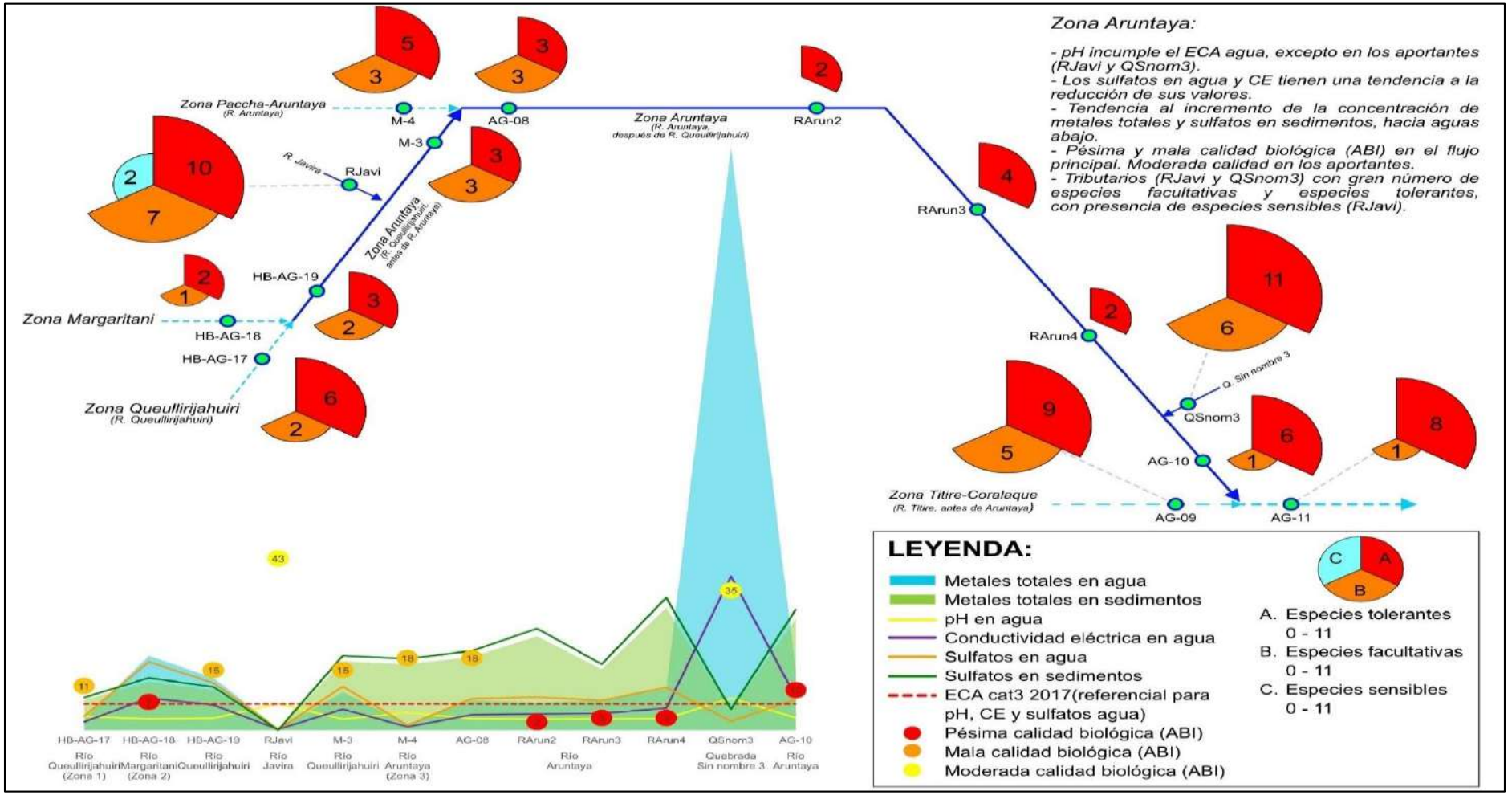


Figura 7.156. Análisis de especies bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos relacionados a condiciones ambientales encontradas en los puntos de muestreo de la zona Aruntaya

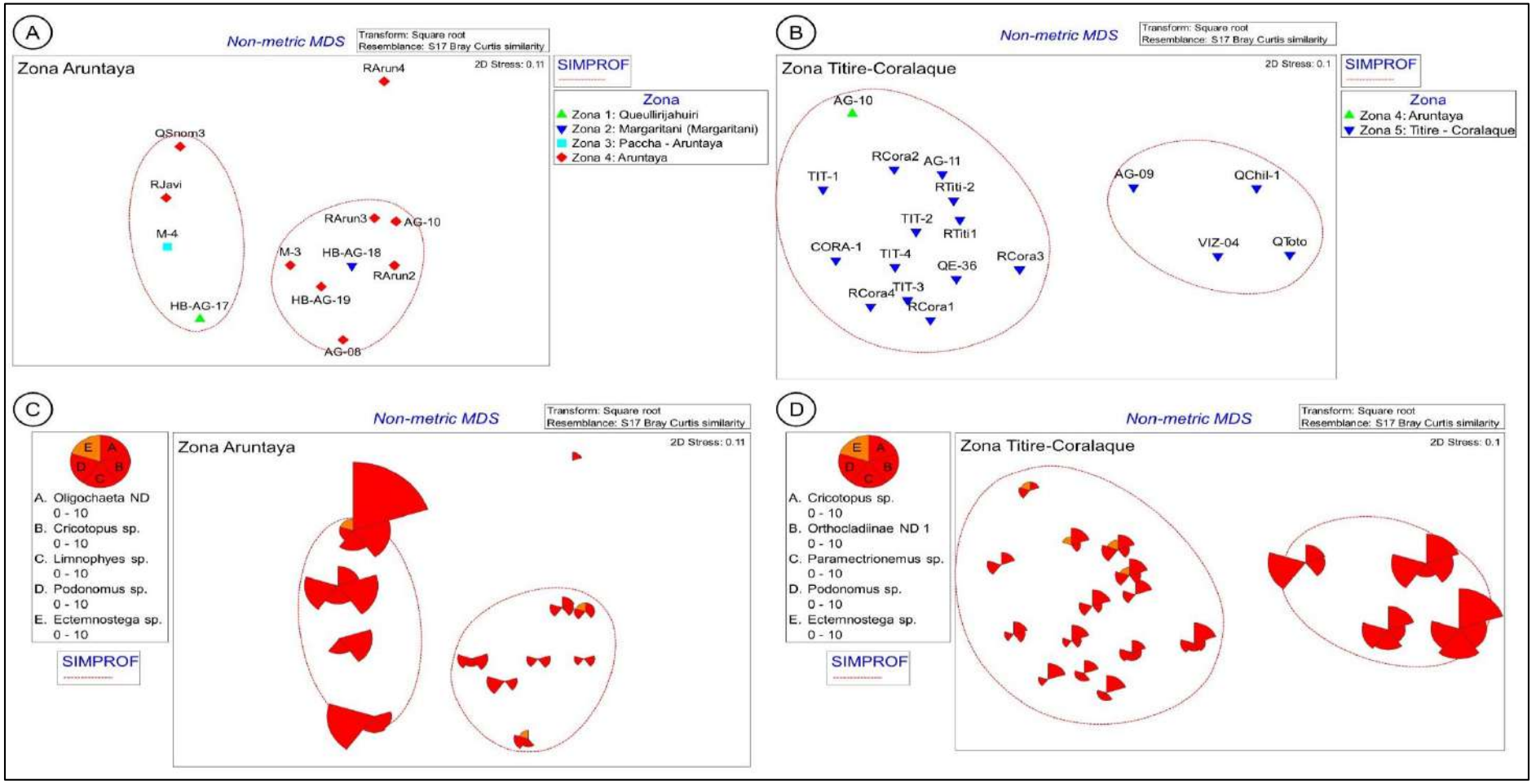


Figura 7.157. Análisis multivariados que explican dos agrupamientos establecidos por la prueba SIMPROF para las zonas Aruntaya y Titire-Coralaque: (A y B) Análisis multidimensional no métrico (nMDS) y (C y D) nMDS con las especies más abundantes (abundancia transformada a raíz cuadrada), presentando especies tolerantes (color rojo) y facultativas (color naranja).

El tercer comportamiento estuvo asociado a los tributarios río Javira (RJavi, tributa al río Queullirijahuiri) y QSnom3 (tributa al río Aruntaya), de aguas ligeramente ácidas y alcalinas respectivamente, que presentaron altos valores de los parámetros comunitarios (riqueza, abundancia y diversidad) con una moderada calidad biológica (ABI) debido a un mayor número de especies facultativas y tolerantes en comparación al resto de puntos de la zona, como a la presencia de especies sensibles (*Claudioperla* sp./familia Gripopterygidae y *Cailloma* sp./familia Hydrobiosidae) en RJavi. En los tributarios no se apreciaron precipitados de óxidos en el lecho, en comparación a los puntos del cauce principal (Figura 7.159).

Asimismo, en la zona Titire-Coralaque, y al igual que en la zona Aruntaya, se determinó que las especies más recurrentes de macroinvertebrados bentónicos en esta zona fueron los quironómidos recolectores (alimentación de detritos asociados a los sedimentos) *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp. (Figura 7.157), presentando una alta dominancia en el cauce principal de los ríos Titire y Coralaque, debido a su capacidad tolerante e indicadora de metales (Paggi, 1999; Merrit *et al.*, 2008), considerando las altas concentraciones de metales totales y sulfatos en sedimentos (Figura 7.158) asociados a la presencia de precipitados de óxidos con coloración rojiza en el lecho del cauce principal (Figura 7.159).

Considerando la influencia que generan estas condiciones ambientales (principalmente en el río Titire), sobre la estructura comunitaria de los distintos puntos evaluados en la zona (Figura 7.156), se determinó mediante la prueba nMDS la existencia de diferencias significativas en la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos, mediante la generación de dos agrupamientos de puntos con una estructura comunitaria similar (prueba SIMPROF) (Figura 7.157); se conformó un primer agrupamiento por los puntos ubicados en el cauce principal de la zona (a excepción de AG-09) y AG-10 (río Aruntaya), los cuales presentarían una estructura comunitaria similar dada por la influencia ambiental del río Aruntaya en la zona. Por otro lado, se conformó un segundo agrupamiento por los tributarios de la zona, que incluyó el punto AG-09 ubicado aguas arriba del río Titire; estos puntos no tendrían influencia directa del flujo hídrico proveniente de la zona Aruntaya, y presentarían una estructura comunitaria distinta (mayor número de especies). Es importante destacar que, considerando el importante volumen de agua que aporta el río Vizcachas (VIZ-4) en el cauce principal (cerca de 2/3 del caudal del río Titire), se observó un comportamiento distinto en la estructura comunitaria, tanto aguas arriba como aguas abajo del aporte de este flujo, además de observarse un tercer comportamiento en la estructura comunitaria relacionado a los tributarios en la zona.

El primer comportamiento se presentó desde AG-11 (río Titire, posterior al aporte del río Aruntaya) hasta TIT-4 (río Titire, antes del aporte del río vizcachas), tramo que se caracterizó por presentar un mayor número de familias tolerantes con hábitos recolectores (principalmente quironómidos), en comparación a un menor número de familias facultativas, compuesta principalmente por coleópteros de la familia Elmidae (Figura 7.160), predadores de niveles tróficos inferiores como los recolectores (Merritt *et al.*, 2008). La presencia de ambos grupos sería un importante nexo entre los recursos basales (algas y detritos) a lo largo de la cadena trófica (Merritt *et al.* 2008; Cummins *et al.*, 2005; Ramírez & Gutierrez-Fonseca, 2014); asimismo, ambos grupos indicarían una mala calidad biológica (ABI) para la mayor parte de puntos de este tramo, exceptuando los puntos RTiti1, RTiti2 y TIT-4 que presentaron una mala calidad biológica, por la presencia de más de una familia facultativa

(Hydroptilidae, Corixidae y Baetidae, respectivamente), considerando la familia Elmidae (Figura 7.158 y 7.160).

El segundo comportamiento se presentó en el tramo que abarcó el río Coralaque desde CORA-1 (aguas abajo del aporte del río Vizcachas) hasta QE-36 (después del aporte de QSnom3), y se caracterizó por presentar una alta diversificación de larvas de quironómidos considerados tolerantes, con diversos hábitos alimenticios como fragmentadores (*Cricotopus* sp. de acuerdo a Chará-Serna *et al.*,en 2012), recolectores (*Podonomus* sp. de acuerdo a Merritt *et al.* en 2008) y predadores (*Pentaneura* sp. de acuerdo a Chará-Serna *et al.* en 2012), así como un mayor número de familias facultativas en comparación al río Titire, principalmente de coleópteros de la familia Elmidae (recolectores de acuerdo a Merritt *et al.* en 2008), tricópteros de la familia Hydroptilidae (recolectores de acuerdo a Reynaga en 2009) y dípteros de la familia Tabanidae (depredadores de acuerdo a Merritt *et al.* en 2008) (Figura 7.158). La presencia de estas familias estuvo relacionadas a un tramo en lo que gran parte de los puntos presentaron una mala calidad biológica (ABI), a excepción de CORA-1 que presentó un menor número de especies y una pésima calidad biológica (ABI), debido al fenómeno de incisión (socavación del lecho) que genera la confluencia que los ríos Titire (de pendiente pronunciada) y Vizcachas en el cauce principal.

El tercer comportamiento estuvo asociado a los tributarios QChil-1 (tributa al río Titire), VIZ-04 (confluye con el río Titire para formar el río Coralaque) y QToto (tributa al río Coralaque) de aguas alcalinas, además del punto AG-09 (río Titire, antes de la influencia del río Aruntaya) de aguas ligeramente ácidas; estos puntos presentaron altos valores de parámetros comunitarios (riqueza, abundancia y diversidad) relacionado a mejores indicadores de calidad biológica (de moderada a excelente según el ABI), en comparación al cauce principal. Estos puntos presentaron un gran número de especies facultativas y tolerantes en comparación a los puntos del cauce principal, considerando que los puntos que presentaron los mejores indicadores de calidad biológica (buena para VIZ-4 y excelente para QToto) fueron las únicas que presentaron especies sensibles como *Meridialaris* sp. (familia Leptophlebidae), *Claudioperla* sp. (familia Gripopterygidae) y *Cailloma* sp. (familia Hydrobiosidae) En los tributarios no se apreciaron precipitados de óxidos en el lecho, en comparación a los puntos del cauce principal (Figura 7.158, 7.159 y 7.160)

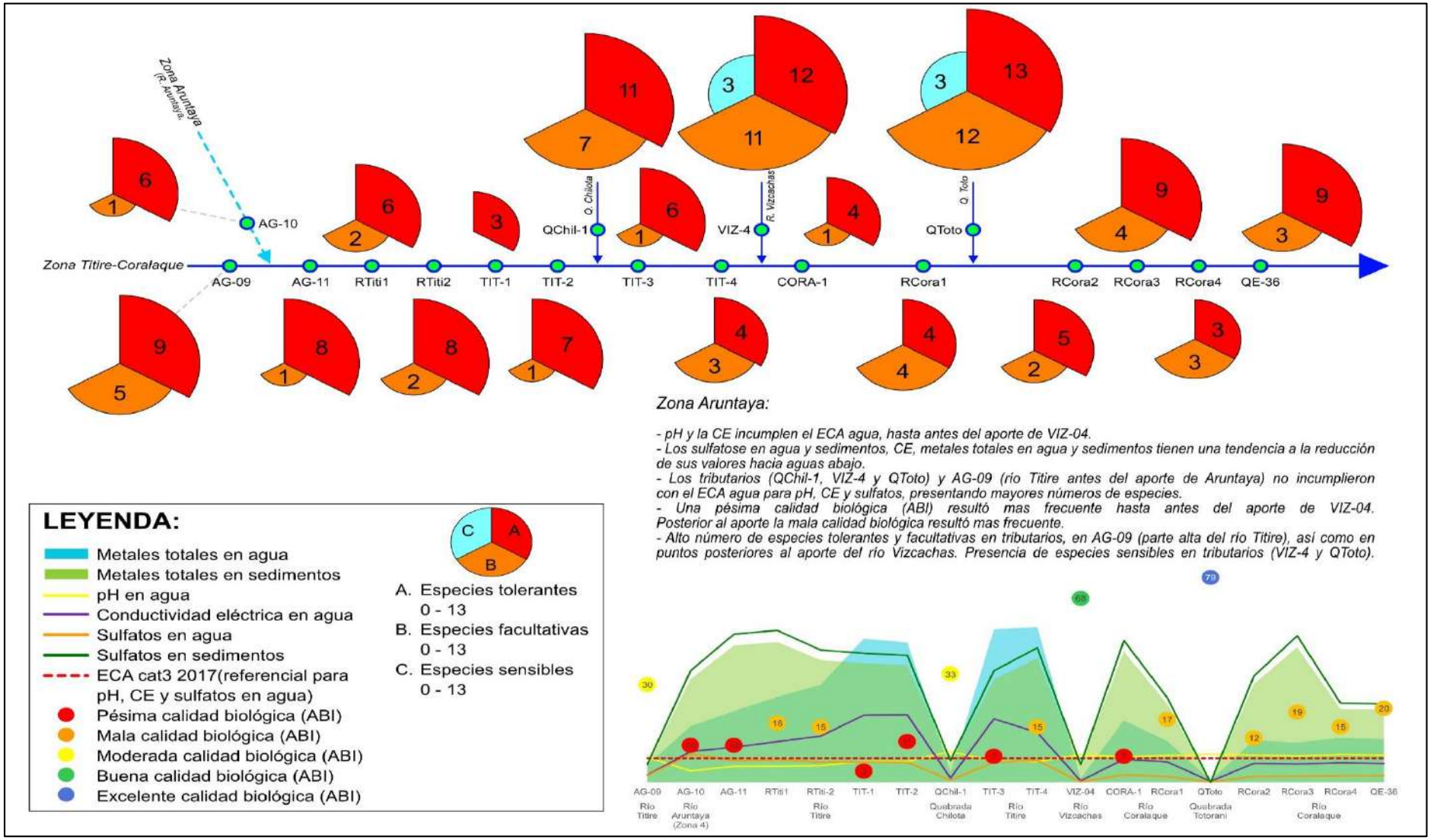


Figura 7.158. Análisis de especies bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos relacionados a condiciones ambientales encontradas en los puntos de muestreo de la zona Titire-Coralaque.

De acuerdo a los resultados de la evaluación hidrobiológica, se observaron cambios en la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos, desde la parte alta hacia la parte baja de la UH Coralaque. En referencia a los parámetros comunitarios, se presentaron mayores valores de riqueza, abundancia y/o diversidad en la parte alta de los ríos Aruntaya (zona Paccha-Aruntaya) y Queullirijahuiri (zona Queullirijahuiri), en comparación a la zona Margaritani (Quebradas Apostoloni, Margaritani y río Margaritani), en la cual se emplaza la UF Florencia-Tucari; en ella los parámetros comunitarios fueron reducidos. Asimismo, hacia aguas abajo de la confluencia de los cuerpos de agua descritos, se observaron parámetros comunitarios reducidos a lo largo del cauce principal de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya (zona Aruntaya), así como de los ríos Titire y Colaraque (zona Titire-Coralaque), en comparación a los aportantes evaluados de estos ríos, como el punto AG-09 del río Titire (antes del aporte del río Aruntaya), los cuales presentaron mayores valores de parámetros comunitarios.

De acuerdo al análisis PERMANOVA (Tabla 7.18), las estructuras comunitarias desde la zona Margaritani (agrupamiento «A») hacia el río Titire hasta antes del aporte del río Vizcachas (agrupamiento «F»), no presentaron diferencias significativas; es decir que, el transporte de elementos desde la zona Margaritani generaría estructuras comunitarias de macroinvertebrados bentónicos bastantes similares a lo largo del cauce principal, dado principalmente por larvas de quironómidos (familia Chironomidae) y oligoquetos (Oligochaeta ND) tolerantes a un amplio rango de variables, específicamente altas concentraciones de metales pesados (Winner *et al.*, 1980; Fittkau, 1986) (Figura 7.155). Asimismo, la diferencia significativa entre el río Titire (agrupamiento «F») y el río Coralaque (agrupamiento «G») se debería a que el aporte de las aguas del río Vizcachas (con altos valores de parámetros comunitarios), influye de forma positiva en la estructura comunitaria de los macroinvertebrados bentónicos en el río Coralaque, generando un incremento en el número de especies y diversidad hacia aguas abajo.

Asimismo, es importante señalar que, a lo largo del cauce principal se evidenció una alta presencia de óxidos de coloración rojiza, relacionado a los precipitados generados por el transporte de elementos desde la zona Margaritani, los cuales se encontraron alterando diversos microhábitats sobre los que se desarrollan los macroinvertebrados bentónicos. Estas alteraciones tendrían relación con una reducida abundancia de organismos por familias (principalmente familias tolerantes), las cuales se incrementan hacia aguas abajo (Figura 7.159). Por otro lado, a los cuerpos hídricos sin influencia del flujo principal presentaron altas densidades de organismos tolerantes, además de altas densidades de familias facultativas y presencia de familias sensibles.

Tabla 7.19. Resumen del test pareado realizado por el análisis PERMANOVA.

(b) Test pareado	Agrupamientos (Niveles)	t	P valor (Test de Permanova)	Permutaciones	P valor (Test de Monte Carlo)
Zonas	A, B	0,710	0,852	515	0,739
	C, D	1,037	0,391	877	0,354
	D, E	1,379	0,101	960	0,11
	E, F	1,498	0,052	997	0,048
	F, G	1,632	0,018	999	0,023
	B, E	1,436	0,086	983	0,1
	A, E	1,442	0,076	927	0,088
	C, E	1,324	0,12	997	0,136
	I, H	1,433	0,059	84	0,12
	D, F	1,414	0,06	995	0,084

Valores no significativos (p>0,05)

Agrupamientos observados en la Figura 7.159: A=Zona Margaritani (Sector Q. Apostoloni), B=Zona Margaritani (Sector Q. Margaritani), C=Zona Margaritani (Sector R. Margaritani), D=Zona Aruntaya (R. Queullirijahuiri, antes del aporte del R. Aruntaya), E=Zona Aruntaya (R. Aruntaya, después del aporte del R. Queullirijahuiri), F=Zona Titire-Coralaque (R. Titire, después del aporte del R. Aruntaya), G=Zona Titire-Coralaque (R. Coralaque, después del aporte del R. Vizcachas), H=Zona Titire-Coralaque (R. Titire, antes del aporte del R. Aruntaya), I=Zona Paccha-Aruntaya

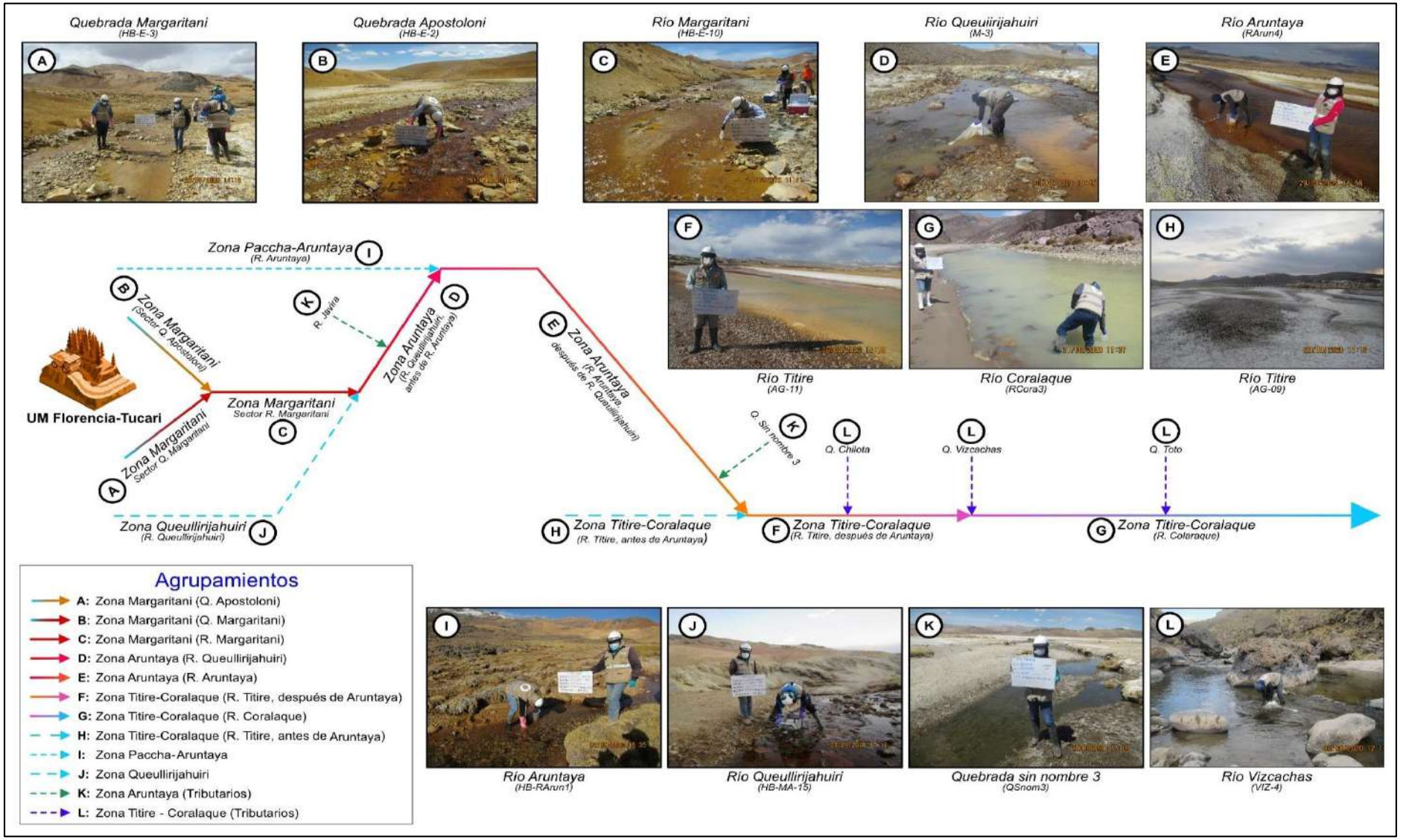


Figura 7.159. Fotografías de los distintos cuerpos de agua evaluados por agrupamiento conformado para el análisis PERMANOVA.

Con la finalidad de resumir las densidades por familias, en la Figura 7.160 se puede observar que el promedio de la abundancia de las familias encontradas en las zonas Queullirijahuiri y Paccha-Aruntaya, es mayor a otras zonas de evaluación como Margaritani, Aruntaya (sin considerar tributarios) y Titire-Coralaque (sin considerar tributarios). Asimismo, los tributarios de las zonas Aruntaya y Titire-Coralaque presentaron las más altas abundancias promedios de las familias colectadas en la UH Coralaque.

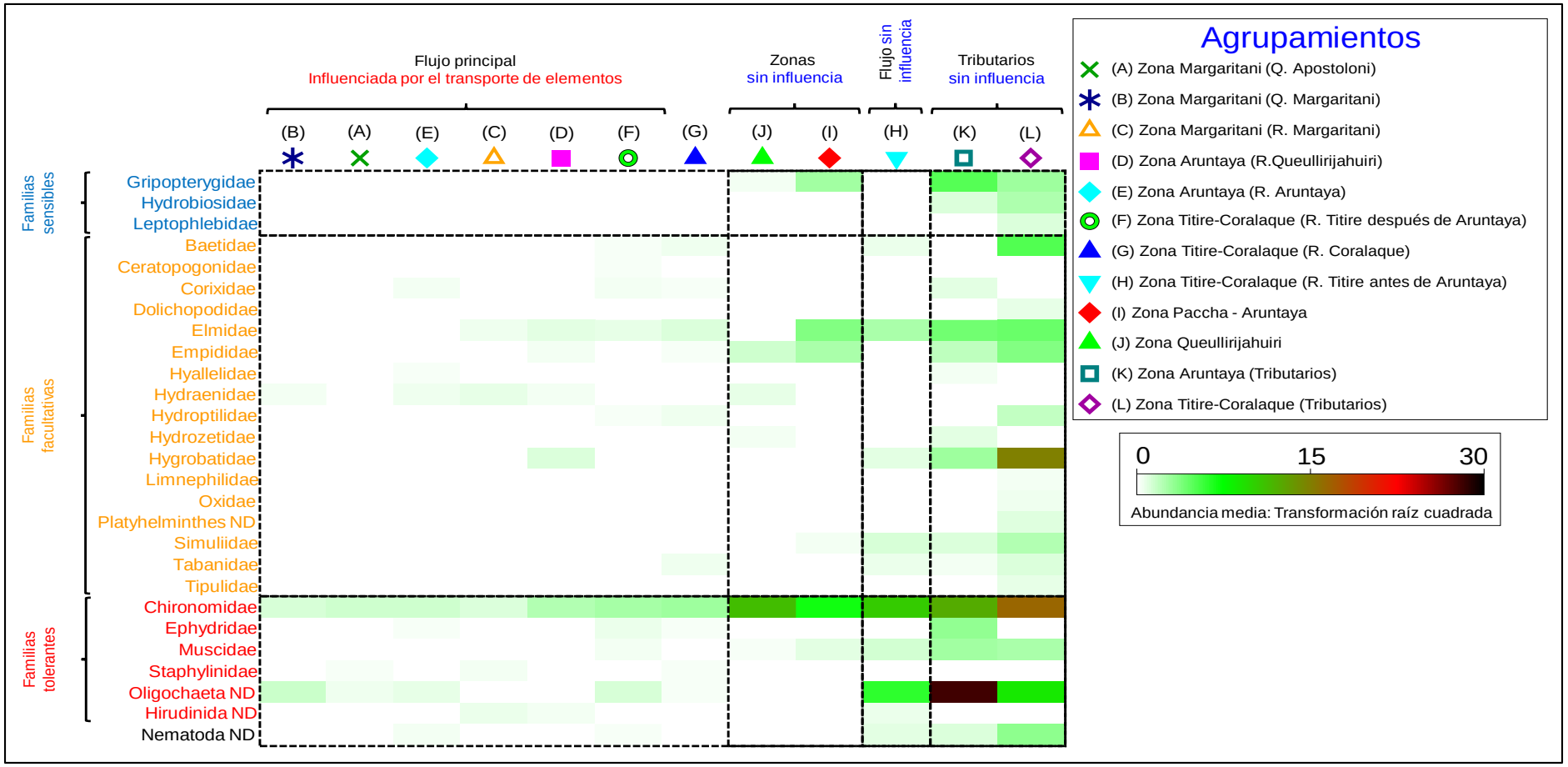


Figura 7.160. Diagrama de sombras representando la abundancia media (transformación raíz cuadrada) de las familias bioindicadoras de macroinvertebrados bentónicos por agrupamiento.

La afectación de la fauna en la UH Coralaque puede evidenciarse por la presencia de elevadas concentraciones de elementos como cadmio, cobre y zinc en las muestras de tejidos de anfibios y reptiles analizados, los cuales están relacionados con la disponibilidad de estos metales en los sedimentos de los ríos Titire y Coralaque, asociados al DAM generado en la UF Florencia-Tucari.

El único anfibio registrado en las márgenes del río Coralaque, *Rhinella spinulosa*, presentó concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc que variaron de acuerdo al tipo de muestra evaluada, siendo el espécimen juvenil de esta especie (CO-HE-V6) el que registró la mayor concentración de estos elementos (26,31%; 300,43%; 171,02% y 0,90% respectivamente) respecto a los renacuajos analizados (Co-He-V1). Durante las evaluaciones se registró un espécimen muerto de *Rhinella spinulosa* (CO-HE-V11), el cual presentó concentraciones de metales por debajo de lo reportado en las muestras antes descritas (Figura 7.161)

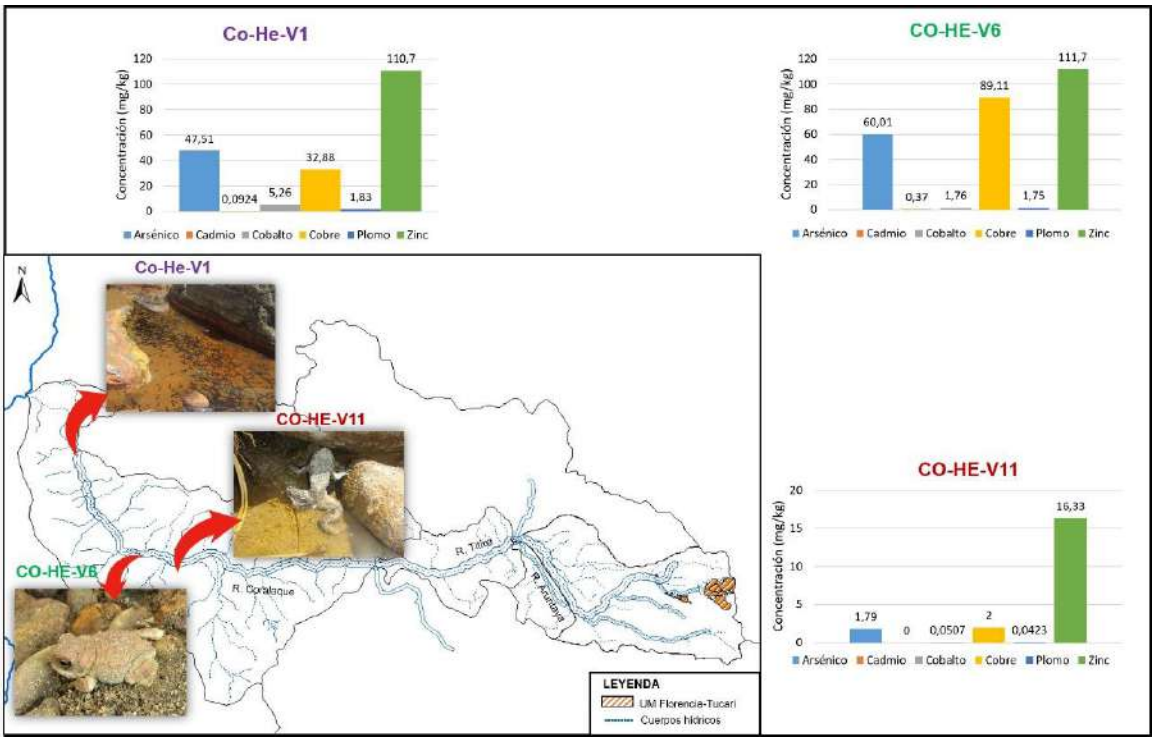


Figura 7.161. Concentraciones de metales en las muestras de *Rhinella spinulosa* registrados en la zona Titire-Coralaque. Renacuajos (Co-He-V1), juvenil (CO-HE-V6) y especimen muerto (CO-HE-V11)

En el caso de los reptiles, las lagartijas *Liolaemus* cf. *signifer* y *Liolaemus tacnae*, especies incluidas en categorías de amenaza nacionales (Decreto Supremo N.° 004-2014-MINAGRI) e internacionales (IUCN, 2020), presentaron diferencias en las concentraciones de metales en sus tejidos. Los mayores valores de arsénico, cadmio, cobalto y plomo fueron reportados en la lagartija *Liolaemus* cf. *signifer*; mientras que, el cobre y zinc registraron concentraciones similares entre ambas especies. Estas diferencias se relacionan con la exposición que presentan los reptiles a los metales reportados. *Liolaemus* cf. *signifer* se distribuye en la confluencia de los ríos Aruntaya y Titire, quienes concentran una alta carga de metales provenientes de las actividades de la UF Florencia-Tucari, mientras que *Liolaemus tacnae* se distribuye en las márgenes del río Coralaque (Figura 7.162).

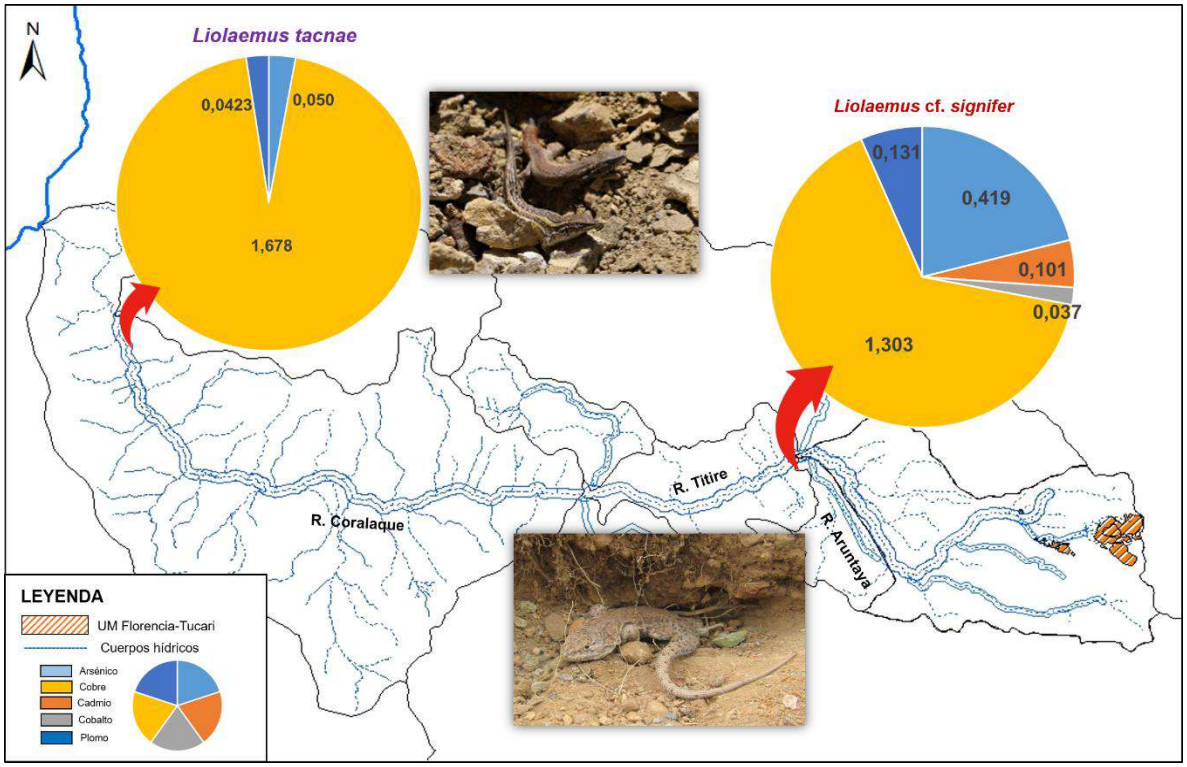


Figura 7.162. Concentraciones de metales en las muestras de *Liolaemus* cf. *signifer* y *Liolaemus tacnae*, registrados en la zona Titire-Coralaque

Los anfibios y reptiles son piezas fundamentales en el ecosistema, formando parte de la cadena alimenticia de muchas especies de vertebrados; por lo que, su eventual declive podría impactar de forma directa a los organismos que dependen de ellos (Blaustein *et al*., 1994). Asimismo, sus características fisiológicas y ecológicas permiten conocer el grado de afectación que se produce en el ambiente (Navas y Otani 2007, Stuart *et al*., 2008).

Las larvas de los anfibios (renacuajos) presentan una alta sensibilidad a los contaminantes tóxicos debido a su íntima relación con los cuerpos de agua (Cordoba *et al*., 2013). En consecuencia, son comúnmente utilizados en bioensayos de toxicidad, los cuales permiten estimar el porcentaje de supervivencia de los individuos respecto a la concentración de ciertos metales en el laboratorio (Linder y Grillitsh, 2000). Por ejemplo, Perez de Coll (1994) registró efectos letales y subletales en embriones y larvas tempranas del anfibio *Bufo arenarum*, de acuerdo al grado y tiempo de exposición de los metales cadmio, plomo y zinc. No obstante, pocos son los estudios que analizan la acumulación de estos metales en los hábitats naturales (Hopkins y Rowe, 2010).

Los reptiles interaccionan constantemente con los contaminantes, a través de la ingestión de sus alimentos y el contacto directo con el sustrato (Silva *et al*., 2020). Su posición trófica y bajo rango de movimiento, permite la bioacumulación de agentes tóxicos en el ecosistema, siendo considerados como buenos bioindicadores ambientales. Burger *et al*., (2004) registraron diferencias en los niveles de arsénico, cadmio, cromo, plomo, manganeso, mercurio y selenio presente en adultos de la lagartija *Anolis sagrei* distribuidas en zonas con distintos grados de contaminación, resaltando la utilidad de los reptiles en los estudios toxicológicos.

Respecto a las muestras de plumas de aves obtenidas para determinar la concentración de metales, se colectaron muestra de 2 individuos de la especie *Metriopelia ceciliae* «tortolita moteada», cuya concentración de cobre fue de 12,94 y 19,9 mg/kg (Figura 7.163). Estos valores fueron mayores al reportado por Alpino-Cabrera *et al*. (2016), cuya concentración promedio fue de 6,87 mg/kg en las plumas de aves de *Columbina squammata* «palomita maraquita». La disponibilidad en altas concentraciones de este metal, proveniente de la UF Florencia Tucari, en la zona donde habitan estas aves propician su bioacumulación en sus plumas.

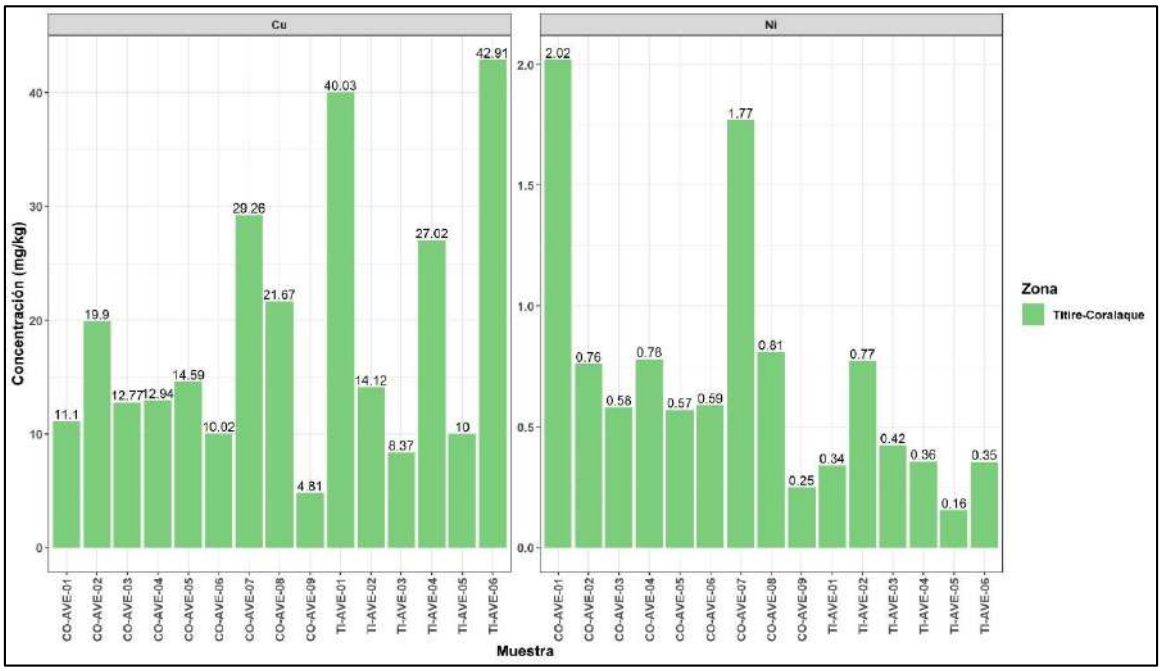


Figura 7.163. Concentración de cobre y níquel en muestras de aves de la zona Titire – Coralaque

Es importante indicar que el cobre es un metal esencial, pero a altas concentraciones produce daños en aves como anemia, trastornos del crecimiento, respiratorios, carcinogénicos, reproductivos, gastrointestinales, hematológicos, hepáticos y endocrinos (Manjula *et al*., 2015). Analizando los datos morfométricos de las aves capturadas, se tiene que la especie con la menor concentración de cobre presentó mayor peso y medidas en la longitud de las alas y tarsos, por lo que, a pesar de ser individuos de la misma especie y de la misma edad, la bioacumulación de cobre y otros elementos podrían estar afectando el normal desarrollo de esta especie.

En la figura 7.164 se puede ver como las aves acuáticas hacen uso de su hábitat, desplazamiento, forma de convivir con otras especies y la búsqueda de su alimento. Generalmente este grupo de especies son gregarias, es decir, están presentes en un gran número. Parra (2014) indica que los organismos más adecuados para ser considerados como bioindicadores deben ser residentes, es decir, que se encuentren en su hábitat natural, y además debe haber abundancia de dicha especie, debido a ello, durante la presente evaluación se propuso como objetivo capturar especies acuáticas, porque son especies que cumplen con el concepto de bioindicadores, ya que son abundantes y su hábitat está relacionado a cuerpos de agua.

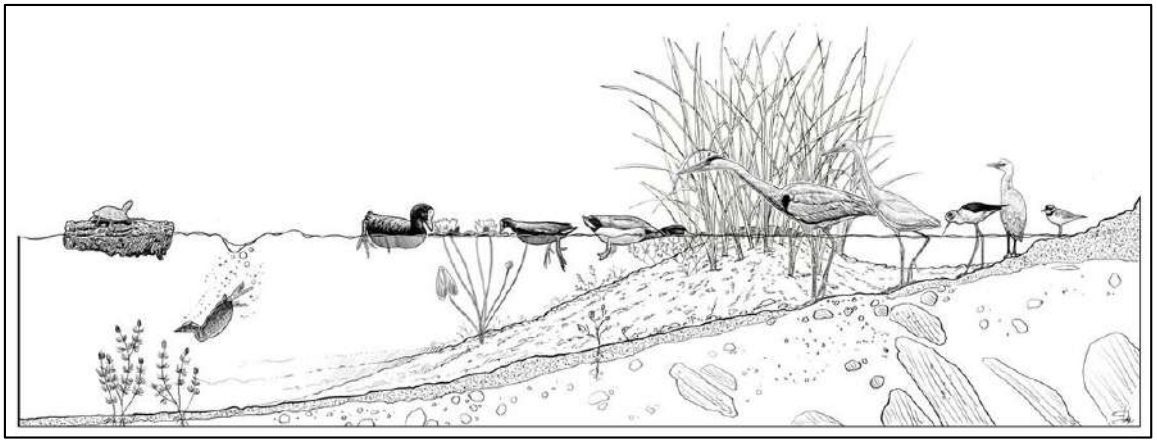


Figura 7.164. Esquema de uso de hábitat de las aves acuáticas en los cuerpos de agua
Fuente: Hernandez, J. (2018). AVESTRAZOS. WILDLIFE ART. https://www.avestrazos.com/digital.html.

En la evaluación realizada en el río Titire, se logró obtener muestras de plumas de aves acuáticas, ambas corresponden a la especie *Anas flavirostris* «pato barcino» (Figura 7.165), pero la diferencia radicó en que una corresponde a un individuo vivo y la otra de un individuo muerto. Analizando a detalle se observa que la concentración de metales como arsénico, cobre y cadmio fue elevada en ambas muestras, con concentraciones de arsénico (115,10 y 77,95 mg/kg), cobre (40,03 y 42,91 mg/kg) y cadmio (0,14 y 0,19 mg/kg); estos elementos están siendo acumulados a través de su alimentación o el uso directo de los cuerpos de agua de la zona.



Figura 7.165. Toma de muestra de plumas de la especie *Anas flavirostris* «pato barcino» para posterior análisis de metales, muestra tomada en la zona Titire – Coralaque

Por otro lado, en las muestras de plumas de la zona Titire-Coralaque, se obtuvo concentraciones de arsénico entre 0,42 y 115,1 mg/kg (Figura 7.162). Según bibliografía, la acumulación en grandes cantidades de este elemento ocasionan efectos adversos en las aves, como decrecimiento de la producción de huevos, menor peso corporal y longitud de tarso y ala, reducción del consumo de alimentos, aumento del tiempo de descanso y reducción en el tiempo utilizado en comportamiento de alerta (Chiou *et al*. 1997; Camardese

et al. 1990; Chen et al. 2000), así como efectos a nivel bioquímico y genético (Geens *et al.,* 2010, Eeva *et al*., 2006), entre otros.

Según Eisler (1988) el límite de concentración de arsénico en plumas es de 1,54 mg/kg, valor sobre el cual se presentan efectos adversos en las aves; sin embargo, los valores obtenidos superan en gran porcentaje este límite, mostrando un proceso de bioacumulación, causado por la alimentación y contacto constante de las aves en esta zona que presenta trazas de algunos metales que provienen tanto de la UF Florencia Tucari como de las fuentes termales de Titire.

En relación a las concentraciones de cobre en plumas oscilaron entre 4,81 a 42,91 mg/kg, y de plomo entre 0,64 a 14,04 mg/kg (Figura 7.166). La presencia de estos elementos está relacionada con la trazabilidad de los metales en el agua y sedimento que provienen de la UF Florencia Tucari, lo cual ha conllevado a un efecto de acumulación de los metales en plumas de aves, debido a la biodisponibilidad de estos elementos en esta zona.

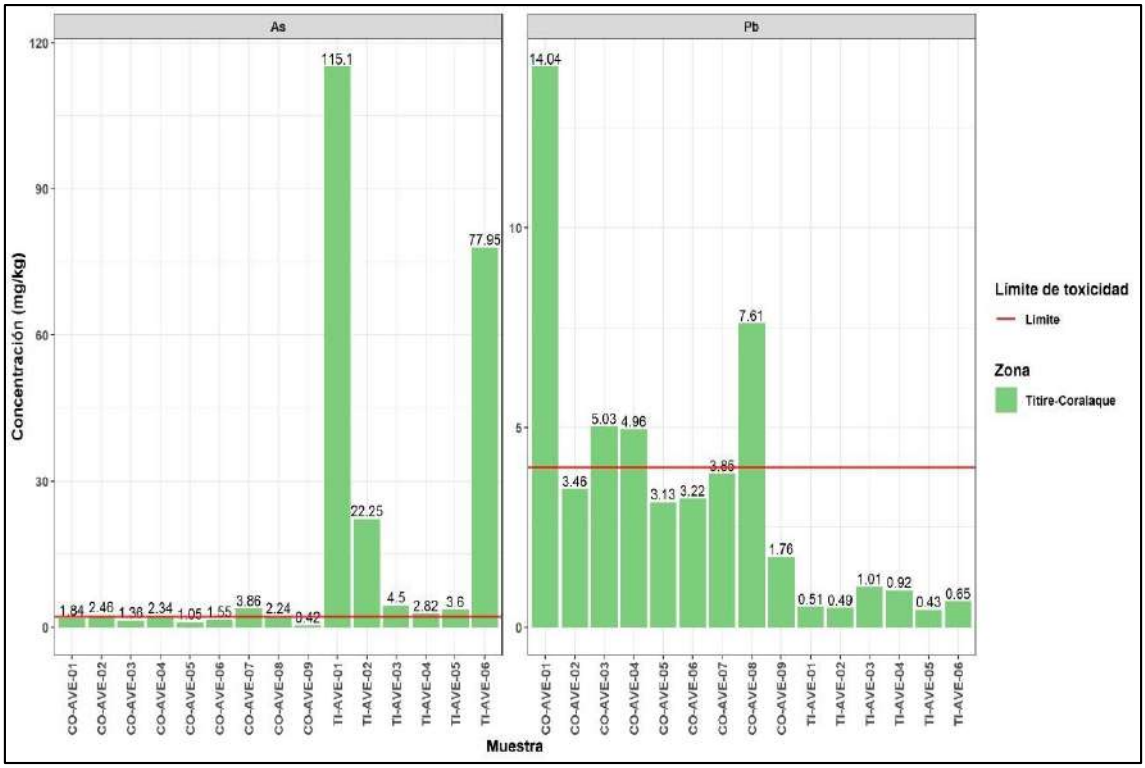


Figura 7.166. Límite máximo y concentraciones de arsénico y plomo en muestras de aves de la zona Titire- Coralaque.

La presencia de metales pesados, los cuales son especies químicas no degradables, una vez arrojados al medio ambiente, sólo pueden distribuirse entre los entornos aire - agua - suelo, a veces cambiando su estado de oxidación, o incorporarse a los seres vivos. Las fuentes sugieren que generalmente la problemática de la contaminación con metales pesados se encuentra principalmente asociada con las actividades mineras (Madero y Marrugo, 2011).

El drenaje ácido de mina ocasiona la precipitación de hidróxidos de hierro, los cuales se caracterizan por atribuir al sustrato, un color amarillo rojizo brillante a marrón amarillento

(Lottermoser, 2010) produciendo su recubrimiento a lo largo de los cuerpos de agua, específicamente por la acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro, como ya se mencionó anteriormente.

Las presuntas descargas no autorizadas de DAM de la UF Florencia Tucari, que dan la coloración de aguas rojizas al río Queullirijahuiri y Aruntaya, han repercutido en las alpacas que recorren estos ambientes naturales para acicalarse y reposar en los lechos de sus cauces, causando la impregnación o manchas de la lana con dichas coloraciones, ante ello los pobladores se han visto en la necesidad de construir cercos perimétricos que impidan el contacto de sus alpacas con estas aguas, sobre todo en las márgenes del río Queullirijahuiri, así mismo los pobladores han manifestado pérdidas económicas sobre el valor comercial de la lana (Figura 7.167).



Figura 7.167. Drenaje acido de mina con presencia de hidróxidos de hierro en el río Queullirijahuiri (a y b), y manchas oscuras semidefinidas producto de la impregnación del hidroxido de hierro en lana de alpacas de la zona Aruntaya.

8. CONCLUSIONES

Generales

De la evaluación ambiental de causalidad se determinó que el depósito de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero), tajo Tucari, material de relleno del tajo; así como, el lodo de las pozas de sedimentación (N.º 1 y 5000) del sistema de tratamiento de aguas ácidas – wetland sur de la unidad fiscalizable Florencia Tucari influyen en la calidad de suelo, agua y sedimento de las quebradas Margaritani y Apostoloni, y los ríos Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque, y tienen un impacto negativo sobre las comunidades hidrobiológicas, flora y fauna silvestre, de acuerdo al siguiente detalle:

Los depósitos de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero), tajo Tucari y material de relleno del tajo son fuentes de drenaje ácido de mina (DAM) en el sector Margaritani y Apostoloni, de acuerdo a los bajos pH en pasta, presencia de sulfuros, contenido elevado de sulfatos y elevada carga metálica que se lixivian a partir de estos materiales. El tajo Tucari y la ampliación del depósito de desmonte zona 10 y Hechadero no presentan cobertura y al estar en contacto directo y constante con aguas de precipitación y derretimiento de nieve estacionaria, reaccionan con los sulfuros presentes en los mismos y generan drenaje ácido de mina (DAM).

El drenaje acido de mina (DAM) es almacenado en pozas (pozas de colección, poza auxiliar intermedia y pozas de homogenización) del sistema de tratamiento de aguas ácidas del wetland sur, y su principal característica son los valores bajos de pH, elevada carga de metales y sulfatos, así como una coloración rojiza, asociado a las acumulaciones encontradas en el interior del tajo y en la ampliación del depósito de desmonte (zona 10); además, producto de su tratamiento se generan precipitados de óxidos de hierro que tienen una coloración anaranjado-rojizo, almacenados en las pozas de sedimentación N.º 1, 2, 3, 4 y 5 o 5000. Asimismo, el tajo carece de sistemas de subdrenaje y en el depósito de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero) estos son ineficientes, manifestación de ello son los afloramientos con pH ácidos y elevada carga metálica, identificados a partir del 2017 a la actualidad, tanto en los sectores de la quebrada Margaritani y Apostoloni, así como los incrementos progresivos de las concentraciones de metales a partir del 2012 en la quebrada Margaritani y del 2015 en la quebrada Apostoloni.

Se determinó que las nacientes de las quebradas Apostoloni, Paccha Aruntaya y río Queullirijahuiri y las zonas cartografiadas con presencia de alteración en la quebrada Margaritani presentaron características de generación de drenaje ácido de roca (DAR) por ser afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios que por procesos de meteorización y oxidación espontánea generan drenajes ácidos con bajas concentraciones de elementos como sulfatos, arsénico, cobre, cadmio, cobalto, hierro, níquel, plomo y zinc, en comparación con el drenaje ácido de mina (DAM), que presenta elevadas concentraciones de los citados elementos, generados a partir del proceso antrópico de explotación en la UF Florencia Tucari.

La calidad del suelo en las áreas de potencial interés API-II, III, IV, V y VI, ubicados en la parte baja del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur, presentaron concentraciones de arsénico que incumpleron el ECA para suelo de uso industrial (D.S. 011-2017-MINAM), siendo las API IV y V donde se registraron las mayores

concentraciones de este elemento. Asimismo, las concentraciones de calcio, cadmio, cobre, hierro, níquel y zinc, excedieron considerablemente los niveles de fondo y niveles de referencia. El exceso de estos elementos, principalmente del calcio, se debe al derrame de lodos producto de la instalacion de una línea de conducción, mediante el uso de mangas y mangueras provenientes de la poza de sedimentación N.º 5 o 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas del tajo - wetland Sur que finalizaban en la margen derecha de la quebrada Apostoloni.

De acuerdo a los principales resultados obtenidos en la naciente de la unidad hidrográfica Coralaque, conformada por las quebradas Queullirijahuiri, Apostoloni, Margaritani y Pacha - Aruntaya que presentan aguas ácidas y elementos que excedieron los ECA para agua categoría 3, 2008 o 2017 en los parámetros de cadmio, cobalto, cobre, arsénico, manganeso, níquel, hierro, aluminio y zinc, así como arsénico, cobre, cadmio, plomo, mercurio y zinc para sedimento que excedieron la normativa ISQG y PEL. Evidenciándose que el principal aporte de concentraciones de dichos elementos está asociado a drenaje ácido de mina (DAM) y provienen de la UF Florencia-Tucari (zona Margaritani). Asimismo, los resultados encontrados guardan relación con la data histórica en la UH Coralaque, notándose incrementos en las concentraciones de elementos desde el 2012 en agua y 2014 en sedimento, hasta la actualidad. Estos aportes de DAM vienen alterando en la calidad del agua, sedimento a lo largo del cuerpo principal de los ríos Margaritani, Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque.

Se identificaron dos mecanismos de transporte relacionados a los cambios de coloración en el sedimento y agua superficial en principales cuerpos de agua de la UH Coralaque, que a su vez están asociados a dos coloraciones: i) marrón – rojiza en el sedimento que tiene similitud con los lodos de las pozas de sedimentación del sistema de tratamiento wetland sur y, ii) rojiza en el agua superficial que guarda relación al drenaje ácido de mina almacenado en las pozas de colección de aguas ácidas. En el primer caso, esta coloración se da por las descargas de lodo realizadas sistemáticamente entre el punto AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni evidenciado por la presencia de yeso en dicho tramo, mineral formado a partir del tratamiento de las aguas acidas wetland sur y almacenado como lodos en las pozas de sedimentación; asimismo, se ha evidenciado el incremento de las concentraciones de calcio, cadmio, cobre y zinc en la quebrada Apostoloni desde el 2016 al 2020 en el punto AG-30, siendo el mecanismo de transporte la instalación de mangueras tipo HDPE, mangas, y una bomba de succión implementada por el administrado, como se constató en la supervisión de octubre de 2020. En el segundo caso, el drenaje ácido de mina cambia la coloración del agua superficial por el aporte de flujos subterráneos con lixiviados provenientes del tajo y el depósito de desmonte zona Norte y su ampliación (zona 10 y Hechadero) por no contar con sistemas de subdrenajes o presentar deficiencias en los mismos, respectivamente; Finalmente, no se descarta que, bajo el mecanismo de descargas no autorizadas el drenaje ácido de mina con coloración rojiza, fuera vertido a la mencionada quebrada, y que haya producido cambios recurrentes en la coloración del agua superficial.

De acuerdo al balance de masas durante la evaluación, se determinó que el mayor aporte de carga contaminante proviene de las quebradas Margaritani y Apostoloni, influenciadas por el DAM de las actividades de la UF Florencia Tucari, con un mayor aporte en los elementos arsénico, cadmio y zinc de la quebrada Margaritani, y aluminio, cobalto, cobre, hierro, manganeso y níquel en quebrada Apostoloni. Posterior a la confluencia de dichas

quebradas, la carga de los elementos citados no presenta variaciones significativas, manteniéndose respecto a la carga inicial entre el 85 y 90 % en el curso principal de los ríos Margaritani, Queullirijahuiri y Aruntaya, y luego del aporte del río Titire, la quebrada sin nombre 3 y fuentes termales la carga de los elementos asociados al DAM disminuye ligeramente; sin embargo, se incrementan las cargas de arsénico, boro, sodio, manganeso y cloruros hasta el río Coralaque, elementos asociados a las fuentes termales. Cabe precisar que, el aporte los ríos y quebradas que confluyen al cuerpo principal desde el río Margaritani hasta el río Coralaque representa menos del 5% de carga de los elementos asociados al DAM.

Estas alteraciones en la calidad de agua y sedimento provenientes de la UF Florencia Tucari han tenido un impacto negativo en las comunidades hidrobiológicas. En el perifiton se presentaron asociaciones de especies microalgas acidófilas indicadoras de drenaje ácido de mina (DAM) desde las quebradas Margaritani y Apostoloni, el río Margaritani hasta el río Queullirijahuiri antes de su confluencia con el río Aruntaya. Las concentraciones de metales del DAM se van depositando en el sedimento con el cambio del pH aguas abajo; estas condiciones permiten el desarrollo de especies de microalgas tolerantes a metales en el tramo de los ríos Titire y Coralaque. Del mismo modo, el transporte de elementos a lo largo del cauce principal desde las quebradas Apostoloni y Margaritani (con influencia de la actividad minera) hasta el río Titire (antes de su confluencia con el río Vizcachas), asociados a la presencia de altas concentraciones de metales totales y sulfatos con precipitados de óxidos e hidróxidos en el lecho del cauce principal, delimitarían una estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos con una alta predominancia de especies tolerantes a las condiciones indicadas.

Se determino afectación a la flora y fauna terrestre como receptores finales, generadas por las elevadas concentraciones de metales en agua y sedimento provenientes de la UF Florencia Tucari, generando gradualmente la perdida de cobertura vegetal, degradación de los ecosistemas frágiles (bofedales), vegetación de ribera y césped de puna, y muerte de especies de flora (por alta concentración de metales) ubicados en el entorno a los componentes mineros de la UF Florencia – Tucari y en los márgenes de los ríos Queullirijahuiri y Aruntaya. Asimismo, se evidencio una acumulación en elevadas concentraciones de metales asociados a DAM en tejidos de anfibios, reptiles y aves en fauna silvestre, además de un cambio en la coloración de la lana en alpacas.

Específicas

Del análisis de resultados de 5 zonas de evaluación: Zona Queullirijahuiri; Zona Margaritani (sector quebrada Apostoloni, sector quebrada Margaritani y sector río Margaritani), Zona Paccha – Aruntaya (naciente del río Aruntaya); Zona Aruntaya (aguas abajo de la UF Florencia-Tucari); y Zona Titire – Coralaque (buffer de 200 m a ambas márgenes de estos ríos) se llegaron a las siguientes conclusiones:

Zona Queullirijahuiri y Pacha-Aruntaya

- El pH ácido, sulfatos, hierro y otros metales en agua y sedimentos de la parte alta del río Queullirijahuiri y Pacha-Aruntaya está relacionado a flujos de agua en contacto con

sulfuros oxidados y son característicos de un drenaje acido de roca (DAR) sin influencia de actividades mineras siendo considerados como sitios de referencia (blanco). Se determinaron especies de microalgas acidófilas asociadas a DAR y a los procesos de acidificación natural del medio. Asimismo, se determinó una mayor diversificación de especies (tolerantes y facultativas) de macroinvertebrados bentónicos en comparación a la zona Margaritani, relacionada a una mejor calidad biológica (ABI).

- Los bofedales Blanco 1 y Blanco 2 presentaron mayor proporción en las coberturas vegetales tipo cojín y graminoide (>80%), con menores proporciones en vegetación muerta y medio físico (<20%). Asimismo, el análisis de tejido vegetal en las 2 especies predominantes (*Calamagrostis* sp. y *Oxychloe andina*) evidencio que las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo no exceden los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003. Por otro lado, las concentraciones de otros metales incluido el cobre, son bajas en relación a la zona Margaritani.

- Dentro de las evaluaciones de flora «tipo cojín» en los bofedales Blanco 1 y Blanco 2, se registró a la especie *Distichia muscoides* categorizada como Casi Amenazada (NT) según la legislación nacional (Decreto Supremo N.° 043-2006-AG); asimismo, la especie *Xenophyllum digitatum* «tipo arbustiva» categorizada como Casi Amenazada (NT) según la legislación internacional (IUCN, 2020) y la especie de Orquidea *Myrosmodes* sp. en el apéndice II de la lista CITES.

- Se registró la presencia del anfibio *Telmatobius marmoratus* en la zona Queullirijahuiri, una especie altamente amenazada y que se encuentra categorizada como vulnerable por entidades nacionales (Decreto Supremo N.° 004-2014-MINAGRI) e internacionales (IUCN, 2020). El género Telmatobius se presenta como un grupo de anfibios altamente sensible a las variaciones que se producen en el ambiente debido a ciclo de vida exclusivamente acuático.

- En las muestras de plumas de aves en la zona Queullirijahuiri y laguna sin nombre se registraron bajas concentraciones de arsénico y plomo que no excedieron el valor limite indicado por Eisler (1988) y Burger & Gochfeld (1993, 1994, 1995, 2000), respectivamente. Asimismo, las concentraciones de cadmio, cobalto y níquel fueron menores a las reportadas en comparación a la zona Margaritani.

Zona Margaritani

Sector quebrada Margaritani

- Se evidenció un incremento de las concentraciones de sulfatos, cadmio, cobalto, cobre, arsénico, manganeso, níquel, hierro, aluminio y zinc en la quebrada Margaritani, que excedieron los ECA para agua 2008 (D.S. N.° 002-2008-MINAM) y 2017 (D.S. N.° 004-2017-MINAM) categoría 3 en los puntos ubicados aguas abajo del aporte de las quebradas sin nombre 1 y 2 y el afloramiento MT-55, desde el 2012 al 2020; asimismo, se han identificado los afloramientos MT-46 y MT-BO5 con elevadas concentraciones de los mencionados elementos en el entorno de las quebradas sin nombre 1 y 2, respectivamente, los citados incrementos están relacionados a las influencia de drenaje

acido de mina (DAM) generados en el depósito de desmonte zona Norte, y a los afloramientos que son las manifestaciones de los flujos subsuperficiales afectados por el DAM. Cabe mencionar que adicionalmente en el afloramiento MT-BO5 el plomo excedió los ECA referidos.

- Se identificó la afectación de los sedimentos en la quebrada Margaritani y sus principal tributario (quebrada sin nombre 1) por el aporte de afloramientos de agua (MT-46 y MT-BO5) asociados al depósito de desmonte zona Norte afectados por drenaje ácido de mina (DAM), reflejado en el incremento de las concentraciones de sulfatos, plomo, cobre, hierro, mercurio y arsénico en los sedimentos de la quebrada Margaritani, luego del aporte de las quebradas sin nombre 1 y 2, de los cuales el plomo (puntos TU-26 y E-3) y cobre (TU-25, TU-26 y E-3) exceden los valores PEL e ISQG de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG, respectivamente, además de que el cobre se encuentra biodisponible; así como en la presencia de minerales secundarios de jarosita a lo largo del cuerpo principal que es característico de sedimentos afectados por DAM.

- En la naciente de la quebrada Margaritani se registraron especies de microalgas (perifiton) relacionadas a DAR; mientras que, aguas abajo de la quebrada sin nombre 1 y el punto de vertimiento PS-01 se registra la asociación de especies de microalgas acidófilas pertenecientes a los géneros *Stigeoclonium* sp., *Klebsormidium* sp., *Microspora* sp. 1 y *Pinnularia* sp. que son indicadoras de DAM al tener una relación con las concentraciones elevadas de metales del agua superficial y sedimento; otro efecto de este drenaje ácido de mina es la disminución en la riqueza de especies que se vieron en la parte baja de la quebrada Margaritani.

- Los ecosistemas (bofedales y césped de puna) entorno a los componentes (Wetland Norte, Wetland Sur y depósito de desmonte zona Norte), vienen siendo degradados (perdida de cobertura vegetal y presencia de vegetación muerta con suelo descubierto en promedio > a 60 %, en contraste con la cobertura vegetal muerta de la zona Queullirijahuiri < 20 % en promedio) debido principalmente a la mala calidad de suelos, con elevadas concentraciones de arsénico y cadmio, producto descarga de los afloramientos afectados con lixiviados provenientes del depósito de desmonte Norte y el aporte de agua y sedimento afectados con DAM.

- El análisis de tejido vegetal en las 3 especies predominantes (*Calamagrostis* sp., *Distichia muscoides* y *Oxychloe andina*) evidencia que las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo exceden los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003. Por otro lado, las concentraciones de cobre (1187 mg/kg), níquel (12,9 mg/kg) y zinc (150 mg/kg) son considerablemente altas, llegando a ser tóxicas para el normal desarrollo de las plantas, en relación a la zona Queullirijahuiri (zona blanco), donde se reportaron concentraciones de 3,3 mg/kg, 2,3 mg/kg y 52 mg/kg para cobre, níquel y zinc, respectivamente.

- Dentro de las evaluaciones de flora «tipo cojín» en el bofedal Wetland Norte, se registró a la especie *Distichia muscoides* totalmente descompuesta y degradada, especie categorizada como Casi Amenazada (NT) según la legislación nacional (Decreto Supremo N.° 043-2006-AG); asimismo, las especies *Parastrephia lucida* categorizada

como (NT) (Decreto Supremo N.° 043-2006-AG), y *Phylloscirpus acaulis*, *Xenophyllum ciliolatum* y *Plantago rigida* categorizada como de Preocupación Menor (LC) según la legislación internacional (IUCN, 2020), que podrían estar potencialmente amenazadas.

- El anfibio *Pleurodema marmoratum,* registrado en la margen izquierda de la quebrada sin nombre 2 y aguas abajo del afloramiento MT-BO5, evidenció la presencia de elementos íntimamente relacionados con DAM como son arsénico, cobre, plomo y zinc en concentraciones elevadas respecto a la muestra de la misma especie registrada en los bofedales cercanos a la unión de los ríos Aruntaya y Queullirijahuiri (en un área no afectada por DAM), cuya exposición de forma directa (absorción) o indirecta (alimentación) a estos contaminantes ocasiona su acumulación en los tejidos, generando un riesgo potencial en su ciclo reproductivo, malformaciones y en algunos casos efectos letales.

Sector quebrada Apostoloni

- Se identificó un incremento de las concentraciones de los parámetros de sulfatos, cadmio, cobalto, cobre, arsénico, manganeso, níquel, hierro, aluminio y zinc, que excedieron los ECA para agua 2008 (DS N.° 002-2008-MINAM) y 2017 (DS N.° 004-2017-MINAM) categoría 3 en los puntos de evaluados en la parte baja de la quebrada Apostoloni desde el 2015 al 2020, debido al aporte drenaje acido de mina (DAM), en comparación con la naciente de la referida quebrada donde se ha registrado DAR que no ha sufrido cambios en el periodo comprendido entre el 2007 al 2020.

- El incremento de sulfatos, cadmio, cobalto, cobre, arsénico, manganeso, níquel, hierro, aluminio y zinc en la quebrada Apostoloni Norte (canal de aguas de no contacto), se debe al aporte de DAM, desde la ampliación del depósito de desmonte (zona 10 y Hechadero), el cual no es captado en su totalidad por el canal de coronación lado sur, y parte de los mismos llegan por flujos superficiales a dicha quebrada (canal de aguas de no contacto), según el análisis geomorfológico. Luego, el aporte de esta quebrada (canalizada) altera la calidad de la quebrada Apostoloni (AG-30) incrementando las concentraciones de los parámetros mencionados.

- Se identificó la afectación de los sedimentos en la quebrada Apostoloni, por deficiencias del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur, evidenciado en la implementación de componentes no autorizados: pozas de lodos, tuberías y mangas en dirección a la quebrada Apostoloni, y al aporte de aguas subterráneas y afloramientos (MT-BO6) afectados por lixiviados de drenaje ácido de mina (DAM) asociados a la ampliación del depósito de desmonte zona 10 y Hechadero, por el incremento de las concentraciones de sulfatos, hierro, calcio, mercurio, plomo, cobalto, níquel, arsénico, cadmio y zinc en los sedimentos de la quebrada Apostoloni, entre los puntos TU-05 y AG-30, de los cuales el cadmio y zinc llegaron a exceder el valor ISQG y el cobre el valor PEL de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG (punto AG-30), aparte de que el cadmio, cobalto, cobre, níquel, zinc y hierro, se encuentran potencialmente biodisponibles (fracción 4), además de que el cadmio cobalto y zinc están biodisponibles (fracciones 1 y 2); así como en la presencia de minerales

secundarios de jarosita (punto E-2) que es característico de sedimentos afectados por drenaje ácido de mina (DAM).

- El incremento de estos parámetros en la quebrada Apostoloni, y la presencia de minerales como el yeso (sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$), así como el gradiente de contaminación observado, tiene como fuente a los lodos de las pozas de sedimentación N.º 1 y 5000 del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur (puntos POZA-01 y ESP-5) que presentaron elevadas concentraciones de sulfatos, hierro, calcio, cadmio, cobre, cobalto, níquel, arsénico, zinc y una composición mineralógica predominante de yeso, que han sido descargados a la quebrada Apostoloni y suelo aledaño, mediante las mangueras tipo HDPE, mangas, e instalaciones como una bomba de succión de lodos implementada en la poza 5000 por el administrado en dirección hacia la mencionada quebrada (mecanismo de transporte), y que además se sustenta en que no hay otra fuente de aporte significativa de calcio y yeso en el área de emplazamiento de la quebrada Apostoloni (depósitos cuaternarios, suelo adyacente y otros componentes mineros). Asimismo, el incremento del contenido de calcio, cadmio, cobre y zinc desde el 2016 al 2020 en el punto AG-30, nos indicó que la descarga de lodos se ha venido realizando (sistemáticamente) no sólo aguas abajo del punto E-2 de la presente evaluación, sino también en todo el tramo comprendido entre los puntos AG-30 y E-2 de la quebrada Apostoloni.

- Las microalgas del perifiton de la quebrada Apostoloni aguas abajo de la unión de las quebradas Apostoloni Norte y Sur se encuentran afectadas por el drenaje ácido de mina (DAM) especialmente en los puntos antes de la unión con la quebrada Margaritani (HB-AG-30 y HB-E-2), en donde no solo se registraron especies de microalgas propias de DAM sino también una disminución en la riqueza de especies, un efecto propio de este tipo de drenaje.

- En muestras de plumas de aves, colectadas en la parte baja de la quebrada Apostoloni Sur, se reportaron elevadas concentraciones de arsénico y plomo que excedieron el valor limite indicado por Eisler (1988) y Burger & Gochfeld (1993, 1994, 1995, 2000), respectivamente. Asimismo, las concentraciones de cadmio, cobalto y níquel fueron mayores a las reportadas en la zona Queullirijahuiri (zona blanco). Los efectos por el exceso de acumulación de estos elementos se traducen en la pérdida de peso, valores anormales de morfometría, aletargamiento, aumento del tiempo de descanso, alteraciones bioquímicas, efectos cancerígenos, alteraciones en reproducción, y muerte de individuos.

Sector río Margaritani

- El río Margaritani presentó características de aguas acidas (pH≤ 2,83 unidades) con altas concentraciones de sulfatos y metales (aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc) que excedieron los ECA para Agua categoría 3, 2008 o 2017 por el aporte de las quebradas Apostoloni y Margaritani afectadas por DAM, cuyas concentraciones se han incrementado a partir del 2012 hasta la fecha.

- En este sector se evidenció la alteración de los sedimentos del río Margaritani, por las altas concentraciones de sulfatos, plomo, mercurio, arsénico cobre, cadmio, calcio y hierro, de los cuales el arsénico y plomo excedieron el valor PEL, y el cobre el valor ISQG de la de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG, aparte de que el cadmio, cobre y hierro se encuentran biodisponibles, además de la presencia de minerales secundarios como la jarosita a lo largo del cuerpo principal que es característico de sedimentos afectados por drenaje ácido de mina (DAM), y de yeso (sulfato de calcio, $CaSO_4 \cdot 2(H_2O)$), que están directamente relacionados al aporte de DAM en las quebradas Margaritani y Apostoloni, y a descargas provenientes de la poza de sedimentación N.º 1 y 5000, del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur. Asimismo, esta alteración viene generando el incremento en las concentraciones de cobre, plomo hierro y calcio desde el 2014 a la actualidad.

- Todas las especies de microalgas del perifiton presentes en el río Margaritani son acidófilas y pueden tolerar las elevadas concentraciones de metales y aniones caracterizados en el drenaje ácido de mina (DAM) cuyo efecto se hace más notorio en la disminución de especies en el punto HB-AG-18, antes de la unión con el río Queullijahuiri en el cual se observa la prevalencia de la microalga *Klebsormidium* sp. que es un género tolerante a la concentración de metales como cadmio, cobre, hierro, níquel, manganeso entre otros asociados al DAM.

- En macroinvertebrados bentónicos, el quironómido *Podonomus* sp. fue el de mayor recurrencia debido a su capacidad tolerante como indicadora de metales presentes en el cauce principal (potenciado por DAM), asociado a la presencia de precipitados de óxidos e hidróxidos en el lecho del cauce que generarían limitaciones en el desarrollo de especies más sensibles. Considerando la dominancia de *Podonomus* sp. y otras especies tolerantes, la mayoría de puntos evaluados en los tres sectores de la zona indicaron una pésima calidad biológica según el ABI.

Zona Aruntaya, Titire – Coralaque

- El río Aruntaya aguas abajo de la confluencia con el río Queullirijahuiri conserva las características acidas del agua provenientes del río Margaritani y las elevadas concentraciones de cadmio, cobalto, cobre, arsénico, manganeso, níquel, hierro, aluminio y zinc que excedieron los ECA para agua categoría 3, 2008 o 2017. Luego, posterior al aporte del río Titire dichos elementos disminuyeron su concentración variando la proporción de su fase disuelta a suspendida por el aporte de la quebrada sin nombre 3 y fuentes termales en dicho tramo, las cuales incrementaron las concentraciones de arsénico, boro, sodio, manganeso y cloruros en el agua superficial de los ríos Titire y Coralaque excediendo los ECA para agua categoría 3, 2008 o 2017.

- En esta zona se evidenció la afectación de los sedimentos de los ríos Queullirijahuiri, Aruntaya, Titire y Coralaque por las altas concentraciones de sulfatos, cadmio, cobre, zinc, plomo, mercurio y arsénico, que excedieron los valores ISQG o PEL de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG en algunos o todos los puntos de muestreo a lo largo del cuerpo de agua principal, aparte de que el cobre, cadmio y zinc se encuentran biodisponibles, además de la presencia de minerales secundarios como la jarosita desde el río Queullirijahuiri (AG-19) hasta el río Titire (AG-11), característico de sedimentos afectados por drenaje ácido de mina (DAM), que están directamente relacionados al aporte de DAM en las quebradas Margaritani y Apostoloni, y a descargas provenientes de la poza de sedimentación N.º 1 y 5000, del sistema de tratamiento de aguas ácidas wetland sur. Esta alteración ha generado la acumulación de cobre, plomo y hierro en el río Queullirijahuiri (AG-19) del 2016 a la fecha, además de mercurio y arsénico en el río Aruntaya (AG-08 y AG-10); y de cobre, zinc, arsénico y hierro en los ríos Titire y Coralaque (AG-11, TIT-1, RCora4 y QE-36) del 2015 a la fecha.

- El drenaje ácido de mina (DAM) que se identificó en la zona río Margaritani afecta la composición de las microalgas del perifiton en los puntos aguas abajo de su confluencia con el río Queullijahuiri hasta antes del ingreso del río Aruntaya (HB-AG-19 y HB-M-3) donde se registran especies de los géneros *Pinnularia* sp. y *Stigeoclonium* sp. que tienen especies no sólo acidófilas sino también asociadas a DAM. Los metales de este drenaje que se van depositando en el sedimento de los ríos Titire y Coralaque promueven en diversos puntos la presencia de especies pertenecientes a géneros *Klebsormidium* sp, *Microspora* sp. y *Stigeoclonium* sp. que son tolerantes a elevadas concentraciones de metales.

- El cauce principal de las zonas Aruntaya (ríos Queullirijahuiri y Aruntaya) y Titire-Coralaque (ríos Titire y Coralaque) se caracterizó por la alta recurrencia de los quironómidos recolectores *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp., con capacidad tolerante e indicadora de metales, considerando las altas concentraciones de metales totales y sulfatos (principalmente en sedimentos) asociados a la presencia de precipitados de óxidos e hidróxidos en el lecho del cauce principal, provenientes de la zona Margaritani. La mayoría de los puntos evaluados en el cauce principal, hasta antes de la confluencia de los ríos Vizcachas (cerca de 2/3 del caudal del río Titire) y Titire, presentaron una pésima calidad biológica (ABI); aguas abajo de esta confluencia en el río Coralaque, la mayoría de los puntos evaluados presentaron una mejora en la calidad biológica (mala calidad biológica). Cabe precisar que los aportantes y cuerpos de agua sin influencia del cauce principal (AG-09 en el río Titire) presentaron altos valores de parámetros comunitarios y una mejor calidad biológica que las presentadas en el cauce principal (de moderada a excelente calidad biológica), dado por una mayor recurrencia de especies facultativas y sensibles.

- Los ecosistemas entorno a las márgenes e islotes generados por los meandros del río Queullirijahuiri (césped de puna), vienen siendo degradados (perdida de cobertura vegetal y presencia de vegetación muerta > a 60 %, en contraste con la vegetación muerta de las zonas blanco < 15 % en promedio), debido principalmente al agua y sedimentos afectados con DAM, proveniente de la UF Florencia Tucari.

- El análisis de tejido vegetal en las 4 especies predominantes (*Calamagrostis* sp., *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina* y *Festuca orthophylla*) evidencia que las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo exceden los niveles máximos según el Real Decreto 465/2003. Por otro lado, las concentraciones de metales reportadas en la especie *Calamagrostis* sp. (TU-TV-CV3-H) para arsénico (36 mg/kg), cobre (597 mg/kg) y zinc (232 mg/kg) son considerablemente altas llegando a ser tóxicas para el normal desarrollo de las plantas, en comparación a la muestra blanco TU-TV-CV1-Hb la cual registró concentraciones de 6,5 mg/kg, 10 mg/kg y 33 mg/kg para arsénico, cobre y zinc, respectivamente.

- En los ecosistemas con vegetación «tipo cojín», que se están degradando por DAM en el entorno a las márgenes e islotes del río Queullirijahuiri, se registró rezagos de la especie *Distichia muscoides* en proceso de descomposición, especie categorizada como Casi Amenazada (NT) según la legislación nacional (Decreto Supremo N.° 043-2006-AG); asimismo, en este entorno se registraron las especies *Azorella diapensoides* categorizada como Vulnerable (VU) (Decreto Supremo N.° 043-2006-AG), y *Werneria solivifolia* (NT), *Phylloscirpus acaulis* y *Plantago rigida* categorizada como de Preocupación Menor (LC) según la legislación internacional (IUCN, 2020), que podrían estar potencialmente amenazadas.

- El único anfibio registrado en la zona Coralaque, *Rhinella spinulosa*, presentó concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc que variaron de acuerdo al tipo de muestra evaluada (renacuajos, juveniles y espécimen adulto muerto), siendo el juvenil de esta especie el que registró la mayor concentración de estos elementos. La biodisponibilidad del cobre, cadmio y zinc, provenientes del DAM generado por las operaciones mineras desarrolladas aguas arriba, propicia la acumulación de estos elementos en los tejidos de esta especie, los cuales representan un riesgo potencial a su población debido a los efectos letales y subletales que ocasionan.

- Se determinó concentraciones de metales como cobre, plomo y cadmio en plumas de aves capturadas en la zona Titire-Coralaque, los cuales muestran la disponibilidad de los elementos en el área. Siendo *Anas flavirostris* «pato barcino» la que presentó los mayores valores de acumulación de cobre en sus plumas, la excesiva bioacumulación de este elemento, está relacionado con el aporte de DAM, pudiendo causar efectos tóxicos en las aves, como disminución del tamaño de la nidada, talla corporal, crecimiento de las plumas, bajas en las reservas de grasa, efectos carcinogénicos, entre otros.

- El aporte de DAM de la UF Florencia Tucari, que dan la coloración de aguas rojizas al río Queullirijahuiri y Aruntaya, han repercutido en las alpacas que recorren estos ambientes naturales para acicalarse y reposar en los lechos de sus cauces, causando la impregnación o manchas de la lana con dichas coloraciones.

9. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, C. (2009). *Estudio de la Cuenca Altoandina del río Cañete (Perú): Distribución altitudinal de la comunidad de Macroinvertebrados Bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas* [Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona]. http://www.ub.edu/riosandes/index.php/tesis.html

Acosta, R. y Prat, N. (2018). Pupas Podonominae (Diptera: Chironomidae) de los ríos altoandinos tropicales. *Revista Biología Tropical, 66*(1), 6-27. http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1

Acosta, R.; Ríos, B.; Rieradevall, M. & Prat, N. (2009). Propuesta de un Protocolo de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (C.E.R.A) y su Aplicación a dos Cuencas en Ecuador y Perú. *Limnética, 28*(1), 35-64. https://www.limnetica.com/es/propuesta-de-un-protocolo-de-evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-ecol%C3%B3gica-de-r%C3%ADos-andinos-cera-y-su-aplicaci%C3%B3n

Aduvire, O. (2006). Drenaje acido de mina. Generación y tratamiento. Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente. http://info.igme.es/SidPDF/113000/258/113258_0000001.pdf

Aguilera, A., Zettler, E., Gómez, F., Amaral-Zettler, L., Rodríguez, N. y Amils, R. (2007). Distribution and seasonal variability in the benthic eukaryotic community of Río Tinto (SW, Spain), an acidic, high metal extreme environment. *Systematic and applied microbiology*, *30*(7), 531-546. https://doi.org/10.1016/j.syapm.2007.05.003

Ahumada, R. (1994). Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb y Zn) en tejidos de invertebrados bénticos de Bahía San Vicente, Chile. *Revista de Biología Marina, 29*(1), 77-87. https://revbiolmar.uv.cl/escaneados/291-77.pdf

Alfaro, M. (2002). *Introducción al muestreo minero*. Instituto de Ingenieros de minas de Chile. Santiago-Chile. https://www.academia.edu/7802013/Introducci%C3%B3n_al_Muestreo_Minero

Alpino-Cabrera, M., Muñoz-Gil, J. y Marín-Espinoza, G. (2016). Presencia de metales pesados en la palomita maraquita (Columbina squammata Lesson 1831), del estado Sucre, Venezuela. *The Biologist, 14*(1), 45-63. https://doi.org/10.24039/rtb201614185

Amat, J. (2017). *Análisis de Componentes Principales (Principal Component analysis, PCA) y t-SNE*. https://rpubs.com/Joaquin_AR/287787

AmphibiaWeb. (1 de noviembre 2020). *Chemical Contaminants*. https://amphibiaweb.org/.

Anderson, M., Gorley, R. y Clarke, K. (2008). *PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER-E, Plymouth. https://www.researchgate.net/publication/285237419_PERMANOVA_for_primer_Guide_to_software_and_statistical_methods

Angulo, A., Rueda-Almonacid, J., Rodriguez-Mahecha, J. y La Marca, E. (2006). *Técnicas de Inventario y Monitoreo para los anfibios de la región tropical andina*. Conservation International. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C. 298 pp. https://www.amphibians.org/wp-content/uploads/2018/12/Monitoreo-de-anfibios-baja-final.pdf

Appelo, C. y Postma, D. (2005). *Geochemistry*, *groundwater and Pollution* (2ª ed.) Prensa CRC. https://doi.org/10.1201/9781439833544.

Asociación Española del Aluminio-AEA. (2008). *Aluminio y Salud. El Aluminio en el Ambiente*. Documento 1. European Aluminium Association. Madrid, España. https://www.asoc-aluminio.es/support/pdf/aluminio-medioambiente.pdf

Autoridad Nacional del Agua – ANA (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales*. Resolución Jefatural N.° 010-2016-ANA. 11 de enero de 2016 (Lima-Perú). https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf

Autoridad Nacional del Agua – ANA (2018). *Aprobar la Clasificación de Cuerpos de Agua Continentales Superficiales*. Resolución Jefatural N.° 056-2018-ANA. 13 de febrero del 2018 (Lima-Perú). https://www.gob.pe/institucion/ana/normas-legales/537986-r-j-056-2018-ana

Autoridad Nacional del Agua – ANA. (2017). *Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua*. Resolución Jefatural N.° 108-2017-ANA. 11 de mayo de 2017 (Lima – Perú). https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-108-2017-ana-0

Azevedo, R., y Rodriguez, E. (2012). *Phytotoxicity of mercury in plants: a review*. *Journal of Botany, 2012*, 1-6. https://doi.org/10.1155/2012/848614

Banks, D., Younger, P., Arnesen, RT., Iversen, E. y Banks, S. (1997). Mine-water chemistry; the good, the bad and the ugly. *Environmental Geology, 32*(1), 157-174. https://doi.org/10.1007/s002540050204

Battaglia, A., Ghidini, S., Campanini, G. y Spaggiari, R. (2005). Heavy metal contamination in little owl (Athene noctua) and common buzzard (Buteo buteo) from northern Italy. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 60*(1), 61-66. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2003.12.019

Berzins, D. y Bundy, K. (2002). Bioaccumulation of lead in Xenopus laevis tadpoles from water and sediment. *Environment International, 28*(1-2), 69–77. https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00006-5

Bibby, C., Burgers, N. y Hill, D. (1993). *Bird Census Techniques*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2009-0-03531-4

Birdsall, C., Grue, C. y Anderson, A. (1986). Lead concentrations in bullfrog Rana catesbeiana and green frog R. clamitans tadpoles inhabiting highway drainages. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, *40*(3), 233-247. https://doi.org/10.1016/0143-1471(86)90098-X

Blaustein, A., Wake, D. y Sousa, W. (1994). Amphibian declines: judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation Biology, 8*(1), 60-71. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1994.08010060.x

Boukhalfa, C., y Chaguer, M. (2012). Characterisation of sediments polluted by acid mine drainage in the northeast of Algeria. *International Journal of Sediment Research, 27*(3), 402-407. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(12)60045-6

Brues, C. (1924). Observations on Animal Life in the Thermal Waters of Yellowstone Park, with a Consideration of the Thermal Environment. *American Academy of Arts and Sciences, 59*(15), 371-438. https://doi.org/10.2307/20026104

Burger, J. (1995). A risk assessment for lead in birds. *Journal of Toxicology and Environmental Health: Current Issues, 45*(4), 369-396. https://doi.org/10.1080/15287399509532003

Burger, J. y Gochfeld, M. (1993). Lead and behavioral development in young herring gulls: effects of timing of exposure on individual recognition. *Fundamental and Applied Toxicology, 21*(2), 187-195. https://doi.org/10.1006/faat.1993.1088

Burger, J. y Gochfeld, M. (1994). Behavioral impairments of lead-injected young herring gulls in nature. *Toxicological Sciences*, *23*(4), 553-561. https://doi.org/10.1006/faat.1994.1140

Burger, J. y Gochfeld, M. (1995). Growth and behavioral effects of early postnatal chromium and manganese exposure in herring gull (Larus argentatus) chicks. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, *50*(4), 607-612. https://doi.org/10.1016/0091-3057(94)00350-5

Burger, J. y Gochfeld, M. (2000). Metal levels in feathers of 12 species of seabirds from Midway Atoll in the northern Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, *257*(1), 37-52. https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00496-4

Burger, J., Campbell, K. y Campbell, T. (2004). Gender and spatial patterns in metal concentrations in brown anoles (Anolis sagrei) in southern Florida, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *23*(3), 712-718. https://doi.org/10.1897/02-647

Cabrera, F., Clemente, L., Díaz, E., López, R., y Murillo, J. (1999). Heavy metal pollution of soils affected by Guandiamar toxic flood. *The Science of the Total Environment, 242*(12), 117-129. https://doi.org/10.1016/s0048-9697(99)00379-4

Camardese, M., Hoffman, D., LeCaptain, L. y Pendleton, G. (1990). Effects of arsenate on growth and physiology in mallard ducklings. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, *9*(6), 785-795. https://doi.org/10.1002/etc.5620090613

Campbell, P. (2007). Cadmium-A priority pollutant. *Environmental Chemistry*, *3*(6), 387-388. https://doi.org/10.1071/EN06075

Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME (2009). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Fresh water:* http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/

CANMET- Mining and Mineral Sciences Laboratories (2009). *Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials*. Canadá http://www.abandoned-mines.org/pdfs/MENDPredictionManual-Jan05.pdf

Carbonell-Barrachina, A.A., Burló, F. y Mataix, J. (1998). *Response of bean micronutrient nutrition to arsenic and salinity*. Journal of Plant Nutrition, 21(6), 1287-1299. https://doi.org/10.1080/01904169809365482

Carrasco, C., Rayme, C., Del Pilar, R., Ayala, Y., Arana, J. y Aponte, H. (2020). Macroinvertebrados acuáticos en arroyos asociados con bofedales altoandinos, Ayacucho Perú. *Revista de Biología Tropical, 68*(2), 116-131. https://doi.org/10.5281/zenodo.2566578

Carvalho, C., Utsunomiya, H., Pasquoto, T., Lima, R., Costa, M. y Fernandes, M. (2017). Blood cell responses and metallothionein in the liver, kidney and muscles of bullfrog tadpoles, Lithobates catesbeianus, following exposure to different metals. *Environmental Pollution*, *221*, 445–452. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.012

Catenazzi, A., Von May, R. y Vredenburg, V. (2013). Conservation of the high Andean frog Telmatobius jelskii along the PERU LNG pipeline in the Regions of Ayacucho and Huancavelica, Perú. En A. Alonso, F. Dallmeier y G. Servat, *Monitoring biodiversity: Lessons from a Trans-Andean megaproject.* Smithsonian Scholarly Press, Washington DC.

Catenazzi, A., Vredenburg, V. y Lehr, E. (2010). Batrachochytrium dendrobatidis in the live frog trade of Telmatobius (Anura: Ceratophryidae) in the tropical Andes. *Diseases of Aquatic Organisms, 92*(2-3), 187-191. https://doi.org/10.3354/dao02250

Cattaneo, A., Couillard, Y., Wunsam, S. y Courcelles, M. (2004). Diatom taxonomic and morphological changes as indicators of metal pollution and recovery in Lac Dufault (Québec, Canada). *Journal of Paleolimnology, 32*(2), 163-175. https://doi.org/10.1023/B:JOPL.0000029430.78278.a5

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres – CENEPRED (2017). Aprueban el protocolo para la operación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS). Resolución Jefatural N.° 051-2017-CENEPRED/J. 05 de junio de 2017 (Lima-Perú). https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/docs/difusion-manuales/protocolo.pdf

Cerrate, E. (1969). *Manera de preparar Plantas para el Herbario*. *Museo de Historia Natural-UNMSM, Serie de Divulgación, 1,* 1-10.

Chagas, B., Utsunomiya, H., Fernandes, M. y Carvalho, C. (2020). Metabolic responses in bullfrog, Lithobates catesbeianus after exposure to zinc, copper and cadmium. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 233*. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108768

Chao, A., Gotelli, N., Hsieh, T., Sander, E., Ma, K., Colwell, R. y Ellison, A. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological monographs*, *84*(1), 45-67. https://doi.org/10.1890/13-0133.1

Chará-Serna, A., Chará, J., Zúñiga, M., Pearson, R. y Boyero, L. (2012). Diets of leaf-litterassociated insects in three Colombian streams. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, 48*, 139-144. https://doi.org/10.1051/limn/2012013

Chávez, C., De la Torre, J., Bárcenas, H., Medellín, R., Zarza, H. y Ceballos, G. (2013). *Manual de fototrampeo para estudios de fauna silvestre. El jaguar en México como estudio de caso.* Alianza WWF-Telcel. https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD002776.pdf

Chen, K., Wu, C. y Chiou, P. (2000). Effect of roxarsone inclusion in the diet on the performance and hepatic lipid metabolism of laying Tsaiya duck. *British Poultry Science*, *41*(3), 363-369. https://doi.org/10.1080/713654924

Chiou, H., Huang, W., Su, C., Chang, S., Hsu, Y. y Chen, C. (1997). Dose-response relationship between prevalence of cerebrovascular disease and ingested inorganic arsenic. *Stroke*, *28*(9), 1717-1723. https://doi.org/10.1161/01.STR.28.9.1717

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona – España. Editorial Ariel Ciencias.

Clarke, K. y Gorley, R. (2006). *PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research)*. PRIMER-E, Plymouth. https://www.researchgate.net/publication/285668711_PRIMER_v6_user_manualtutorial_PRIMER-E_Plymouth

Clarke, K. y Warwick, R. (2001). *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd Edition, PRIMER-E, Ltd., Plymouth Marine Laboratory, Plymouth. https://www.researchgate.net/publication/221962838_Clarke_KR_Warwick_RMChange_in_Marine_Communities_An_Approach_to_Statistical_Analysis_and_Interpretation_Primer-E_Ltd_Plymouth_UK

Codex Alimentarius (1995). *Norma general para los contaminantes y la toxina presente en los alimentos y piensos* (Codex Stan 193). Programa sobre normas internacionales de los alimentos de la Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura – Organización Mundial de la Salud. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf

Coe, A., Argles T., Rothery, D. y Spicer, R. (2010). *Geological Field Techniques.* Wiley-Blackwell. https://content.schweitzer-online.de/static/catalog_manager/live/media_files/representation/zd_std_orig__zd_schw_orig/013/816/336/9781444327441_content_pdf_1.pdf

Cogram, P. (2018). Jarosite. Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10960-1

Colwell, R. (2013). *EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples*. Version 9. http://purl.oclc.org/estimates

Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazas de Fauna y Flora Silvestres - CITES. (1 de noviembre 2020). *Apéndices I, II y III.* http://www.cites.org

Cordero, J. (2015). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (cadmio y plomo) y evaluación de selenio en la finca Furatena alta en el municipio de Útica (Cundinamarca)*. Universidad Libre. Bogotá - Colombia http://hdl.handle.net/10901/7958

Correia, L., Siqueira, S., Carneiro, P. y Bezerra, M. (2014). Evaluation of the use of leptodactylus ocellatus (anura: Leptodactylidae) frog tissues as bioindicator of metal contamination in contas river, northeastern Brazil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, *86*(4), 1549-1561. https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130357

Crisci, J. y López, F. (1983). *Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica*. Secretaría General de la O.E.A., Washington D.C. https://www.researchgate.net/publication/50326234_Introduccion_a_la_teoria_y_practica_de_la_taxonomia_numerica

Crump, M. y Scott, N. (2001). Relevamientos por Encuentros Visuales. En W. R. Heyer, M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek, y M. S. Foster (Eds.), *Medición y Monitoreo de*

la Diversidad Biológica. Métodos Estandarizados para Anfibios (pp. 80–87). Smithsonian Institution Press & Editorial Universitaria de la Patagonia.

Cuadras, M. (2014). *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante*. *CMC Editions.* http://www.majefre.udc.es/wp-content/uploads/2015/03/metodos_multivariantes.pdf

Cummins, K., Merritt, R. y Andrade, P. (2005). The use of macroinvertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment, 40*(1), 69-89. https://doi.org/10.1080/01650520400025720

Custodio, E. y Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea* (2ª ed.). Editorial Omega.

Das, B., Roy, A., Koschorreck, M., Mandal, S., Wendt-Potthoff, K. y Bhattacharya, J. (2009). Occurrence and role of algae and fungi in acid mine drainage environment with special reference to metals and sulfate immobilization. *Water Research*, *43*(4), 883-894. https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.11.046

Dauwe, T., Lieven, B., Ellen, J., Rianne, P., Ronny, B. y Marcel, E. (2002). Great and blue tit feathers as biomonitors for heavy metal pollution. *Ecological Indicators*, *1*(4), 227-234. https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00008-0

Davis, S. y De Wiest, R. (1971). *Hidrología*. Editorial Ariel.

Debacker, V., Jauniaux, T., Coignoul, F. y Bouquegneau, J. (2000). Heavy metals contamination and body condition of wintering guillemots (Uria aalge) at the Belgian coast from 1993 to 1998. *Environmental Research*, *84*(3), 310-317. https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4087

Diaz, M., Flores, A. y Barquez, M. (1998). *Instrucciones para la preparación y conservación de mamíferos*. Programa de Investigaciones de Biodiversidad Argentina-PIDBA. Publicaciones especiales. https://www.researchgate.net/publication/259470106.

Díaz-Pulido, A. y Payán, G. (2012). *Manual de Fototrampeo: una herramienta de investigación para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Panthera Colombia. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31415/240.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Dinka, M., Loiskandl, W. y Ndambuki, J. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, *3*, 444-456. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.02.007.

Dodd, C. (Ed.). (2010). *Amphibian ecology and conservation A handbook of techniques*. Oxford University Press.

Dodd, C. (Ed.). (2016). *Reptile ecology and conservation: A handbook of techniques*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198726135.001.0001

Dold, B. (2003). Speciation of the most soluble phases in a sequential extraction procedure adapted for geochemical studies of copper sulfide mine waste. *Journal of Geochemical Exploration*, 80(1), 55-68. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00182-1

Domenech, C., Ayora, C. y De Pablo, J. (2002). Sludge weathering and mobility of contaminants in soil affected by the Aznalcollar tailing dam spill (SW Spain). *Chemical Geology, 190*(1-4), 355-370. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00125-0

Duffus, J. (1983). *Toxicología ambiental*. (1ª ed.). Editorial Omega.

Dutrizac, J. y Jambor, J. (2000). Jarosites and their application in hydrometallurgy. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 40*(1): 405-452. https://doi.org/10.2138/rmg.2000.40.8

Dutrizac, J., Dinardo, O. y Kaiman, S. (1980). Factors affecting lead jarosite formation. *Hydrometallurgy, 5*(4), 305-324. https://doi.org/10.1016/0304-386X(80)90022-5

Dutrizac, J., Hardy, D. y Chen, T. (1996). The behaviour of cadmium during jarosite precipitation. *Hydrometallurgy, 41*(2-3), 269-285. https://doi.org/10.1016/0304-386X(95)00062-L

Dutrizac, J., Jambor, J. y Chen, T. (1987). The behaviour of arsenic during jarosita precipitation: reactions at 150 ºC and the mechanism of arsenic precipitation. *Chemical and Extractive Metallurgy, 26*(2),103-115. https://doi.org/10.1179/cmq.1987.26.2.103

Eeva, T., Belskii, E. y Kuranov, B. (2006). Environmental pollution affects genetic diversity in wild bird populations. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, *608*(1), 8-15. https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2006.04.021

Eisenberg, J. y Redford, K. (1999). *Mammals of the neotropics* (1ª ed., Vol. 3). University of Chicago Press.

Eisler, R. (1988). *A Review of Arsenic Hazards to Plants and Animals with Emphasis on Fishery and Wildlife Resources*. En J. Nriagu (Ed.), *Arsenic in the Environment* (pp. 185-259). John Wiley & Sons, Inc.

Eisler, R. (2000). *Handbook of chemical risk assessment. Health, hazard to humans, plants and animals*. Lewis Publishers. https://books.google.es/books?id=t43H0Djym5UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false

Eisler, R. (2000). *Handbook of chemical risk assessment*: health hazards to humans, plants, and animals, three volume set (Vol. 1). CRC press. https://books.google.es/books?id=t43H0Djym5UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false

Emmons, L., y Feer, F. (1997). *Neotropical rainforest mammals: A field guide*. (2ª ed.). University of Chicago Press.

Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos, B., García, N. y Prat, N. (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)*. Proyecto FUCARA, Quito. http://www.ub.edu/riosandes/index.php/protocolo-cera-s.html?eprivacy=1

Equeenuddin, S., Tripathy, S., Sahoo, P. y Panigrahi, M. (2013). Metal behavior in sediment associated with acid mine drainage stream: Role of pH. *Journal of Geochemical Exploration,124,* 230-237. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.010

Estrada-Guerrero, D. y Soler-Tovar, D. (2014). Las Aves como bioindicadores de contaminación por metales pesados en humedales. *Ornitología Colombiana, 14*, 145-160. https://asociacioncolombianadeornitologia.org/wp-content/uploads/2014/12/MS1222.pdf

Farnese, F.S., Oliveira, J.A., Gusman, G.S.; Leao, G.A.; Silveira, N.M., Silva, P.M., Ribeiro, C. y Cambraia, J. (2014). *Effects of adding nitroprusside on arsenic stressed response of Pistia stratiotes L. under hydroponic conditions*. International Journal of Phytoremediation, 16, 123-137.

Favas, P., Sarkar, S., Rakshit, D., Venkatachalam, P. y Prasad., M. (2016). Acid Mine Drainages from Abandoned Mines: Hydrochemistry, Environmental Impact, Resource Recovery, and Prevention of Pollution. En M.N.V., Prasad y K., Shih (Eds.), *Environmental Materials and Waste, Resource Recovery and Pollution Prevention,* 17 (pp. 413 – 462). London: Academic Press. https://doi.org/10.1016/C2014-0-05144-1

Ferrari, L. y Salibian, A. (1999). Effect of cadmium on the epidermic structure of Bufo arenarum tadpoles: influence of the chemical composition of the incubation media. *Archives of physiology and biochemistry*, *107*(2), 91-96. https://10.1076/apab.107.2.91.4346

Finnegan, P. M. y Chen, W. (2012). Arsenic toxicity: the effects on plant metabolism. Fron Physio, 3. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2012.00182/full

Fittkau, E. (1986). Conocimiento actual sobre la colonización de la región tropical sudamericana por insectos acuáticos y su historia evolutiva, con especial referencia a los quironómidos. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (Chile), 17*, 97-103. https://issuu.com/hemerotecamuseodevalparaiso/docs/mnhv_017

Fjeldsa J. y Krabbe, N. (1990). *Birds of the high Andes.* Zoological Museum, University of Copenhagen.

Flórez, A. (2005). *Manual de Pastos y Forrajes Altoandinos*. Lima: ITDG AL, OIKOS. http://www.funsepa.net/soluciones/pubs/MjY=.pdf

Franke, I., Nolazco, S. y León, F. (22 de febrero de 2014). Evaluación de Aves en Ecosistemas Altoandinos. *Blog Aves, Ecología y Medio Ambiente.* http://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2014/02/evaluacion-de-la-avifauna-en-la-zona_22.html

Frost, D. (1 de noviembre de 2020). *Amphibian species of the world: an online reference.* Version 6.1. http://doi.org/10.5531/db.vz.0001

García, E. y Lozoya, G. (2004). *Genes de resistencia a enfermedades en plantas*. Revista Mexicana de Fitopatología, 22(3), 414-422. https://www.redalyc.org/pdf/612/61222315.pdf

Gaston, K. (1996). Species richness: measure and measurement. En K. Gaston (Ed.). *Biodiversity: A biology of numbers and difference (*pp.77-113). Blackwell Science Ltd.

Gaysina, L., Purina, E., Safiullina, L. y Bakieva, G. (2009). Resistance of *Klebsormidium flaccidum* (Kützing) Silva, Mattox y Blackwell (Streptophyta) to heavy metals. *NBU Journal of Plant Sciences, 3*, 39-41.

Geens, A., Dauwe, T., Bervoets, L., Blust, R. y Eens, M. (2010). Haematological status of wintering great tits (Parus major) along a metal pollution gradient. *Science of the Total Environment*, *408*(5), 1174-1179. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.029

Gil, M., Torres, A., Harvey, M. y Esteves, J. (2006). Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia argentina continental. *Revista de biología marina y oceanografía, 41*(2), 167-176. http://doi.org/10.4067/S0718-19572006000200004

Girotto, L., Espíndola, E., Gebara, R. y Freitas, J. (2020). Acute and Chronic Effects on Tadpoles (Lithobates catesbeianus) Exposed to Mining Tailings from the Dam Rupture in Mariana, MG (Brazil). *Water, Air, and Soil Pollution, 231*(7), 1-15. https://doi.org/10.1007/s11270-020-04691-y

González, D. (2015). *Tres especies de aves acuáticas como bioindicadores de la contaminación por metales pesados del Lago de Chapala*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/16788?show=full

Gonzalez-Ibarra, A., Nava-Alonso, F., Fuentes-Aceituno, J., y Uribe-Salas, A. (2016). Hydrothermal decomposition of industrial jarosite in alkaline media: the rate determining step of the process kinetics. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, 52*(2), 135-142. https://doi.org/10.2298/JMMB150430016G

Grande, J.A., Beltrán, R., Sáinz, A., Santos, J.C., De la Torre, M.L., Borreho, J. (2004*). Acid mine drainage and acid rock drainage processes in the environment of Herrerías Mine (Iberian Pyrite Belt, Huelva-Spain) and impact on the Andevalo Dam*. Environmental Geology. https://doi.org/10.1007/s00254-004-1142-9

Grzebisz, W., Cieśla, L., Komisarek, J., y Potarzycki, J. (2002). Geochemical assessment of heavy metals pollution of urban soils. *Polish Journal of Environmental Studies, 11*(5), 493-499. http://www.pjoes.com/Geochemical-Assessment-of-Heavy-Metals-Pollution-of-Urban-Soils,87482,0,2.html

Gunneriusson, L., Sandstrom, A., Holmgren, A., Kuzmann, E., Kovacs, K., y Vértes, A. (2009). Jarosite inclusion of fluoride and its potential significance to bioleaching of sulphide minerals. *Hydrometallurgy, 96*(1-2), 108-116. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2008.08.012

Gupta, R.P. (2018). *Remote Sensing Geology*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Hanson, P., Springer, M. y Ramirez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados bentónicos. *Revista de Biología Tropical, 58*(4), 3-37. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0034-77442010000800001

Hernandez, O., Castro, F. y Paez, M. (2013). Bioacumulación de mercurio en larvas de anuros en la zona afectada por la minería de oro en el río Dagua, Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, *18*(2), 341-348. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3190/319028011010

Hill, M. (1 de noviembre de 2020). *Abnormal Development: Heavy Metals. University of New South Wales*. Embriology. https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Abnormal_Development_-_Heavy_Metals

Hill, M. (1973). Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology, 54*(2), 427–432. https://doi.org/10.2307/1934352

Hoffman, G. (1996). *Methods of analysis by the U.S. Geological Survey National Water Quality Laboratory - Preparation procedure for aquatic biological material determined for trace metals* (pp. 96-362). U.S. Geological Survey. https://nwql.usgs.gov/rpt.shtml?OFR-96-362

Hogsden, K. L. y Harding, J. S. (2012). Consequences of acid mine drainage for the structure and function of benthic stream communities: a review. *Freshwater Science*, *31*(1), 108-120. https://doi.org/10.1899/11-091.1

Hopkins, W. y Rowe, C. (2010). Interdisciplinary and Hierarchical Approaches for Studying the Effects of Metals and Metalloids on Amphibians. En D. Sparling, G. Linder, C. Bishop y S. Krest (Eds.), *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles* (2ª ed.). https://doi.org/10.1201/EBK1420064162

Hsieh, T., Ma, K. y Chao, A. (2016). iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution, 7*(12), 1451-1456. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613

Hudson-Edwards, K., Schell, C. y Macklin, M. (1999). Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining in the Rio Tinto area, southwest Spain. *Applied Geochemistry, 14*(8), 1015-1030. https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00008-6

Hughes, M., Beck, B., Chen, Y., Lewis, A. y Thomas, D. (2011). Arsenic exposure and toxicology: a historical perspective. *Toxicological Sciences*, *123*(2), 305-332. https://doi.org/10.1093/toxsci/kfr184

Instituto Geográfico Nacional – IGN (2011). Aprueban la norma técnica: Especificaciones Técnicas para la Producción de Cartografía. Escala 1:1000. Resolución Jefatural N.° 089-2011/IGN/JEF/OGA.10 de junio de 2011 (Lima-Perú). https://www.gob.pe/institucion/ign/informes-publicaciones/543938-normas-tecnicas-especificaciones-tecnicas-para-la-produccion-de-mapas-topograficos-a-escala-de-1-1-000

Instituto Geográfico Nacional – IGN (2015). *Norma técnica para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema satelital de navegación global*. Resolución Jefatural N.° 139-2015/IGN/UCCN. 28 de diciembre de 2015 (Lima-Perú). https://www.gob.pe/institucion/ign/informes-publicaciones/543958-norma-tecnica-especificaciones-tecnicas-para-posicionamiento-geodesico-estatico-relativo-con-receptores-del-sistema-satelital-de-navegacion-global

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2000). Estudio de los recursos minerales del Perú, Franja N.° 1, Boletín, Serie B: Geología Económica, 8, 196 p. https://hdl.handle.net/20.500.12544/235

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2000). Mapa geológico del cuadrángulo de Pichacani (33-v) Hoja 33v-III. Lima, Perú. http://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=44417

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2000). Memoria explicativa de la revisión geológica del cuadrángulo de Huaitire (34-v) [Escala 1:50 000]. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2039

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2000). Memoria descriptiva de la geología del cuadrángulo de Omate (34-u) [Escala 1:50 000]. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2045

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2001). Memoria explicativa de la revisión geológica del cuadrángulo de Ichuña (33-u) [Escala 1:50 000]. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2040

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2013). *Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100 000*. https://www.academia.edu/40102891/Manual_de_estandares_para_la_digitalizacion_de_los_mapas_geologicos_CGN_a_escala_1_100_00020190816_11388_ap8zju

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2013). *Manual de inventario de recursos minerales*. https://hdl.handle.net/20.500.12544/1267

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2020). Hidrogeología de la cuenca del río Tambo (1318) regiones Arequipa, Moquegua y Puno - [Boletín H 7]. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2573

International Union for Conservation of Nature – IUCN. (1 de noviembre 2020). *The IUCN Red List of Threatened Species*. *Version 2020-2.* https://www.iucnredlist.org

Jacinto, M. y Aguilar, S. (2007). Concentraciones traza de metales en especies marinas de la bahía de Huarmey, Ancash, Perú. *Revista Peruana de Biología*, *14*(2), 307-312. https://doi.org/10.15381/rpb.v14i2.1830

Jacobs, J., Lehr, J. y Testa, S. (Eds.). (2014). *Acid Mine Drainage, Rock Drainage, and Acid Sulfate Soils*. John Wiley y Sons, Inc. https://doi.org/10.1002/9781118749197

Jakimska, A., Konieczka, P., Skóra, K., y Namieśnik, J. (2011). Bioaccumulation of Metals in Tissues of Marine Animals, Part I: the Role and Impact of Heavy Metals on Organisms. *Polish Journal of Environmental Studies, 20*(5) 1117-1125. http://www.pjoes.com/Bioaccumulation-of-Metals-in-Tissues-r-nof-Marine-Animals-Part-I-the-Role-and-Impact,88659,0,2.html#

Jensen, J.R. (2015). *Introductory Digital Image Processing*: A Remote Sensing Perspective (4th ed.). Pearson series in Geographic information science. University of South Carolina.

Jerez, V. y Moroni, J. (2006). Diversidad de coleópteros acuáticos en Chile. *Gayana, 70*(1), 72-8. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382006000100012

Jiménez-Valverde, A. y Hortal, J. (2003). Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología, 8*(31), 151-161. http://sea-entomologia.org/PDF/RIA_8/R08-024-151.pdf.

Jones, C., McShea, W., Conroy, M. y Kunz, T. (1996). Capturing Mammals. En D. Wilson, F. Russell, J. Nichols, R. Rudran y M. Foster (Eds.), *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Mammals* (pp. 115-155). https://www.smithsonianbooks.com/store/science-nature/measuring-monitoring-biological-diversity-stan/.

Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos, 113*(2), 363-375. https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x

Jost, L. (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology, 88*(10), 2427–2439. https://doi.org/10.1890/06-1736.1

Kawandrans, J. (2007). *Diatom Monographs:* Vol. 9. Diversiy and ecology of benthic diatom communities in relation to acidity, acidification and recovery of lakes and rivers. A.R.G. *Gantner* Verlag K.G.

Kim H., y Kim Y. (2020). Schwertmannite transformation to goethite and the related mobility of trace metals in acid mine drainage. *Chemosphere*, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128720.

Kim, Y. (2015). Mineral phases and mobility of trace metals in white aluminum precipitates found in acid mine drainage. *Chemosphere, 119*(1), 803-811. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.034

Kolf-Clauw, M., Guénin, A. y Pérez, M. (2007). Micromamíferos y metales pesados: Biomonitorización del medio ambiente. *Observatorio Medioambiental, 10*, 19-38. https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0707110019A

Krammer**, K. (2000).** ***Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats*****: Vol. 1. The genus *Pinnularia*.** A.R.G. Gantner Verlag K.G**.**

Krebs, C. (1989). *Ecological Methodology* (2.ª ed.). Addison Wesley.

Lambert, A. (2006). *Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto*. https://www.mineriadelibrosycursos.com/2019/10/manual-de-muestreo-para-exploracion.html

Lasat, M. M. (2000). T*he use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soils*. US. Environmental.Protection.Agency - EPA. https://play.google.com/store/books/details?id=jdIkM1lm5aEC&rdid=book-jdIkM1lm5aEC&rdot=1

Lehmann, G. (1975). *Fotogrametría*. Google Books. Editores técnicos asociados S.A. https://books.google.com.pe/books?id=LrHda8Nw4QUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Leonzio, C., Bianchi, N., Gustin, M., Sorace, A. y Ancora, S. (2009). Mercury, lead and copper in feathers and excreta of small passerine species in relation to foraging guilds and age of feathers. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, *83*(5), 693-697. https://doi.org/10.1007/s00128-009-9789-2

Ley N.° 30740. Ley que regula el uso y las operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS). Presidencia de Congreso de la República (21 de marzo de 2018). https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/355491-30740-ley-que-regula-el-uso-y-las-operaciones-de-los-sistemas-de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas

Linder, G. y Grillitsch, B. (2000). Ecotoxicology of metals. En D. Sparling, G. Linder, C. Bishop, S. Krest (Eds.), *Ecotoxicology of amphibians and reptiles* (1ª ed.).

Lisle, R., Brabham, P. y Barnes, J. (2011). *Basic Geological Mapping* (4ª ed.) The geological field guide series. http://www.science.earthjay.com/instruction/HSU/2016_spring/GEOL_335/Basic_Geological_Mapping.pdf

Lisle, R.J. (2004). *Geological Structures and Maps. A practical guide* (3ª ed.) https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-5780-8.X5000-9

Loayza-Muro, R., Elías-Letts, R., Marticorena-Ruíz, J., Palomino, E., Duivenvoorden, J., Kraak, M. y Admiraal, W. (2010). Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in andean high altitude streams. *Environmental Toxicology and Chemistry, 29*(12), 2761–2768. https://doi.org/10.1002/etc.327

Lottermoser, B. (2010). Mine Wastes. Characterization, Treatment and Environmental Impacts (3ª ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-540-48630-5

Louhaichi, M., Borman, M.M., y Johnson, D.E. (2001). Spatially Located Platform and Aerial Photography for Documentation of Grazing Impacts on Wheat. *Geocarto International*, *16*(1), 65-70. https://doi.org/10.1080/10106040108542184

Luo, C., Routh, J., Dario, M., Sarkar, S., Wei, L., Luo, D. y Liu, Y. (2020). Distribution and mobilization of heavy metals at an acid mine drainage affected region in South China, a post-remediation study. *Science of the Total Environment, 724*(2020), 138-122. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138122

Madero, A. y Marrugo, J. (2011). Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los rios Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, *16*(1), 2391-2401. https://doi.org/10.21897/rmvz.298

Madueño, R., Pineda, T., Sevilla, J. M., y Blázquez, M. (2004). *Estudio electroquímico de monocapas de 6-mercaptopurina sobre mercurio y substratos de Au*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Córdoba]. https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/414/13208032.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0

Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. (1ª ed.). Wiley-Blackwell.

Mallén, G. (2013). Impacto de aguas termales volcanogénicas en la química del Río Ichuña/ Río Tambo (Moquegua y Arequipa) en época seca. *PeruMin 2013*. http://www.convencionminera.com/perumin31/images/perumin/mencion-honrosa/tt-720.pdf

Manjula, M., Mohanraj, R. y Devi, M. (2015). Biomonitoring of heavy metals in feathers of eleven common bird species in urban and rural environments of Tiruchirappalli, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, *187*(5), 267. https://doi.org/10.1007/s10661-015-4502-x

Manzanilla, J. y Péfaur, J. (2000). Consideraciones sobre métodos y técnicas de campo para el estudio de anfibios y reptiles. *Revista de Ecología Latinoamericana, 7*(1-2), 17-30.

Mariño, E. y García, R. (2018). *Apuntes sobre Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica.* Consejo Hídrico Federal (COHIFE) de la Republica de Argentina. Disponible en: http://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf.

Martin, C. W. (2000). *Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn*, Germany. Catena, 39(1), 53-68. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00080-6

Martínez, A. (1998). Interpretación Ambiental de datos hidroquímicos de la laguna continental de Castiñeiras. *Geographicalia, 36*,101-109.

McLean, R. (1974) The tolerance of *Stigeoclonium tenue* Kütz. To heavy metals in South Wales, *British Phycological Journal,* *9*(1), 91-95. https://doi.org/10.1080/00071617400650111

Merritt, R., Cummins, K. y Berg, M. (Eds.). (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America*. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.

Mifflin, M. (1968). Delineation of ground-water flow systems in Nevada [Tesis de Doctorado, University of Nevada]. http://hdl.handle.net/11714/1519.

Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI y Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2018). *Aprueban los lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación Silvestre. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre*. Resolución de Dirección Ejecutiva N.º 083-2018-MINAGRI-SERFOR-DE. 27 de abril de 2018 (Lima- Perú). https://www.gob.pe/institucion/serfor/informes-publicaciones/1124184-lineamientos-para-la-restauracion-de-ecosistemas-forestales-y-otros-ecosistemas-de-vegetacion-silvestre

Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI y Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR (2019). Aprueban los lineamientos para establecer hábitats críticos y sus medidas de conservación. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Resolución de Dirección Ejecutiva N.º 261-2019-MINAGRI-SERFOR-DE. 23 de diciembre de 2019 (Lima-Perú). https://www.serfor.gob.pe/portal/lineamientos/lineamientos-para-establecer-habitats-criticos-y-sus-medidas-de-conservacion

Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. (2006). *Aprueban la categorización de especies amenazadas de Flora Silvestre*. Decreto Supremo N.° 043-2006-AG. 13 de julio de 2006 (Lima-Perú). https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-categorizacion-especies-amenazadas-flora-silvestre

Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. (2006). *Aprueban la clasificación oficial de especies de flora silvestre categorizadas como amenazadas*. Decreto Supremo N.° 505-2016-MINAGRI. 29 de setiembre de 2016 (Lima-Perú). https://www.minagri.gob.pe/portal/resoluciones-ministeriales/rm-2016/17356 resolucion-ministerial-n-505-2016-minagri

Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI. (2014). Aprueban la actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas. Decreto Supremo N.° 004-2014-MINAGRI. 24 de abril de 2014 (Lima-Perú). http://minagri.gob.pe/portal/decreto-supremo/ds-2014/10837-decreto-supremo-n-004-2014-minagri

Ministerio de Energía y Minas – MINEM (1994). *Protocolo de monitoreo de calidad de agua*. Resolución Directoral N. º 004-94-EM/DGAA. 02 de marzo de 1994 (Lima-Perú). http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/procaliagua.PDF

Ministerio de Energía y Minas - MINEM (2009). *Guía ambiental para manejo de drenaje ácido de mina*. http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/manedrenaje.pdf

Ministerio de la Presidencia, España. (2003). Real Decreto 465/2003 que regula las sustancias indeseables en los productos destinados a la alimentación animal y los niveles máximos tolerados de sustancias indeseables en aquellos, a fin de proteger la salud humana, la sanidad animal y el medio ambiente. 25 de abril de 2003 (España). https://www.boe.es/eli/es/rd/2003/04/25/465/con

Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC (2015). *Aprueba el texto de la Norma Técnica Complementaria denominada «Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia».* Resolución Directoral N.° 501-2015-MTC/12. 03 de noviembre de 2015 (Lima-Perú). https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/321488-ntc-001-2015-requisitos-para-las-operaciones-de-sistemas-de-aeronaves-pilotadas-a-distancia

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2010). Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. Decreto Supremo N.° 010-2010-MINAM. 20 de agosto de 2020 (Lima – Perú). https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-descarga-efluentes-liquidos

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2014). Guía para muestreo de suelos y Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos. Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM. 31 de marzo de 2014 (Lima-Perú). http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-085-2014-minam/

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/M%c3%a9todos-de-Colecta-identificaci%c3%b3n-y-an%c3%a1lisis-de-comunidades-biol%c3%b3gicas.compressed.pdf

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación.* Resolución Ministerial N°059-2015-MINAM. 21 de marzo de 2015 (Lima, Perú). http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-059-2015-minam/

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2015). *Guía de inventario de la fauna silvestre.* Resolución Ministerial N°057-2015-MINAM. 21 de marzo de 2015 (Lima, Perú). http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-ministerial-n-057-2015-minam-2/

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2015). *Manual de lineamientos y procedimientos para la elaboración y evaluación de «Informes de Identificación de Sitios Contaminados».* Decreto Supremo N.°002-2013-MINAM y Decreto Supremo. N.°002-2014-MINAM. Noviembre de 2015 (Lima-Perú). https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/MANUAL-DE-LINEAMIENTOS-Y-PROCEDIMIENTOS-ELABORACION-DE-IISC.pdf

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2016). *Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: muestreo de aguas subterráneas*. Setiembre 2016 (Lima – Perú). https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-buenas-practicas-investigacion-sitios-contaminados-muestreo

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2017). *Criterios para la gestión de sitios contaminados*. Decreto Supremo N.° 012-2017-MINAM. 2 de diciembre de 2020 (Lima-Perú). https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-criterios-gestion-sitios-contaminados

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. 06 de

junio de 2017 (Lima-Perú). https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental para Suelo.* Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. 02 de diciembre de 2017 (Lima-Perú). https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2018). *Guía para la elaboración de la Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental – SEIA*. Resolución Ministerial N° 455-2018-MINAM. 31 de diciembre de 2018 (Lima-Perú). https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2683-guia-de-inventario-de-la-flora-y-vegetacion

Ministerio del Ambiente – MINAM. (2018). Mapa Nacional de Ecosistemas. Resolución Ministerial N.° 440-2018-MINAM. 20 de diciembre de 2018 (Lima-Perú). https://www.minam.gob.pe/ordenamientoterritorial/2018/12/26/resolucion-ministerial-n-440-2018-minam/

Miteva, E. (2002). *Accumulation and effect of arsenic on tomatoes*. Com Soil Scie Plant An, 33, 1917-1926. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/CSS-120004832?journalCode=lcss20

Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad* (1.ª ed., Vol. 1). M&T-Manuales y Tesis SEA. http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf

Moreno, C., Barragán, F., Pineda, E., Pavón, N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 82*(4) 1249-1261. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.745

Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de manejo forestal sostenible (BOLFOR) Santa Cruz-Bolivia: Editora El País. http://www.bio-nica.info/biblioteca/mostacedo2000ecologiavegetal.pdf

Müller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal, 2*(1), 108-118.

Nava-Ruíz, C. y Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, *16*(3), 140-147. https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=32546

Navas, C. y Otani, L. (2007). Physiology, environmental change, and anuran conservation. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, *6*(2), 83. https://doi.org/10.11606/issn.2316-9079.v6i2p83-103

Nystroem, G., Ottosen, L. y Villumsen, A. (2005). Electrodialytic removal of Cu, Zn, Pb, and Cd from harbor sediment: influence of changing experimental conditions. *Environmental Science y Technology, 39*(1), 2906-2911. https://doi.org/10.1021/es048930w

Pacheco, C.E. y Pozzobon, E.N. (2006). *Fotogrametría y fotointerpretación*, Manual de ejercicios de laboratorio. (1ª Ed). Universidad de los Andes.

http://www.serbi.ula.ve/serbiula/librose/pva/Libros%20de%20PVA%20para%20libro%20digital/Manual%20fotogrametria.pdf

Pacheco, V., Cadenillas, R., Salas, E., Tello, C. y Zeballos, H. (2009). Diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú. *Revista peruana de biología*, *16*(1), 5-32. https://doi.org/10.15381/rpb.v16i1.111

Paggi, A. (1999). Los Chironomidae como indicadores de calidad de ambientes dulceacuícolas. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 58*(1-2), 202-207. https://www.researchgate.net/publication/287493777_Los_Chironomidae_como_indicadores_de_calidad_de_ambientes_dulceacuicolas

Panizza, M. (1996). *Environmental geomorphology*. Developments in Earth Surface Processes. Elsevier Science.

Parra, E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *Revista CES Salud Pública, 5*(1), 59-69. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4804774

Patar, A., Giri, A., Boro, F., Bhuyan, K., Singha, U. y Giri, S. (2016). Cadmium pollution and amphibians-Studies in tadpoles of Rana limnocharis. *Chemosphere*, *144*, 1043-1049. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.088

Patton, J., Pardiñas, U. y D'Elia, G. (2015). *Mammals of South America. Rodents* (Vol. 2). University of Chicago Press. https://doi.org/10.1093/jmammal/gyv164

Pavé, P. y Marchese, M. (2005). Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina). *Ecología Austral, 15*, 183-197. https://www.researchgate.net/publication/228868716_Invertebrados_bentonicos_como_Indicadores_de_calidad_del_agua_en_rios_urbanos_Parana-Entre_Rios_Argentina

Peijnenburg, W. J., Zablotskaja, M., y Vijver, M. G. (2007). Monitoring metals in terrestrial environments within a bioavailability framework and a focus on soil extraction. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *67*(1), 163 - 179. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.02.008

Perez de Coll, C. (1994). *Efectos de los metales pesados en Bufo arenarum* [Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires]. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2633_PerezdeColl.pdf

Peters, J. y Donoso-Barros, R. (1970). Catalogue of the Neotropical Squamata. Part. II: Lizards and Amphisbaenians (297th ed.). *Bulletin of the United States National Museum*, 1-293. https://doi.org/10.5479/si.03629236.297.1

Pielou, E. (1975). *Ecologycal Diversity*. John Wiley & Sons, New York. 165 pp. https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.1.0174b

Piras, M., Taddia, G., Forno, M., Gattiglio, M., Aicardi, I., Dabove, P., Lo Russo, S. y Lingua, A. (2017). *Detailed geological mapping in mountain áreas using an unmanned aerial vehicle: application to the Rodoretto Valley, NW Italian Alps*. Geomatics, Natural Hazards and Risk https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1225228

Plenge, M. (2020). *List of the birds of Peru / Lista de las Aves de Perú*. Unión de Ornitólogos del Perú. Recuperado el 1 de noviembre de 2020 de https://sites.google.com/site/boletinunop/checklist

Poschenrieder, C., Gunsé, B. y Barceló, J. 1989. *Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance, and abscisic acid content in expanding bean leaves*. Plant Physiology 90:1365-1371. http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/90/4/1365.full.pdf

Prieto, J., González, C. A., Román, A. D., y Prieto, F. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(1):29-44. https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf

Pritchard, G. (1996). The life history of a tropical dragonfly: Cora marina (Odonata: Polythoridae) in Guanacaste, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology, 12*, 573-581. https://doi.org/10.1017/S0266467400009792

R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

Rabago, I. (2011). *Capacidad de amortiguación de la contaminación por Plomo y Cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid, España]. https://eprints.ucm.es/12511/1/T32805.pdf

Ralph, C, Geupel, G, Pyle, T, Martin, T, De Sante, D. y Milá, B. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres.* Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. https://doi.org/10.2737/PSW-GTR-159

Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina, 63*(1), 51-64. https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477

Ramírez, A. y Gutiérrez-Fonseca, P. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: A critical analysis and review of existing literature. *Revista de Biología Tropical, 62*(2), 155-167. https://doi.org/10.15517/RBT.V62I0.15785

Rekha, V. (2013). *A comparative study of the hydrological scenario of Peruvanthanam sub watershed and Valiyathodu sub watershed of Manimala River basin, Kerala, South India.* [Tesis de Doctorado, Mahatma Gandhi University]. http://www.mgutheses.in/page/?q=T%203749&search=&page=1&rad=#1.

Remsen, J., Areta, J., Bonaccorso, E., Claramunt, S. Jaramillo, A., Pacheco, J., Robbins, M., Stiles, F. y Zimmer, K. (16 de diciembre de 2020). *Una clasificación de las especies de aves de América del Sur. Sociedad Ornitológica Estadounidense*. American Ornithological Society. http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm

Reynaga, M. (2009). Hábitos alimentarios de larvas de Trichoptera (Insecta) de una cuenca subtropical. *Ecología Austral, 19*, 207-214. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/78120

Ríos-Touma, B., Acosta, R. y 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*(2), 249-273. https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15791

Roa-Fuentes, C. y Pérez-Mayorga, M. (2018). Modificación de ambientes lóticos para la extracción de carbón a cielo abierto: efectos sobre la biota y recomendaciones. *Acta Biológica Colombiana, 23*(1), 17-29. https://doi.org/10.15446/abc.v23n1.61574

Rodríguez, L., Córdova, J. y Icochea, J. (1993). Lista preliminar de los anfibios del Perú. *Publicaciones Del Museo de Historia Natural, UNMSM (A)-Zoología*, *45*, 1-22. https://museohn.unmsm.edu.pe/pub_zoo.html

Rudnick, R. y Gao, S. (2014). Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, 3, 1-64. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6

Rusydi, A. (2018). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *118*, 012019. https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019.

Sabater, S., Buchaca, T., Cambra, J., Catalan, J., Guasch, H., Ivorra, N., Muñoz, I., Navarro, E., Real, M. y Romaní, A. (2003). Structure and function of benthic algal communities in an extremely acid river. *Journal of Phycology*, *39*(3), 481–489. https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2003.02104.x

Sadeque, F., Killham K. y Alexander I. (2006). *Influences of arbuscular fungus Glomus mosseae on growth and nutrition of lentil irrigated with arsenic contaminated water*. *Plant Soil, 283*(1), 33-41. https://doi.org/10.1007/s11104-005-0415-8

Sánchez, A., Reigosa, M.J. y Pedrol, N. (2003). *La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis internacional*. THOMSON - Paraninfo SA Editores.

Sandalio, L., Dalurzo, H., Gómez, M., Romero-Puertas, M. y del Río, L. (2001). Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of Experimental Botany, 52*(364), 2115-2126. https://doi.org/10.1093/jexbot/52.364.2115

Schmiermund, R. y Drozd, M. (1997). Acid mine drainage and other mining-influenced waters (MIW). In: Marcus, J. (Ed.), *Mining Environmental Handbook: Effects of Mining on the Environment and American Environmental Controls on Mining*. Imperial College Press, London, pp. 599 - 617. https://doi.org/10.1016/C2014-0-05144-1

Schulenberg, T., Stotz, D., Lane, D., O'Neill, J. y Parker III, T. (2010). *Aves de Perú.* Centro de Ornitología y Biodiversidad (CORBIDI). https://www.corbidi.org/publicaciones.html

Servicio Geológico Colombiano - Ingeominas (2001). *Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos*.

Servicio Nacional de Geología y Minería - SERNAGEOMIN. (2015). *Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras*.https://www.sernageomin.cl/wp-ontent/uploads/2017/11/GuiaMetodologicaQuimica.pdf

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2016). *Manual de Hidrometría, Hidrología – De la medición a la información hidrológica. Vol I.* 6a ed. Ginebra – Suiza. https://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/guide/spanish/168_Vol_I_es.pdf

Servicio Nacional de Sanidad Agraria - SENASA. (2008). *Procedimiento: Recolección y envío de especimenes/muestras, y exámenes solicitados al laboratorio*. PROC-UCDSA-06. https://www.senasa.gob.pe/senasa/descargasarchivos/2014/12/PRO-UCDSA-06-Recoleccion-y-envio-de-especimenes.pdf

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR. (2018). *Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú* (1ª ed.). https://www.serfor.gob.pe/portal/libro-rojo-de-la-fauna-silvestre-amenazada-del-peru

Shaibur, M., Kitajima, N., Sugawara, R., Kondo, T., Alam, S., Imamul, S. y Kawai, S. (2008). Critical toxicity of arsenic and elemental composition of arsenic induced chlorosis in hydroponic Sorghum. *Water Air Soil Pollution, 191*(1), 279-292. https://doi.org/10.1007/s11270-008-9624-0

Shri, M., Kumar, S., Chakrabarty, D., Trivedi, P. K., Mallick, S., Misra, P., Shukla, D., Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R. & Tuli, R. (2009). Effect of arsenic on growth, oxidative stress, and antioxidant system in rice seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 72*(4), 1102-1110. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.09.022

Sikes, R., Bryan II, J., Byman, D., Danielson, B., Eggleston, J., Gannon, M., Gannon, W., Hale, D., Jesmer, B., Odell, D., Olson, L., Stevens, R., Thompson, T., Timm, R., Trewhitt, S. y Willoughby, J. (2016). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *Journal of Mammalogy, 97*(3) 663-688. https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw078

Silva, F., Fdez-Ortiz, S., Martinez-Arkarazo, I., Castro, K., Oliveira, M., Sampaio, C., Brum, I., Leão, F., Taffarel, S., y Madariaga, J. (2013). Study of environmental pollution and mineralogical characterizacion of sediment rivers from Brazilian coal mining acid drainage. *Science of the Total Environmental, 447*, 169-178. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.013

Silva, J., Navoni, J. y Freire, E. (2020). Lizards as model organisms to evaluate environmental contamination and biomonitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(7), 1-13. https://doi.org/10.1007/s10661-020-08435-7

Singh, P. y Tewari, R. (2003). Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of Brassica juncea L. plants. *Journal of Environmental Biology, 24*(1),107-112. https://www.researchgate.net/publication/10568114_Cadmium_toxicity_induced_changes_in_plant_water_relations_and_oxidative_metabolism_of_Brassica_juncea_L_plants

Singh, R., Gautam, N., Mishra, A. y Gupta, R. (2011). Heavy metals and living systems: An overview. *Indian Journal of Pharmacology, 43*(3), 246-253. https://doi.org/10.4103/0253-7613.81505

Smith, A., Hudson-Edwards, K., Dubbin, W. y Wright, K. (2006). Dissolution of jarosite [KFe3(SO4)2 (OH)6] at pH 2 and 8: insights from batch experiments and computational modelling. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 70*(3), 608-621. https://doi.org/10.1016/j.gca.2005.09.024

Sokal, R. y Michener, C. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Science Bulletin, 38*, 1409-1448.

Stattersfield, A., Crosby, M., Long, A., Wege, D. y Andrew, P. (1998). *Endemic bird areas of the world: priorities for biodiversity conservation* (1ª ed.). BirdLife International.

Stebbins, R. y Cohen, N. (1997). *A natural history of amphibians*. Princeton University Press.

Stevens, A., McCarthy, B. y Vis, M. (2001). Metal Content of Klebsormidium-Dominated (Chlorophyta) Algal Mats from Acid Mine Drainage Waters in Southeastern Ohio. *The Journal of the Torrey Botanical Society, 128*(3), 226-233. https://doi.org/10.2307/3088714

Stiff Jr, H. (1951). The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of Petroleum Technology*, *192*, 376-379. https://doi.org/10.2118/951376-G.

Stotz, D., Fitzpatrick, J., Parker III, T. y Moskovits, D. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*. University of Chicago Press.

Stuart, S., Hoffmann, M., Chanson, J., Cox, N., Berridge, R., Ramani, P. y Young, B. (2008). *Threatened Amphibians of the World*. Lynx Edicions, Barcelona, Spain; IUCN, Gland, Switzerland; and Conservation International, Arlington, Virginia, USA.

Takamura, N., Kasai, F. y Watanabe, M. (1989). Effects of Cu, Cd and Zn on photosynthesis of freshwater benthic algae. *Journal of Applied Phycology, 1*, 39-52. https://doi.org/10.1007/BF00003534

Talloen, W., Lens, L., Van Dongen, S. y Matthysen, E. (2008). Feather development under environmental stress: lead exposure effects on growth patterns in Great Tits Parus major. *Bird study*, *55*(1), 108-117. https://doi.org/10.1080/00063650809461511

Tangahu, B., Sheikh Abdullah, S., Basri, H., Idris, M., Anuar, N. y Mukhlisin, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering, 2011*. https://doi.org/10.1155/2011/939161

The Convention on Migratory Species – CMS. (1 de noviembre 2020). *Convention on Migratory Species. Appendices I and II*. http://www.cms.int/en/page/appendix-i-ii-cms

Thornber, M. (1985). Supergene alteration of sulphides, VII: distribution of elements during the gossan-forming process. *Chemical Geology, 53*(3-4), 279-301. https://doi.org/10.1016/0009-2541(85)90075-0

Tirado, L., González-Martínez, F., Martínez, L., Wilches, L. y Celedón-Suárez, J. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. *Revista Nacional De Odontología*, *11*(21), 83-99. https://doi.org/10.16925/od.v11i21.895

Torres-Rivera, S., Ramos-Leal, J., Moran-Ramírez, J., Torres-Hernández, J., Padilla-Sánchez, L., Carranco-Lozada, S. y García-Arreola, M. (2019). Hydrogeochemical characterization and quantification of the groundwater mixture in a hydrogeological basin of the middle zone of San Luis Potosí. *Geofísica Internacional*, *58*(4), 247-258. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7104682

Uetz, P., Freed, P. y Hošek, J. (2020). *The Reptile Database*. Recuperado el 01 de noviembre de 2020 de http://www.reptile-database.org

United States Geological Survey – USGS (2006). *FGDC Digital Cartographic Standard for Geological Map Symbolization*. Federal Geographic Data Committee. https://ngmdb.usgs.gov/fgdc_gds/geolsymstd/fgdc-geolsym-all.pdf

United States Geological Survey - USGS. (1994). *Guidelines for collecting and processing samples of stream bed sediment for analysis of trace elements and organic contaminants for*

the National Water-Quality Assessment Program. By Shelton, L.R. y Capel, P.D. https://pubs.usgs.gov/of/1994/0458/report.pdf

United States Geological Survey - USGS. (2015). *National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data*. Book 9 Handbooks for Water-Resources Investigations. https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/national-field-manual-collection-water-quality-data-nfm?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

Valente, T. y Gomes, C. (2007). The role of two acidophilic algae as ecological indicators of acid mine drainage sites. *Journal of Iberian Geology*, *33*(2), 283–294. https://doi.org/10.5209/JIGE.33916

Verb, R. y Vis, M. (2001). Macroalgal communities from an acid mine drainage impacted watershed. *Aquatic Botany, 71*(2), 93-107. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00184-X

Verb, R. y Vis, M. (2005). Periphyton Assemblages as Bioindicators of Mine-Drainage in Unglaciated Western Allegheny Plateau Lotic Systems. *Water, Air, y Soil Pollution*, *161*(1-4), 227-265. https://doi.org/10.1007/s11270-005-4285-8

Vitt, L., Caldwell, J., Wilbur, H. y Smith, D. (1990). Amphibians as harbingers of decay. *BioScience*, *40*(6), 418-418.https://doi.org/10.1093/bioscience/40.6.418

Voss, R. y Emmons, L. (1996). *Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforest: A preliminary assessment*. New York: Bulletin of the American Museum of Natural History. http://hdl.handle.net/2246/1671

Walton, N. (1989). Electrical Conductivity and total dissolved solids-what is their precise relationship?. *Desalination*, *72*(3), 275-292. https://doi.org/10.1016/0011-9164(89)80012-8.

Wang, H., Bigham, J. y Tuovinen, O. (2007). Oxidation of marcasite and pyrite by iron-oxidizing bacteria and archaea. *Hydrometallurgy*, 88(1-4), 127-131. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2007.03.010

Watson, A., Fitzgerald, A., Damián, O. y Elías, R. (2017). Habitat characterization, occupancy and detection probability of the Endangered and endemic Junín giant frog Telmatobius macrostomus. *Endangered species research*, *32*(1), 429-436. https://doi.org/10.3354/esr00821

Weber, A., Horst, R., Barbier, G. y Oesterhelt, C. (2007). Metabolism and metabolomics of eukaryotes living under extreme conditions. *International review of cytology*, *256*, 1-34. https://doi.org/10.1016/S0074-7696(07)56001-8

Weiner, E. (2013). *Applications of Environmental Aquatic Chemistry*. 3rd edition. CRC Press.

Williams, M., Ramos, D., Butrón, A., Gonzales-Zúñiga, S., Ortiz, N. y La Torre, B. (2010). Concentraciones de metales pesados en murciélagos del Lodge «Cock of the Rocks» y alrededores, Kosñipata, Cuzco, Perú. *Ecología Aplicada*, *9*(2), 133-139. http://doi.org/10.21704/rea.v9i1-2.403

Yaqin, J., Feng, Y., Jianhui, W., Tan, Z., Zhipeng, B., y Chiging, D. (2008). Using geoaccumulation index to study source profiles of soil dust in China. *Journal of Environmental Sciences, 20*(1), 571–578. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62096-3

10. ANEXOS

Anexo 1: Mapas de puntos de muestreo

Anexo 2: Reportes de campo

Anexo 2.1: RC-044-2020-STEC

Anexo 2.2: RC-058-2020-STEC

Anexo 3: Reportes de resultado

Anexo 3.1: RRE-046-2020-STEC

Anexo 3.2: RRE-047-2020-STEC

Anexo 4: Instrumentos de gestión ambiental de la UF Florencia -Tucari

Anexo 5: Denuncias ambientales en contra de la UF Florencia -Tucari

Anexo 6: Medidas administrativas distadas por la DSEM en contra de la UF Florencia -Tucari

Anexo 7: Intervenciones de la Autoridad Nacional del Agua en la UH Colaraque

Anexo 8: Control de calidad e hidroquímica

Anexo 9: Balance de masas - Carga contaminante

Anexo 10: Informe de nivel de fondo

Anexo 11: Registro históricos de la calidad de agua en UH Colaraque

Anexo 12: Memorando de Derivación de las Actas de supervisión

Anexo 13: Videos (suelo)

Anexo 14. Ortomosaicos

Anexo 15: Imágenes satelitales

Anexo 16: Reporte de vuelos