



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»



**DETALLE DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL DE CAUSALIDAD EN EL ÁREA
DE INFLUENCIA DE LA UNIDAD MINERA CORIHUARMI, ADMINISTRADA
POR MINERA IRL S.A., EN EL 2023**

**SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTIFICA
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

2023



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

ÍNDICE DEL CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	OBJETIVOS	3
3.1.	Objetivo general	3
3.2.	Objetivos específicos	3
4.	ÁREA DE ESTUDIO	3
4.1.	Climatología/geología regional	4
4.2.	Contexto social	4
5.	METODOLOGÍA	5
5.1.	Agua superficial	6
5.1.1.	Guías utilizadas para la evaluación	6
5.1.2.	Ubicación de puntos de muestreo	7
5.1.3.	Parámetros y métodos de análisis	10
5.1.4.	Equipos utilizados	12
5.1.5.	Aseguramiento de la calidad	12
5.1.6.	Procesamiento de datos	13
5.1.7.	Criterios de evaluación	14
5.2.	Agua subterránea	15
5.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación	15
5.2.2.	Ubicación de puntos	15
5.2.3.	Parámetros y métodos de análisis	17
5.2.4.	Equipos utilizados	18
5.2.5.	Aseguramiento de la calidad	18
5.2.6.	Procesamiento de datos	18
5.2.7.	Criterios de evaluación	19
5.3.	Agua residual industrial y efluente minero	20
5.3.1.	Guías utilizadas para la evaluación	20
5.3.2.	Ubicación de puntos de muestreo	20
5.3.3.	Parámetros y métodos de análisis	23
5.3.4.	Equipamiento utilizado	24
5.3.5.	Aseguramiento de la calidad	25
5.3.6.	Procesamiento de datos	25
5.3.7.	Criterios de evaluación	25
5.4.	Sedimento	25



5.4.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	26
5.4.2.	Ubicación de puntos	26
5.4.3.	Parámetros y métodos de análisis	28
5.4.4.	Equipos utilizados.....	29
5.4.5.	Aseguramiento de la calidad	30
5.4.6.	Procesamiento de datos.....	30
5.4.7.	Criterios de evaluación	31
5.5.	Comunidades hidrobiológicas.....	31
5.5.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	32
5.5.2.	Ubicación de puntos de muestreo.....	32
5.5.3.	Parámetros y métodos de análisis	33
5.5.4.	Equipos utilizados.....	34
5.5.5.	Aseguramiento de la calidad	34
5.5.6.	Procesamiento de datos.....	35
5.6.	Caracterización del material de componentes mineros y otros materiales.....	41
5.6.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	42
5.6.2.	Ubicación de puntos de muestreo.....	42
5.6.3.	Parámetros y métodos de análisis	44
5.6.4.	Equipos y herramientas utilizadas.....	45
5.6.5.	Aseguramiento de la calidad	45
5.6.6.	Criterios de evaluación	46
5.7.	Caracterización geológica y litogeoquímica	47
5.7.1.	Guías utilizadas para la caracterización geológica y litogeoquímica	47
5.7.2.	Ubicación de puntos de caracterización geológica y litogeoquímica	48
5.7.3.	Parámetros y métodos de análisis	51
5.7.4.	Equipos utilizados.....	52
5.7.5.	Aseguramiento de la calidad	52
5.7.6.	Criterios de evaluación	52
5.8.	Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)	54
5.8.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	55
5.8.2.	Ubicación de puntos de medición	55
5.8.3.	Parámetros de adquisición	56
5.8.4.	Equipos y materiales utilizados en el estudio	56
5.8.5.	Aseguramiento de la calidad	56
5.8.6.	Procesamiento de datos.....	57
5.8.7.	Criterios para la interpretación de resultados	59



5.9. Suelo	62
5.9.1. Guías utilizadas para la evaluación.....	62
5.9.2. Ubicación de puntos de muestreo de suelo	62
5.9.3. Parámetros y métodos de análisis	64
5.9.4. Equipamiento utilizado	67
5.9.5. Aseguramiento de la calidad	67
5.9.6. Procesamiento de datos.....	67
5.9.7. Criterios de evaluación	70
5.10. Flora silvestre	70
5.10.1. Guías utilizadas para la evaluación.....	70
5.10.2. Ubicación de puntos de muestreo.....	71
5.10.3. Parámetros y métodos de análisis	72
5.10.4. Equipos utilizados.....	73
5.10.5. Tipo de muestreo.....	73
5.10.6. Procesamiento de datos.....	74
a) Composición de especies, riqueza y abundancia.....	74
b) Determinación de especies endémicas, amenazadas y casi amenazadas de flora silvestre	74
c) Análisis multivariado.....	74
d) Prueba de hipótesis (Kruskall – Wallis).....	75
5.10.7. Criterios de evaluación	75
5.11. Fauna silvestre (anfibios y reptiles)	76
5.11.1. Guía utilizada para la evaluación	76
5.11.2. Ubicación de unidades de evaluación.....	76
5.11.3. Métodos de evaluación.....	80
5.11.4. Parámetros de análisis	81
5.11.5. Equipos utilizados.....	82
5.11.6. Aseguramiento de la calidad	82
5.11.7. Procesamiento de datos.....	82
6. RESULTADOS	84
6.1. Objetivo específico 1: Determinar la influencia del botadero de material inadecuado, aguas de contacto y efluente EBMI sobre agua superficial, agua subterránea, sedimento y estado de las comunidades hidrobiológicas en el río Chacote.	84
6.1.1. Agua superficial	84
6.1.1.1 Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008).....	84
6.1.1.2 Comparación con la norma vigente (ECA 2017)	87
6.1.1.3 Hidroquímica.....	90



6.1.2.	Agua subterránea	91
6.1.2.1	Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008).....	91
6.1.2.2	Comparación con la norma vigente (ECA 2017)	94
6.1.2.3	Hidroquímica.....	97
6.1.3.	Sedimento.....	98
6.1.3.1	Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG	98
6.1.3.2	Descripción de los parámetros fisicoquímicos.....	99
6.1.3.3	Disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier.....	101
6.1.3.3	Difracción de rayos X (DRX).....	103
6.1.3.3	Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	103
6.1.4.	Efluente y Agua residual industrial	104
6.1.4.1.	Comparación con los LMP 2010.....	104
6.1.4.2.	Descripción de los resultados de agua residual industrial	104
6.1.4.3.	Hidroquímica	105
6.1.4.	Comunidades hidrobiológicas	107
6.1.4.1.	Perifiton.....	107
6.1.4.2.	Macroinvertebrados bentónicos.....	109
6.1.5.	Componentes mineros	111
6.1.6.	Litogeoquímica	115
6.1.6.1.	Formación Castrovirreyna	117
6.1.6.2.	Formación Caudalosa	119
6.1.6.3.	Depósitos cuaternarios.....	122
6.1.7.	Prospección geofísica	126
6.1.7.1.	Sector 1: Lado noreste del depósito de Toposoil - piezómetro I-06	126
6.2.	Objetivo específico 2: Determinar la influencia del sistema de tratamiento de aguas de contacto del PAD de lixiviación sobre el agua superficial, sedimento y el estado de las comunidades hidrobiológicas en la quebrada Para Para.	134
6.2.1.	Agua superficial	134
6.2.1.1.	Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008).....	134
6.2.1.2	Comparación con la norma vigente (ECA 2017)	136
6.2.1.3	Hidroquímica.....	138
6.2.2.	Sedimento.....	139
6.2.2.1.	Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG.....	139
6.2.2.2.	Descripción de los parámetros fisicoquímicos	139



6.2.2.3.	Disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier	141
6.2.2.4.	Difracción de rayos X (DRX)	142
6.2.2.5.	Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	143
6.2.3.	Efluente y Agua residual industrial	143
6.2.3.1.	Comparación con los LMP 2010.....	143
6.2.3.2.	Descripción de los resultados de agua residual industrial	144
6.2.3.3.	Hidroquímica	145
6.2.4.	Comunidades hidrobiológicas	146
6.2.4.1.	Perifiton.....	146
6.2.4.2.	Macroinvertebrados bentónicos.....	146
6.3.	Objetivo específico 3: Determinar la influencia de los tajos Cayhua y Cayhua Norte, y aguas de contacto sobre el estado <i>del</i> bofedal “Para Para” (suelo - flora), comunidades hidrobiológicas herpetofauna asociada.....	148
6.3.1.	Agua superficial	148
6.3.1.1	Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008).....	148
6.3.1.2	Comparación con la norma vigente (ECA 2017)	150
6.3.1.3	Hidroquímica.....	152
6.3.2.	Agua residual industrial	153
6.3.2.1	Descripción de los resultados de agua residual industrial.....	153
6.3.2.2	Hidroquímica.....	153
6.3.3.	Sedimento.....	154
6.3.3.1	Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG	155
6.3.3.2	Descripción de los parámetros fisicoquímicos.....	155
6.3.3.3	Difracción de rayos X (DRX).....	1
6.3.4.	Comunidades hidrobiológicas	1
6.3.4.1.	Perifiton.....	1
6.3.4.2.	Macroinvertebrados bentónicos.....	3
6.3.5.	Suelo	6
6.3.5.1.	Caracterización y análisis de salinidad del suelo	1
6.3.5.2.	Densidad aparente.....	1
6.3.5.3.	Microbiología del suelo.....	1
6.3.5.4.	Metales	2
6.3.5.5.	Extracción shake flask de metales.....	2
6.3.5.6.	Análisis mineralógico por DRX	3



6.3.5.7.	Análisis mineralógico por MEB.....	4
6.3.6.	Flora Silvestres.....	5
6.3.6.1.	Composición florística.....	5
6.3.6.1.1.	Especies amenazadas, casi amenazadas y endémicas de flora silvestre	7
6.3.4.2.	Tejido vegetal.....	8
6.3.5.	Anfibios y reptiles (fauna silvestre).....	13
6.3.5.1.	Composición, riqueza y abundancia de especies.....	13
6.3.5.2.	Concentración de metales en anfibios.....	15
6.3.6.	Componentes mineros y otros materiales.....	18
6.3.7.	Litogeoquímica.....	24
6.3.7.1.	Formación Caudalosa.....	26
6.3.7.2.	Depósitos cuaternarios.....	29
6.3.8.	Prospección geofísica.....	31
6.3.8.1.	Sector 1: Poza P-04A - lado sur del taller de maquinaria pesada.....	31
6.4.	Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los materiales de los tajos Diana y Scree Slope, aguas de contacto sobre el agua superficial y subterránea, sedimento y estado de las comunidades hidrobiológicas de la quebrada y laguna Coyllorcocha.....	33
6.4.1.	Agua superficial.....	33
6.4.1.1	Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008).....	33
6.4.1.2	Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2017).....	38
6.4.1.3	Hidroquímica.....	42
6.4.2.	Agua subterránea.....	44
6.4.2.1	Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008).....	44
6.4.2.2	Comparación con la norma vigente (ECA 2017).....	47
6.4.2.3	Hidroquímica.....	50
6.4.3.	Sedimento.....	52
6.4.3.1.	Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG.....	52
6.4.3.2.	Descripción de los parámetros fisicoquímicos.....	52
6.4.3.3.	Disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier.....	55
6.4.3.4.	Difracción de rayos X (DRX).....	57
6.4.3.5.	Microscopía electrónica de barrido (MEB).....	58
6.4.4.	Agua residual industrial.....	61
6.4.4.1.	Descripción de los resultados de agua residual industrial.....	61
6.4.4.2.	Hidroquímica.....	61



6.4.5.	Comunidades hidrobiológicas	63
6.4.5.1.	Perifiton.....	63
6.4.5.2.	Macroinvertebrados bentónicos.....	65
6.4.6.	Componentes mineros y otros materiales.....	69
6.4.7.	Litogeoquímica	73
6.4.7.1.	Formación Astobamba	74
6.4.7.2.	Depósito químico - ferricreta	78
6.4.7.3.	Depósito aluvial	79
6.4.8.	Prospección geofísica	81
6.4.8.1.	Sector 1: Subdrenaje del lado suroeste del tajo Diana.....	82
6.4.8.2.	Sector 2: subdrenaje del lado noroeste del tajo Scree Slope.....	85
7.	DISCUSIONES.....	88
7.1.	Zona 1: microcuenca del río Chacote.....	89
7.1.1.	Subzona 1: Ampliación BMI, pozas de tratamiento de aguas de contacto y efluente EBM189	
7.1.2.	Subzona 2: Efluentes del sistema de tratamiento de aguas de contacto del PAD de lixiviación.....	112
7.1.3.	Subzona 3: Taller de maquinas –Bofedal Para Para.....	126
7.1.4.	Subzona 4: Influencia del sistema de tratamiento ST-05 (quebrada y laguna Coyllorcocha).....	173
9.	BIBLIOGRAFÍA	209

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1.	Guías utilizadas para el muestreo de agua superficial	7
Tabla 5.2.	Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial.....	9
Tabla 5.3.	Parámetros evaluados y métodos de análisis en agua superficial	10
Tabla 5.4.	Parámetros evaluados por punto muestreado en agua superficial.....	11
Tabla 5.5.	Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica.....	12
Tabla 5.6.	Guías utilizadas para el muestreo de agua subterránea	15
Tabla 5.7.	Ubicación de los puntos de muestreo de agua subterránea.....	17
Tabla 5.8.	Parámetros evaluados y métodos de análisis en agua subterránea	17
Tabla 5.9.	Parámetros evaluados por punto muestreado en agua subterránea.....	18
Tabla 5.10.	Guía para el muestreo de efluente y agua residual industrial.....	20



Tabla 5.11. Ubicación de los puntos de muestreo de agua residual industrial y efluente ..	22
Tabla 5.12. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para agua residual industrial y efluente	23
Tabla 5.13. Parámetros evaluados por punto de agua residual industrial y efluente	24
Tabla 5.14. Guía utilizada para muestreo de sedimento.....	26
Tabla 5.15. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento	28
Tabla 5.16. Parámetros evaluados y métodos de análisis para sedimento.....	29
Tabla 5.17. Parámetros evaluados por punto de muestreo para sedimento	29
Tabla 5.18. Guías y protocolos de muestreo para la evaluación de las comunidades hidrobiológicas.....	32
Tabla 5.19. Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas	32
Tabla 5.20. Parámetros evaluados y métodos de análisis para comunidades hidrobiológicas	33
Tabla 5.21. Parámetros evaluados por punto de muestreo para las comunidades hidrobiológicas.....	34
Tabla 5.21. Valoración de la calidad hidromorfológica.....	37
Tabla 5.22. Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI	37
Tabla 5.23. Valoración de la calidad biológica con el índice ABI	39
Tabla 5.24. Escala de calidad ecológica	39
Tabla 5.25. Guía de muestreo para los materiales de componente minero y otros materiales	42
Tabla 5.26. Ubicación de los puntos de muestreo de material de componentes mineros	44
Tabla 5.27. Métodos de análisis de cada parámetro evaluado en componentes mineros y otros materiales.....	44
Tabla 5.28. Parámetros evaluados en material de componentes mineros y otros materiales	45
Tabla 5.29. Criterios de análisis para determinar el potencial de generación de acidez mediante la prueba ABA	46
Tabla 5.30. Guías utilizadas para la caracterización geológica y litogeoquímica.....	47
Tabla 5.31. Ubicación de los puntos de caracterización geológica y litogeoquímica	50
Tabla 5.32. Métodos de análisis de cada parámetro evaluado en la caracterización litogeoquímica	51
Tabla 5.33. Parámetros evaluados en cada punto de caracterización litogeoquímica.....	51
Tabla 5.34. Valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995), Smith y Huyck (1998) para elementos mayores	53
Tabla 5.35. Valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995), Smith y Huyck (1998) para elementos trazas	53
Tabla 5.36. Criterios de análisis para determinar el potencial de generación de acidez mediante la prueba ABA	53
Tabla 5.37. Protocolos de muestreo para el material del depósito de desmonte y agua residual industrial y protocolos para el estudio de prospección geofísica.....	55
Tabla 5.38. Ubicación de las líneas tomográficas en la UM Corihuarmi.....	55
Tabla 5.39. Parámetros de adquisición del estudio de tomografía de resistividad eléctrica	56
Tabla 5.40. Resistividad característica de distintos materiales (Fuente: Reynolds, 2011)	60
Tabla 5.41. Referencias para el muestreo de suelo.....	62
Tabla 5.42. Ubicación de puntos de suelos.....	63
Tabla 5.43. Parámetros evaluados y métodos de ensayo.....	64
Tabla 5.44. Parámetros de caracterización y análisis de salinidad de suelo	65



Tabla 5.45. Cantidad de submuestras por punto (para compósito), número de muestras obtenidas por punto (superficiales y en calicatas) para el análisis de cada parámetro en laboratorio, capas y horizontes y profundidad	66
Tabla 5.46. Guías de referencia para el muestreo de flora.....	71
Tabla 5.47. Ubicación de puntos de muestreo de tejido vegetal	71
Tabla 5.47. Parámetros evaluados y métodos de análisis para tejido vegetal	72
Tabla 5.17. Parámetros evaluados por punto de muestreo para tejido vegetal	72
Tabla 5.49. Valores de comparación para la calidad de tejidos vegetales según el Real Decreto 465/2003.....	75
Tabla 5.50. Guías de referencia para la evaluación de anfibios y reptiles	76
Tabla 5.51. Búsquedas por encuentro visual (VES) para la evaluación de anfibios y reptiles	78
Tabla 5.52. Registros oportunistas de anfibios y reptiles.....	79
Tabla 5.53. Parámetros evaluados, métodos de evaluación y análisis para anfibios y reptiles	81
Tabla 5.54. Parámetros evaluados por búsquedas por encuentro visual (VES) y registros oportunistas para anfibios y reptiles.....	81
Tabla 6.3. Resultados del Balance ácido-base del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) de la subzona 3.....	21
Tabla 6.2. Litología y análisis realizados en las unidades geológicas de la subzona 3.	25
Tabla 6.3. Balance ácido-base de las de la ignimbrita (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.	27
Tabla 6.41. Características de las líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el sector	31
Tabla 6.5. Índices de diversidad alfa de las microalgas.....	65
Tabla 6.6. Índices de diversidad alfa de los macroinvertebrados bentónicos.....	68
Tabla 6.7. Resultados de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado	69
Tabla 6.3. Resultados del Balance ácido-base del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) de la subzona 4.....	71
Tabla 6.2. Litología y análisis realizados en las unidades geológicas de la subzona 4.	73
Tabla 6.3. Balance ácido-base de la brecha volcánica (RC-23-14) de la Formación Astobamba de la subzona 4.....	77
Tabla 6.5. Características de las líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el sector ..	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Área de estudio de la EAC Corihuarmi.....	4
Figura 5.1. Distribución de matrices evaluadas por objetivo específico y zonas	6
Figura 5.2. Distribución de los puntos de muestreo de agua superficial en marzo, abril y mayo 2023	8
Figura 5.3. Vista de los diagramas de: a. Stiff, b. Piper y c. Ficklin	14
Figura 5.4. Distribución de los puntos de muestreo de agua subterránea en abril 2023 ...	16
Figura 5.5. Diagrama de Mifflin	19
Figura 5.6. Distribución de los puntos de muestreo de agua residual y efluente en marzo, abril y mayo 2023	21
Figura 5.7. Distribución de los puntos de muestreo de sedimento en abril y mayo 2023 ..	27



Figura 5.8. Distribución y ubicación de puntos de muestreo de componentes mineros por zonas.	43
Figura 5.9. Distribución y ubicación de puntos de caracterización geológica y litogeoquímica	49
Figura 5.10. Superficies equipotenciales y líneas de corriente asociados para dos electrodos de corriente, dispositivo de adquisición de datos en el método eléctrico. (modificado de Figuerola, C.,1987).....	54
Figura 5.11. Flujo del proceso en el estudio geofísico de tomografía de resistividad eléctrica.	57
Figura 5.12. Pseudosección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-03	57
Figura 5.13. Esquema de procesamiento de datos de tomografía de resistividad eléctrica a) control de calidad y b) secciones de resistividad.....	59
Figura 5.14. Resistividad y conductividad característica de distintos materiales	61
Figura 5.15. Factores geológicos que incrementan o disminuyen la resistividad	61
Figura 5.16. Ubicación de puntos de muestreo en las zonas con posible influencia y ubicación de los puntos blanco o de referencia en el bofedal «Para Para».	64
Figura 6.1. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica y concentraciones de c. sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	85
Figura 6.2. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso, h. níquel y i. zinc. en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	86
Figura 6.3. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica y concentraciones de c. sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	88
Figura 6.4. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso, h. níquel y i. zinc. en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	89
Figura 6.5. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	90
Figura 6.6. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	91
Figura 6.7. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica, c. oxígeno disuelto y concentraciones de d. sulfatos en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	92
Figura 6.8. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso y h. zinc en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	93
Figura 6.9. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica y c. oxígeno disuelto en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	95
Figura 6.10. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso y h. zinc en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	96
Figura 6.11. Diagramas de Stiff de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023.....	97



Figura 6.12. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	97
Figura 6.13. Diagrama de Mifflin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	98
Figura 6.14. Concentraciones de metales en sedimento comparadas con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 1): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico	100
Figura 6.15. Fracciones (%) de metales obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): a) Cd, Co, Cu y Ni, y b) Pb, Zn, Fe y Mn	102
Figura 6.16. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1)	103
Figura 6.17. Análisis mineralógico por MEB en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1)	103
Figura 6.18. Diagramas de Stiff del efluente EBMI y de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	106
Figura 6.19. Diagrama de Ficklin del efluente EBMI y de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	106
Figura 6.20. a) Densidad y b) Riqueza de las microalgas a nivel de phylum taxonómico. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores en tramas representan el tributario	108
Figura 6.21. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores en tramas representan el tributario	110
Figura 6.22. Depósitos antropogénicos identificados en la subzona 1, y puntos de muestreo realizados para la caracterización geoquímica.	112
Figura 6.23. Concentración de elementos mayores y trazas del material de la Ampliación BMI, comparados con los valores de corteza continental.	113
Figura 6.24. Composición mineralógica por difracción de rayos X del material de la Ampliación BMI	114
Figura 6.25. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> del material de la Ampliación BMI.	115
Figura 6.26. Unidades geológicas y puntos de muestreo de roca en la subzona 1.	116
Figura 6.27. Afloramientos de secuencias sedimentarias de la Formación Castrovirreyna en la margen derecha del río Chacote.	117
Figura 6.28. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica de las areniscas y lutitas (RC-23-22) de la Formación Castrovirreyna.	118
Figura 6.29. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> de las areniscas y lutitas (RC-23-22) de la Formación Castrovirreyna.	119
Figura 6.30. Afloramiento de secuencias volcánicas de la Formación Caudalosa en la margen derecha del río Chacote, lado este del BMI.	120
Figura 6.31. Composición mineralógica por microscopía óptica de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa.	121
Figura 6.32. Concentraciones de elementos mayores y trazas de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa de la subzona 1	121



Figura 6.33. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa de la subzona 1.	122
Figura 6.34. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica del depósito coluvial-deluvial (RC-23-27 y RC-23-28) de la subzona 1.	123
Figura 6.35. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> del depósito coluvial-deluvial (RC-23-27 y RC-23-28).	124
Figura 6.36. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica del depósito químico de ferricreta (RC-23-26) de la subzona 1.	125
Figura 6.37. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> del depósito químico - ferricreta (RC-23-26) de la subzona 1.	126
Figura 6.38. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-01	128
Figura 6.39. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-02	129
Figura 6.40. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-03	130
Figura 6.41. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-04	132
Figura 6.42. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-05	132
Figura 6.43. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-06	133
Figura 6.44. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-07	133
Figura 6.45. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-08	134
Figura 6.46. Valores de a. pH, b. sulfatos y concentraciones totales de c. aluminio, d. arsénico, e. cadmio, f. cobalto, g. cobre, h. hierro, i. manganeso y j. zinc en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en marzo y abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	135
Figura 6.47. Valores de a. pH, b. sulfatos y concentraciones totales de c. aluminio, d. arsénico, e. cadmio, f. cobalto, g. cobre, h. hierro, i. manganeso y j. zinc en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en marzo y abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	137
Figura 6.48. Diagrama de Stiff del punto de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	138
Figura 6.49. Diagrama de Ficklin del punto de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	138
Figura 6.50. Concentraciones de metales en sedimento comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 2): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico	140
Figura 6.51. Fracciones (%) de metales obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en sedimentos en la microcuenca Chacote - Zona 1; a) Cd, Co, Cu y Ni, y b) Pb, Zn, Fe y Mn	142
Figura 6.52. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 2).....	143
Figura 6.53. Análisis mineralógico por MEB en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 2).....	143
Figura 6.54. Diagramas de Stiff de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023	145
Figura 6.55. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023.....	146



Figura 6.56. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico en la quebrada Para Para.....	147
Figura 6.57. Valores de a. pH y concentraciones totales de b. aluminio, c. cadmio d. hierro y e. manganeso en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	149
Figura 6.58. Valores de a. pH y concentraciones totales de b. aluminio, c. cadmio d. hierro y e. manganeso en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	151
Figura 6.59. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023.....	152
Figura 6.60. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023	152
Figura 6.61. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023	154
Figura 6.60. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023.....	154
Figura 6.63. Concentraciones de metales en sedimento comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 3): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico	156
Figura 6.64. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 3).....	1
Figura 6.65. a) Densidad y b) Riqueza de las microalgas a nivel de phylum taxonómico. ..	2
Figura 6.66. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico.	4
Figura 6.67. Calicata CAL1: a) Vista panorámica y ubicación de la calicata, b) Detalle de la capa «C» y horizontes «Oi1» y «Oi2», c) Perfil del suelo con sus horizontes y capas, y d) Muestras de cada capa u horizonte	2
Figura 6.68. Calicata CAL2: a) Vista panorámica y ubicación de la calicata, b) Perfil del suelo con sus horizontes y capas, y c) Detalle de la capa «C1 y C2», donde se observó gravas y gravillas en un 80%, depósitos de materiales fluvio-glaciares, y d) Muestras de cada capa	3
Figura 6.69. Resultados de la clase textural en los puntos superficiales y en los perfiles de calicatas CAL1 y CAL2.....	4
Figura 6.70. a) Resultados de pH y, b) Conductividad eléctrica en los puntos superficiales y en el perfil de suelo del API “Para Para” (CAL1) y suelo control (CAL2).....	4
Figura 6.71. Contenidos de materia orgánica del bofedal “Para Para” en el API y suelo control	5
Figura 6.72. BOX PLOT de las concentraciones de metales. a) Suelo del API “Para Para” y b) Suelo control	1
Figura 6.73. Distribución porcentual de los minerales cuantificados por DRX en el suelo del API “Para Para” y suelo Control	3
Figura 6.74. Porcentaje de especies por Clase registrado en el área de estudio.....	5
Figura 6.75. Familias más diversas, indicando número de géneros y especies, registradas en el área de estudio	6
Figura 6.76. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 4 % de especies registradas en el área de estudio	6
Figura 6.77. Géneros con mayor número de especies registradas en el área de estudio... ..	7
Figura 6.78. Formas de crecimiento de la flora vascular registrada en el área de estudio.. ..	7



Figura 6.79. Concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio, plomo, aluminio y selenio, en el tejido vegetal del API “Para Para” y zona control	9
Figura 6.80. Concentraciones de sulfato y cloruro, en el tejido vegetal del API “Para Para” y zona control	11
Figura 6.81. Abundancia relativa de larvas de <i>Pleurodema marmoratum</i> y esfuerzo de muestreo (número de VES) en el área de potencial interés – API y área control en el bofedal “Para Para”	14
Figura 6.82. Comparación de la concentración de metales y metaloides en larvas de <i>Pleurodema marmoratum</i> entre API y área control en el ámbito del bofedal “Para Para” ..	18
Figura 6.83. Depósitos antropogénicos identificados en la subzona 3, y puntos de muestreo realizados para la caracterización geoquímica.	19
Figura 6.84. Concentración de elementos mayores y trazas del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) de la subzona 3, comparados referencialmente con los valores de corteza continental.	20
Figura 6.85. Composición mineralógica por difracción de rayos X del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1).	21
Figura 6.86. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) de la subzona 3.	22
Figura 6.87. Punto de muestreo del material acumulado CA-PAR-01 ubicado en el canal para flujos de aguas de contacto del lado sur del PAD de lixiviación.	23
Figura 6.88. Concentración de elementos mayores y trazas del material acumulado CA-PAR-01 ubicado en el canal para flujos de aguas de contacto del lado sur del PAD de lixiviación, comparados referencialmente con los valores de corteza continental.	24
Figura 6.89. Unidades geológicas y puntos de muestreo de roca de la subzona 3.	25
Figura 6.90. Afloramiento y concentraciones de elementos mayores y trazas de la roca volcánica (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.	26
Figura 6.91. Composición mineralógica de la ignimbrita (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.	27
Figura 6.11. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> de la ignimbrita (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.	28
Figura 6.93. Composición mineralógica por Difracción de Rayos X y concentraciones de elementos mayores y trazas de las rocas volcánicas (RC-23-16 y RC-23-20) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del bofedal Para.	29
Figura 6.94. Composición mineralógica por Difracción de Rayos X y concentraciones de elementos mayores y trazas del depósito coluvial-deluvial (RC-23-17 y RC-23-19) de la subzona 3.	30
Figura 6.95. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-P04A-01	32
Figura 6.96. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-P04A-02	33
Figura 6.97. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica y concentraciones de c. sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	35
Figura 6.98. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso, h. plomo y i. zinc. en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008.	36



Figura 6.99. Valores de a. pH y concentraciones totales de b. arsénico, c. cobre y d. zinc en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	37
Figura 6.100. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica y concentraciones de c. sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	39
Figura 6.101. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso, h. plomo y i. zinc. en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	40
Figura 6.102. Valores de a. pH y concentraciones de b. cobre, c. zinc y d. cadmio disuelto en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	41
Figura 6.103. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023	42
Figura 6.104. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en mayo de 2023	43
Figura 6.105. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 1) en abril y mayo de 2023.....	44
Figura 6.106. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica y c. oxígeno disuelto en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008	45
Figura 6.107. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso, h. níquel y i. zinc. en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008.....	46
Figura 6.108. Valores de a. pH, b. conductividad eléctrica y c. oxígeno disuelto en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	48
Figura 6.109. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. hierro, g. manganeso, h. níquel y i. zinc. en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017	49
Figura 6.110. Diagramas de Stiff de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023	50
Figura 6.111. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023	51
Figura 6.112. Diagrama de Mifflin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023	51
Figura 6.113. Concentraciones de metales en sedimento comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 1): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Coyllorcocha (zona 4): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico.....	54
Figura 6.114. Fracciones (%) de metales obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en sedimentos en la microcuenca Coyllorcocha (zona 4): a) Cd, Co, Cu y Ni, y b) Pb, Zn, Fe y Mn	57
Figura 6.115. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Coyllorcocha (zona 4).....	58



Figura 6.116. Análisis mineralógico por MEB en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1).....	60
Figura 6.117. Diagramas de Stiff de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023	62
Figura 6.118. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023.....	63
Figura 6.119. a) Densidad y b) Riqueza de las microalgas a nivel de phylum taxonómico.	64
Figura 6.120. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico.	67
Figura 6.121. Depósitos antropogénicos identificados en la subzona 4, y puntos de muestreo realizados para la caracterización geoquímica.	69
Figura 6.122. Concentración de elementos mayores y trazas del material de residuo de mina (CM-SS01, CM-DT01 y CM-DT02) ubicado en la subzona 4, comparados referencialmente con los valores de corteza continental.	70
Figura 6.123. Composición mineralógica por difracción de rayos X del material de residuo de mina (CM-SS01, CM-SS02, CM-TD01 y CM-TD02) de la subzona 4.....	71
Figura 6.124. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> del material de residuo de mina (CM-SS01, CM-SS02, CM-TD01 y CM-TD02) de la subzona 4.	72
Figura 6.125. Unidades geológicas y puntos de muestreo de roca de la subzona 4.....	73
Figura 6.126. Afloramientos y puntos de muestreo de las rocas volcánicas de la Formación Astobamba de la subzona 4.....	75
Figura 6.127. Composición mineralógica por microscopía óptica (RC-23-14) y concentraciones de elementos mayores y trazas de las rocas volcánicas de la Formación Astobamba de la subzona 4.....	76
Figura 6.128. Microfotografías de los minerales de la brecha volcánica (RC-23-14) de Formación Astobamba de la subzona 4.....	77
Figura 6.129. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba <i>shake flask extraction</i> de la brecha volcánica (RC-23-14) de la Formación Astobamba de la subzona 4.	78
Figura 6.130. Distribución de ferricretas y concentraciones de elementos mayores y trazas del depósito químico de ferricretas (RC-23-13) de la Formación Astobamba de la subzona 4.....	79
Figura 6.131. Distribución y puntos de muestreo del depósito aluvial en la subzona 4.....	80
Figura 6.132. Modelo conceptual de la geometría del depósito aluvial de la quebrada Coyllorcocha.....	80
Figura 6.133. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica por Difracción de Rayos X del depósito aluvial (RC-23-08 y RC-23-09) de la subzona 4..	81
Figura 6.134. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TD-01	83
Figura 6.135. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TD-02	84
Figura 6.136. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TD-03	84
Figura 6.137. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-01	86
Figura 6.138. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-02	87
Figura 6.139. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-03	87
Figura 6.140. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-04	88



1. INTRODUCCIÓN

La unidad minera Corihuarmi (en adelante, UM Corihuarmi) de Minera IRL S.A., se ubica en el límite de los distritos de Chongos Alto y Huantán, provincias de Huancayo y Yauyos, departamentos de Junín y Lima respectivamente, aproximadamente a 4800 m s. n. m.

La explotación de oro es a tajo abierto y el procesamiento del mineral es por el método de lixiviación en pilas convencionales utilizando una solución alcalina de cianuro de sodio. Entre sus componentes principales se consideran a sus tajos (Screep Solpe, Susan, Diana y Cayhua), Botadero de material inadecuado, Pad de lixiviación, pozas de manejo de aguas de escorrentía y sedimentación¹.

En el 2019, la UM Corihuarmi presentó conflictos socioambientales con la población del área de influencia, lo cual se ve reflejado en las diversas denuncias ambientales registradas en el Sinada² relacionadas a una posible afectación del agua y suelo en el ámbito de influencia. Por esa razón, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante OEFA), en el marco de sus competencias, a través de la Dirección de Supervisión Ambiental, realizó supervisiones durante el periodo 2019 - 2022 a la UM Corihuarmi, a fin de verificar el cumplimiento de las obligaciones ambientales fiscalizables.

Asimismo, en enero 2023, mediante Memorando N° 2735-2022-OEFA/DSEM, la Dirección de Supervisión Ambiental en Minería (en adelante DSEM) solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental (en adelante DEAM) realizar una evaluación de causalidad en el área de influencia de la UM Corihuarmi. En ese sentido, la DEAM para dar respuesta a la DSEM, en el marco del Reglamento de Evaluación del OEFA (Resolución del Consejo Directivo N.º 00013-2020-OEFA/CD), realizó la evaluación de agua, sedimento, comunidades hidrobiológicas, caracterización geoquímica de los componentes mineros, caracterización litológica, del 03 al 16 de abril de 2023; y la evaluación de herpetofauna, levantamiento fotogramétrico, prospección geofísica, suelo, nivel de fondo y tejido vegetal del 25 de abril al 05 de mayo de 2023 con la finalidad de determinar los factores externos que podrían estar influenciando en los cuerpos de agua y suelo de las microcuencas Chacote y Coyllorcocha.

La evaluación ambiental de causalidad (en adelante EAC), realizada entre abril y mayo de 2023, contiene los resultados, el análisis y las conclusiones de los estudios realizados en el ámbito de los componentes mineros ubicados en el área de influencia de la UM Corihuarmi. Así mismo, esta evaluación pretende determinar su influencia sobre los receptores ambientales.

La información de la presente EAC constituirá un soporte técnico para las acciones de supervisión y fiscalización ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

¹ Modificatoria del EIA para la Ampliación del PAD de Lixiviación Fase 4 y Tajos de la Unidad Minera

² Denuncias con código SC-0330-2019 y SC-1746-2019



2. ANTECEDENTES

El EIA del 2007³ de la UM Corihuarmi precisa que la explotación es a tajo abierto y lixiviación en pilas utilizando un Pad simple de capas múltiples. Posteriormente la recuperación de oro y plata es en un circuito estándar de recuperación por carbono activado.

Respecto a la matriz suelo, el Plan de cierre del 2010⁴, el EIA del 2012⁵ y la segunda MEIA para la ampliación del PAD de 2014⁶, reportaron valores de línea de base de metales para suelo mineral, donde las concentraciones de arsénico alcanzaron rangos de 159 a 1719 mg/kg (obtenidos el 2009), 454,1 a 1806 mg/kg (obtenidos el 2011) y 144,42 a 1471,1 mg/kg (obtenidos el 2014) valores que superaron a los estándares de calidad ambiental para suelo de uso extractivo/industrial. Estas excedencias, de acuerdo con los estudios del administrado, se atribuyen a una influencia del contexto geológico debido a la mineralización del yacimiento. Por otra parte, el Informe de Identificación de sitios contaminados⁷ (en adelante IISC) de la unidad minera Corihuarmi, realizó una red de puntos de identificación y muestreo de nivel de fondo principalmente en suelos minerales en las áreas operativas de la actividad minera y sobre materiales de alteración con resultados que indicaron que las concentraciones de arsénico superaron los estándares de calidad ambiental para suelo de uso extractivo/industrial en 26 de 38 puntos evaluados, atribuyendo estas excedencias a factores geogénicos.

En los estudios antes mencionados e IISC además, se registró que los puntos SW-02, PS-03, S-4 evaluados en suelos orgánicos de los bofedales “Ujuy” y “Para Para” presentaron concentraciones de arsénico por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo de uso agrícola.

Respecto a la matriz sedimento, el Informe N.º124-2016-OEFA/DE-SDBL-CEAI⁸ registró la mayor concentración de cobalto (17,8 mg/kg) en el sedimento del río Chacote (R. Chaco 2), a 6 Km aguas abajo de UM Corihuarmi, así como porcentajes de metales en sedimentos con biodisponibilidad mayor al 10 % en las fracciones 1 (intercambiable) o 2 (enlazado a carbonatos).

Del 24 de febrero al 07 de marzo de 2023 se realizó el reconocimiento técnico del área de estudio ubicada en ámbito de influencia de la unidad minera Corihuarmi, en donde se consideró las siguientes zonas: zona 1 (microcuenca Chacote), zona 2 (quebrada Yuraccorral) y zona 3 (microcuenca Coyllorcocha). La actividad consistió en inspeccionar puntos de agua superficial, agua subterránea, efluentes mineros, aguas residuales industriales en los cuales se midieron parámetros de campo y se tomaron muestras, además de puntos de suelo e hidrobiología. Además, producto de esta actividad y en acuerdo con la DSEM se determinó que las zonas 1 y 3 serían consideradas para el estudio de la EAC Corihuarmi.

Después de ello, se elaboró un informe con los principales hechos constatados durante la acción de reconocimiento técnico⁹.

³ Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de explotación y beneficio de la mina Corihuarmi, según Resolución Directoral N.º 117-2007, aprobado el 27 de marzo de 2007

⁴ Resolución Directoral N.º 006-2010- MEM-AAM

⁵ Resolución Directoral N.º 010-2012-MEM- AAM

⁶ Resolución Directoral N.º 617-2014- MEM-DGAAM

⁷ Documento elaborado por The Andean Sustainable Group S.A.C. en 2015 para Minera IRL S.A.

⁸ Evaluación Ambiental de la cuenca del río Mantaro en el año 2016 Llevado a cabo 02 al 24 de mayo de 2016, y del 06 al 22 de junio de 2016

⁹ Informe de los principales hechos constatados durante el reconocimiento técnico en las zonas 1 (microcuenca Chacote), zona 2 (quebrada Yuraccorral), dicho documento fue aprobado con N.º 00145-2023-OEFA/DEAM-STEC



3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de los componentes mineros de la unidad minera Corihuarmi sobre la calidad ambiental del agua superficial, agua subterránea, sedimentos, estado de las comunidades hidrobiológicas y suelo de las microcuencas del río Chacote (zona 1) y quebrada Coyllorcocha (zona 3)

3.2. Objetivos específicos

Zona 1: microcuenca del río Chacote

- Determinar la influencia del botadero de material inadecuado, aguas de contacto y efluente EBMI sobre agua superficial, agua subterránea, sedimento y estado de las comunidades hidrobiológicas en el río Chacote.
- Determinar la influencia del sistema de tratamiento de aguas de contacto del PAD de lixiviación sobre el agua superficial, sedimento y el estado de las comunidades hidrobiológicas en la quebrada Para Para.
- Determinar la influencia de los tajos Cayhua y Cayhua Norte, y aguas de contacto sobre el estado del bofedal "Para Para", comunidades hidrobiológicas y flora y fauna asociada.

Zona 3: microcuenca de la quebrada Coyllorcocha

- Determinar la influencia de los materiales de los tajos Diana y Scree Slope, aguas de contacto sobre el agua superficial y subterránea, sedimento y estado de las comunidades hidrobiológicas de la quebrada y laguna Coyllorcocha.

4. ÁREA DE ESTUDIO

La UM Corihuarmi de Minera IRL S.A., hidrográficamente ocupa las cuencas Cañete y Mantaro; entre los límites de los distritos de Chongos Alto y Huantán, provincias de Huancayo y Yauyos en los departamentos de Junín y Lima respectivamente, aproximadamente a 4800 m s.n.m., al noroeste de las lagunas Coyllorcocha y Huichicocha, en las tierras superficiales de las comunidades campesinas de Atcas y Huantán.

El área de estudio contempló las microcuencas Chacote (zona 1) y Coyllorcocha (zona 3), donde se emplazan componentes mineros de la UM Corihuarmi tales como: Botadero de material inadecuado, pad de lixiviación, tajos Cayhua y Cayhua Norte, Diana y Scree Slope (Figura 4.1)



Figura 4.1. Área de estudio de la EAC Corihuarmi

Fuente: elaboración propia

4.1. Climatología/geología regional

La Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del Pad de Lixiviación Fase 4 y Tajos aprobado mediante Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM indica que la mina Corihuarmi está ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes en la región central del país, cuyo desarrollo se asocia con una zona de convergencia del tipo de margen continental activo producto de la subducción de la placa tectónica de Nazca hacia la plataforma continental sudamericana.

En este sector de la cordillera de los Andes está compuesto por un arco volcánico interno continental, en el que se ubican muchos depósitos mineralizados definidos por cinturones y distritos mineros que caracterizan el denominado «Cinturón epitermal oro-plata del sur del Perú».

En Corihuarmi, las zonas mineralizadas Susan, Diana, Scree Slope y Cayhua corresponden a un modelo epitermal de alta sulfuración, cuyo sistema actuaba en rocas volcánicas y sedimentarias terciarias, que fueron intruidas por dacitas y latitas porfídicas en el terciario tardío.

4.2. Contexto social

El área de influencia social directa considera los centros poblados Atcas y Huantán ubicados en el distrito Huantán, provincia Yauyos y departamento Lima mientras que el área de influencia ambiental indirecta considera los centros poblados Chongos Alto, Huasicancha y Anexo Palaco



ubicados en los distritos Chongos Altos y Huisacancha, provincia Huancayo en el departamento Junín¹⁰.

En el 2019, la Fiscalía Provincial de Prevención del Delito y Materia Ambiental de Cañete (en adelante, FPDMA Cañete), mediante el Oficio N° 469-2019-MP-FN-FPEPD y MA-CAÑETE, solicitó al OEFA participar en la diligencia fiscal a realizarse el 16 de agosto de 2019 en la UM Corihuarmi, en relación a la Carpeta Fiscal N° 1106014900-2019-228-0 referida a la presunta afectación de Minera IRL a los componentes agua y suelo, por operar los componentes PAD de Lixiviación Fase 4, PAD de Lixiviación Fase 5 y PAD de Lixiviación dinámico, sin contar con la autorización de construcción y funcionamiento de la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas.

5. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos específicos en la microcuenca Chacote – zona 1 y microcuenca Coyllorcocha – zona 3 (Figura 5.1).

Las acciones de evaluación se desarrollaron en 2 periodos comprendidos del 3 al 16 de abril de 2023 (primera ejecución) y del 5 de abril al 25 de mayo de 2023 (segunda ejecución).

En el primer periodo se muestreó agua superficial, sedimento, agua residual, agua subterránea, comunidades hidrobiológicas, material de componente minero, caracterización geológica, litogeoquímica; y en el segundo periodo se muestreo suelo, flora (tejido vegetal), fauna (anfibios y reptiles), sedimento y agua superficial (quebrada y laguna), levantamiento fotogramétrico y prospección geofísica.

¹⁰ Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del Pad de Lixiviación Fase 4 y Tajos aprobado mediante Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM

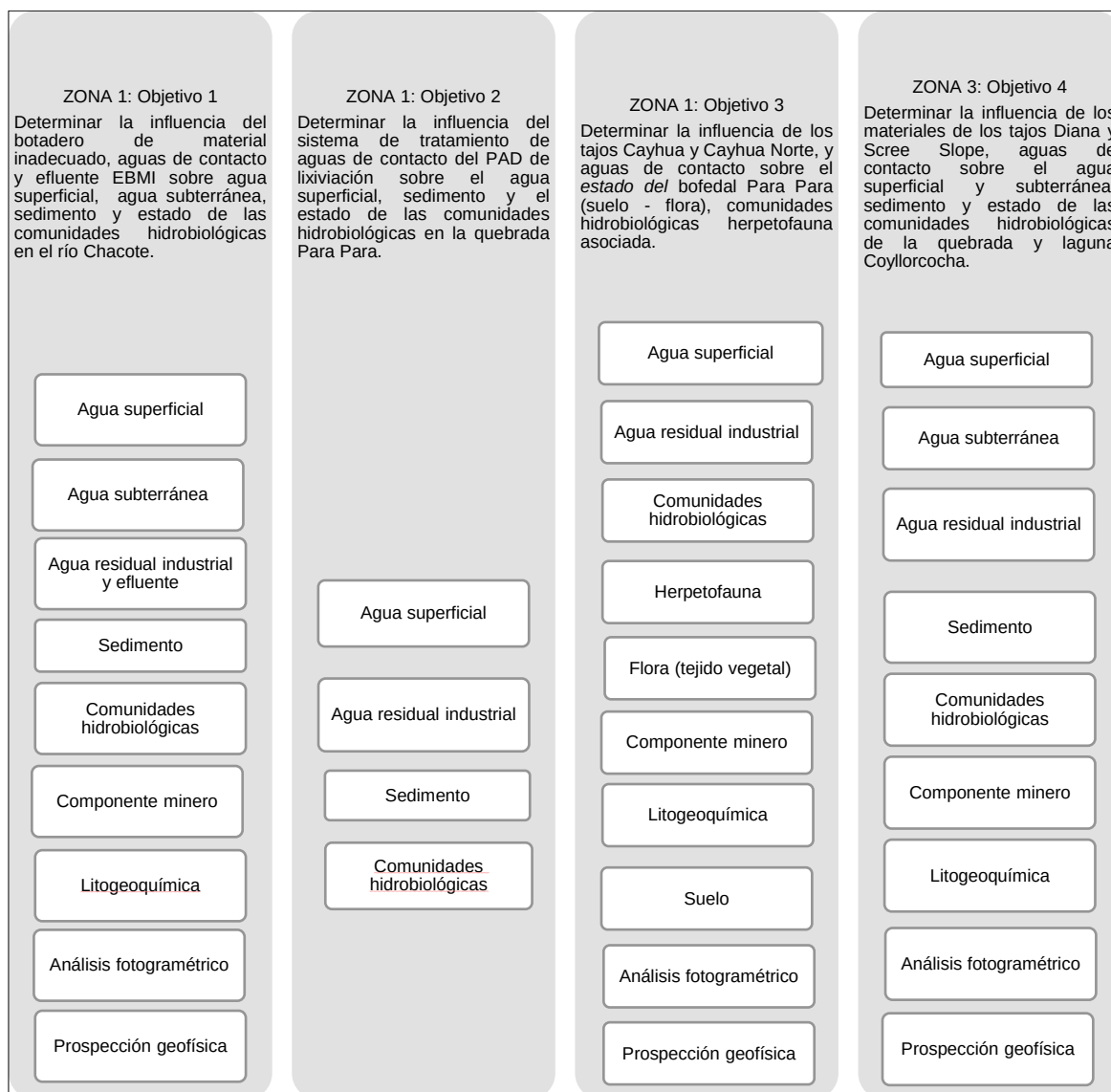


Figura 5.1. Distribución de matrices evaluadas por objetivo específico y zonas

5.1. Agua superficial

En este ítem se detalla la metodología aplicada para los muestreos de agua superficial realizados del 03 al 16 de abril de 2023 y del 25 de abril al 05 de mayo de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1) y microcuenca Coyllorcocha (zona 3); así como el procesamiento de datos y los criterios de evaluación de los resultados.

5.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

La colecta de muestras de agua superficial se realizó siguiendo los protocolos indicados en la Tabla 5.1. En marzo, abril y mayo de 2023 se colectó el agua utilizando un balde para el llenado de frascos del laboratorio, los frascos de la contramuestra en todos los puntos y los frascos de la dirimencia solo en algunos puntos.

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Tabla 5.1.** Guías utilizadas para el muestreo de agua superficial

Componente ambiental	Protocolo	Capítulo / ítem	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Agua superficial	Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales	Capítulo 6	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Resolución Jefatural N.º 010 2016-ANA	2016

5.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se realizó la evaluación en 23 puntos de muestreo distribuidos de la siguiente manera: 10 en la microcuenca Chacote (zona 1) y 13 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3). La ubicación, mes de evaluación y descripción de los puntos de muestreo se detallan en la Figura 5.2 y Tabla 5.2.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

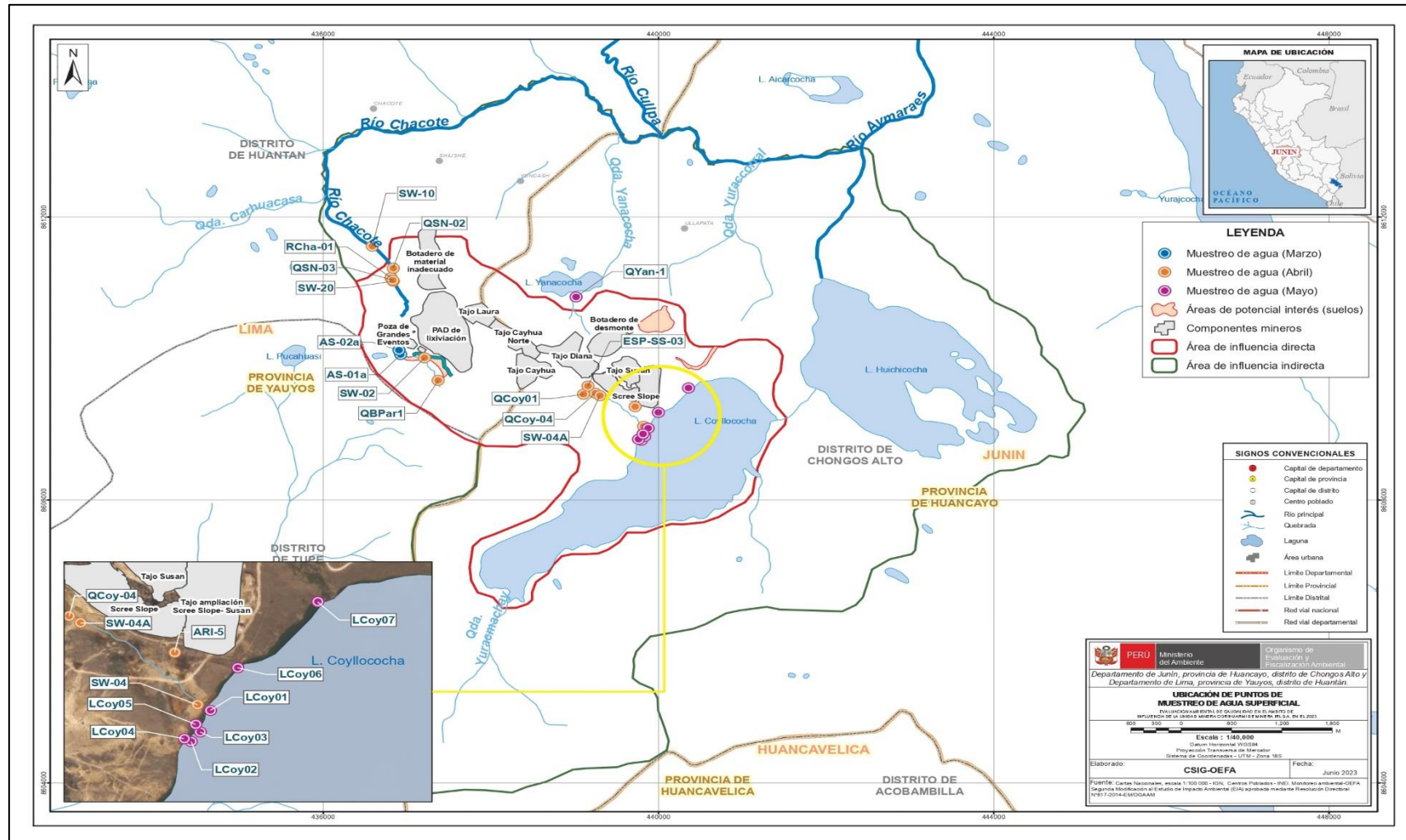


Figura 5.2. Distribución de los puntos de muestreo de agua superficial en marzo, abril y mayo 2023

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Tabla 5.2. Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial**

N.º	Cuerpo de agua	Código del punto de muestreo	Mes	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
Microcuenca Chacote – Zona 1							
1	Río Chacote	SW-20	Abril	436833	8611093	4672	Río Chacote, ubicado aproximadamente a 200 m aguas arriba de la descarga del efluente EBMI. ¹
2		RCha-01	Abril	436804	8611145	4661	Río Chacote, a 320 metros aproximadamente antes de la confluencia con la quebrada sin nombre. ¹
3		SW-10	Abril	436584	8611590	4661	Río Chacote, aproximadamente a 300 m aguas abajo de la descarga del efluente EBMI. ¹
4	Quebrada Para Para	AS-01a	Marzo	436924	8610058	4689	Quebrada Para Para, antes de la confluencia con la descarga del punto de control de efluente SP-03. ³
5		AS-02a	Marzo	436902	8610118	4686	Quebrada Para Para, después de la confluencia con la descarga del punto de control de efluente SP-03. ³
6		SW-02	Abril	437206	8610008	4704	Quebrada Para Para, aproximadamente a 200 m aguas arriba de la descarga del efluente SP-03. ¹
7	Quebrada sin nombre	QSN-03	Abril	436824	8611109	4672	Quebrada sin nombre, ubicada en la margen derecha del río Chacote aproximadamente a 5 m aguas abajo del SW-20. ¹
8	Quebrada sin nombre	QSN-02	Abril	436830	8611281	4671	Quebrada sin nombre, ubicada en la margen derecha del río Chacote aproximadamente a 2 m aguas arriba de la descarga del EBMI. ¹
9	No aplica	QBPar1	Abril	437371	8609691	4737	Flujo de agua ubicado en la parte alta del bofedal Para. ¹
10	Quebrada Yanacocha	QYan-1	Mayo	439011	8610871	4747	aproximadamente a 50 metros aguas arriba de su desembocadura en la Laguna Yanacocha. ²
Microcuenca Coyllorococha – Zona 3							
11	Quebrada Coyllorococha	QCoy01	Abril	439105	8609496	4736	Quebrada Coyllorococha, ubicado aproximadamente a 200 m al oeste de la poza ST-03. ¹
12		QCoy-04	Abril	439246	8609511	4716	Quebrada Coyllorococha antes de la confluencia con aguas del ARI-2, ARI-4 y ESP-SS-03. ¹
13		SW-04	Abril	439820	8609040	4702	Quebrada Coyllorococha, aproximadamente a 200 m aguas abajo de la descarga del efluente ST-05. ¹
14	No aplica	ESP-SS-03	Abril	439156	8609609	4719	Flujo de agua en la margen izquierda de la quebrada Coyllorococha, aproximadamente a 140 m al sureste de la poza ST-02. ¹
15	Canal	SW-04A	Abril	439296	8609475	4715	Canal de derivación de las aguas de la quebrada Coyllorococha, ubicado aledaño a la poza ST-03. ¹
16	No aplica	ARI-5	Abril	439717	8609319	4699	Acumulación de agua ubicado aproximadamente a 160 m al norte del ST-05. ¹

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

N.º	Cuerpo de agua	Código del punto de muestreo	Mes	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
17	Laguna	LCoy01	Mayo	439877	8609012	4707	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 63 metros al sureste del punto SW-04. ²
18		LCoy02	Mayo	439792	8608846	4713	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 195 metros al sureste del punto SW-04. ²
19		LCoy03	Mayo	439832	8608897	4593	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 142 metros al sureste del punto SW-04. ²
20		LCoy04	Mayo	439761	8608861	4701	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 185 metros sureste del punto SW-04. ²
21		LCoy05	Mayo	439813	8608937	4700	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 100 metros sureste del punto SW-04. ²
22		LCoy06	Mayo	440000	8609237	4701	Laguna Coyllorcocha a 265 metros noreste del punto SW-04. ²
23		LCoy07	Mayo	440357	8609586	4699	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 765 metros noreste del punto SW-04. ²

(1) Descripción del punto asignado en la supervisión realizada del 03 al 16 de abril de 2023 (RC-024-2023-STEC).

(2) Descripción del punto asignado en la supervisión realizada del 25 de abril al 05 de mayo de 2023 (RC-032-2023-STEC).

(3) Descripción del punto asignado en la visita de reconocimiento realizada del 24 de febrero al 07 de marzo de 2023

5.1.3. Parámetros y métodos de análisis

En los puntos de muestreo de agua superficial (quebradas, río y laguna) se registró *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, así como potencial REDOX y turbidez en algunos puntos. La preservación de las muestras colectadas para ensayo en laboratorio y los métodos de análisis se realizaron según los procedimientos del laboratorio acreditado con la ISO/IEC 17025 contratado por el OEFA, los cuales se detallan en la Tabla 5.3 y Tabla 5.4.

Tabla 5.3. Parámetros evaluados y métodos de análisis en agua superficial

N.º	Parámetros	Unidad	Método de análisis
1	Bicarbonatos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed 2017
2	Carbonatos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed 2017
3	Sulfatos	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
4	Cloruros	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
5	Fluoruros	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
6	Metales disueltos ICP-MS	mg/L	EPA Method 200.8, Revisión 5.4, 1994 / EPA Method 200.8, Revision 5.4, 1994. VALIDATED (Applied out of reach), 2020
7	Metales Totales ICP-MS	mg/L	EPA Method 200.8, Revisión 5.4, 1994 / EPA Method 200.8, Revision 5.4, 1994. VALIDATED (Applied out of reach), 2020
8	Sólidos suspendidos totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D. 24th Ed. 2017
9	Cianuro Wad	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-I, F, 24 th Ed. 2022

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC y RR-010-2023-STEC (Anexo 4).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 5.4. Parámetros evaluados por punto muestreado en agua superficial

Código OEFA	Parámetro																				
	Bicarbonatos		Carbonatos		Sulfatos			Cloruros		Fluoruros		Metales disueltos			Metales totales			SST		CN Wad	
	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Marzo	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Marzo	Abril	Mayo	Marzo	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Abril	Mayo
	2023																				
SW-20	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
RCha-01	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
SW-10	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
AS-01a	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
AS-02a	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
SW-02	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
QSN-03	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
QSN-02	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
QBPar1	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
QCoy01	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
QCoy-04	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
SW-04	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	-
ESP-SS-03	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
SW-04A	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
ARI-5	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-
QYan-1	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
LCoy01	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
LCoy02	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
LCoy03	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
LCoy04	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
LCoy05	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
LCoy06	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
LCoy07	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1
Total	14	8	14	8	2	14	8	14	8	14	8	2	14	8	2	14	8	13	8	14	8

Fuente: Informe N.º 00145-2023-OEFA/DEAM-STEC y Reportes de campo: RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC

SST: Sólidos suspendidos totales

CN WAD: Cianuro Wad



5.1.4. Equipos utilizados

En la actividad de muestreo de agua superficial (quebradas, río y laguna) se utilizó un equipo de posicionamiento GPS para registrar la ubicación, un multiparámetro HACH modelo HQ40D con sensores de temperatura, potencial de hidrógeno, potencial redox, conductividad eléctrica para registrar los parámetros *in situ*. Mayores detalles del equipamiento y materiales (modelo, marca, hojas de verificación, certificados de calibración y serie) se presentan en los reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

5.1.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad de los resultados de campo en el muestreo de agua superficial (quebradas, río y laguna) consideró frascos de primer uso para la colecta de la muestra y la verificación diaria de los sensores del pH y conductividad eléctrica del multiparámetro. Las fichas de verificación diaria se detallan en los reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

Para el aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio, en marzo, abril y mayo 2023 se consideró la toma de duplicados de metales totales para evaluar la precisión y repetitividad del procedimiento de recolección y blancos de equipo (abril y mayo), para evaluar la contaminación en alguna parte del muestreo por el lavado incompleto de equipos. En los 3 periodos se realizó el análisis de metales totales, cuyos datos se registraron en la cadena de custodia y fueron analizados por el laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. El detalle se encuentra en el Informe N.º 00145-2023-OEFA/DEAM-STEC (Anexo 2) y en los reportes de resultados RR-016-2023-STEC y RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

Para determinar el nivel de precisión de los resultados en el duplicado, se utilizó el porcentaje de diferencia relativa (PDR) que se encontró en el rango de -20 % a +20 % (ASTM, 1997) y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PDR = \frac{2(x_1 - x_2)}{(x_1 + x_2)} \times 100$$

Dónde: x_1 = valor del elemento analizado de una muestra X

x_2 = Valor del elemento analizado en el duplicado

% PDR = Porcentaje de diferencia relativa

Para determinar 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) se determinó el error de balance iónico mediante la siguiente ecuación (Appelo *et al.*, 2005):

$$B.I = 100 * \frac{\Sigma Cationes - \Sigma Aniones}{\Sigma Cationes + \Sigma Aniones}$$

El porcentaje de balance iónico está relacionado con la conductividad eléctrica del agua (Tabla 5.5) y debe encontrarse en el rango de -20 % a +20 %; sin embargo, pueden presentarse variaciones que pueden ser producidas por pH ácidos, temperatura, incremento de alguno de los iones mayoritarios (aniones o cationes) o presencia de sedimentos o coloides. Los resultados de balance iónico se presentan en los reportes de resultados RR-010-2023-STEC y RR-016-2023-STEC (Anexo 4).

Tabla 5.5. Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica ($\mu S/cm$)	50	200	500	2000	>2000
--	----	-----	-----	------	-------



Error aceptable (%)	±30	±10	±8	±4	±4
---------------------	-----	-----	----	----	----

Fuente: Custodio y Llamas (1983).

5.1.6. Procesamiento de datos

La composición química de las aguas o facies químicas se analizó mediante diagramas hidroquímicos usando los valores de los iones mayoritarios en estado disuelto como cationes (Ca, Na, K y Mg) y aniones (HCO₃, CO₃, SO₄, NO₃ y Cl).

Se elaboraron diagramas hidroquímicos como *Stiff*, *Ficklin* y *Piper*, los cuales permitieron caracterizar las aguas en función a la concentración de metales, predominancia catiónica, aniónica (tipo de agua) y pH. Los diagramas mencionados se detallan a continuación:

Diagrama de Stiff

Este diagrama está compuesto por 3 ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el Na⁺ se confronta con el Cl⁻, el Ca⁺² con el HCO₃⁻ y el Mg⁺² con el SO₄⁻². Todos los ejes horizontales están a la misma escala (lineal) y las concentraciones están dadas en meq/L (Figura 5.3 a).

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).

Diagrama de Piper

En este diagrama se incluyó aniones y cationes en forma simultánea, las aguas geoquímicamente similares quedaron agrupadas en áreas bien definidas (Custodio, 1996). Se precisa que este tipo de diagrama solo se presentó en el ítem 7 de discusión de este informe, con la finalidad de mostrar la agrupación de los puntos de agua superficial, agua subterránea, agua residual y efluente en las zonas evaluadas.

Está formado por 2 triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺. Los vértices del triángulo de aniones son SO₄⁻², Cl⁻ y HCO₃⁻. Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes.

Las concentraciones de los iones en meq/L se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo 3 aniones y 3 cationes. A cada vértice le corresponde el 100 % de 1 anión o catión (Figura 5.3 b).

Diagrama de Ficklin

Mediante el diagrama de Ficklin, basada en la suma de metales disueltos (zinc, cobre, cadmio, níquel, cobalto y plomo) en función del pH para la clasificación geoquímica del agua (Ficklin *et al.*, 1992; Plumlee *et al.*, 1999. En Lottermoser, 2010), se clasifica diferentes tipos de agua (Figura 5.3 c).

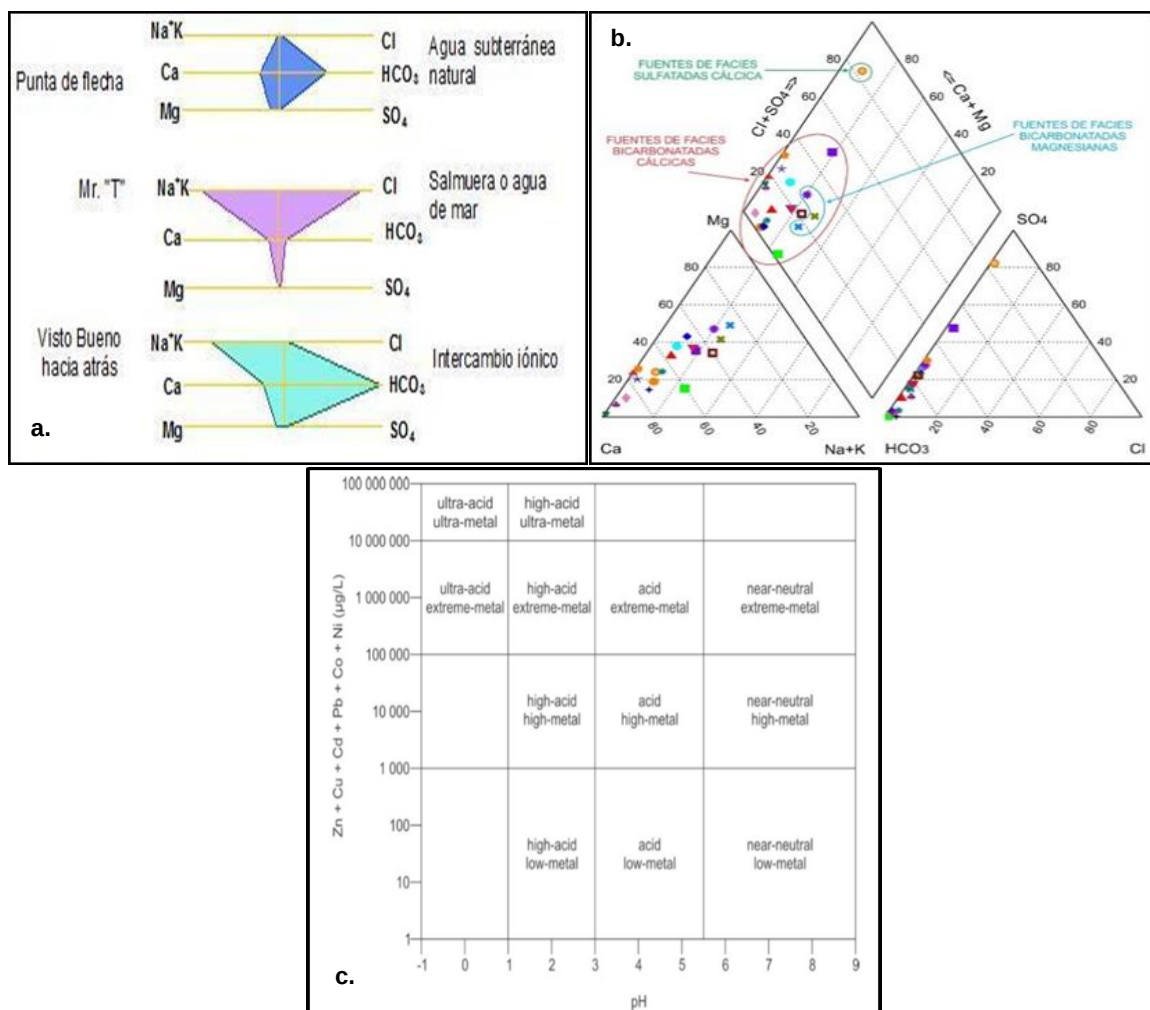


Figura 5.3. Vista de los diagramas de: **a.** Stiff, **b.** Piper y **c.** Ficklin

5.1.7. Criterios de evaluación

Los resultados de los puntos de agua superficial de quebradas y río evaluados en marzo, abril y mayo 2023, se compararon con la categoría 3: bebida de animales del Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM y los puntos de agua superficial de laguna Coyllorcocha evaluados en mayo 2023, se compararon con la categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático del Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM, esto en cumplimiento de lo declarado en el programa de monitoreo de la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del Pad de Lixiviación Fase 4 y Tajos aprobado mediante Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM.

Adicionalmente, también se compararon de manera referencial con la categoría 3: subcategoría D2: bebida de animales y categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático subcategoría E1: lagunas y lagos del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

En el ítem 7 de discusión se consideró la comparación de los resultados de la evaluación 2023 realizada por el OEFA con los resultados de la línea base 2014 del EIA aprobado en la Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM y los resultados reportados al Minem por Minera IRL S.A., en cumplimiento de la Resolución Directoral en mención.



5.2. Agua subterránea

En este ítem se detalla la metodología aplicada para el muestreo de agua subterránea realizado del 03 al 16 de abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1) y microcuenca Coyllorcocha (zona 3); así como el procesamiento de datos y los criterios de evaluación de los resultados.

5.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

El muestreo de agua subterránea (piezómetros y manantiales) se realizó siguiendo las guías indicadas en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Guías utilizadas para el muestreo de agua subterránea

Tipo	Guía	Sección/capítulo	País	Institución	Año
Piezómetro	<i>National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (NFM). Book 9</i>	Anexo A1	Estados Unidos	U.S. Geological Survey	2015
Manantial	Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*	Capítulo 6	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	2016

(*) Protocolo utilizado de manera referencial.

5.2.2. Ubicación de puntos

Se realizó el muestreo de 5 puntos de muestreo distribuidos de la siguiente manera: 2 en la microcuenca Chacote (zona 1) y 3 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3). La ubicación, mes de evaluación y descripción de los puntos de muestreo se detallan en la Figura 5.4. y Tabla 5.7.

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Tabla 5.7. Ubicación de los puntos de muestreo de agua subterránea**

N.º	Cuerpo de agua	Código del punto de muestreo	Mes	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
Microcuenca Chacote – Zona 1							
1	Inclinómetro	I-06	Abril	437148	8611222	4720	Inclinómetro ubicado al oeste del Botadero de Material Inadecuado. ¹
2	Manantial	MA-06	Abril	437085	8610722	4714	Manantial ubicado en la margen derecha del río Chacote, aproximadamente a 65 m al suroeste de las pozas de subdrenaje del PAD Fase 4 – Fase 3. ¹
Microcuenca Coyllorcocha – Zona 3							
3	Piezómetro	PO-07	Abril	439036	8609745	4715	Piezómetro ubicado aproximadamente a 30 m al norte de la poza ST-02. ¹
4	Manantial	AF-05	Abril	439115	8609540	4740	Manantial ubicado en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 170 m al sureste del punto ST-02. ¹
5	Manantial	MA-02	Abril	438902	8609473	4742	Manantial ubicado aproximadamente a 3 m de la margen derecha de la quebrada Coyllorcocha. ¹

(1) Descripción del punto asignado en la supervisión realizada del 03 al 16 de abril de 2023 (RC-024-2023-STEC).

5.2.3. Parámetros y métodos de análisis

En los puntos de muestreo de agua subterránea (piezómetros y manantiales) se registró *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, así como potencial REDOX y turbidez en algunos puntos. La preservación de las muestras colectadas para ensayo en laboratorio y los métodos de análisis se realizaron según los procedimientos del laboratorio acreditado con la ISO/IEC 1705 contratado por el OEFA, los cuales se detallan en la Tabla 5.8 y Tabla 5.9.

Tabla 5.8. Parámetros evaluados y métodos de análisis en agua subterránea

N.º	Parámetros	Unidad	Método de análisis
1	Bicarbonatos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed 2017
2	Carbonatos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed 2017
3	Sulfatos	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
4	Cloruros	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
5	Fluoruros	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
6	Metales disueltos ICP-MS	mg/L	EPA Method 200.8, Revisión 5.4,1994 / EPA Method 200.8, Revision 5.4, 1994. VALIDATED (Applied out of reach), 2020
7	Metales Totales ICP-MS	mg/L	EPA Method 200.8, Revisión 5.4,1994 / EPA Method 200.8, Revision 5.4, 1994. VALIDATED (Applied out of reach), 2020
8	Sólidos suspendidos totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D. 24th Ed. 2017
9	Cianuro Wad	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-I, F, 24 th Ed. 2022

Fuente: Reportes de resultados RR-0016-2023-STEC (Anexo 4).

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Tabla 5.9.** Parámetros evaluados por punto muestreado en agua subterránea

Código OEFA	Parámetro								CN Wad
	Bicarbonatos	Carbonatos	Sulfatos	Cloruros	Fluoruros	Metales disueltos	Metales totales	SST	
	Abril								
	2023								
I-06	1	1	1	1	1	1	1	1	-
MA-06	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PO-07	1	1	1	1	1	1	1	1	-
AF-05	1	1	1	1	-	1	1	1	-
MA-02	1	1	1	1	-	1	1	1	-
Total	5	5	5	5	3	5	5	5	1

Fuente: RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC

SST: Sólidos suspendidos totales.

CN WAD: Cianuro Wad.

5.2.4. Equipos utilizados

En la actividad de muestreo de agua subterránea se utilizó un equipo GPS para registrar la ubicación, una sonda piezométrica para la medición de profundidad y nivel piezométrico, un multiparámetro HACH modelo HQ40D con sensores de temperatura, potencial de hidrógeno, potencial redox, conductividad eléctrica para registrar los parámetros *in situ*. Mayores detalles de los equipos (modelo, marca, hojas de verificación, certificados de calibración y serie) se presentan en los reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

5.2.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad de los resultados de campo en el muestreo de agua subterránea consideró frascos de primer uso para la colecta de la muestra y la verificación diaria de los sensores del pH y conductividad eléctrica del multiparámetro. Los resultados se registraron en los formatos correspondientes que se detallan en los reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

Para el aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio, en abril 2023, se consideró la toma de un duplicado para evaluar la precisión y repetitividad del procedimiento de recolección. En dicho control se realizó el análisis de metales totales, cuyos datos se registraron en la cadena de custodia y fue analizado por el laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. El detalle se encuentra en el reporte de resultados RR-016-2023-STEC (Anexo 4).

Para determinar el nivel de precisión de los resultados en el duplicado, se utilizó el porcentaje de diferencia relativa (PDR) que se encontró en el rango de -20 % a +20 % (ASTM, 1997) y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PDR = \frac{2(x1-x2)}{(x1+x2)} \times 100$$

Dónde: $x1$ = valor del elemento analizado de una muestra X

$x2$ = Valor del elemento analizado en el duplicado

% PDR = Porcentaje de diferencia relativa

5.2.6. Procesamiento de datos

Se elaboraron diagramas hidroquímicos de Stiff, Piper y Ficklin, los cuales permitieron caracterizar las aguas en función a la concentración de metales, predominancia catiónica,

aniónica (tipo de agua) y pH. Los diagramas mencionados fueron detallados en el ítem 5.1.6. Se precisa que el diagrama de Piper solo se presentó en el ítem 7 de discusión del presente informe, con la finalidad de mostrar la agrupación de los puntos de agua superficial, agua subterránea y agua residual industrial.

Diagrama de Mifflin

Se elaboró el diagrama de Mifflin con los datos de los puntos de agua subterránea, el cual proporciona información sobre la evolución del agua subterránea en base a la creciente concentración de los iones Na^+ , K^+ , Cl^- y SO_4^{2-} a lo largo del flujo. El gráfico se subdivide en 3 secciones, determinando puntos de flujo local, intermedio y regional, siendo este último el más evolucionado y ligado a zonas de descarga. El diagrama se construye sumando de manera independiente cationes ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) y aniones ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) en meq/L, en escala logarítmica (Figura 5.5).

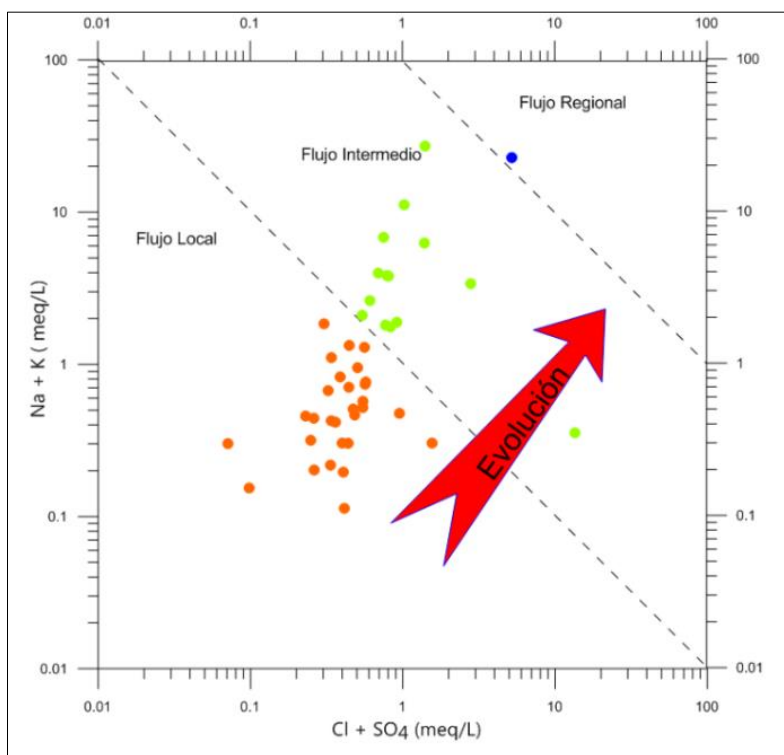


Figura 5.5. Diagrama de Mifflin

Fuente: Mifflin M. 1988.

5.2.7. Criterios de evaluación

Los resultados de los puntos de agua subterránea, evaluados en abril 2023, se compararon con la categoría 3: Bebida de animales del Decreto Supremo N.º 002-2008-MINAM, esto en cumplimiento de lo declarado en el programa de monitoreo de la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del Pad de Lixiviación Fase 4 y Tajos aprobado mediante Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM. Adicionalmente, los resultados también se compararon, de manera referencial, con los Estándares de Calidad Ambiental para agua con la categoría 3: subcategoría D2: bebida de animales del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.



En el ítem 7 de discusión se consideró el análisis de la información remitida por Minera IRL S.A, mediante CARTA N° 034-2023-MIRL-AA-OEFA¹¹, sobre la calidad de agua del piezómetro PO-07 y del manantial MA-06 durante el periodo 2017-2022. Asimismo, se consideró la información del diseño y logueo geológico del piezómetro PO-07 e inclinómetro I-06.

5.3. Agua residual industrial y efluente minero

En este ítem se detalla la metodología aplicada para los muestreos de efluente y agua residual industrial realizados del 24 de febrero al 07 de marzo de 2023, del 03 al 16 de abril de 2023 y del 25 de abril al 05 de mayo de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1) y microcuenca Coyllorcocha (zona 3); así como el procesamiento de datos y los criterios de evaluación de los resultados.

5.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

El protocolo de muestreo del efluente se detalla en la Tabla 5.10. Asimismo, el muestreo de agua residual industrial consideró, de manera referencial, los lineamientos establecidos en el protocolo detallado en la misma tabla.

Tabla 5.10. Guía para el muestreo de efluente y agua residual industrial

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Protocolo de monitoreo de calidad de agua	Capítulo 2 Estaciones de monitoreo Capítulo 4 Muestreo de campo	Perú	Ministerio de Energía y Minas	Resolución Directoral N.° 004-94-EM/DGAA	1994

5.3.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se realizó la evaluación en 19 puntos de muestreo distribuidos de la siguiente manera: 12 en la microcuenca Chacote (zona 1) y 9 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3). La ubicación y descripción de dichos puntos se detallan en la Figura 5.6 y Tabla 5.11.

¹¹ HT 2023-E01-465854 del 10/05/2023



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

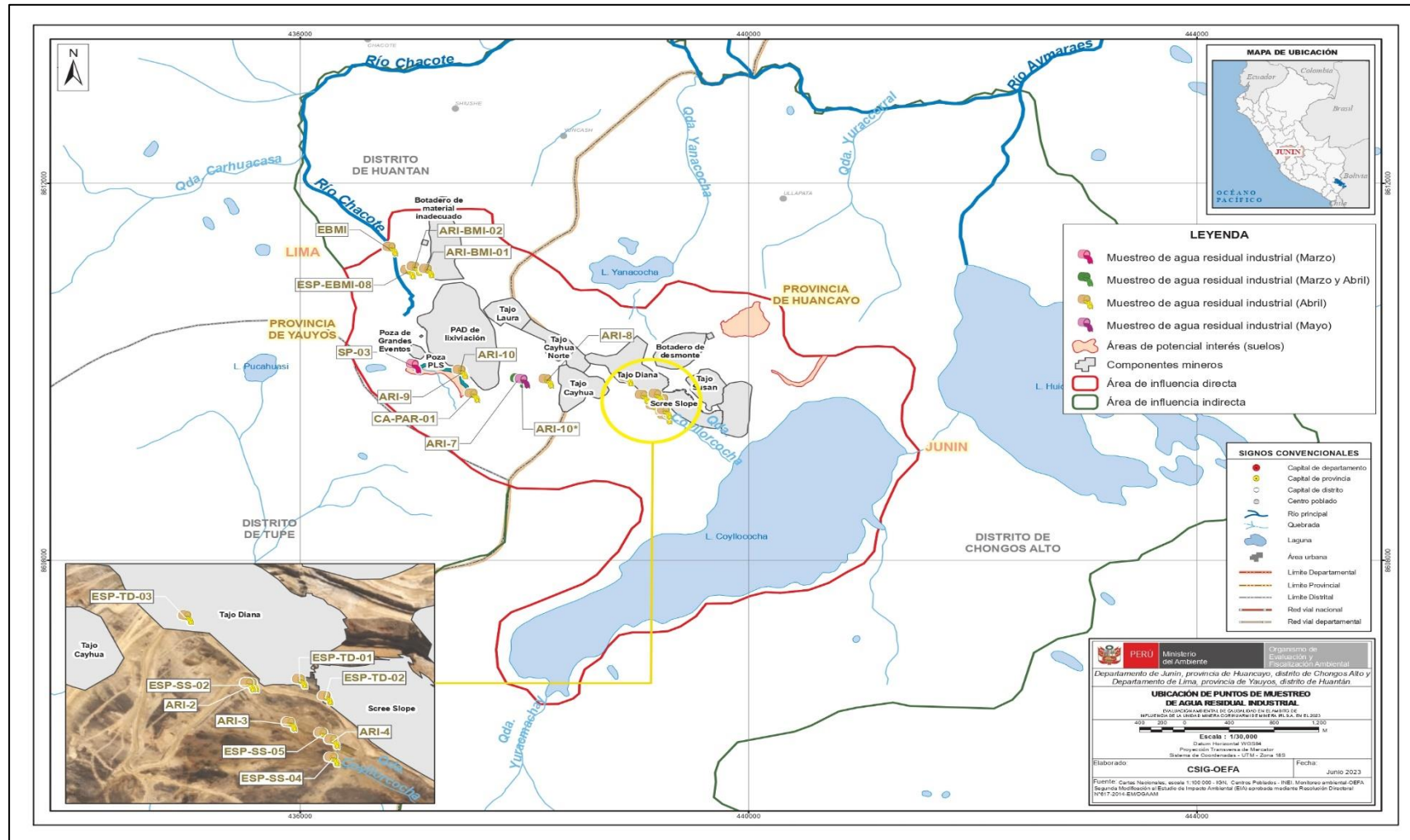


Figura 5.6. Distribución de los puntos de muestreo de agua residual y efluente en marzo, abril y mayo 2023

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Tabla 5.11.** Ubicación de los puntos de muestreo de agua residual industrial y efluente

N.º	Compone nte minero asociado	Código del punto de muestreo	Mes	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
Microcuenca Chacote – Zona 1							
1	Botadero de Material Inadecua do	EBMI	Abril	436800	8611300	4697	Efluente del sistema de tratamiento al este de la poza del botadero de material inadecuado (EBMI) para el manejo de aguas de escorrentía provenientes de subdrenaje, canal oeste y canal de acceso del Depósito de material inadecuado. ¹
2		ESP-EBMI-08	Abril	436957	8611059	4703	Flujo de agua en la margen derecha del río Chacote, aproximadamente a 120 m al oeste de la poza de sedimentación del BMI. ¹
3		ARI-BMI-02	Abril	437015	8611093	4715	Agua residual a 110 m aproximadamente al oeste del Botadero de Material Inadecuado (BMI). ¹
4		ARI-BMI-01	Abril	437125	8611066	4716	Agua residual a 5 m aproximadamente al oeste del Botadero de Material Inadecuado (BMI). ¹
5	Canal	CA-PAR-01	Abril	437533	8609747	4754	Canal de agua de derivación de la quebrada Para Para, aproximadamente a 50 m al sur del almacén. ¹
6	Pad de lixiviación	SP-03**	Marzo	437009	8610056	4697	Sistema de tratamiento (poza SP-03) para el manejo de aguas de escorrentía provenientes del Tajo Cayhua, Haul Road, Talle de equipos, planta de chancado y grifo que cuenta con un sistema de canales perimetrales, trampas de grasa y pozas de sedimentación. ³
7		ARI-7	Marzo	437936	8609904	4804	Canal de tierra con aguas residuales industriales provenientes de filtraciones captadas por un sistema de subdrenaje enrocado, ubicado entre la base del talud del óvalo de acceso al PAD de lixiviación y una poza colectora, cercano al taller antiguo. ¹
			Abril				
8		ARI-10*	Mayo	437978	8609898	4805	Filtración de una tubería proveniente del sistema de subdrenaje ubicado entre la base del talud del óvalo de acceso al PAD de lixiviaci3n y una poza. ²
19	Tajo Cayhua	ARI-8	Abril	438193	8609896	4820	Poza de tierra con aguas residuales provenientes del Tajo Cayhua. ¹
10	Pozas de sedimenta ci3n	ARI-9	Abril	437436	8609982	4715	Agua residual en canal de geomembrana aproximadamente a 430 metros de la descarga SP-03. ¹
11		ARI-10	Abril	437427	8609994	4714	Agua residual en canal de geomembrana aproximadamente a 420 metros de la descarga SP-03. ¹
Microcuenca Coyllorococha – Zona 3							
12	Tajo Scree Slope	ESP-SS-04	Abril	439250	8609518	4712	Flujo de agua que confluye con la quebrada Coyllorococha despu3s del punto ARI-4. ¹



PERÚ

Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

N.º	Componente minero asociado	Código del punto de muestreo	Mes	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
13	Tajo Diana	ESP-SS-05	Abril	439226	8609587	4717	Flujo de agua que confluye con la quebrada Coyllorcocha, antes del punto ARI-4. ¹
14		ESP-TD-02	Abril	439234	8609692	4723	Flujo de agua ubicado al oeste del tajo Scree Slope. ¹
15		ARI-2	Abril	439058	8609728	4834	Flujo de agua en la base del talud del Scree Slope, aproximadamente a 20 m aguas abajo del piezómetro PO-07. ¹
16		ARI-3	Abril	439148	8609617	4721	Flujo de agua que descarga en la naciente de la quebrada Coyllorcocha. ¹
17		ARI-4	Abril	439250	8609568	4717	Flujo de agua que descarga en la quebrada Coyllorcocha mediante una tubería ubicada en la base del talud oeste de la poza ST-03. ¹
18		ESP-SS-02	Abril	439049	8609729	4734	Flujo de agua ubicado aproximadamente a 20 m del piezómetro PO-07. ¹
19	Tajo Diana	ESP-TD-01	Abril	439173	8609739	4738	Punto de agua residual industrial ubicado al sureste del Tajo Diana. ¹
20		ESP-TD-03	Abril	438902	8609919	4769	Punto de agua residual industrial ubicado al noroeste del Tajo Diana. ¹

(1) Descripción del punto asignado en la supervisión realizada del 03 al 16 de abril de 2023 (RC-024-2023-STEC).

(2) Descripción del punto asignado en la supervisión realizada del 25 de abril al 05 de mayo de 2023 (RC-032-2023-STEC).

(3) Descripción del punto asignada en la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del Pad de Lixiviación Fase 4 y Tajos aprobado mediante Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM.

*A este punto se le agregó un asterisco para diferenciarlo del punto muestreado en abril con el mismo código.

** Punto muestreado durante el reconocimiento técnico realizado del 24 de febrero al 7 de marzo 2023

5.3.3. Parámetros y métodos de análisis

En los efluentes y en los puntos de agua residual industrial se analizaron *in situ* los parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, así como potencial REDOX y turbidez en algunos puntos. La preservación de las muestras y los métodos de análisis se realizaron según los procedimientos del laboratorio acreditados con la ISO/IEC 17025 contratado por el OEFA. Los parámetros y los métodos de análisis utilizados en los efluentes y en el agua residual industrial se detallan en la Tabla 5.12 y Tabla 5.13.

Tabla 5.12. Parámetros evaluados y métodos de ensayo para agua residual industrial y efluente

N.º	Parámetros	Unidad	Método de análisis
1	Bicarbonatos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed 2017
2	Carbonatos	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 24th Ed 2017
3	Sulfatos	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
4	Cloruros	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
5	Fluoruros	mg/L	EPA 300.0 Rev. 2.1, 1993, VALIDATED (Applied out of reach), 2019
6	Metales disueltos ICP-MS	mg/L	EPA Method 200.8, Revisión 5.4,1994 / EPA Method 200.8, Revision 5.4, 1994. VALIDATED (Applied out of reach), 2020
7	Metales Totales ICP-MS	mg/L	EPA Method 200.8, Revisión 5.4,1994 / EPA Method 200.8, Revision 5.4, 1994. VALIDATED (Applied out of reach), 2020
8	Sólidos suspendidos totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D. 24th Ed. 2017
9	Cianuro Wad	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN-I, F, 24 th Ed. 2022

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC y RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

**Tabla 5.13.** Parámetros evaluados por punto de agua residual industrial y efluente

Código OEFA	Parámetro																	
	Bicarbonatos		Carbonatos		Sulfatos		Cloruros		Fluoruros		Metales disueltos		Metales totales		SST			
	Abril	Abril-mayo	Abril	Abril-mayo	Marzo	Abril	Abril-mayo	Abril	Abril-mayo	Abril	Abril-mayo	Marzo	Abril	Abril-mayo	Marzo	Abril	Abril-mayo	Abril
	2023																	
EBMI	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
CA-PAR-01	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
SP-03	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-
ESP-EBMI-08	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-BMI-02	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-BMI-01	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-7	1	-	1	-	1*	1	-	1	-	1	-	1*	1	-	1*	1	-	1
ARI-10*	-	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	1
ARI-8	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-9	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-10	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ESP-SS-04	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ESP-SS-05	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ESP-TD-02	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-2	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-3	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ARI-4	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ESP-SS-02	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ESP-TD-01	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
ESP-TD-03	1	-	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1
Total	17	1	18	1	2	18	1	18	1	18	1	2	18	1	2	18	-	17

Fuente: Acta de supervisión del 24 febrero al 4 marzo 2023, RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC

SST: Sólidos suspendidos totales

(**): Informe N.º 00145-2023-OEFA/DEAM-STEC

5.3.4. Equipamiento utilizado

En la actividad de muestreo de los efluentes y del agua residual industrial se utilizó un equipo de posicionamiento GPS para registrar la ubicación, un multiparámetro HACH para registrar los parámetros *in situ*. Mayores detalles de los equipos (modelo, marca, hojas de verificación, certificados de calibración y serie) se presentan en los reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC (Anexo 3).



5.3.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de calidad en el muestreo de los efluentes y del agua residual industrial consistió en el empleo de frascos de primer uso para la colecta de la muestra y la verificación del equipo multiparámetro. Todos los resultados se registraron en los formatos correspondientes que se detallan en los reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

Para el aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio, solo en abril 2023, se consideró la toma de un duplicado para evaluar la precisión y repetitividad del procedimiento de recolección, un blanco de equipo para verificar la limpieza del equipo entre cada punto de muestreo, un blanco de campo y un blanco viajero para asegurar que no hubo contaminación en alguna parte del muestreo.

En dichos controles se realizó el análisis de metales totales, cuyos datos se registraron en la cadena de custodia y fue analizado por el laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. El detalle se encuentra en el Anexo 4.

Para determinar el nivel de precisión de los resultados en el duplicado, se utilizó el porcentaje de diferencia relativa (PDR) y para determinar 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) se utilizó el porcentaje de balance iónico (BI), los cuales se explican en el ítem 5.1.5. El detalle se encuentra en el Anexo 4.

5.3.6. Procesamiento de datos

Se elaboraron diagramas hidroquímicos como Stiff, Piper y Ficklin, los cuales permitieron caracterizar las aguas en función a la concentración de metales, predominancia catiónica, aniónica (tipo de agua) y pH. Los detalles de los diagramas mencionados se explicaron en el ítem 5.1.6 del presente documento. Se precisa que el diagrama de Piper solo se presentó en el ítem 7 de discusión del presente informe, con la finalidad de mostrar la agrupación de los puntos de agua superficial, agua subterránea, agua residual y efluentes.

5.3.7. Criterios de evaluación

Los resultados de los efluentes EBMI y SP-03 se compararon con los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero- Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM, esto en cumplimiento de lo declarado en el programa de monitoreo de la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del Pad de Lixiviación Fase 4 y Tajos aprobado mediante Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM. Los resultados de los puntos de agua residual industrial se describieron de manera puntual.

En el ítem 7 de discusión se consideró la información remitida por Minera IRL S.A, mediante CARTA N.º 034-2023-MIRL-AA-OEFA¹², sobre el manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de los efluentes industriales EBMI, SP-03 y ST-05. Se precisa que el OEFA no constató descarga del efluente ST-05 en ninguno de los periodos evaluados en el 2023.

5.4. Sedimento

En este ítem se detalla la metodología aplicada para los muestreos de sedimento realizados del 03 al 16 de abril de 2023 y del 25 de abril al 05 de mayo de 2023 en la microcuenca Chacote

¹²

HT 2023-E01-465854 del 10/05/2023



(zona 1) y microcuenca Coyllorcocha (zona 3); así como el procesamiento de datos y los criterios de evaluación de los resultados.

5.4.1. Guías utilizadas para la evaluación

La colecta de muestras de sedimento en quebrada, río y laguna se realizó siguiendo la guía indicada en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Guía utilizada para muestreo de sedimento

Protocolo	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
<i>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</i>	Ítem <i>Sample Collection</i> , páginas 15, 16 y 17	Estados Unidos	U.S. Geological Survey's National WaterQuality Assessment	No aplica	1994

5.4.2. Ubicación de puntos

Se realizó la evaluación en 14 puntos de muestreo distribuidos de la siguiente manera: 5 en la microcuenca Chacote (zona 1) y 9 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3). La ubicación, mes de evaluación y descripción de los puntos de muestreo se detallan en la Figura 5.7 y Tabla 5.15.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

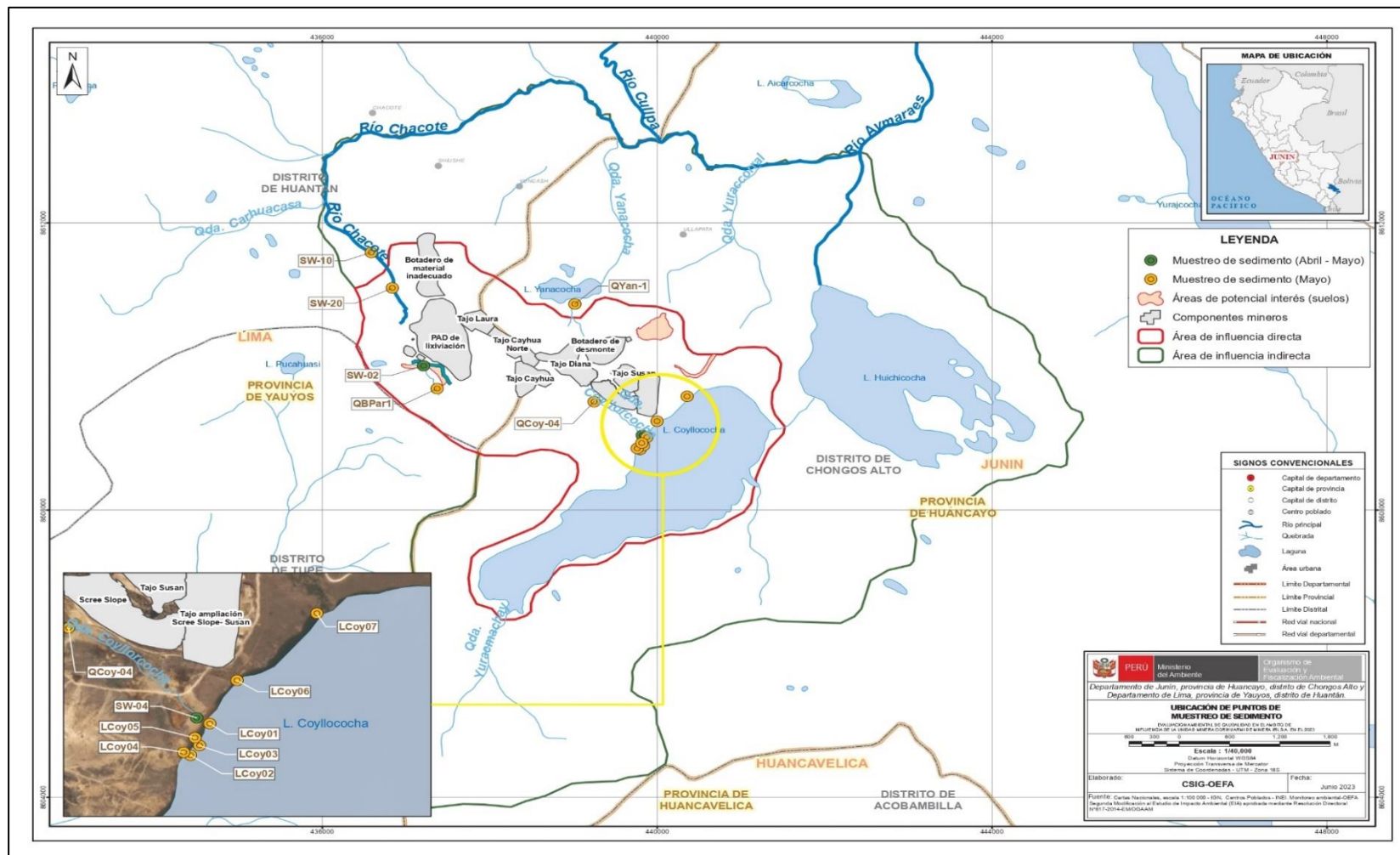


Figura 5.7. Distribución de los puntos de muestreo de sedimento en abril y mayo 2023

**Tabla 5.15.** Ubicación de los puntos de muestreo de sedimento

N.º	Cuerpo de agua	Código del punto de muestreo	Mes	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
Microcuenca Chacote – Zona 1							
1	Río Chacote	SW-20	Mayo	436833	8611093	4672	Río Chacote, ubicado aproximadamente a 200 m aguas arriba de la descarga del efluente EBMI. ¹
2		SW-10	Mayo	436584	8611590	4661	Río Chacote, aproximadamente a 300 m aguas abajo de la descarga del efluente EBMI. ¹
3	Quebrada Para Para	SW-02	Abril	437206	8610008	4704	Quebrada Para Para, aproximadamente a 200 m aguas arriba de la descarga del efluente SP-03. ¹
			Mayo				
4	No aplica	QBPar1	Mayo	437371	8609691	4737	Flujo de agua ubicado en la parte alta del bofedal Para. ¹
5	Quebrada Yanacocha	QYan-1	Mayo	439011	8610871	4747	aproximadamente a 50 metros aguas arriba de su desembocadura en la Laguna Yanacocha. ²
Microcuenca Coyllorococha – Zona 3							
6	Quebrada Coyllorococha	QCoy-04	Mayo	439246	8609511	4716	Quebrada Coyllorococha antes de la confluencia con aguas del ARI-2, ARI-4 y ESP-SS-03. ¹
7		SW-04	Abril	439820	8609040	4702	Quebrada Coyllorococha, aproximadamente a 200 m aguas abajo de la descarga del efluente ST-05. ¹
		Mayo					
8	Laguna Coyllorococha	LCoy01	Mayo	439877	8609012	4707	Laguna Coyllorococha aproximadamente a 63 metros al sureste del punto SW-04. ²
9		LCoy02	Mayo	439792	8608846	4713	Laguna Coyllorococha aproximadamente a 195 metros al sureste del punto SW-04. ²
10		LCoy03	Mayo	439832	8608897	4593	Laguna Coyllorococha aproximadamente a 142 metros al sureste del punto SW-04. ²
11		LCoy04	Mayo	439761	8608861	4701	Laguna Coyllorococha aproximadamente a 185 metros sureste del punto SW-04. ²
12		LCoy05	Mayo	439813	8608937	4700	Laguna Coyllorococha aproximadamente a 100 metros sureste del punto SW-04. ²
13		LCoy06	Mayo	440000	8609237	4701	Laguna Coyllorococha a 265 metros noreste del punto SW-04. ²
14		LCoy07	Mayo	440357	8609586	4699	Laguna Coyllorococha aproximadamente a 765 metros noreste del punto SW-04. ²

(1) Descripción del punto asignado en la supervisión realizada del 03 al 16 de abril de 2023 (RC-024-2023-STEC).

(2) Descripción del punto asignado en la supervisión realizada del 25 de abril al 05 de mayo de 2023 (RC-032-2023-STEC).

5.4.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros y métodos de análisis para las muestras de sedimento se detallan en la Tabla 5.16 y Tabla 5.17. Se consideró el análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB) para la caracterización geoquímica y mineralógica de los sedimentos, debido a que, la estabilidad o movilidad de los elementos en diferentes entornos geológicos depende no solo de

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASubdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

química ambiental del sistema, sino también de la cristalinidad y química de las fases portadoras de metales y metaloides (Ribeiro *et al.*, 2010).

Tabla 5.16. Parámetros evaluados y métodos de análisis para sedimento

N.º	Parámetro	Unidad	Método de análisis
1	Metales incluido mercurio	mg/kg PS	EPA Method 3050 B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B, Rev. 2 (2014) VAL
2	Análisis granulométrico	%	PEC-018
3	Conductividad eléctrica	dS/m	ES_NOM21_AS18
4	Extracción Secuencial de Tessier	mg/kg PS	PE-4421
5	Potencial de hidrógeno (pH)	pH	ES_EPA9045
6	Análisis mineralógico por difracción de rayos x (DRX)	%	Método de Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database)
7	Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido (MEB)	%	ASTM e1508 Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STECC y RR-010-2023-STECC (Anexo 4)

Tabla 5.17. Parámetros evaluados por punto de muestreo para sedimento

Código OEFA	Parámetro													
	Metales		pH		Conductividad eléctrica		Análisis granulométrico		Tessier		DRX		MEB	
	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Abril	Mayo	Abril	Mayo
	2023													
SW-20	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
SW-10	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-
SW-02	1	-	-	1	-	1	-	1	-	1	1	-	-	1
QBPar1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
QCoy-04	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
SW-04	1	-	-	1	-	1	-	1	-	1	1	-	-	1
QYan-1	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-
LCoy01	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1
LCoy02	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1
LCoy03	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	1
LCoy04 ^(d)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
LCoy05	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-
LCoy06	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
LCoy07 ^(d)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Total	2	12	-	12	-	12	-	10	-	10	2	10	-	10

Fuente: RC-024-2023-STECC y RC-032-2023-STECC (Anexo 3).

(-): Parámetro no considerado para este punto.

(d): Se consideró 1 muestra duplicada adicional

5.4.4. Equipos utilizados

El muestreo de sedimento se realizó en un tramo de 20 m aproximadamente aguas arriba y aguas abajo del punto de agua en cuerpos lóticos (quebradas y río) y a 5 m de profundidad aproximadamente en cuerpo léntico (laguna), donde se visualizó bancos de sedimentos finos; asimismo se consideró el posible gradiente de desplazamiento de acuerdo con la dirección de flujo del cuerpo de agua.

Para la colecta de sedimentos se utilizó una pala en cuerpos lóticos (quebrada) y una draga Van Veen en cuerpo léntico (laguna); posteriormente se homogenizó la muestra compuesta en una bandeja de plástico; luego se transfirió en bolsas ziploc y se transportó en cooler para su posterior análisis en el laboratorio. Los datos de los equipos se detallan en los reportes de campo RC-024-2023-STECC y RC-032-2023-STECC (Anexo 3).



5.4.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad del muestreo de sedimento consideró el uso de materiales (pala, draga y bandejas) adecuados para el análisis de elementos traza (metales). Los detalles se presentan en los reportes de campo RC-024-2023-STECC y RC-032-2023-STECC (Anexo 3).

El aseguramiento de calidad de los resultados de laboratorio consideró la toma de 2 duplicados solo en mayo 2023, ya que fueron más de 10 puntos evaluados, para metales con la finalidad de evaluar la precisión y repetitividad de los procedimientos de recolección. Los datos se registraron en la cadena de custodia y fueron analizados por el laboratorio acreditado contratado por el OEFA. El criterio para determinar la precisión de los resultados se basó en el porcentaje de diferencia relativa (PDR), calculado mediante la siguiente ecuación:

$$PDR = \frac{x1 - y1}{(x1 + y1)/2} \times 100$$

Dónde: $x1$ = valor del elemento analizado de una muestra X
 $y1$ = Valor del elemento analizado en el duplicado
 % PDR = Porcentaje de diferencia relativa

La ecuación anterior es usada tanto por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA, 2010), siendo el criterio utilizado para muestras sólidas de PDR < 35 % (EPA, 2010) y PDR de 30 % – 50 % (estándar australiano para suelos AS 4482.1-2005). Bajo esos criterios, se validaron las muestras con un PDR < 30 %.

5.4.6. Procesamiento de datos

Con los resultados de sedimento digitalizados en una base de datos (hojas de cálculo) se realizaron gráficas de las concentraciones de metales, valores de pH y extracción secuencial de Tessier, así como la descripción de la mineralogía de los sedimentos.

Se calculó el factor de enriquecimiento (FE), un indicador de la calidad del sedimento que facilita la observación del comportamiento de la acumulación de metales en un cuerpo de agua. El cálculo se logra mediante una división de las proporciones de elemento metálico sobre un elemento base, y la proporción del mismo elemento con la misma base, pero utilizando los valores de las concentraciones de la corteza terrestre de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$FE = \frac{\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{muestra}}{\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{corteza}} \quad (1)$$

Siendo los términos $\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{muestra}$ y $\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{corteza}$ la relación entre la concentración del metal C_i con respecto al metal de referencia en la muestra y la corteza terrestre respectivamente. Los elementos de referencia se eligen normalmente debido a su menor variabilidad en la corteza terrestre y a su elevada concentración en el sedimento (Wang et al., 2015), tales como el aluminio (Al), silicio (Si), hierro (Fe) o escandio (Sc).

Para esta evaluación, las concentraciones de metales en el sedimento se normalizaron a la concentración del aluminio (Al), ya que éste es un elemento conservador y constituyente de la fracción fina de los sedimentos, que incluye las partículas más enriquecidas de metales (Resongles, 2013; López et al., 2004).



Mientras que, el índice de geoacumulación (I_{geo}) determina la contaminación del sedimento en sustancias orgánicas e inorgánicas como los metales mediante la comparación de concentraciones presentes antes de la actividad industrial. Los valores de índice de geoacumulación se definen de la siguiente manera:

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_n}{1,5B_n}\right) \quad (2)$$

Donde:

C_n = Concentración del elemento (metal) en el sedimento de fondo.

B_n = Valor de fondo geoquímico del metal en la corteza terrestre.

Las concentraciones del valor de fondo geoquímico se multiplican por 1,5 para permitir las fluctuaciones del contenido de una sustancia dada como los metales en el ambiente además de las influencias antropogénicas (Loska et al., 1997).

5.4.7. Criterios de evaluación

Los resultados de sedimento se compararon de manera referencial, con 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*) considerados para sedimentos de agua dulce (CCME, 2012). Se precisa que en los IGAS de Minera IRL S.A. no se tiene como compromiso realizar monitoreo de sedimento.

Se utilizaron los valores establecidos en esta guía internacional para el arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc, precisando la concentración por debajo de la cual no se esperan efectos biológicos adversos: valor ISQG (*Interim Sediment Quality Guideline*) y la concentración por encima de la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia: valor PEL (*Probable Effect Level*), según la guía canadiense antes mencionada.

La discusión (ítem 7 del presente documento) consideró el análisis de la información de los resultados con la finalidad de determinar si existe un gradiente de desplazamiento de los metales desde los sedimentos de la quebrada Coyllorcocha hacia la laguna del mismo nombre; además de la correlación con los resultados de análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido y análisis mineralógico por difracción de rayos X, dado que esto permite identificar especies minerales metálicas y no metálicas que se encuentran en los sedimentos y asociarlos a los elementos de interés de la actividad minera. Asimismo, se consideró la información remitida por Minera IRL S.A, mediante CARTA N° 034-2023-MIRL-AA-OEFA¹³, sobre la calidad de sedimento en la laguna Coyllorcocha de los años 2006 y 2010.

5.5. Comunidades hidrobiológicas

Los diversos organismos pertenecientes a las comunidades hidrobiológicas están directamente relacionados entre sí, así como con el ecosistema acuático donde interactúan. Debido a ello, en esta evaluación, se analizan las comunidades hidrobiológicas y su relación con los componentes no biológicos (agua superficial y sedimento) que influyen sobre ellas. Los



resultados fueron alcanzados mediante procedimientos tanto en campo como en gabinete, los cuales se describen a continuación.

5.5.1. Guías utilizadas para la evaluación

La colecta de muestras hidrobiológicas de las comunidades del perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados acuáticos tuvieron como base metodológica las técnicas de muestreo descritas en los protocolos de la Tabla 5.18. En estas guías se señalan los criterios técnicos y lineamientos generales aplicados en la evaluación del componente hidrobiológico, el establecimiento de los puntos de monitoreo, los materiales y equipos requeridos para la evaluación, los equipos de protección personal, la preservación de muestras, entre otros.

Tabla 5.18. Guías y protocolos de muestreo para la evaluación de las comunidades hidrobiológicas

Guías y protocolos	País
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y neuston (peces) en aguas continentales del Perú	Perú
Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)	Ecuador

5.5.2. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo de las comunidades hidrobiológicas se estableció tomando como referencia aquellos puntos de monitoreo de calidad de agua declarados en los IGA del administrado, los cuales fueron complementados con puntos establecidos en gabinete y en el reconocimiento de campo de acuerdo con los siguientes criterios:

- Aguas arriba y aguas abajo de los componentes mineros
- En nacientes de cuerpos hídricos o zonas prístinas

Se evaluaron 18 puntos para las comunidades hidrobiológicas, cuyo detalle de su ubicación y descripción se presenta en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas

N.º	Cuerpo receptor	Punto de muestreo	Coordenada - UTM WGS 84-18L		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
Microcuenca Chacote (Zona 1)						
1	Río Chacote	SW-10	436584	8611590	4661	Después de operaciones de la Planta de Beneficio y en el río Chacote al noroeste del Botadero de Material Inadecuado. ⁽¹⁾ Río Chacote, aproximadamente a 300 m aguas abajo de la descarga del efluente EBMI. ⁽²⁾
2	Quebrada sin nombre	QSN-02	436830	8611281	4671	Quebrada sin nombre, ubicada en la margen derecha del río Chacote aproximadamente a 2 m aguas arriba de la descarga del EBMI. ⁽²⁾
3	Río Chacote	RCha-01	436804	8611145	4661	Río Chacote, a 320 metros aproximadamente antes de la confluencia con la quebrada sin nombre ⁽²⁾
4	Quebrada sin nombre	QSN-03	436824	8611109	4671	Quebrada sin nombre, ubicada en la marnen derecha del río Chacote



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

N.º	Cuerpo receptor	Punto de muestreo	Coordenada - UTM WGS 84-18L		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
						aproximadamente a 5 m aguas abajo del SW-20. ⁽²⁾
5	Río Chacote	SW-20	436833	8611093	4672	Río Chacote, al sur de la PTAR del campamento nuevo. ⁽¹⁾ Río Chacote, ubicado aproximadamente a 200 m aguas arriba de la descarga del efluente EBMI. ⁽²⁾
6	Quebrada Para Para	SW-02	437206	8610008	4720	En la quebrada Para Para, al sureste de la Poza PLS y en la cabecera del río Chacote. ⁽¹⁾ Quebrada Para Para, aproximadamente a 200 m aguas arriba de la descarga del efluente SP-03. ⁽²⁾
7	Bofedal	QBPar1	437371	8609691	4737	Flujo de agua ubicado en la parte alta del bofedal Para. ⁽²⁾
8	Bofedal	BOF-1	437418	8609912	4728	Punto ubicado en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera)
9	Quebrada Yanacocha	QYan-1	439011	8610871	4747	Quebrada Yanacocha, aproximadamente a 50 metros aguas arriba de su desembocadura en la Laguna Yanacocha.
Microcuenca Coyllorcocha (Zona 3)						
10	Quebrada Coyllorcocha	QCoy01	439105	8609496	4736	Quebrada Coyllorcocha, ubicado aproximadamente a 200 m al oeste de la poza ST-03. ⁽²⁾
11	Quebrada Coyllorcocha	QCoy-04	439246	8609511	4716	Quebrada Coyllorcocha antes de la confluencia con aguas del ARI-2, ARI-4 y ESP-SS-03. ⁽²⁾
12	Quebrada Coyllorcocha	SW-04	439820	8609040	4702	Ingreso a la laguna Coyllorcocha, al sureste del Screeslope. ⁽¹⁾ Quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 200 m aguas abajo de la descarga del efluente ST-05. ⁽²⁾
13	Laguna Coyllorcocha	LCoy01	439877	8609012	4707	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 63 metros al sureste del punto SW-04
14	Laguna Coyllorcocha	LCoy02	439792	8608846	4713	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 195 metros al sureste del punto SW-04
15	Laguna Coyllorcocha	LCoy03	439832	8608897	4593	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 142 metros al sureste del punto SW-04
16	Laguna Coyllorcocha	LCoy04	439761	8608861	4701	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 185 metros sureste del punto SW-04
17	Laguna Coyllorcocha	LCoy06	440000	8609237	4701	Laguna Coyllorcocha a 265 metros noreste del punto SW-04
18	Laguna Coyllorcocha	LCoy07	440357	8609586	4699	Laguna Coyllorcocha aproximadamente a 765 metros noreste del punto SW-04

(1) Descripción obtenida en la Segunda Modificación al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) aprobada mediante R.D. N.º 617-2014-EM/DGAAM

(2) Descripción obtenida en la presente supervisión

5.5.3. Parámetros y métodos de análisis

La Tabla 5.20 presenta los parámetros, los métodos de ensayo y las técnicas empleadas en el análisis de las comunidades hidrobiológicas por los profesionales de la DEAM. Asimismo, en la Tabla 5.21 se detalla los parámetros considerados en cada punto evaluado.

Tabla 5.20. Parámetros evaluados y métodos de análisis para comunidades hidrobiológicas

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASubdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

N.º	Parámetro	Unidad	Método de análisis
1	Macroinvertebrados bentónicos	Individuos/muestra	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10500 C.1, 2. 23rd. Ed. 2017
2	Perifiton	Organismo/cm²	SMEWW 10300C, 10300E. EPA 841-B-99-002

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STECC y RR-010-2023-STECC (Anexo 4)

Tabla 5.21. Parámetros evaluados por punto de muestreo para las comunidades hidrobiológicas

Código OEFA	Parámetro			
	Macroinvertebrados bentónicos		Perifiton	
	Abril	Mayo	Abril	Mayo
	2023			
SW-20	1	-	1	-
QSN-03	-	-	1	-
RCha-01	1	-	1	-
QSN-02	1	-	1	-
SW-10	1	-	1	-
SW-02	1	-	1	-
QBPar1	1	-	1	-
QCoy-01	1	-	1	-
QCoy-04	1	-	1	-
SW-04	1	-	1	-
QYan-1	1	-	1	-
BOF-1	-	1	-	1
LCoy01	-	1	-	-
LCoy02	-	1	-	-
LCoy03	-	1	-	-
LCoy04	-	1	-	-
LCoy06	-	1	-	-
LCoy07	-	1	-	-
Total	10	7	11	1

Fuente: RC-024-2023-STECC y RC-032-2023-STECC (Anexo 3).

(-): Parámetro no considerado para este punto.

5.5.4. Equipos utilizados

Para la evaluación de las comunidades hidrobiológicas, se utilizaron equipos y herramientas como GPS (sistema de posicionamiento global), red surber, entre otros materiales, los cuales se detallan en el reporte de campo N.º RC-024-2023-STECC y N.º RC-032-2023-STECC (Anexo 3).

5.5.5. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad en las evaluaciones hidrobiológicas está enfocado en la confiabilidad de la toma de muestra y su procesamiento en el laboratorio, lo cual se simplifica en dos principales aspectos tal como menciona el manual de métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas:

**Colecta:**

- Precisión: Definir el tipo de hábitat a coleccionar
- Rango de performance: Identificar y seleccionar los diferentes tipos de sustrato
- Interferencias: Limitantes físicas (velocidad de la corriente, profundidad)
- Clima: Tomar la decisión técnica de la colecta de muestra en momentos de lluvia o granizada
- Personal entrenado
- Etiquetado correcto

Identificación y análisis de la muestra:

- Calibración de los equipos regularmente
- Manejo adecuado de las muestras en el laboratorio mediante un protocolo interno
- El personal demostró una capacitación constante

5.5.6. Procesamiento de datos

La evaluación de las comunidades hidrobiológicas consistió en la caracterización de las estructuras comunitarias del perifiton (microalgas y microorganismos) y macroinvertebrados bentónicos, la cual incluyó la riqueza, densidad, diversidad alfa, diversidad beta y calidad ecológica (calidad biológica y calidad hidromorfológica). Asimismo, se determinó mediante análisis estadísticos las relaciones de las comunidades hidrobiológicas con las variables fisicoquímicas del agua y/o sedimento. Además, se realizó la elaboración de mapas de interpolación para la distribución de organismos en la Laguna Coyllorcocha.

a. Riqueza, densidad y diversidad alfa

La evaluación de la riqueza y la abundancia (densidad) de macroinvertebrados bentónicos y perifiton se desarrolló sobre la base de la categoría taxonómica «familia» y phylum» respectivamente.

Es necesario indicar que los resultados de la densidad y riqueza de los macroinvertebrados bentónicos se analizaron en base a la suma total de las réplicas por punto de muestreo; cabe indicar que, para el muestreo cuantitativo, cada réplica de las muestras de los macroinvertebrados bentónicos colectada con red surber está representada en Individuos/0,09 m² (mesohabitat rápido el más representativo), mientras que réplicas colectadas con draga están representada en Individuos/0,05 m²; por otro lado, para el muestreo cualitativo las muestra colectadas están representados en Individuos/muestra teniendo en cuenta que se hizo un arrastre de tres metros en cada punto de muestreo. Asimismo, el perifiton fue representado por organismos/cm² de un total de área muestreada de 25 cm² (muestreo compuesto multihabitat).

Para esto, se utilizó el programa Excel en donde se sistematizó los nombres y números de cada especie por cada punto de monitoreo reportado por taxónomos contratados por el OEFA; posteriormente, se realizó las representaciones mediante gráficas acumuladas.

Para la evaluación de diversidad de especies (diversidad alfa), se utilizaron los índices de diversidad verdadera (Números de Hill) con base en el número de especies de cada punto de monitoreo para cada comunidad hidrobiológica. Para esto, se utilizó la variable N1 como la modificación del índice Shannon (H') (Jost, 2006) que tiene como fórmula:



$$N1 = \exp(H') \quad (1)$$

Asimismo, se calculó el índice de dominancia de Simpson que es inverso al concepto de equidad de la comunidad, ya que toma en cuenta las especies con mayor importancia sin considerar al resto de especies, siendo menos sensible con la riqueza de especies (Krebs, 1978; Magurran, 1991; Feinsinger, 2003). El índice de Simpson representa la probabilidad de que 2 individuos dentro de un hábitat seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie. La fórmula para determinar el índice de Simpson es la siguiente:

$$D = \sum p_i^2 \quad (2)$$

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

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} \quad (3)$$

Donde:

J' es el índice de equidad de Pielou
H' = índice de diversidad de Shannon-Wiener
H' max = Ln(S)
S = número de especies

b. Análisis Cluster

Para el análisis de agrupamiento y asociación, se utilizó el coeficiente de similitud de Bray-Curtis con base en la similitud de especies entre puntos de muestreo para cada comunidad de macroinvertebrados bentónicos y perifiton (microalgas). Para determinar el índice de Bray-Curtis se empleó la fórmula:

$$IBC = 1 - \frac{(\sum x_i - y_i)}{(\sum x_i + y_i)} \quad (4)$$

Donde:

IBC = índice de Bray-Curtis
xi = abundancia o densidad de especies i en un conjunto
yi = 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 a raíz cuadrada o logaritmo X+1 (Clarke *et al.*, 2014), utilizando el programa estadístico PAST (Hammer *et al.*, 2001).

Este análisis se muestra en la sección de discusión para un mejor entendimiento de los objetivos planteados.

c. Calidad ecológica de ríos altoandinos según el protocolo CERA-S

El protocolo CERA-S da como resultado el estado ecológico de los ríos mediante la combinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica (macroinvertebrados bentónicos). La base del protocolo es la valoración de la calidad biológica del río y las



características de su entorno y su representación mediante una combinación sencilla de colores que permite, a quien no tiene una formación científica especializada, observar rápidamente cual es el estado de salud de los sistemas lóticos (Encalada *et al.*, 2011). Es importante mencionar que se hizo una modificación al protocolo CERA-S: la calidad biológica que se trabajó fue con el Andean Biotic Index (ABI), para ello se utilizó la base de datos del muestreo cuantitativo donde se realizó un muestreo en los mesohabitats tipo rápido, los más dominante del cuerpo de agua.

Calidad hidromorfológica

La calidad hidromorfológica se estimó a partir de la observación de las 8 características listadas a continuación:

1. Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
2. Continuidad de la ribera
3. Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje
4. Presencia de basuras y escombros
5. Naturalidad del canal fluvial
6. Composición del sustrato
7. Regímenes de velocidad y profundidad del río
8. Elementos de heterogeneidad

El criterio de elección del puntaje para cada característica se detalla en las fichas de datos de del reporte de campo N.º RC-024-2023-STE y N.º RC-032-2023-STE (Anexo 2). Una vez obtenidas las puntuaciones para cada característica hidromorfológica, se obtiene una sumatoria de todas ellas con la finalidad de tener un solo valor por punto de muestreo. Finalmente, para obtener la calidad hidromorfológica, dicho valor es comparado con la siguiente escala (Tabla 5.21).

Tabla 5.22. Valoración de la calidad hidromorfológica

Puntuación	Calidad hidromorfológica	
> 35	Excelente	
29 – 35	Buena	
21 – 28	Moderada	
11 – 20	Mala	
0 – 10	Pésima	

Fuente: Encalada *et al.* (2011)

Calidad biológica - Índice biótico andino (ABI)

A partir de la identificación de las muestras de macroinvertebrados bentónicos, se determinó la calidad biológica utilizando el ABI (Índice Biótico Andino, del inglés *Andean Biotic Index*). Este índice fue desarrollado para ríos altoandinos (sobre los 2000 m s. n. m.), y se obtiene sumando los valores de sensibilidad de cada familia de macroinvertebrados bentónicos presente en cada punto de muestreo (Tabla 5.22).

Tabla 5.23. 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



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

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

Fuente: Acosta *et al.* (2009)

*La categoría taxonómica familia no presenta puntuación, por ende, la categoría taxonómica superior (Orden / Clase) es la que otorga la puntuación

Para obtener el respectivo valor de calidad biológica, dichos valores fueron comparados con la siguiente escala (Tabla 5.23).

**Tabla 5.24.** Valoración de la calidad biológica con el índice ABI

Puntuación	Calidad biológica
>74	Muy buena
45 – 74	Buena
27 – 44	Moderada
11 – 26	Mala
<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 5.24).

Tabla 5.25. Escala de calidad ecológica

		Calidad biológica				
		Muy buena	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 de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, se recategorizaron los taxones 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 corresponde a los taxones que se agrupan dentro de familias sensibles, que presentan un alto nivel de sensibilidad según las categorías del ABI (entre 8 y 10); el segundo grupo corresponde a las especies que se agrupan dentro de familias facultativas, que según las condiciones pueden tener un grado intermedio de sensibilidad/tolerancia (entre 4 y 7); finalmente, el tercer grupo comprende a las especies que se agrupan dentro de familias tolerantes, que presentan un bajo nivel de sensibilidad (entre 1 y 3).

Es importante mencionar que este análisis también se utilizó para generar graficas de grados de perturbación en base de los datos extraídos de la identificación taxonómica de macroinvertebrados bentónicos del informe de monitoreo hidrobiológico (2011) emitido por la UF Corihuarmi.

Este análisis sobre el grado de perturbación se muestra en la sección de discusión para un mejor entendimiento de los objetivos planteados.

d. Análisis multivariado por permutaciones PERMANOVA

Se seleccionó este método de análisis multivariado dado que i) permite hacer análisis complejos y ii) considera valores reales más que rangos, a diferencia de los que permite un análisis tradicional de similaridad ANOSIM.

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 (*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).

Este análisis permite probar la hipótesis general multivariada de diferencias en la composición entre los puntos de muestreo con influencia y sin influencia de los componentes mineros. Este análisis se muestra en la sección de discusión para un mejor entendimiento de los objetivos planteados.

e. Análisis BEST (optimal matching of Biota to Environmental including Stepwise search)

En los análisis multivariados aplicados en ecología de comunidades generalmente se enlaza los patrones de la estructura comunitaria con una serie de variables ambientales y es lo que se denomina en análisis de gradientes.

La gran dificultad que se visualiza en la naturaleza multivariada de la información necesita ser superada al analizar esta relación y surge un método que se contiene en la rutina BEST. Este método básicamente mide la correlación entre las matrices de disimilitud de las componentes biológicas y ambientales, inicialmente se denominó BIOENV (Clarke y Ainsworth, 1993).

Previo a ello, para el análisis ambiental de los parámetros de agua superficial y sedimento se consideró los parámetros que hayan superado el límite de cuantificación reportado por el laboratorio y en su conjunto sean mayor al 50% evidenciados en la totalidad de los puntos muestreados, además, se depuró los parámetros al seleccionar solo los que hayan superado o los ECA Cat3 2017 para agua superficial y los parámetros que hayan superado el ISQG o PEL de la norma canadiense.

Este análisis se menciona en la sección de discusión para un mejor entendimiento de los objetivos planteados.

f. Análisis de modelos lineales basados en la distancia (DBLM) y análisis de regresión multivariada

DBLM es una variedad de modelo lineal donde la información explicativa se codifica como distancias entre variables. Estas distancias pueden calcularse a partir de variables explicativas observadas o ingresarse directamente como una matriz de distancias. La respuesta es una variable continua como en el modelo lineal ordinario Cuadras y Dodge, 1989. La idea principal es utilizar las coordenadas principales como variables explicativas (parámetros de agua y sedimento) sobre la dinámica de las comunidades hidrobiológicas. Este análisis complementa al anterior seleccionando las variables mas precisas que explican la alteración poblacional de los macroinvertebrados bentónicos.

Para complementar el análisis se realizó un modelo de regresión lineal multivariado con las variables ya detectados en los análisis anteriores en el programa Past, donde gráficamente se puede observar el modelo predictivo, que a medida que aumente algún parámetro de agua



superficial superficial o sedimento este pueda generar la disminución de organismos tolerantes o facultativos.

Este análisis se muestra en la sección de discusión para un mejor entendimiento de los objetivos planteados.

g. Elaboración de mapas con interpolación

Dentro de las técnicas de interpolación más utilizadas comúnmente para la investigación de suelos y sedimentos y en el mapeo de su contaminación, tenemos a la ponderación de distancia inversa (IDW), y los métodos kriging y Spline (Xie et al., 2011). En el presente estudio se empleó el método ordinario de kriging (OK), usando el software ArcGis versión 10.3 o el software Surfer versión 10.1.561 para mapear la distribución espacial la riqueza y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos en la laguna Coyllorcocha.

Lo anterior permite representar mapas de concentraciones en los sistemas evaluados; para ello, a cada punto de muestreo, definido por sus coordenadas de posición (x, y), se le asocia la concentración experimental del parámetro evaluado “z” (Riqueza y densidad). Con las coordenadas citadas (x, y, z) el programa realiza las interpolaciones necesarias hasta obtener un mapa de isolíneas de concentración que permite visualizar la situación ambiental. A partir de los mapas se puede obtener concentraciones medias, de toda el área o por zonas, y distribuciones superficiales de la riqueza y densidad.

Al archivo grid creado, se le asigna una gama de colores según la distribución de organismos de cada punto de muestreo, de modo que el mapa refleje las zonas de los cuerpos de agua donde haya mayor y menor valor del parámetro referido, así como su distribución. El tamaño de la rejilla y los límites se determinaron según las coordenadas de los extremos de la zona de la laguna. Una vez definidos los límites de las rejillas se digitalizó el contorno de las lagunas en estudio, para finalmente exportar el mapa creado en archivo de formato PDF raster.

Este análisis se muestra en la sección de discusión para un mejor entendimiento de los objetivos planteados.

5.6. Caracterización del material de componentes mineros y otros materiales

Los componentes mineros caracterizados fueron: Botadero de material inadecuado (BMI), Tajos Cayhua, Scree Slope y Diana, y otros materiales asociados.

Se caracterizó las fracciones sólidas de los componentes mineros y otros materiales ubicados dentro del área de uso minero, de los cuales se determinó los contaminantes principales. La movilidad de estos contaminantes se estimó mediante las pruebas de lixiviación del material sólido y fueron contrastados con los resultados de las aguas residuales asociadas (pozas de subdrenaje), en tanto, el mecanismo de transporte se determinó, mediante la prospección geofísica, observaciones de campo y registrado en los vuelos de RPAS (drones). Además, se caracterizó la fracción líquida proveniente de la lixiviación del material de componentes mineros, como aguas de canales de contacto, pozas de subdrenajes, pozas de tratamiento de aguas de contacto y efluente.

**5.6.1. Guías utilizadas para la evaluación**

En la Tabla 5.25 se detalla la guía para la caracterización del material de componentes mineros y otros materiales.

Tabla 5.26. Guía de muestreo para los materiales de componente minero y otros materiales

Referencia	Sección	País	Institución	Año
Guía metodológica para estabilidad química de faenas e instalaciones mineras	- Capítulo 6: Monitoreo y muestreo en la gestión de la estabilidad química - Anexo 3: Generalidades del muestreo: programa de muestreo y fichas de muestreo en terreno	Chile	Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) Ministerio de Minería Gobierno de Chile	2015

5.6.2. Ubicación de puntos de muestreo

En la Figura 5.8 y Tabla 5.26 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo del material de componentes mineros y otros materiales.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

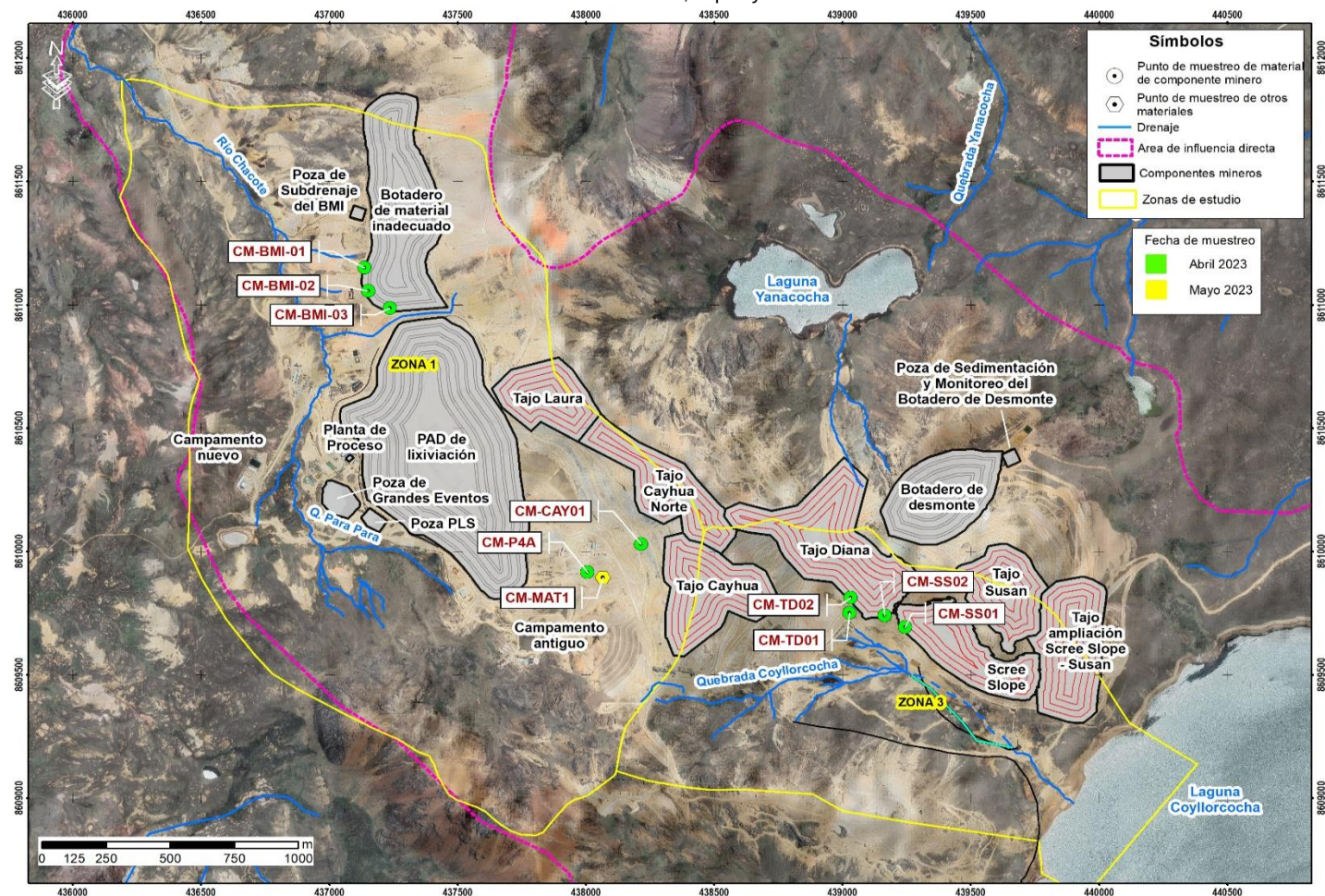


Figura 5.8. Distribución y ubicación de puntos de muestreo de componentes mineros por zonas.

**Tabla 5.27.** Ubicación de los puntos de muestreo de material de componentes mineros

N.º	Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
Material de componentes mineros					
Zona 1: Microcuenca del río Chacote					
1	CM-BMI-01*	437138	8611149	4721	Ubicado en el lado suroeste del botadero de material inadecuado, aproximadamente a 120 m al noreste de la poza de aguas de contacto BMI
2	CM-BMI-02*	437152	8611055	4720	Ubicado en el lado suroeste del botadero de material inadecuado, aproximadamente a 60 m al este de la poza de aguas de contacto BMI
3	CM-BMI-03*	437236	8610986	4731	Ubicado en el lado suroeste del botadero de material inadecuado, aproximadamente a 150 m al sureste de la poza de aguas de contacto BMI
4	CM-CAY01*	438216	8610030	4848	Ubicado en el borde noroeste del tajo Cayhua, aproximadamente a 180 m al este del taller de maquinaria pesada
5	CM-P4A*	438006	8609916	4809	Ubicado en el borde oeste de la poza PS-04A que forma parte del sistema de tratamiento SP-03, aproximadamente a 60 m al sur del taller de mantenimiento eléctrico
6	CM-MAT1**	438067	8609894	4811	Ubicado aproximadamente a 65m al sureste de la poza PS-04A, que forma parte del sistema de tratamiento SP-03.
Zona 3: Microcuenca de la quebrada Coyllorcocha					
7	CM-TD01*	439027	8609751	4745	Ubicado en el borde sur del tajo Diana, aproximadamente a 40 m al norte de la poza ST-02
8	CM-TD02*	439032	8609812	4762	Ubicado en el borde sur del tajo Diana, aproximadamente a 100 m al norte de la poza ST-02
9	CM-SS01*	439244	8609693	4731	Ubicado en el borde noroeste del tajo Scree Slope, aproximadamente a 150 m al norte de la poza ST-03
10	CM-SS02*	439165	8609741	4735	Ubicado en el borde noroeste del tajo Scree Slope, aproximadamente a 220 m al noroeste de la poza ST-03

Fuente: Reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC.

* Punto evaluado en abril de 2023.

** Punto evaluado en mayo de 2023.

5.6.3. Parámetros y métodos de análisis

En la Tabla 5.27 y Tabla 5.28 se presentan los parámetros evaluados en los materiales de los componentes mineros y los métodos de análisis de cada parámetro, respectivamente.

Tabla 5.28. Métodos de análisis de cada parámetro evaluado en componentes mineros y otros materiales

N.º	Parámetro		Unidad	Método de análisis
1	Metales totales y mercurio		mg/kg PS	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL
2	Test ABA	Azufre total	mg/kg	PE-4408. Análisis elemental
		Fizz Rating	Sin unidad	–PE-4409. Inspección visual



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

N.º	Parámetro	Unidad	Método de análisis
	pH en Pasta	Unidades de pH	PE-4416. Electrometría
	Potencial de Acidez Máximo (MPA)	Kg CaCO ₃ /Ton	PE-4407. Calculado
	Potencial de Neutralización Neto (PNN)	Kg CaCO ₃ /Ton	PE-4407. Calculado
	Potencial de Neutralización	Kg CaCO ₃ /Ton	PE-4402. Volumetría
	Sulfuro Total	mg/kg	PE-4016. Análisis elemental
3	Shake Flask metales	mg/L	PE-4414 / EPA 6020 B. Espectrometría por ICP-MS.
4	Shake Flask aniones	mg/L	PE-4414 / PE-2090. Cromatografía iónica
5	Análisis mineralógico por DRX	%	Pastilla de síliceo PATron y parámetro de Bandwidth, con equipo PANALYTICAL X'pert PRO

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC y RR-010-2023-STEC (Anexo 4)
(PS): Peso seco.

Tabla 5.29. Parámetros evaluados en material de componentes mineros y otros materiales

Código OEFA	Parámetro				
	Metales	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	DRX
Componentes mineros					
Zona 1: Microcuenca del río Chacote					
CM-BMI-01	1	1	1	1	1
CM-BMI-02	1	1	1	1	1
CM-BMI-03	1	1	1	1	1
CM-CAY01	1	1	1	1	1
CM-P4A ^(d)	2	1	1	1	1
CM-MAT1	1	1	1	1	1
Zona 3: Microcuenca de la quebrada Coyllorcocha					
CM-TD01	1	1	1	1	1
CM-TD02 ^(d)	2	1	1	1	1
CM-SS01	1	1	1	1	1
CM-SS02	1	1	1	1	1
Total	12	10	10	10	10

Fuente: Reportes de resultados RR-0X16-2023-STEC y RR-010-2023-STEC (Anexo 4)

(d): Se consideró 2 muestras duplicadas adicionales.

ABA: Prueba balance ácido-base.

DRX: Análisis mineralógico por Difracción de Rayos X.

5.6.4. Equipos y herramientas utilizadas

Los equipos utilizados para la evaluación ambiental se listan en los reportes de campo RC-024-2023-STEC y RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

5.6.5. Aseguramiento de la calidad

El control de calidad de los resultados de metales en el material de componentes mineros se realizó mediante las muestras duplicadas¹⁴, siendo esta tomada en los puntos CM-TD02 (CM-DUP01) y CM-P4A (CM-DUP2), los cuales corresponden al 20 % de la cantidad de total de muestras tomadas (10 muestras).

El criterio para determinar la precisión de los resultados se basó en el porcentaje de diferencia relativa (PDR), calculado mediante la siguiente ecuación:

¹⁴ Se trata de una sola muestra dividida en 2 muestras, tomadas al mismo tiempo y en el mismo lugar. Esta muestra asegura la precisión de los resultados.



$$PDR = \frac{x1 - y1}{(x1 + y1)/2} \times 100$$

Dónde: $x1$ = valor del elemento analizado de una muestra X
 $y1$ = Valor del elemento analizado en el duplicado
 % PDR = Porcentaje de diferencia relativa

La ecuación anterior es usada tanto por la EPA como por el gobierno australiano¹⁵, siendo el criterio utilizado para muestras sólidas de PDR < 35 % (EPA, 2010) y PDR de 30 % – 50 % (estándar australiano para suelos AS 4482.1-2005). Bajo esos criterios, se validaron las muestras con un PDR < 30 %.

5.6.6. Criterios de evaluación

La caracterización de componente minero y otros materiales contempló la descripción litológica (fragmentos de roca), mineralógica y contenido de metales para identificar los elementos contaminantes principales. Además, fue complementado con la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para determinar el potencial de generación de acidez (Tabla 5.29), y pruebas de SFE (*shake flask extraction*) para determinar la movilidad de metales y aniones.

Tabla 5.30. Criterios de análisis para determinar el potencial de generación de acidez mediante la prueba ABA

Criterio	Rango de análisis	Potencial DAR
CRITERIO 1 Potencial neto de neutralización - PNN (NPP = NP-AP)	NNP < -20 -20 < NNP < 20 NNP > 20	→ Potencialmente generador de acidez (PAG) → Incierta y requiere mayor caracterización → No potencial generador de acidez (No-PAG)
CRITERIO 2: Relación del Potencial Neto - NPR (NPR=NP/AP)	NPR < 1 1 < NPR < 3 NPR > 3	→Potencialmente generador de acidez (PAG) →Incierta y requiere mayor caracterización →No potencial generador de acidez (No-PAG)
CRITERIO 3: Contenido de azufre como sulfuro y la ratio NP/AP	< 0.3% Azufre (S) >0.3% Azufre (S) > 0.3% S y 1 < NP/AP < 3	→No generará drenaje ácido →Generará drenaje ácido →Incertidumbre. puede o no generar drenaje ácido

FUENTE: Criterio 1: MINEM, 1995.
 Criterio 2: W. A. Price CANMET, 2009.
 Criterio 3: Aduvire 2006, 2012

Adicionalmente, los elementos mayores y trazas fueron comparados referencialmente con los valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995)¹⁶, mediante diagramas de concentración y dispersión de metales, para determinar su excedencia y considerarlo como valor anómalo.

¹⁵ Quality control for water and sediment sampling. Queensland Government. Febrero 2018.

¹⁶ Los valores de corteza continental fueron tomados del Geochemical Earth Reference Model (<https://earthref.org/GERMED/>).



5.7. Caracterización geológica y litogeoquímica

La caracterización geológica permitió identificar y describir las unidades litológicas, estructuras geológicas (fallas) y las zonas con alteraciones y mineralización ubicadas aledaños a los componentes mineros de la UM Corihuarmi. Por su parte, la caracterización litogeoquímica permitió determinar la concentración de elementos (metálicos y no metálicos), la composición mineralógica, el potencial de generación de drenaje ácido y los elementos móviles de las unidades litológicas que constituyen el basamento (material parental), sobre el cual se desarrollaron los suelos de la zona y se establecieron los componentes mineros.

Las referencias de la geología regional corresponden al cuadrángulo de Tupe-16I realizada por Salazar, H. y Landa, C. (1993) y que formó parte de la carta geológica nacional (CGN) a escala 1:100000 del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet). Asimismo, se consideró las actualizaciones a escala 1:50000 del cuadrante 26I-1, realizadas por Quispesivana, Q. y Navarro, P. (2003). La referencia local corresponde a los estudios realizados por Minera IRL S.A. para obtener los permisos ambientales, y otras publicaciones nacionales e internacionales, los cuales fueron complementados con el cartografiado que realizó el OEFA en este estudio.

5.7.1. Guías utilizadas para la caracterización geológica y litogeoquímica

En la Tabla 5.30 se detalla la guía metodológica para la caracterización geológica y litogeoquímica.

Tabla 5.31. Guías utilizadas para la caracterización geológica y litogeoquímica

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
Caracterización geológica				
Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100 000	Toda la guía	Perú	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet)	2016
Basic Geological Mapping	Toda la guía	Reino Unido	Richard J. Lisle, Peter Brabham, y John Barnes	2011
Geological field techniques	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 <i>United States Geological Survey</i>)	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
Caracterización litogeoquímica				
Manual de inventario de recursos minerales	Toda la guía	Perú	Dirección de Recursos Minerales y Energéticos - Ingemmet	2013
Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials	Toda la guía	Canadá	CANMET- Mining and Mineral Sciences Laboratories	2009
Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto	Toda la guía	Chile	Angel Lambert B.	2006
Introducción al muestreo minero	Toda la guía	Chile	Marco Antonio Alfaro Sironvalle	2002



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

5.7.2. Ubicación de puntos de caracterización geológica y litogeoquímica

En la Figura 5.9 y Tabla 5.31 se presenta la ubicación de los puntos de caracterización geológica y litogeoquímica (distribución espacial y coordenadas).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

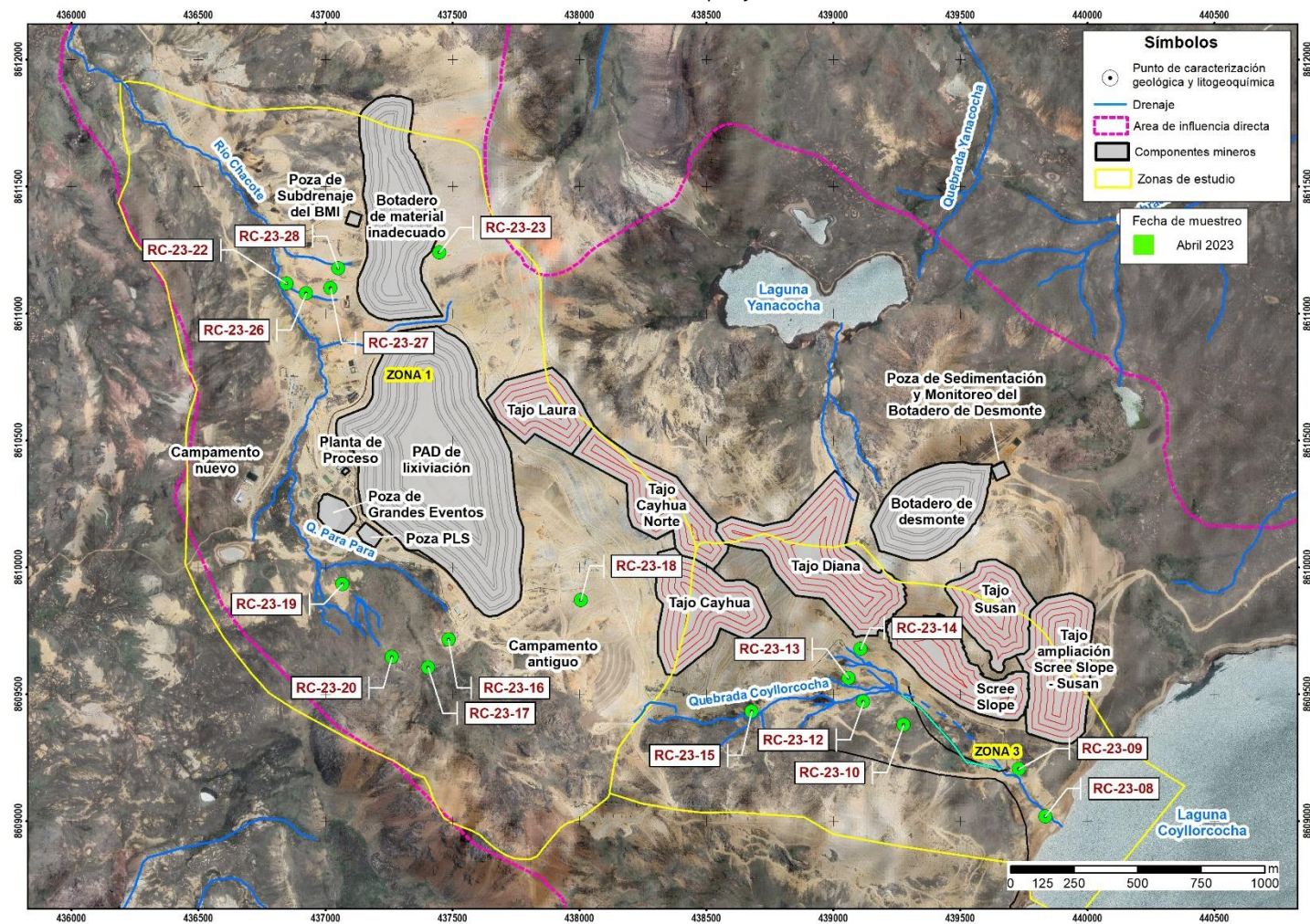


Figura 5.9. Distribución y ubicación de puntos de caracterización geológica y litogeoquímica

**Tabla 5.32.** Ubicación de los puntos de caracterización geológica y litogeoquímica

N.º	Código OEFA	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m.	Ubicación
		Este (m)	Norte (m)		
Zona 1: Microcuenca del río Chacote					
1	RC-23-23	437449	8611239	4767	Ubicado en la margen derecha del río Chacote, aproximadamente a 80 m al norte de la cantera Willy II
2	RC-23-22	436847	8611118	4678	Ubicado en la margen derecha del río Chacote, aproximadamente a 30 m al norte del punto de monitoreo SW-20
3	RC-23-26	436924	8611079	4684	Ubicado en la margen derecha del río Chacote, aproximadamente a 100 m al oeste de la poza de clarificación BMI
4	RC-23-27	437020	8611100	4713	Ubicado en la margen derecha del río Chacote, aproximadamente a 15 m al noroeste de la poza de clarificación BMI
5	RC-23-28	437051	8611177	4714	Ubicado en la margen derecha del río Chacote, aproximadamente a 85 m al norte de la poza de clarificación BMI
6	RC-23-18	438006	8609870	4815	Ubicado en la naciente de la quebrada Para Para, aproximadamente a 50 m al sur de la poza PS-04A que forma parte del sistema de tratamiento SP-03
7	RC-23-19	437067	8609933	4710	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Para Para, aproximadamente a 130 m al sur del punto de vertimiento SP-03
8	RC-23-20	437262	8609646	4739	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Para Para, aproximadamente a 350 m al oeste del campamento antiguo
9	RC-23-17	437405	8609605	4742	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Para Para, aproximadamente a 260 m al oeste del campamento antiguo
10	RC-23-16	437485	8609716	4741	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Para Para, aproximadamente a 100 m al sur de la cancha de volatilización
Zona 3: Microcuenca de la quebrada Coyllorcocha					
11	RC-23-08	439835	8609018	4716	Ubicado en la margen derecha de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 25 m al sur del punto de monitoreo SW-04
12	RC-23-09	439730	8609205	4704	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 40 m al oeste del punto de vertimiento ST-05
13	RC-23-10	439277	8609379	4724	Ubicado en la margen derecha de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 100 m al sur del punto de monitoreo SW-04A
14	RC-23-12	439118	8609471	4729	Ubicado en la margen derecha de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 180 m al oeste de la poza ST-03
15	RC-23-13	439060	8609564	4718	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 210 m al oeste de la poza ST-03
16	RC-23-14	439107	8609679	4730	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 70 m al suroeste de la poza ST-02
17	RC-23-15	438678	8609433	4769	Ubicado en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha, aproximadamente a 60 m al oeste de la poza ST-01

Fuente: Reporte de campo RC-024-2023-STECC

**5.7.3. Parámetros y métodos de análisis**

En la Tabla 5.32 y Tabla 5.33 se presentan los parámetros evaluados en cada punto de muestreo y los métodos de análisis de cada parámetro, respectivamente.

Tabla 5.33. Métodos de análisis de cada parámetro evaluado en la caracterización litogeoquímica

N.º	Parámetro	Unidad	Método de análisis
1	Metales totales y mercurio	mg/kg PS	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL
2	Test ABA	Azufre total	mg/kg
		Fizz Rating	-
		pH en Pasta	Unidades de pH
		Potencial de Acidez Máximo (MPA)	Kg CaCO ₃ /Ton
		Potencial de Neutralización Neto (PNN)	Kg CaCO ₃ /Ton
		Potencial de Neutralización	Kg CaCO ₃ /Ton
		Sulfuro Total	mg/kg
3	Shake Flask metales	mg/L	PE-4414 / EPA 6020 B. Espectrometría por ICP-MS.
4	Shake Flask aniones	mg/L	PE-4414 / PE-2090. Cromatografía iónica
6	Análisis mineralógico por DRX	%	Pastilla de sílice Patron y parámetro de Bandwidth, con equipo PANALYTICAL X'pert PRO
7	Análisis mineralógico por microscopía óptica	%	Petrográfico y calcográfico ¹⁷

Fuente: Reporte de resultados RR-016-2023-STEC.

(PS): Peso seco.

(-): Sin unidad

Tabla 5.34. Parámetros evaluados en cada punto de caracterización litogeoquímica

Código OEFA	Parámetro					
	Metales totales y mercurio	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	DRX	M. ÓPTICA
Zona 1: Microcuenca del río Chacote						
RC-23-23	1	1	1	1	---	1
RC-23-22	1	1	1	1	1	---
RC-23-26	1	1	1	1	1	---
RC-23-27	1	1	1	1	1	---
RC-23-28	1	1	1	1	1	---
RC-23-18	1	1	1	1	---	1
RC-23-19	1	---	---	---	1	---
RC-23-20	1	---	---	---	1	---
RC-23-17 ^(d)	2	---	---	---	1	---
RC-23-16	1	---	---	---	1	---
Zona 3: Microcuenca de la quebrada Coyllorcocha						
RC-23-08	1	---	---	---	1	---
RC-23-09	1	---	---	---	1	---
RC-23-10	1	---	---	---	---	---
RC-23-12	1	---	---	---	---	---

¹⁷ Clasificaciones empleadas para rocas; las rocas piroclásticas e ígneas por la «IUGS subcommission» (1980), rocas metamórficas por la «IUGS subcommission» (2007) y las rocas carbonáticas por Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971). Para las rocas mineralizadas se utiliza la clasificación de Strunz (1941), actualizada por la International Mineralogical Association (2004).



Código OEFA	Parámetro					
	Metales totales y mercurio	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	DRX	M. ÓPTICA
RC-23-13	1	---	---	---	---	---
RC-23-14 ^(d)	2	1	1	1	---	1
RC-23-15	1	---	---	---	---	---
Total	19	7	7	7	10	3

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC (Anexo 4)

(---): Parámetro no considerado para este punto.

(d): Se consideró 1 muestra duplicada adicional.

ABA: Test ABA Modificado.

DRX: Análisis mineralógico por Difracción de Rayos X.

M. ÓPTICA: Microscopía óptica (luz transmitida y reflejada).

5.7.4. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para la evaluación ambiental se presentan en el reporte de campo RC-024-2023-STEC (Anexo 3)

5.7.5. Aseguramiento de la calidad

a. Caracterización geológica

Las descripciones mineralógicas y litológicas se compararon con los resultados de los análisis mineralógicos por difracción de rayos X y microscopía óptica (petrominerafía).

b. Caracterización litogeoquímica

El control de calidad de los resultados de metales en roca se realizó mediante la muestra duplicada¹⁸, siendo esta tomada en 2 puntos (RC-23-27 y RC-23-14), los cuales corresponden al 11,7 % de la cantidad de total de muestras tomadas (17 muestras).

El criterio para determinar la precisión de los resultados se basó en el porcentaje de diferencia relativa (PDR), calculado mediante la siguiente ecuación:

$$PDR = \frac{x1 - y1}{(x1 + y1)/2} \times 100$$

Donde:
 $x1$ = valor del elemento analizado de una muestra X
 $y1$ = Valor del elemento analizado en el duplicado
 % PDR = Porcentaje de diferencia relativa

La ecuación anterior es usada tanto por la EPA¹⁹ como por el gobierno australiano²⁰, siendo el criterio utilizado para muestras sólidas de PDR < 35 % (EPA, 2010) y PDR de 30 % – 50 % (estándar australiano para suelos AS 4482.1-2005). Bajo esos criterios, se validaron las muestras con un PDR < 30 %.

5.7.6. Criterios de evaluación

a. Caracterización geológica

¹⁸ Se trata de una sola muestra dividida en 2 muestras, tomadas al mismo tiempo y en el mismo lugar. Esta muestra asegura la precisión de los resultados.

¹⁹ National Functional Guidelines for inorganic superfund data review. USEPA. Enero 2010. P.49.

²⁰ Quality control for water and sediment sampling. Queensland Government. Febrero 2018.



Las descripciones macroscópicas en campo (tipo de roca e identificación de minerales primarios, secundarios y accesorios) de afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios se realizaron *in situ*, además, se tomaron datos de rumbo y buzamiento de estratos, fallas geológicas, fracturas y estructuras mineralizadas (cuerpos). Estos datos fueron plasmados sobre un mapa topográfico a escala 1:100000, obteniendo un mapa geológico de campo.

Luego, los puntos de observación geológica y el mapa de campo fueron georreferenciados y digitalizados en el software ArcGIS 10.8.1, para elaborar el mapa geológico local. Además, se generaron secciones geológicas con la finalidad de entender el contexto geológico del subsuelo de las zonas evaluadas.

Además de los puntos muestreados se consideró las descripciones de los puntos de observación geológica (POG) que describe las características litológicas, estructurales y otros aspectos hidrogeológicos.

b. Caracterización litogeoquímica

El análisis de datos geoquímicos y mineralógicos se realizó en función a las unidades geológicas identificadas en la caracterización geológica, y consistió en la descripción de la composición litológica, mineralógica y el análisis del contenido de metales.

Las concentraciones de metales (elementos mayores y trazas) se compararon referencialmente con los valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995), Smith y Huyck (1998)²¹ (Tablas 5.34 y Tabla 5.35), mediante diagramas de concentración y dispersión de metales, para determinar los elementos con concentraciones anómalas respecto a la corteza.

Tabla 5.35. Valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995), Smith y Huyck (1998) para elementos mayores

Elemento	Al (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Ti (ppm)	Mn (ppm)
Wedepohl (1994 & 1995)	79600	38500	43200	22000	21400	23600	4010	716
Smith y Huyck (1998)	80000	30000	50000	21000	26000	24000	5000	900

Tabla 5.36. Valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995), Smith y Huyck (1998) para elementos trazas

Elemento	Sb (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Hg (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Ag (ppm)	Pb (ppm)
Wedepohl (1994 & 1995)	0,3	1,7	0,1	26	132	0,04	1,1	66	0,07	14,8
Smith y Huyck (1998)	0,2	2	0,18	60	200	0,08	2	80	0,07	16

La prueba estática de balance ácido-base (ABA) fue clasificado en base a 3 criterios que determinan el potencial de generación de ácidos de las rocas (Tabla 5.36).

Tabla 5.37. Criterios de análisis para determinar el potencial de generación de acidez mediante la prueba ABA

²¹ Los valores tomados corresponden al consenso de varias estimaciones publicadas de abundancia de metales en la corteza y se usa para determinar si los materiales se encuentran enriquecidos naturalmente (asociados a estructuras mineralizadas o zonas de alteración hidrotermal) o agotados (lixiviación) en un elemento con relación a los valores promedio.

Criterio	Rango de análisis	Potencial DAR
CRITERIO 1 Potencial neto de neutralización - PNN ($NNP = NP - AP$)	$NNP < -20$ $-20 < NNP < 20$ $NNP > 20$	→ Potencialmente generador de acidez (PAG) → Incierta y requiere mayor caracterización → No potencial generador de acidez (No-PAG)
CRITERIO 2: Relación del Potencial Neto - NPR ($NPR = NP/AP$)	$NPR < 1$ $1 < NPR < 3$ $NPR > 3$	→ Potencialmente generador de acidez (PAG) → Incierta y requiere mayor caracterización → No potencial generador de acidez (No-PAG)
CRITERIO 3: Contenido de azufre como sulfuro y la ratio NP/AP	$< 0.3\% \text{ Azufre (S)}$ $> 0.3\% \text{ Azufre (S)}$ $> 0.3\% \text{ S y } 1 < NP/AP < 3$	→ No generará drenaje ácido → Generará drenaje ácido → Incertidumbre. puede o no generar drenaje ácido

FUENTE: Criterio 1: MINEM, 1995.
Criterio 2: W. A. Price CANMET, 2009.
Criterio 3: Aduvire 2006, 2012.

Las pruebas de SFE (*shake flask extraction*) que determinan la movilidad de metales y aniones de las rocas fueron comparados de forma referencial con los ECA para agua (2008) y LMP (2010).

5.8. Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

El principio físico en el que se basa esta metodología está relacionado con el siguiente concepto: mediante un dispositivo electródico, se inyecta una corriente estacionaria a través de un par de electrodos puntuales [A y B], y se lee la diferencia de potencial entre otro par de electrodos [M y N] (Figura 5.10). La relación de estas dos magnitudes proporciona una resistividad aparente que depende de la resistencia de los materiales presentes en el subsuelo.

Como resultado se obtiene un modelo de variación de la resistividad aparente en función de la profundidad a partir de mediciones realizadas en superficie. La profundidad alcanzada por la corriente aumenta a medida que crece la distancia AB, aunque generalmente no existe una relación de proporcionalidad entre ambas.

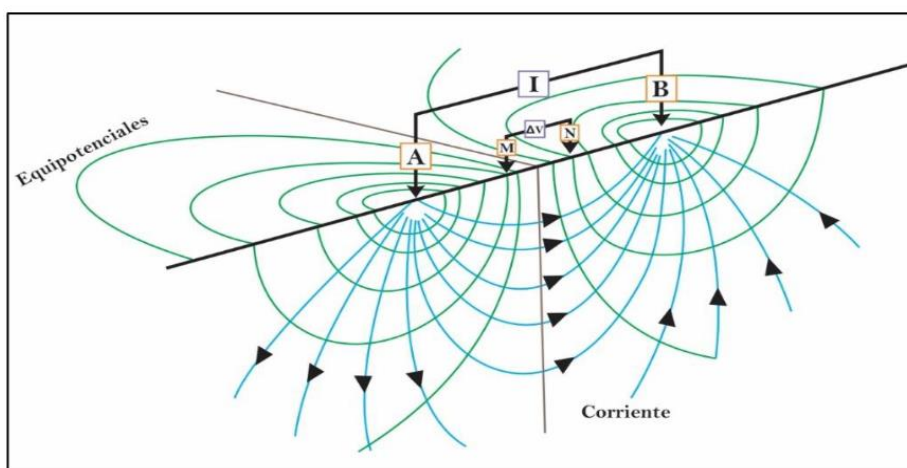


Figura 5.10. Superficies equipotenciales y líneas de corriente asociados para dos electrodos de corriente, dispositivo de adquisición de datos en el método eléctrico. (modificado de Figuerola, C.,1987).

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**5.8.1. Guías utilizadas para la evaluación**

Las guías utilizadas para realizar el estudio de la prospección geofísica se detallan en la Tabla 5.37.

Tabla 5.38. Protocolos de muestreo para el material del depósito de desmonte y agua residual industrial y protocolos para el estudio de prospección geofísica.

Matriz	Protocolo	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Prospección geofísica	Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist (pg.269-292)	Australia	Michael Dentith y Stephen Mudge	---	2014
	Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation	Pennsylvania-Estados Unidos	American Society for Testing and Materials	ASTM D6431-99	2010
	Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies	Tailandia	Meng Heng Loke	---	2000
	Use of Airborne, Surface and Borehole Geophysical Techniques at Contaminated Sites (3-1:3-48)	Estados Unidos	U.S. Environmental Protection Agency	EPA/625/R92/007	1993

5.8.2. Ubicación de puntos de medición

El estudio contemplo la ejecución de 17 líneas de tomografía de resistividad eléctrica distribuidas en el depósito del botadero de material inadecuado, tajío Diana y Scree Slope de la UM Corihuarmi. En la Tabla 5.38 se presenta la ubicación de las líneas mencionadas.

Tabla 5.39. Ubicación de las líneas tomográficas en la UM Corihuarmi

N.º	Líneas de tomografía	Estación	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18L		Altitud (m.s.n.m) *	Separación de electrodos	Distancia total (m)	Fecha	Descripción
			Este (m)	Norte (m)					
1	TE-BMI-01	INICIO	437165	8611244	4700.3	5	115	27/04/2023	Ubicado al lado suroeste del Botadero de material inadecuado
		FINAL	437130	8611135	4697.6				
2	TE-BMI-02	INICIO	437158	8611247	4700.4	5	115		
		FINAL	437125	8611140	4697.5				
3	TE-BMI-03	INICIO	437145	8611249	4699.9	5	115		
		FINAL	437117	8611141	4697.1				
4	TE-BMI-04	INICIO	437124	8611120	4697.4	5	115		
		FINAL	437153	8611012	4697.7				
5	TE-BMI-05	INICIO	437098	8611104	4696.5	5	115	28/04/2023	
		FINAL	437104	8610991	4694.7				
6	TE-BMI-06	INICIO	437056	8611095	4694.4	5	115		
		FINAL	437051	8610982	4692.7				
7	TE-BMI-07	INICIO	436984	8611103	4681.9	5	115		
		FINAL	436990	8610992	4684.1				
8	TE-BMI-08	INICIO	436948	8611114	4675.1	5	115		
		FINAL	436950	8610999	4674.3				
9	TE-TSS-01	INICIO	439171	8609713	4704.3	5	115	29/04/2023	Ubicado al lado noroeste del
		FINAL	439278	8609677	4703.3				
10	TE-TSS-02	INICIO	439161	8609695	4704.1	5	115		
		FINAL	439269	8609651	4697.8				



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

N.º	Líneas de tomografía	Estación	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18L		Altitud (m.s.n.m.) *	Separación de electrodos	Distancia total (m)	Fecha	Descripción
			Este (m)	Norte (m)					
11	TE-TSS-03	INICIO	439111	8609681	4701.7	5	115	30/04/2023	Tajo Scree Slope.
		FINAL	439223	8609707	4704.9				
12	TE-TSS-04	INICIO	439150	8609686	4697.7	5	115		
		FINAL	439256	8609640	4693.1				
13	TE-TD-01	INICIO	438983	8609784	4740.6	5	115		
		FINAL	439091	8609804	4740.7				
14	TE-TD-02	INICIO	438983	8609740	4730.3	5	115		
		FINAL	439089	8609780	4729.2				
15	TE-TD-03	INICIO	438989	8609705	4721.0	5	115		
		FINAL	439079	8609739	4714.6				
16	TE-P4A-01	INICIO	437998	8609960	4789.5	5	115		
		FINAL	438021	8609850	4793.9				
17	TE-P4A-02	INICIO	438078	8609965	4791.9	5	115		
		FINAL	438036	8609859	4793.9				

5.8.3. Parámetros de adquisición

Los parámetros utilizados en la adquisición de datos se muestran a continuación en la Tabla 5.39.

Tabla 5.40. Parámetros de adquisición del estudio de tomografía de resistividad eléctrica

Parámetros	Modo de adquisición
Forma de medición	Dominio de Tiempo
Configuración de electrodos	Polo-Dipolo (multidipolo)
Distancia del dipolo	5m
Profundidad máxima de alcance	30m - 50m aproximadamente
Niveles de investigación medidos (n)	Variable de n1 a n19
Tiempo de sincronización	2000 ms
Stack (apilamiento)	2 - 5 por estación

5.8.4. Equipos y materiales utilizados en el estudio

Los equipos y materiales utilizados para la presente evaluación se detallan en el reporte de campo RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

5.8.5. Aseguramiento de la calidad

Para la tomografía de resistividad eléctrica, el análisis de los datos está compuesto por dos etapas: la primera es un control de calidad de datos antes y durante su adquisición, y la segunda es el procesamiento de los datos mediante modelos matemáticos de inversión que dan como resultado los valores de resistividad real. (Figura 5.11).

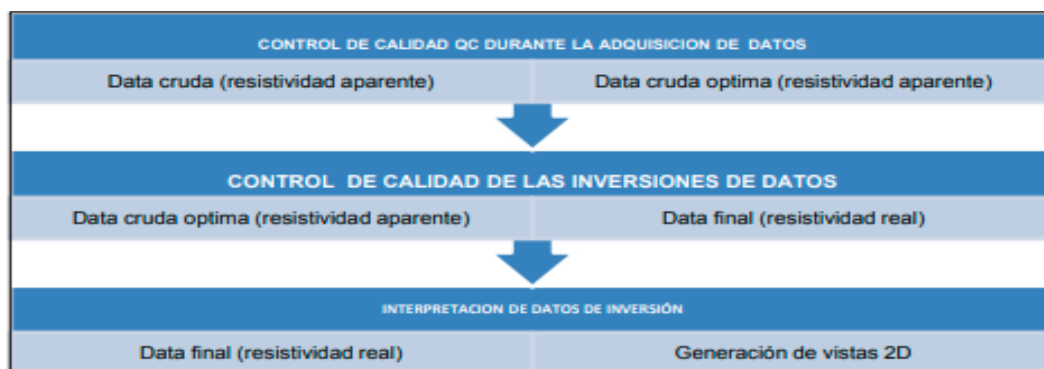


Figura 5.11. Flujo del proceso en el estudio geofísico de tomografía de resistividad eléctrica.

Además, para tener una mejor calidad de los datos, se realizó pruebas de resistencia de contacto entre los electrodos de corriente y potencial, considerándose valores menores a 10kilo ohmios (kohm).

Antes de realizar la inversión de datos, se hizo el control de calidad en gabinete con el software Prosys, añadiendo además la topografía para minimizar el error (Figura 5.12).

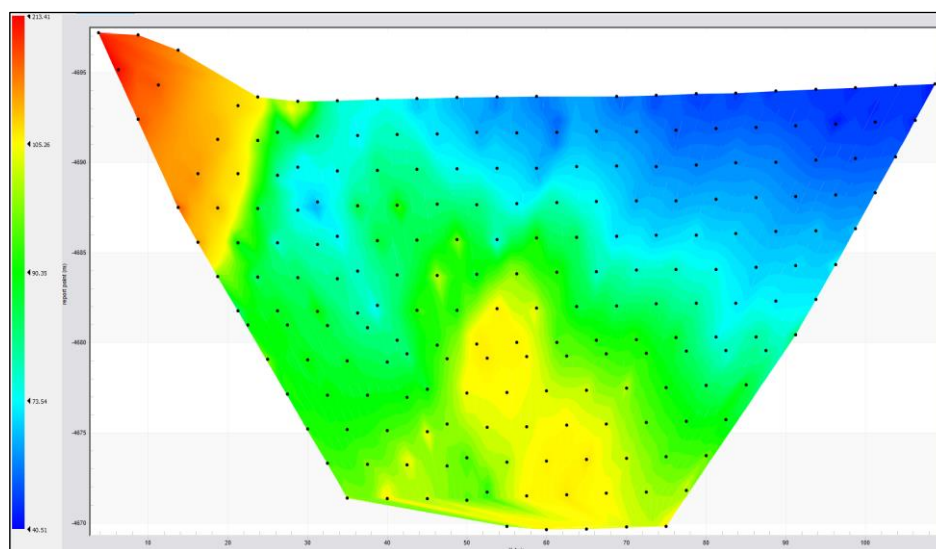


Figura 5.12. Pseudosección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-03

5.8.6. Procesamiento de datos

En cuanto a la prospección geofísica a continuación, se describe el procedimiento para la obtención de las secciones de resistividad (Figura 5.13)

Base de datos y pseudosecciones

Primero: Las coordenadas de cada electrodo de las líneas de tomografía fueron almacenadas en una base de datos.



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

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

Proceso de inversión

Primero: La base de datos validada y empleada para las pseudosecciones es exportada a un formato específico para el proceso de inversión.

Segundo: En el software de procesamiento e inversión se realizó el control de calidad (QC) de los datos de campo, donde se observó la data sin corregir para su posterior edición (eliminación de puntos anómalos).

Tercero: A partir de los datos de las resistividades aparentes obtenidas en campo, se realizó el proceso de inversión, con el cual se obtiene el modelo 2D de las resistividades reales.

La inversión de los datos de resistividad se realizó de manera simultánea con la topografía mediante el software RES2DINV. Este software emplea un modelo matemático de elementos finitos: es un método robusto usado para resaltar los contrastes geológicos o las anomalías producto de los cambios en la resistividad (en la cual resalta la geometría del cuerpo).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

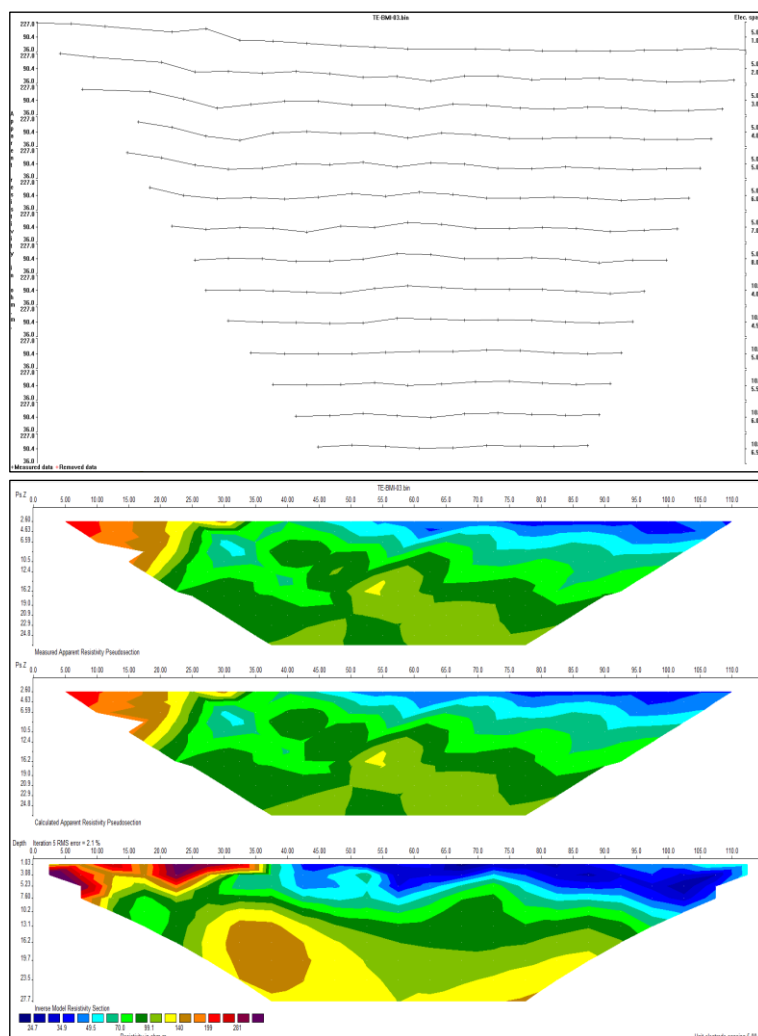


Figura 5.13. Esquema de procesamiento de datos de tomografía de resistividad eléctrica a) control de calidad y b) secciones de resistividad.

5.8.7. Criterios para la interpretación de resultados

Los perfiles de tomografía muestran la distribución de las resistividades en profundidad, la interpretación de estos valores se realiza en base al conocimiento de resistividades características de distintos materiales, presentadas en la Tabla 5.40 y en las Figura 5.14 y 5.15.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 5.41. Resistividad característica de distintos materiales (Fuente: Reynolds, 2011)

Material	Nominal resistivity (Ωm)	Material	Nominal resistivity (Ωm)
Sulphides:		London clay	4-20
Chalcopyrite	$1.2 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-1}$	Lias clay	10-15
Pyrite	$2.9 \times 10^{-5} - 1.5$	Boulder clay	15-35
Pyrrhotite	$7.5 \times 10^{-6} \times 1^{-2}$	Clay (very dry)	50-150
Galena	$3 \times 10^{-5} - 3 \times 10^2$	Mercia mudstone	20-60
Sphalerite	1.5×10^7	Coal measures clay	50
Oxides:		Middle coal measures	>100
Haematite	$3.5 \times 10^{-3} - 10^7$	Chalk	50-150
Limonite	$10^3 - 10^7$	Coke	0.2-8
Magnetite	$5 \times 10^{-5} - 5.7 \times 10^3$	Gravel (dry)	1400
Ilmenite	$10^{-3} - 50$	Gravel (saturated)	100
Quartz	$300 - 10^6$	Quaternary/Recent sands	50-100
Rock salt	$30 - 10^{13}$	Ash	4
Anthracite	$10^{-3} - 2 \times 10^5$	Colliery spoil	10-20
Lignite	9-200	Pulverised fuel ash	50-100
Granite	$300 - 1.3 \times 10^6$	Laterite	800-1500
Granite (weathered)	30-500	Lateritic soil	120-750
Syenite	$10^2 - 10^6$	Dry sandy soil	80-1050
Diorite	$10^4 - 10^5$	Sand clay/clayey sand	30-215
Gabbro	$10^3 - 10^6$	Sand and gravel	30-225
Basalt	$10 - 1.3 \times 10^7$	Unsaturated landfill	30-100
Schists (calcareous and mica)	$20 - 10^4$	Saturated landfill	15-30
Schist (graphite)	10-100	Acid peat waters	100
Slates	$600 - 4 \times 10^7$	Acid mine waters	20
Marble	$100 - 2.5 \times 10^8$	Rainfall runoff	20-100
Consolidated shales	20-2000	Landfill runoff	<10-50
Conglomerates	$2 \times 10^3 - 10^4$	Glacier ice (temperate)	$2 \times 10^6 - 1.2 \times 10^8$
Sandstones	$1 - 7.4 \times 10^8$	Glacier ice (polar)*	$5 \times 10^4 - 3 \times 10^5$
Limestones	$50 - 10^7$	Permafrost	$10^3 - >10^4$
Dolomite	$350 - 5 \times 10^3$		
Marls	3-70		
Clays	1-100		
Alluvium and sand	10-800		
Moraine	$10 - 5 \times 10^3$		
Hydrocarbon reservoir	25 - 27.5		
Sherwood sandstone	100-400		
Soil (40% clay)	8		
Soil (20% clay)	33		
Topsoil	250-1700		

* -10°C to -60°C, respectively; strongly temperature-dependent (Reynolds, 1985).
Based on Telford et al. (1990) with additional data from McGinnis and Jensen (1971), Reynolds (1987a), Reynolds and Parn (1980, 1984) and many commercial projects.

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

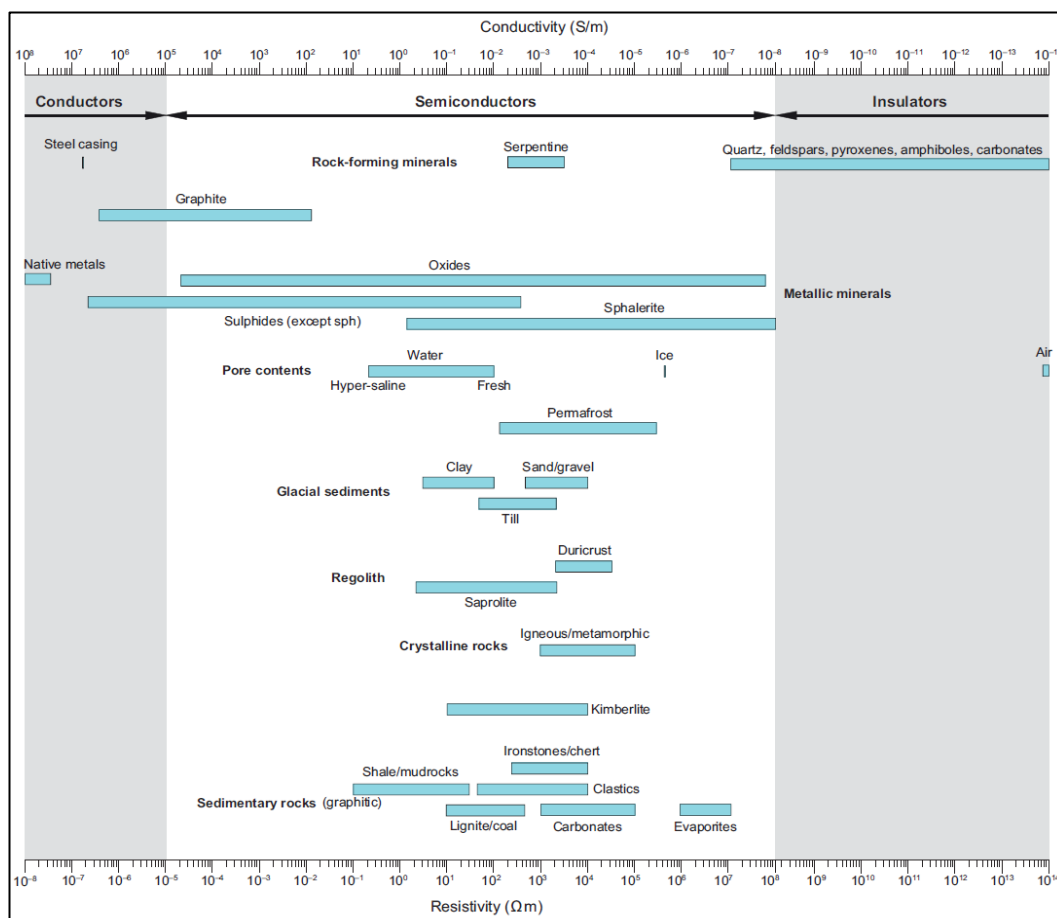


Figura 5.14. Resistividad y conductividad característica de distintos materiales

Fuente: M. Dentith and S. T. Mudge, 2014

También, hay que mencionar que, los factores geológicos pueden incrementar o disminuir la resistividad de las rocas o materiales presentes en el área de estudio (Figura 5.15).

Alteración argílica	↓
Disoluciones	↓
Fracturación	↓
Intrusión de aguas salinas	↓
Cizallamiento	↓
Alteración superficial	↓
Compactación	↑
Precipitación de carbonatos	↑
Silicificación	↑
Metamorfismo	↕
↑ Aumenta ↓ Disminuye ↕ Puede variar en ambos sentidos	

Figura 5.15. Factores geológicos que incrementan o disminuyen la resistividad

Fuente: M. Dentith and S. T. Mudge, 2014



5.9. Suelo

La evaluación para determinar la calidad y el estado del bofedal «Para Para», como consecuencia de los aportes de aguas de contacto desde el tajo Cayhua y Cayhua Norte, se ha seguido la siguiente metodología los cuales son detallados en los párrafos subsecuentes.

El bofedal «Para Para» está ubicado cerca del área de uso minero y de las operaciones mineras. Parte del mencionado bofedal presenta posibles impactos producto de aguas de contacto que ingresaron sobre el bofedal. Para evaluar ello, se establecieron puntos de muestreo en el mismo bofedal donde se evidenció el posible impacto; asimismo, se estableció puntos de muestreo en zonas blanco o de referencia (muestreo de nivel de fondo); esto en concordancia con los criterios de la Guía de muestreo de suelos, que establece que *«para el muestreo de fondo se considera un mínimo de tres puntos de muestreo en áreas homogéneas con características orográficas, geológicas, climáticas y de vegetación similares»*.

El relieve de la zona de evaluación se caracteriza por tener pendientes de moderadamente (8 – 15 %) a fuertemente empinados (25 – 50%). Estas configuraciones se pueden encontrar en todo el bofedal evaluado.

El clima, vegetación, y uso del suelo actual presentan condiciones similares entre la parte con posible impacto y el área no impactada. En las zonas de evaluación prima un régimen de humedad del suelo del tipo ústico al estar en una zona de vida de Páramo Muy Húmedo-Subalpino Subtropical (pmh-SaS), tipo climático húmedo-semifrígido²². La vegetación predominante en los suelos es de bofedal (...); asimismo, el uso es el de pastoreo de ovinos y camélidos sudamericanos.

5.9.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las referencias de muestreos utilizados para la evaluación del estado de la calidad del suelo se detallan en la Tabla 5.41.

Tabla 5.42. Referencias para el muestreo de suelo

Nombre del documento	Dispositivo Legal	Entidad	País
Guía para el Muestreo de Suelos	Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM	Ministerio del Ambiente – Minam	Perú
Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal (2019)	No aplica	Ministerio del Ambiente – Minam	Perú
Guía de campo para el muestreo y descripción de perfiles de suelos. Versión 2.0.(2002)	No Aplica	National Soil Survey Center Natural Resource Conservation Service U.S. Department of Agriculture	Estados Unidos

5.9.2. Ubicación de puntos de muestreo de suelo

En la Tabla 5.42, se presentan las coordenadas de los puntos de muestreo de suelo del bofedal evaluadas en la zona 1 microcuenca del río Chacote, puntos ubicados en zonas del bofedal con posible afectación, así como en las zonas blanco o puntos de referencia. En la Figura 5.16 se muestra la distribución espacial de dichos puntos.

²² Anexo N° IV, Tabla Clima del Decreto Supremo N.º 005-2022-MIDAGRI

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Tabla 5.43. Ubicación de puntos de suelos**

N°	Código de punto/parcela	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 19 L		Altitud	Descripción
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)	(m s.n.m.)	
1	SUC1	1/05/2023	10:20	437 456	8 609 762	4 751	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera)
2	SUC2	1/05/2023	10:50	437 473	8 609 800	4 748	
3	SUC3	1/05/2023	11:10	437 439	8 609 818	4 748	
4	SUC4	1/05/2023	11:30	437 425	8 609 873	4 743	
5	SUC5	1/05/2023	11:50	437 391	8 609 877	4 743	
6	SUC6	1/05/2023	12:10	437 378	8 609 912	4 745	
7	SUC7	1/05/2023	12:35	437 411	8 609 951	4 744	
8	SUC8	1/05/2023	12:55	437 378	8 609 980	4 730	
9	SUC9	1/05/2023	14:40	437 334	8 610 000	4 730	
10	CAL1*	1/05/2023	16:25	437 456	8 609 814	4 777	
11	⁽¹⁾ SU-02**	1/03/2023	16:20	437 460	8 609 839	4 734	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera)
12	⁽¹⁾ SUC10	2/05/2023	10:00	437 559	8 609 583	4 774	
13	⁽¹⁾ SUC11	2/05/2023	10:50	437 433	8 609 526	4 780	
14	⁽¹⁾ SUC12	2/05/2023	11:10	437 525	8 609 623	4 763	
15	⁽¹⁾ SUC13	2/05/2023	11:30	437 419	8 609 644	4 756	
16	⁽¹⁾ SUC14	2/05/2023	11:50	437 411	8 609 715	4 752	
17	⁽¹⁾ CAL2*	2/05/2023	14:00	437 382	8 609 777	4 739	
18	⁽¹⁾ SUC15	2/05/2023	14:50	437 321	8 609 777	4 748	
19	⁽¹⁾ SUC16	2/05/2023	15:10	437 249	8 609 905	4 732	
20	SU-01**	1/03/2023	16:00	437 227	8 609 813	4 730	

La precisión de la medición de las coordenadas fue de ± 3 m

(*) En estos puntos se realizaron calicatas, en la que se tomaron varias muestras a diferentes profundidades, de acuerdo con las capas u horizontes identificados en el perfil del suelo.

(**) Estos puntos fueron muestreados durante la visita de reconocimiento, el cual fue compuesta, cuyos resultados de metales fueron considerados en el análisis del presente informe. Reportados con el Informe de Ensayo SAA-323/00272, emitido por el laboratorio AGQ PERÚ S.A.C. el 20 de marzo de 2023 adjuntado en el Informe N° 00145-2023-OEFA/DEAM-STEC, «Informe de hechos constatados durante el reconocimiento técnico realizado del 24/2/2023 al 4/3/2023 en el marco de la Evaluación Ambiental de Causalidad en la unidad minera Corihuarmi de Minera IRL SA» el cual se encuentra en el Anexo 2.

(1) Puntos control o de nivel de fondo

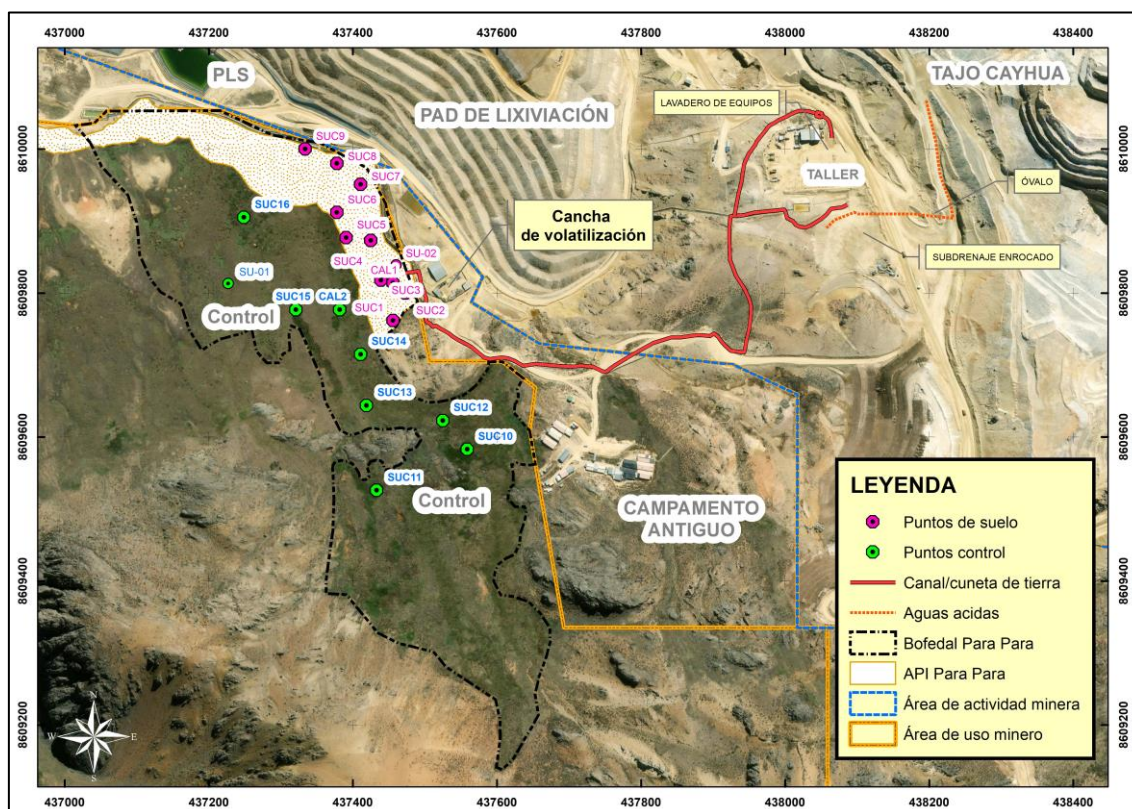


Figura 5.16. Ubicación de puntos de muestreo en el API Para Para y ubicación de los puntos en el suelo control.

El muestreo se realizó a nivel superficial (20 cm) en 18 puntos de muestreo (de los cuales 2 fueron calicatas), todas las muestras fueron simples para el parámetro metales, y compuestas para el resto de los parámetros; cabe señalar que, la evaluación a diferentes profundidades se realizó mediante la apertura de dos calicatas, de un tamaño aproximado de 0,60 m x 1,20 m y una profundidad variable. El muestreo en profundidad se realizó, preferentemente en concordancia al número de horizontes genéticos del suelo identificados en el perfil y codificados mediante designaciones de letras, números y sufijos²³; asimismo, en el perfil se describió su estructura, textura, modificadores texturales, moteados, raíces, rasgos biológicos, color, entre otros. (RC-032-2023-STEC: Anexo 3).

5.9.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros y los métodos de análisis utilizados para el ensayo en las muestras de suelos se detallan en la Tabla 5.43. y 5.44; asimismo, la profundidad de cada punto y el espesor de las capas u horizontes muestreados en las calicatas, así como la designación de sus sufijos de estos, en caso corresponda, y los parámetros evaluados en cada muestra obtenida se detallan en la Tabla 5.45.

Tabla 5.44. Parámetros evaluados y métodos de ensayo

²³

La designación de los horizontes o capas se realizó de acuerdo con la Guía de descripción de suelos de la USDA, Schoeneberger *et. al* (2002) y lo indicado en la Soil Survey Manual, Schoeneberger *et. al* (2017).



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Parámetros	Unidad	Método de referencia	Descripción
Metales	mg/kg	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014) VAL	Espectrometría por ICP-MS
Análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX)	%	Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD). Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).	Determinación semicuantitativa de las fases cristalinas (Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD))
Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido (MEB)	%	Microscopía electrónica de barrido - operación manual	Imágenes de las regiones estudiadas en el microscopio electrónico de barrido, complementado con imágenes de microscopio óptico de luz reflejada
Extracción de metales Shake Flask	mg/L	Extracto SFE Leaching & drainage (1997) /EPA METHOO 6020 B Rev02, 2014	Espectrometría por ICP-MS
Densidad aparente	g/cm ³	Cilindro	Medición de la masa de suelo seco a la estufa (105°C-48 horas) contenida en un cilindro de volumen conocido.
Microbiología del suelo			
Organismos mesófilos totales	*UFC/g	Recuento en placa	Recuento de bacterias mesófilas aerobias, actinomicetos y hongos totales (mohos y levaduras) en suelo
Bacterias fijadoras de N de vida libre	Organismos/g	Recuento en placa	Recuento de bacterias solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno en suelo
Respiración microbiana	mg CO ₂ /g/día	Liberación de CO ₂	Medición de la Respiración microbiana en suelo
Biomasa microbiana	mg C/g	Extracción-fumigación con cloroformo	Determinación de biomasa microbiana

(*) UFC. Unidades formadoras de colonia

Tabla 5.45. Parámetros de caracterización y análisis de salinidad de suelo

Parámetro	Análisis requerido	Unidad	Referencia	Metodología
Caracterización de suelos y análisis de salinidad	Análisis granulométrico (incluye clase textural)	%	El método de análisis de referencia es de acuerdo con el Anexo del Decreto Supremo N.° 013-2010-AG-. Art. 12 del Ministerio de Agricultura	Método del hidrómetro de Bouyoucos
	Calcáreo total	%		Método gaso – volumétrico utilizando un calcímetro
	Materia orgánica	%		Método de Walkley y Black
	Fósforo disponible	ppm		Método de Olsen Modificado extracción con NaHCO ₃ 0,5N, pH 8,5
	Potasio disponible	ppm		Extracción con acetato de amonio 1N pH 7,0
	Capacidad de intercambio catiónico	meq/100 g		Saturación con acetato de amonio, 1N, pH 7,0



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Parámetro	Análisis requerido	Unidad	Referencia	Metodología
	Cationes cambiabiles (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺)	meq/100 g		Determinaciones en el extracto de amonio por absorción atómica
	Cationes cambiabiles (Al ³⁺ , H ⁺)	meq/L		Método de Yuan. Extracción con cloruro de potasio 1N
	Cationes solubles (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺)	meq/L		Método de extracto de pasta saturada, lecturas por absorción atómica
	Aniones solubles (NO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻)	meq/L		Método de extracto de pasta saturada, método colorimétrico espectrofotometría Uv visible
	Aniones solubles (CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻)	meq/L		Método de extracto de pasta saturada, método volumétrico
	Boro soluble	ppm		Método de extracto de pasta saturada, método colorimétrico espectrofotometría Uv visible
	Yeso soluble	ppm		Solubilización con agua y precipitación con acetona

Tabla 5.46. Cantidad de submuestras por punto (para compósito), número de muestras obtenidas por punto (superficiales y en calicatas) para el análisis de cada parámetro en laboratorio, capas y horizontes y profundidad

N.º	Código de punto	Código de muestra	Nº de compósitos	Capa u Horiz.	Prof. cm	MT	SFM	salinidad	MEB	DRX	DA	Microbiología	DUP
1	SUC1	SUC1	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
2	SUC2	SUC2	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
3	SUC3	SUC3	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
4	SUC4	SUC4	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
5	SUC5	SUC5	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
6	SUC6	SUC6	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
7	SUC7	SUC7	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
8	SUC8	SUC8	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
9	SUC9	SUC9	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	1
10	-	⁽¹⁾ CSUC-a	9	--	0,20	-	1	1	1	1	-	1	-
11	CAL1	CAL1-1	1	C	0 - 5	1	1	1	1	1	1	1	-
		-	-	Oi1	5 - 30	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	Oi2	30 - 50	-	-	-	-	-	-	-	-
		CAL1-2	1	Oe	50 - 60	1	-	1	-	1	-	-	-
12		-	-	W	> 60	-	-	-	-	-	-	-	-
13	SU-02	SU-02	6	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
14	SUC10	SUC10	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
15	SUC11	SUC11	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
16	SUC12	SUC12	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
17	SUC13	SUC13	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
18	SUC14	SUC14	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
19	CAL2	CAL2-1	1	Oi	0 - 14	1	1	1	1	1	1	1	1
20		CAL2-2	1	Oe	14 - 22	1	-	1	-	1	-	-	-
21		CAL2-3	1	C	22 - 30	1	-	1	-	1	-	-	-

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

N.º	Código de punto	Código de muestra	Nº de compósitos	Capa u Horiz.	Prof. cm	MT	SFM	salinidad	MEB	DRX	DA	Microbiología	DUP
		-	-	W	> 30	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	(2) CSUC-b	5	--	0,20	-	1	1	1	1		1	-
23	SUC15	SUC15	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
24	SUC16	SUC16	1	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
25	SU-01	SU-01	6	--	0,20	1	-	-	-	-	-	-	-
Cantidad						21	4	7	4	7	2	4	2

(-) No se tomaron muestras o solo se registraron datos de campo

(-) Muestras superficiales

Cant. Cantidad

Horiz: Horizonte

Prof: Profundidad

MT: Metales totales

SFM: Extracción Shake Flask-metales

MEB: Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido

DRX: Análisis mineralógico por difracción de rayos X

DA: Densidad aparente

DUP: Duplicado para el control de calidad

Nota 1: Las siguientes muestras son subcompósitos de varios puntos de muestreo, no tienen fichas de campo de suelo:

(1) Muestra compuesta CSUC-a, conformado por los puntos con códigos SUC1 al SUC9

(2) Muestra compuesta CSUC-b, conformado por los puntos con códigos SUC10 al SUC14

5.9.4. Equipamiento utilizado

Los equipos y materiales utilizados en el muestreo de suelo se detallan en el reporte de campo RC-032-2023-STEC (Anexo 3)

5.9.5. Aseguramiento de la calidad

El control de calidad de los resultados de metales se realizó mediante muestras duplicadas, para lo cual se tomaron dos duplicados (DUP-SUC9 y DUPCAL2-1). Por otra parte, el criterio para decidir el nivel de precisión de los resultados se utilizó el porcentaje de diferencia relativa (PDR) calculado mediante la siguiente ecuación:

$$PDR = \frac{x1 - y1}{(x1 + y1)/2} \times 100$$

Donde: $x1$ = Valor del elemento analizado de una muestra X $y1$ = Valor del elemento analizado en el duplicado

% PDR = Porcentaje de diferencia relativa

La ecuación anterior es usada tanto por la EPA como por el gobierno australiano, siendo el criterio utilizado para la matriz suelo (muestras sólidas) de PDR < 35 % (EPA, 2010) y PDR de 30 % – 50 % (estándar australiano para suelos AS 4482.1-2005). Bajo esos criterios, se validaron las muestras con un PDR < 30 %. Los resultados se encuentran en el reporte de resultados RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

5.9.6. Procesamiento de datos

a. Análisis estadísticos

Prueba de hipótesis (Kruskall – Wallis)

Test estadístico no paramétrico que emplea rangos para contrastar la hipótesis de que “K” muestras han sido obtenidas de una misma población, es decir, compara varias poblaciones.



La prueba de Kruskal-Wallis contrasta si las diferentes muestras están equidistribuidas y que por lo tanto pertenecen a una misma distribución (población). Planteamiento de las hipótesis:

H 0: Todas las muestras provienen de la misma población (distribución).

H 1: Al menos una muestra proviene de una población con una distribución distinta.

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Siendo:

k = el número de muestras.

N_i = el número de observaciones en la i-ésima muestra.

n = $\sum n_i$ el número total de observaciones de todas las muestras.

R_i = la suma de los rangos en la i-ésima muestra.

Para este análisis se utilizaron los programas InfoStat versión 2020 y SPSS 26.

Análisis de distribución de las concentraciones

Para estimar valores en áreas no muestreadas y localizar la fuente de origen de algunos elementos traza en los suelos, se realizó mapas de isoconcentraciones a partir de herramientas y técnicas geoestadísticas, poniendo especial énfasis en elementos de interés ambiental.

La elaboración de los mapas de distribución de parámetros fue desarrollada con la versión 10.3 del Software ArcGis y hojas de cálculo de Microsoft 365 Office Excel y para su construcción se utilizó como datos de entrada las concentraciones de metales obtenidas en cada punto superficial de suelo, luego el programa interpola y determina la línea de isoconcentración (Baeza *et. al*, 2001). Cabe señalar que, que se utilizó además como datos de entrada las concentraciones de metales de la línea de base ambiental de suelo del administrado²⁴, datos de concentración de metales obtenidos en la Supervisión Ambiental del OEFA del 2017²⁵ y datos de concentración de metales en sedimentos de la presenta evaluación realizados por el OEFA²⁶.

El método utilizado para las interpolaciones son las técnicas geoestadísticas desarrollados por D.G. Krige (Kriging). El método Kriging tiene como objetivo encontrar la mejor estimación posible a partir la de la información disponible (Rodríguez *et. al*, 2009).

El valor estimado obtenido Z_{0k} (x₀) de un valor real y desconocido Z(x), consiste en una combinación lineal de pesos asociados a cada localización donde fue muestreado un valor

²⁴ Punto S4, ubicado en las coordenadas WGS-84 este 437648 norte 8609474 (coordenada original según IGA está en el sistema PSAD56) reportado en el EIA Ampliación de producción y capacidad instalada de la planta de beneficio de la mina Corihuarmi. ítem 4.1.9. Calidad de suelos. Cuadro 4.2.9-4. Ubicación de puntos de muestreo de suelos. Folio 0000203. IGA aprobado con Resolución Directoral N.º 010-2012-MEM/AAM.

²⁵ Expediente N° 279-2017-DS-MIN. Informe de Supervisión Especial realizada del 22 al 24 de agosto de 2017 a la unidad fiscalizable Corihuarmi de titularidad de Minera IRL S.A. y su Anexo 3: Informe de Análisis de Laboratorio de muestreo ambiental. Puntos SW-02 (SED), Ubicado en la misma ubicación del punto de control SW-02 con coordenadas este 437200 y norte 8610010 y punto SW-02 (SUE), ubicado a 100 m aproximadamente aguas arriba del punto de control SW-02 (cómo punto de nivel de fondo), coordenada 437202 y 8609952. Folios 220 al 235, Folio 255 y Folio 319 al 323.

²⁶ Los puntos de sedimentos considerados fueron SW-02 y QBPart1, detallados en la Tabla 5.15.



$Z(x_i)$ ($i=1,\dots,n$) del suelo, observado dos condiciones fundamentales: a) que el estimador sea insesgado $E[Z_{ok}-Z]=0$ y b) que la varianza $Var[Z_{ok}-Z]$ sea mínima, consiguiéndose de esta manera minimizar la varianza de error de estimación (Rodríguez et. al, 2009), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Z_{ok}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Donde:

$Z(x_0)$: Valor de la variable Z en el sitio no muestreado

$x_0 Z(x_i)$: Valor observado $Z(x_i)$ de la variable Z en el sitio muestreado

x_i : Ponderación asignada al valor observado $Z(x_i)$

n : Número de valores observados alrededor

b. Mineralogía en suelos

Para el análisis de los resultados de mineralogía, se sistematizó los datos reportados por el laboratorio; la evaluación consistió en caracterizar la composición mineralógica del suelo, obtenido por DRX (difracción de rayos X) y por microscopía de barrido eléctrico (MEB) y su relación con la concentración de metales y contenido mineralógico de la roca u otros materiales parte de los componentes mineros, además de las diferencias mineralógicas de la zona con posible afectación y de los puntos blanco o de referencia.

c. Extracción de metales por Shake Flask

Los elementos fueron asociados a la caracterización geoquímica en el material parental (litología) de la zona de estudio, componentes evaluados y suelos, y evaluar su capacidad de movilización de los metales al agua.

d. Parámetros edáficos y de salinidad

La clasificación de parámetros edáficos se realizó tomando como referencia el Anexo N° V «Parámetros edáficos y de vegetación» del Decreto Supremo N.° 005-2022-MIDAGRI, las propuestas de la Soil Survey Manual (2017) de la USDA²⁷, la de Guerrero (1998)²⁸, y algunos parámetros edáficos de la Guía de evaluación del estado ecosistema de bofedal (2019), en caso corresponda. Los resultados analíticos de los parámetros de salinidad provenientes de la zona de posible afectación fueron comparados con los resultados analíticos de la zona blanco o puntos de referencia. Asimismo, los cationes y aniones solubles de la solución del suelo serán comparadas de manera referencial con el ECA para agua 2017 Cat. 3. Esto debido a que en un sistema agua -suelo, la química del agua natural o antrópico con alta carga de metales que entra en contacto con el suelo del bofedal intercambian sus propiedades químicas (intercambio iónico) para equilibrarse en la solución suelo o solución externa del suelo, intercambiando sus cationes o aniones; este intercambio iónico se manifestará en el agua de drenaje.

e. Metales

²⁷ Soil Science Division Staff. (2017). *Soil survey manual*. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.

²⁸ Guerrero (1998). Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones. Universidad Nacional Agraria la Molina – UNALM. Lima – Perú.



Los elementos mayores y trazas del suelo fueron asociados con los resultados de la caracterización geoquímica en el material parental (litología) de la zona de estudio y con valores de los de los suelos control o nivel de fondo.

5.9.7. Criterios de evaluación

Los resultados de analíticos de metales obtenidos del muestreo fueron comparados con la norma vigente al momento de la aprobación del último IGA del administrado (Segunda actualización del plan de cierre de minas de la U.M. Corihuarmi); esto es con los ECA para Suelo 2017 (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM) de uso agrícola, debido a que todos los suelos se encuentran fuera del área de actividad minera o de uso minero de la unidad minera. En el caso de otros metales de interés que no se encontraron regulados en los ECA para suelo, la comparación se realizó de manera referencial con las pautas canadienses para suelos de uso agrícola (CCME, 2018)²⁹, además de ello serán comparados con los resultados analíticos de metales del muestreo de la zona blanco o de referencia para el bofedal “Para Para”.

La clasificación de parámetros edáficos se realizó tomando como referencia el Anexo N.º V «Parámetros edáficos y de vegetación» del Decreto Supremo N.º 005-2022-MIDAGRI, la propuesta del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999), propuesta de Guerrero (1998)³⁰ y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - 2012 (FAO, por sus siglas en inglés), según se el caso. La clasificación del suelo se realizó de acuerdo con La taxonomía de suelos según el Sistema de la Soil Taxonomy (USDA, 2014).

Respecto a la determinación de estado del bofedal “Para Para” se tomó como referencia la Guía de evaluación del estado Ecosistema de bofedal, propuesto por el Ministerio del Ambiente (2019), el cual considera algunos atributos, rangos y escalas para medir el estado del ecosistema del bofedal en función de indicadores de referencia tales como condiciones del agua, condición del suelo, condición de la biota y alteraciones del paisaje. Cabe precisar que, algunas variables de la Guía no se realizaron debido a la naturaleza del presente estudio, sin embargo, se complementó con los resultados analíticos de microbiología del suelo, otros parámetros edáficos, salinidad, metales y mineralogía del bofedal.

5.10. Flora silvestre

La metodología aplicada para el muestreo de flora y tejido vegetal se detalla a continuación:

5.10.1. Guías utilizadas para la evaluación

Para el muestreo de flora y tejido vegetal, se utilizaron las referencias bibliográficas detalladas en la Tabla 5.46.

²⁹ Canadian Council of Ministers of the Environment (2018). *Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human of use Residential, Parks, Agricultural o Industrial* (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para la protección del medio ambiente y salud humana de uso industrial/comercial).

³⁰ Guerrero (1998). Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones. Universidad Nacional Agraria la Molina – UNALM. Lima – Perú.

**Tabla 5.47.** Guías de referencia para el muestreo de flora

N.º	Nombre del Protocolo / Guía	Sección	Dispositivo legal	Entidad	País	Año
1	Guía para la evaluación de Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - SEIA	Toda	R.M. N.º 455-2018-MINAM	MINAM	Perú	2018
2	Protocolo de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, agua, y granos de cacao	Anexo: Protocolo para muestreo de hojas de cacao Secciones: 7 y 8 Transporte y Conservación de muestras	Resolución Ministerial N.º 0007-2019-MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego	Perú	2019
3	Manual de pastos y forrajes altoandinos	Todas	NA	UNALM	Perú	2005
4	Protocolos de Muestreo en Cultivos para Análisis de Micronutrientes	Todas	Stangoulis y Sison	International Food Policy Research Institute	USA	2009

R.M.: Resolución Ministerial
NA: No aplica**5.10.2. Ubicación de puntos de muestreo**

Para la evaluación de flora silvestre se realizó una búsqueda intensiva dentro del área de interés del bofedal “Para Para”. Además, se realizó la colecta de 16 muestras de tejido vegetal para el análisis de metales y 16 muestras para el análisis de micronutrientes y macronutrientes (Ver Tabla 5.47).

Tabla 5.48. Ubicación de puntos de muestreo de tejido vegetal

Código de evaluación	Número de muestras*	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
COTV-01	2	437456	8609762	4751	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-02	2	437473	8609800	4748	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-03	2	437439	8609818	4748	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-04	2	437425	8609873	4743	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-05	2	437391	8609877	4743	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-06	2	437378	8609912	4745	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-07	2	437411	8609951	4744	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-08	2	437378	8609980	4740	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-09	2	437334	8610000	4730	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», al este del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación y adyacente a la planta de cal (Calera).
COTV-10	2	437559	8609583	4774	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Código de evaluación	Número de muestras*	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
					campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera).
COTV-11	2	437433	8609526	4780	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera).
COTV-12	2	437525	8609623	4763	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera).
COTV-13	2	437419	8609644	4756	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera).
COTV-14	2	437411	8609715	4752	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera).
COTV-15	2	437321	8609777	4748	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera).
COTV-16	2	437249	8609905	4732	Puntos ubicados en el bofedal «Para Para», adyacente al API, al este del del Tajo Cayhua y del PAD de lixiviación; a la altura del antiguo campamento de la UM Corihuarmi y planta de Cal (Calera).

(*): Una muestra de tejido vegetal para análisis de metales y otra para el análisis de micronutrientes y macronutrientes

5.10.3. Parámetros y métodos de análisis

En consideración con el objetivo planteado se realizó el análisis de metales, macronutrientes y micronutrientes, en las muestras tomadas de tejido vegetal. Las concentraciones de metales (expresados en mg/kg); así como los macronutrientes y micronutrientes fueron determinados por laboratorios contratados por el OEFA. Asimismo, se evaluó la composición florística del área de interés del bofedal “Para Para” mediante una búsqueda intensiva (Ver Tabla 5.55)

Los parámetros que se evaluaron en las comunidades de flora silvestre se detallan en la Tabla 5.48. Estos parámetros se obtuvieron de la evaluación cualitativa.

Tabla 5.49. Parámetros evaluados y métodos de análisis para tejido vegetal

N.º	Parámetro	Unidad	Método
1	Metales	mg/kg	AOAC Official Method 2013.06 21 st Ed. 2019 Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods Pressure Digestion and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. (VALIDADO - Modificado) • 2017.
2	Macronutrientes y micronutrientes	mg/kg	-

Fuente: Reportes de resultados RR-010-2023-STEC (Anexo 4)

Tabla 5.50. Parámetros evaluados por punto de muestreo para tejido vegetal



Código OEFA	Parámetro			
	Metales		Macronutrientes y micronutrientes	
	Abril	Mayo	Abril	Mayo
	2023			
COTV-01	-	1	-	1
COTV-02	-	1	-	1
COTV-03	-	1	-	1
COTV-04	-	1	-	1
COTV-05	-	1	-	1
COTV-06	-	1	-	1
COTV-07	-	1	-	1
COTV-08	-	1	-	1
COTV-09	-	1	-	1
COTV-10	-	1	-	1
COTV-11	-	1	-	1
COTV-12	-	1	-	1
COTV-13	-	1	-	1
COTV-14	-	1	-	1
COTV-15	-	1	-	1
COTV-16	-	1	-	1
Total	-	16	-	16

Fuente: RC-032-2023-STEC (Anexo 3)

(-): Parámetro no considerado para este punto

5.10.4. Equipos utilizados

Los equipos y materiales utilizados para la presente evaluación se detallan en el reporte de campo RC-032-2023-STEC (Anexo 4).

5.10.5. Tipo de muestreo

Para la evaluación de la flora silvestre en las áreas de interés dentro del ámbito de la UM Corihuarmi, se evaluaron la composición florística mediante una búsqueda intensiva, 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» (Minam, 2018), aprobada según Resolución Ministerial N.º 455-2018-MINAM.

a) Búsqueda intensiva

La evaluación cualitativa o búsqueda intensiva se realizó a través de caminatas dentro del área de estudio, con la finalidad de evidenciar las especies de flora silvestre presente. Además, se realizó la recolecta de especímenes que no fueron identificados en campo para su posterior identificación en el laboratorio, estos procedimientos de recolecta y prensado se realizaron empleando las metodologías recomendadas por Cerrate (1969). Se recolectaron solo especímenes en estadios de floración y fructificación, aquellas en vegetativo solo fueron registrados.

b) Colecta de tejido vegetal

Para la colecta de tejido vegetal, se realizó un análisis visual de las especies presentes en las áreas de interés, seleccionándose a *Calamagrostis chrysantha* y *Calamagrostis* cf. *brevifolia* como especies representativas del área de estudio. Se realizaron las colectas de la parte aérea (tallo y hojas) de las especies seleccionadas (gramíneas), tomando como



muestra los individuos presentes en un área aproximada de 1 m² hasta completar el peso requerido para el análisis. Las muestras fueron depositadas en sobres adecuados y guardadas en coolers, manteniéndolas a temperaturas menores a 5 °C, para su traslado hacia el laboratorio. Se tomaron las muestras de tejido vegetal en los mismos puntos donde se realizó el muestreo de suelo.

5.10.6. Procesamiento de datos

a) Composición de especies, riqueza y abundancia

Las muestras colectadas fueron analizadas, mediante el uso de claves especializadas como las de Macbride *et al.* (1936-1954), Ferreyra (1946), Molau (1990), Sagástegui y Leiva (1993), Tovar (1993), entre otros. Además, las determinaciones fueron corroboradas cuando fue necesario por consulta a especialistas y/o comparación con muestras de base de datos de herbarios virtuales como las del Missouri Botanical Garden (MO) y Field Museum Herbarium (F).

Para el ordenamiento de especies de angiospermas se utilizó el Sistema de Clasificación del Angiosperm Phylogeny Group IV (APG IV) y para los pteridofitos y afines el Sistema de Clasificación propuesto por Smith *et al.* (2006).

b) Determinación de especies endémicas, amenazadas y casi amenazadas de flora silvestre

Las especies endémicas son aquellas entidades biológicas que presentan una distribución geográfica restringida a un área determinada (León *et al.*, 2006) y son un componente importante para la conservación. Para la determinación de las especies endémicas se empleó el libro rojo de Plantas Endémicas del Perú realizada por León *et al.* (2006) y literatura específica para cada grupo taxonómico cuando fue necesario.

Para determinar el estado de las especies en estado de conservación registradas en el área de estudio, se determinó su presencia o ausencia en 3 listas de conservación, 2 a nivel internacional (CITES y IUCN) y 1 a nivel nacional. Para el nivel internacional: la Lista Roja de especies amenazadas del International Union for the Conservation of Nature (IUCN, 2023) y los apéndices CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) en donde el Apéndice I de la convención señala las especies en peligro y los Apéndices II y III señalan las especies que están más relacionadas con la extracción y comercio (CITES, 2018). Para el nivel nacional se consideró las listas de categorización de especies amenazadas de flora silvestre para el Perú según el Decreto Supremo N.º 043-2006-AG (MINAG, 2006).

c) 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).

Para ver la distribución espacial de la abundancia relativa de las especies de flora en cada formación vegetal se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico



(NMDS) en base a la distancia de Morisita. Este análisis se realizó con el programa de Past, Palaeontological Statistics 3.07 (Hammer *et al.* 2015).

d) Prueba de hipótesis (Kruskall – Wallis)

Test estadístico no paramétrico que emplea rangos para contrastar la hipótesis de que «K» muestras han sido obtenidas de una misma población, es decir, compara varias poblaciones. El test de Kruskal-Wallis contrasta si las diferentes muestras están equidistribuidas y que por lo tanto pertenecen a una misma distribución (población). Planteamiento de las hipótesis:

H 0: Todas las muestras provienen de la misma población (distribución).

H 1: Al menos una muestra proviene de una población con una distribución distinta.

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Siendo:

k = el número de muestras.

N_i = el número de observaciones en la i-ésima muestra.

N = ∑n_i el número total de observaciones de todas las muestras.

R_i = la suma de los rangos en la i –ésima muestra.

Para este análisis se utilizaron los programas InfoStat versión 2020 y SPSS 26.

5.10.7. Criterios de evaluación

La evaluación de la flora silvestre en el área de estudio se realizó mediante una búsqueda intensiva de flora, 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» (MINAM, 2018).

Las concentraciones de metales en el tejido vegetal fueron comparadas referencialmente con los rangos de concentración normal y el rango de concentración crítica (excesiva o tóxica), sin considerar especies sensibles o hiperacumuladoras de Kabata-Pendias (2010).

En vista que la vegetación natural objeto de la presente evaluación puede ser consumida como alimento por el ganado, y en el marco de la Resolución Directoral N.º 0027-2017-MINAGRI-SENASA-DIAIA, para el periodo abril a diciembre del 2017; en el cual se indica que se podrán usar los límites máximos de residuos establecidos por la Unión Europea los resultados de los metales obtenidos fueron comparados referencialmente con los valores establecidos por la última modificación del Real Decreto 465/2003, sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal. Se utilizó esta norma debido a que recoge las disposiciones legales establecidas en la Unión Europea.

Los parámetros de metales: arsénico, plomo, mercurio y cadmio; contenidos en la norma mencionada líneas arriba, que sirvieron de comparación referencial, se presentan a continuación en la Tabla 5.49.

Tabla 5.51. Valores de comparación para la calidad de tejidos vegetales según el Real Decreto 465/2003

Normativa de referencia	Parámetro	Unidad	Contenido Máximo
Real Decreto 465/2003	Arsénico	mg/kg*	2



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Normativa de referencia	Parámetro	Unidad	Contenido Máximo
	Plomo		30
	Mercurio		0,1
	Cadmio		1

*Referido a un contenido de humedad del 12 %

Asimismo, se compararon referencialmente los parámetros establecidos por el *Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals*, National Research Council (2005).

5.11. Fauna silvestre (anfibios y reptiles)

Los anfibios y los reptiles son miembros importantes de los ecosistemas acuáticos y terrestres que juegan un rol significativo en las cadenas tróficas ya que estos grupos actúan como presas y predadores. Dadas sus características biológicas y ecológicas son considerados como buenos bioindicadores de contaminación ambiental debido a que tienen una baja capacidad de dispersión y son sensibles a los cambios químicos y físicos producidos en sus medios. Por ello se realizó el estudio de estos organismos mediante métodos realizados en campo y gabinete los cuales se describen a continuación.

5.11.1. Guía utilizada para la evaluación

Para la evaluación de anfibios y reptiles se utilizaron las referencias bibliográficas detalladas en la Tabla 5.50.

Tabla 5.52. Guías de referencia para la evaluación de anfibios y reptiles

N.º	Protocolo/guía	Sección	Dispositivo legal/Autores	Entidad	País	Año
1	Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 5	R.M. N° 057-2015-MINAM	Ministerio del Ambiente	Perú	2015
2	<i>Amphibian Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques</i>	Parte 2 Parte 3 Parte 7	C. Kenneth Dodd Jr	Oxford University Press.	Reino Unido	2010
3	<i>Reptile Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques</i>	Parte 4	C. Kenneth Dodd Jr	Oxford University Press.	Reino Unido	2016
4	<i>Methods of analysis by the U.S. Geological Survey National Water Quality Laboratory: preparation procedure for aquatic biological material determined for trace metals</i>	Toda	Hoffman Gerald L.	USGS - United States Geological Survey	Estados Unidos	1996

5.11.2. Ubicación de unidades de evaluación

a) Anfibios y reptiles

La evaluación de anfibios y reptiles se llevó a cabo entre el 27 y 29 de abril de 2023, donde se realizaron 14 búsquedas por encuentro visual (VES), que se establecieron en el ámbito del bofedal Para Para. Las coordenadas de ubicación y descripción de los VES se presentan en la Tabla 5.51.



Complementariamente se consideraron los registros oportunistas, que fueron obtenidos fuera de las unidades de evaluación, cuya ubicación y distribución se detallan en la Tabla 5.52.

En el ámbito de área de potencial interés API Para Para se realizaron y áreas cercanas (ubicadas a una distancia de 5 y 20 m del borde del área delimitada del API) se realizaron 6 VES. En el área control, que corresponde a áreas ubicadas a aproximadamente de 100 m - 560 m del borde del bofedal, se realizaron 8 VES.

Para el análisis de metales no se consideró como control la muestra CORI-HE-V10 colectada en un área erosionada que se ubica sobre depósitos de tipo coluvial – deluvial con elevadas concentraciones de plomo, mercurio y otros metales, según la muestra de roca RC-23-19, que le confieren características diferentes a las demás muestras del área control, presentando elevadas concentraciones de estos metales de forma natural.

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASubdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Tabla 5.53. Búsquedas por encuentro visual (VES) para la evaluación de anfibios y reptiles**

N.º	Código OEFA	Evaluación			Coordenada Inicial UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud inicial m s.n.m.	Coordenada Final UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud final m s.n.m.	Descripción ⁽¹⁾
		Fecha	Hora inicio	Hora fin	Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)		
API Para Para y áreas cercanas											
1	CORI-HE-V1	27/04/2023	11:52	12:22	437502	8609756	4742	437428	8609991	4716	Búsquedas por encuentro visual (VES) establecidas en el área del bofedal «Para Para», ubicada al lado sureste del PAD de lixiviación
2	CORI-HE-V2	27/04/2023	12:30	13:00	437347	8610000	4713	437112	8610058	4704	
3	CORI-HE-V3	27/04/2023	14:01	14:31	437455	8609707	4740	437371	8609918	4727	
4	CORI-HE-V4	27/04/2023	14:37	15:07	437323	8609965	4714	437252	8610010	4699	
5	CORI-HE-V5	29/04/2023	12:35	13:05	437193	8610000	4711	436932	8610025	4696	
6	CORI-HE-V13	29/04/2023	10:37	11:07	437483	8609750	4711	437345	8609940	4714	Búsqueda por encuentro visual (VES) establecidas en el área del bofedal «Para Para», ubicado hacia el oeste del campamento antiguo de la UM Corihuarmi
Área control											
7	CORI-HE-V6	27/04/2023	16:09	16:39	436862	8610026	4702	436543	8610077	4686	Búsqueda por encuentro visual (VES) que inicia a aproximadamente 192 m al sur de la poza de grandes eventos y recorre el lado oeste de la laguna Huasipirca
8	CORI-HE-V7	28/04/2023	10:28	10:58	437588	8609694	4773	437564	8609520	4790	Búsquedas por encuentro visual (VES) establecidas en el área del bofedal «Para Para», ubicada hacia el oeste del campamento antiguo de la UM Corihuarmi
9	CORI-HE-V8	28/04/2023	11:22	11:52	437620	8609463	4803	437425	8609348	4819	
10	CORI-HE-V9	28/04/2023	12:15	12:45	437429	8609463	4795	437379	8609669	4752	
11	CORI-HE-V11	28/04/2023	15:05	15:35	437257	8609867	4730	437347	8609713	4725	Búsquedas por encuentro visual establecidas en el bofedal «Para Para», en la margen izquierda del aportante de la quebrada «Para Para»
12	CORI-HE-V12	28/04/2023	15:55	16:25	437287	8609706	4744	437206	8609798	4736	
13	CORI-HE-V14	29/04/2023	15:18	15:48	436996	8609872	4724	437011	8609559	4761	Búsqueda por encuentro visual (VES) establecido en el bofedal «Para Para», inicia a aproximadamente 270 m al sur de la poza de grandes eventos
Área erosionada											
14	CORI-HE-V10	28/04/2023	14:10	14:40	437124	8609950	4716	437213	8609936	4726	Búsquedas por encuentro visual establecidas en el bofedal «Para Para», en la margen izquierda del aportante de la quebrada «Para Para»

(1) Descripción correspondiente a la acción de supervisión de abril 2023

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»

«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 5.54. Registros oportunistas de anfibios y reptiles

Lista de los Registros oportunistas de animales y represas							
N.º	Código OEFA	Evaluación		Coordenada Inicial UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud inicial m s.n.m.	Descripción ⁽¹⁾
		Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
Áreas cercanas API Para Para							
1	CORI-HE-RO1	29/04/2023	11:30	437279	8609952	4714	Registros oportunistas (RO) obtenidos en el área del bofedal «Para Para» ubicada al lado sureste del PAD de lixiviación
2	CORI-HE-RO2*	29/04/2023	12:00	437241	8609988	4713	
3	CORI-HE-RO3	29/04/2023	12:06	437222	8609986	4711	
Área control							
4	CORI-HE-RO4	29/04/2023	15:55	437063	8609583	4739	Registro oportunista (RO) obtenido en el bofedal «Para Para» a aproximadamente 560 m al sur de la poza de grandes eventos
5	CORI-HE-RO5*	27/04/2023	11:37	437546	8609657	4745	Registro oportunista (RO) obtenido en el área del bofedal «Para Para», ubicada hacia el oeste del campamento antiguo de la UM Corihuarmi
6	CORI-HE-RO6*	28/04/2023	12:08	437417	8609427	4804	Registro oportunista (RO) obtenido en el bofedal «Para Para», en la naciente del aportante de la quebrada «Para Para».

(1) Descripción correspondiente a la acción de supervisión de abril 2023

(*) Registros oportunistas que no fueron incluidos en el acta de supervisión debido a que son individuos registrados visualmente y no se consideraron para el análisis de concentraciones de metales



5.11.3. Métodos de evaluación

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 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 estuvo distanciado como mínimo 30 m una de la otra y fue evaluado por una sola persona.

Se tomaron los siguientes datos de campo: hora de inicio y final de cada evaluación con sus respectivas coordenadas geográficas UTM (*Universal Transverse Mercator*; marcador transversal universal) y elevación con respecto al nivel del mar, finalmente se realizó la caracterización de hábitat tomando en cuenta el tipo de cobertura vegetal, así como el origen y grado de perturbación

- **Registros oportunos (RO)**

Constituyen los registros de especímenes fuera de las unidades 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 estudio (Manzanilla y Péfaur, 2000). Estos registros no fueron considerados para la realización de análisis de abundancia y diversidad, pero sí para complementar los datos de composición de especies y el análisis de metales en tejido.

Toma de datos de individuos

Cada ejemplar capturado en los VES u obtenido como registro oportunista se identificó hasta el nivel taxonómico de especie, luego se pesó con una balanza electrónica portátil de 0,1 g de precisión y con un vernier electrónico de 0,1 mm de resolución, se tomaron medidas de características morfológicas como la longitud hocico – cloaca (LHC), largo de la cola, se determinó el sexo y estado de madurez (juvenil, subadulto o adulto).

Colecta de tejido para el análisis de metales

Para la detección de metales pesados, se colectaron larvas de *Pleurodema marmoratum*, conformando muestras compuestas de hasta 15 larvas para obtener el peso mínimo requerido para el análisis 3 -5 g. Estos individuos se sacrificaron en una con una solución de lidocaína al 10%, posteriormente se enjuagaron con abundante agua esterilizada y desionizada y se conservaron en a una temperatura menor a 4 °C y enviadas en cadena de frío al laboratorio.

Colecta de anfibios y reptiles para identificación taxonómica

Los individuos colectados para identificación taxonómica fueron fijados en formol al 10%, y se preservaron en etanol al 70 %. Dichas muestras serán depositadas en la colección herpetológica del museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

**5.11.4. Parámetros de análisis**

Para cumplir con los objetivos planteados se consideró el análisis de parámetros a nivel de comunidad de anfibios y reptiles, los cuales fueron: composición y riqueza de especies, abundancia (número de individuos). Estos parámetros se obtendrán de la evaluación búsquedas por encuentros visuales y registros oportunistas (Tabla 5.53 y Tabla 5.54).

A nivel de individuos se realizó un análisis de metales larvas de *Pleurodema marmoratum*, los resultados (expresados en mg/kg) fueron obtenidos mediante la técnica de espectrometría ICP-MS (PE-324) a cargo del laboratorio Técnica y Proyectos S.A. Sucursal del Perú

Los resultados de la identificación taxonómica, abundancia por unidades de evaluación y concentración de metales en los individuos capturados se encuentran detallados en el reporte de resultados RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

Tabla 5.55. Parámetros evaluados, métodos de evaluación y análisis para anfibios y reptiles

N.º	Parámetro	Unidad	Método de análisis
1	Composición de especies	-	Evaluación de las búsquedas por encuentro visual (VES) y registros oportunistas
2	Riqueza de especies	Especies	Evaluación de las búsquedas por encuentro visual (VES)
3	Abundancia	Individuos	
4	Metales en tejido animal	mg/kg	PNTE-LTG- 94 Determinación de metales totales en animales

Fuente: RR-010-2023-STEC (Anexo 4)

Tabla 5.56. Parámetros evaluados por búsquedas por encuentro visual (VES) y registros oportunistas para anfibios y reptiles

Código OEFA	Parámetro			
	Composición	Abundancia	Riqueza	Metales
	2023			
CORI-HE-V1	-	X	X	0
CORI-HE-V2	-	X	X	0
CORI-HE-V3	-	X	X	0
CORI-HE-V4	-	X	X	0
CORI-HE-V5	-	X	X	1
CORI-HE-V6	-	X	X	0
CORI-HE-V7	-	X	X	1
CORI-HE-V8	-	X	X	1
CORI-HE-V9	-	X	X	0
CORI-HE-V10	-	X	X	1
CORI-HE-V11	-	X	X	0
CORI-HE-V12	-	X	X	1
CORI-HE-V13	-	X	X	0
CORI-HE-V14	-	X	X	0
CORI-HE-RO1	X	-	-	1
CORI-HE-RO2	X	-	-	0
CORI-HE-RO3	X	-	-	1
CORI-HE-RO4	X	-	-	1
CORI-HE-RO5	X	-	-	0
CORI-HE-RO6	X	-	-	0
Total	-	-	-	8

Fuente: RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

(X): Datos de unidad de evaluación que serán considerados en el cálculo del parámetro respectivo



(-): Datos de unidad de evaluación que no serán considerados en el cálculo del parámetro respectivo

5.11.5. Equipos utilizados

Los equipos y materiales utilizados en el muestreo de suelo se detallan en el reporte de campo RC-032-2023-STEC (Anexo 3).

5.11.6. Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de calidad consistió en el manejo y transporte adecuado de las muestras para la identificación taxonómica en el laboratorio, así como el mantenimiento de la cadena de frío para el correcto análisis de las muestras para la determinación de concentración de metales en larvas de *Pleurodema marmoratum*.

5.11.7. Procesamiento de datos

Para el análisis de datos obtenidos en la evaluación del componente fauna silvestre, se realizaron los cálculos que se detallan a continuación.

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.

- **Composición de especies**

Para determinar estos dos parámetros se realizó la identificación hasta el nivel taxonómico de especie, para ello se utilizó bibliografía especializada indicada en el reporte de resultados³¹, bases de datos internacionales, así como colecciones científicas de referencia, la Colección de Herpetología del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco y la colección herpetológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Para la clasificación taxonómica, respecto a los anfibios se siguió la taxonomía utilizada por Frost (2023) y en cuanto a los reptiles la utilizada por Uetz (2023).

- **Determinación de especies endémicas y amenazadas de fauna silvestre**

Las especies endémicas se determinaron mediante la revisión de bibliografía especializada como las descripciones de las especies o aquellas que indiquen la distribución o ampliación de rango. Adicionalmente se consultarán bases de datos en línea como «Reptile Database» (Uetz et. al., 2023), «Amphibian species of the world» (Frost, 2023), y la base de datos de distribución de especies de la «The IUCN Red List of Threatened species»² (IUCN, 2023).

³¹ Reporte de resultados N.º RR-010-2023-STEC



Para determinar las especies incluidas en alguna categoría de amenaza se consultó la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre protegidas por el estado peruano según el Decreto Supremo N.º 004-2014-MINAGRI complementadas con el Libro Rojo de Fauna Silvestre Amenazada del Perú (SERFOR, 2018). También, se listaron las especies incluidas en «The IUCN Red List of Threatened species» (IUCN, 2023), los apéndices «The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora» (CITES, 2021).

Finalmente se realizó un registro fotográfico de todas las especies registradas que se presentan en el Reporte de resultados N.º RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

b) Determinación de la influencia del medio en la concentración de metales en anfibios

Los valores de las concentraciones de metales en tejido (mg/kg) serán expresadas en medias ± 1 el error estándar de la media. Para realizar las comparaciones de concentración de metales en tejidos se realizó la prueba de Mann Whitney, para comparar las muestras del API (área de potencial interés) y la zona control.

Para realizar estos análisis, se utilizaron los datos de concentraciones en tejido cuyos valores se encuentran en el Reporte de resultados N.º RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

Prueba de Mann Whitney

Es una prueba no paramétrica aplicada a dos muestras independientes. Es, de hecho, la versión no paramétrica de la habitual prueba t de Student. Se usa para comprobar la heterogeneidad de dos muestras ordinales. Se utiliza cuando se desea comparar dos muestras y determinar si pertenecen a la misma población

$$U1 = n1n2 + \frac{n1(n1 + 1)}{2} - \sum R1$$

$$U2 = n1n2 + \frac{n2(n2 + 1)}{2} - \sum R2$$

Donde:

U1 y U2 = valores estadísticos de U Mann-Whitney.

n1 = tamaño de la muestra del grupo 1.

n2 = tamaño de la muestra del grupo 2.

R1 = sumatoria de los rangos del grupo 1.

R2 = sumatoria de los rangos del grupo 2.



6. RESULTADOS

A continuación, se presenta los resultados detallados por objetivo planteado en la evaluación ambiental de causalidad en el área de influencia de la UM Corihuarmi. En el Anexo 4 se encuentran los reportes de resultados de las matrices evaluadas.

6.1. Objetivo específico 1: Determinar la influencia del botadero de material inadecuado, aguas de contacto y efluente EBMI sobre agua superficial, agua subterránea, sedimento y estado de las comunidades hidrobiológicas en el río Chacote.

En esta sección se presenta los resultados de agua superficial, agua subterránea, efluente, agua residual industrial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, roca y componente minero evaluados en abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1).

6.1.1. Agua superficial

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de agua superficial en abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1); así como su comparación con los ECA para agua 2008 y 2017.

6.1.1.1 Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008)

En abril 2023, los puntos evaluados en el río Chacote (SW-20 y SW-10) y las quebradas sin nombre QSN-3 y QSN-2, que son aportantes del río Chacote, registraron valores de pH ácidos (2,36 unidades de pH - 3,11 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.1). Asimismo, el punto en la quebrada sin nombre QSN-3 registró una concentración de 4038,5 mg/L en sulfatos que superó el ECA para agua 2008 Subcat. Bebida de animales. Los valores de conductividad eléctrica (827 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 4640 $\mu\text{S}/\text{cm}$) no superaron los valores establecidos en los ECA para agua 2008 (Figura 6.1).

Las concentraciones totales de aluminio, cadmio, cobre, hierro y manganeso, en todos los puntos evaluados, superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales. Las concentraciones totales de arsénico superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales excepto en la quebrada sin nombre QSN-2. La concentración total de zinc en la quebrada sin nombre QSN-2 superó los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales. La concentración total de níquel en la quebrada sin nombre QSN-3 superó los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.2).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

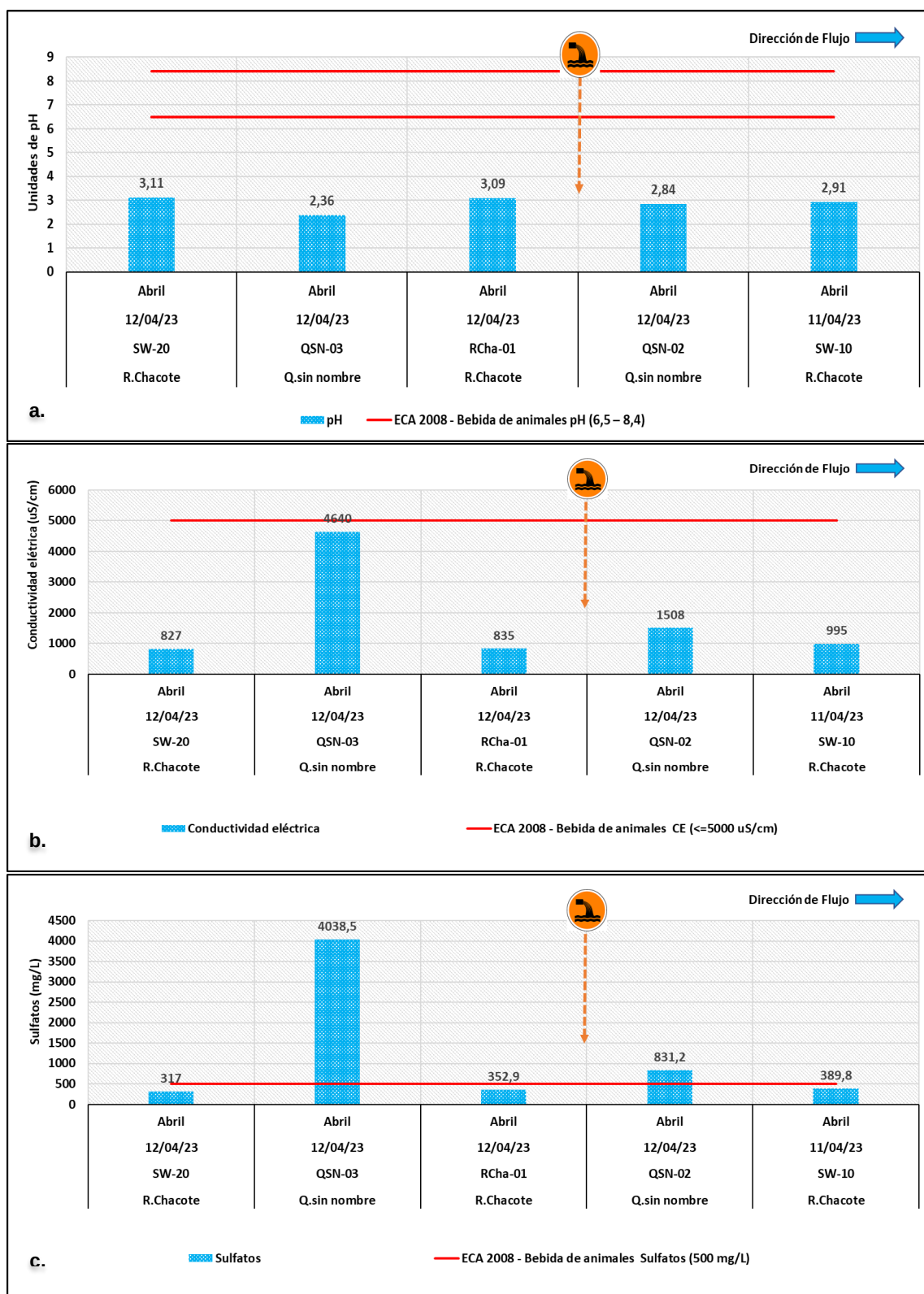


Figura 6.1. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica y concentraciones de **c.** sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

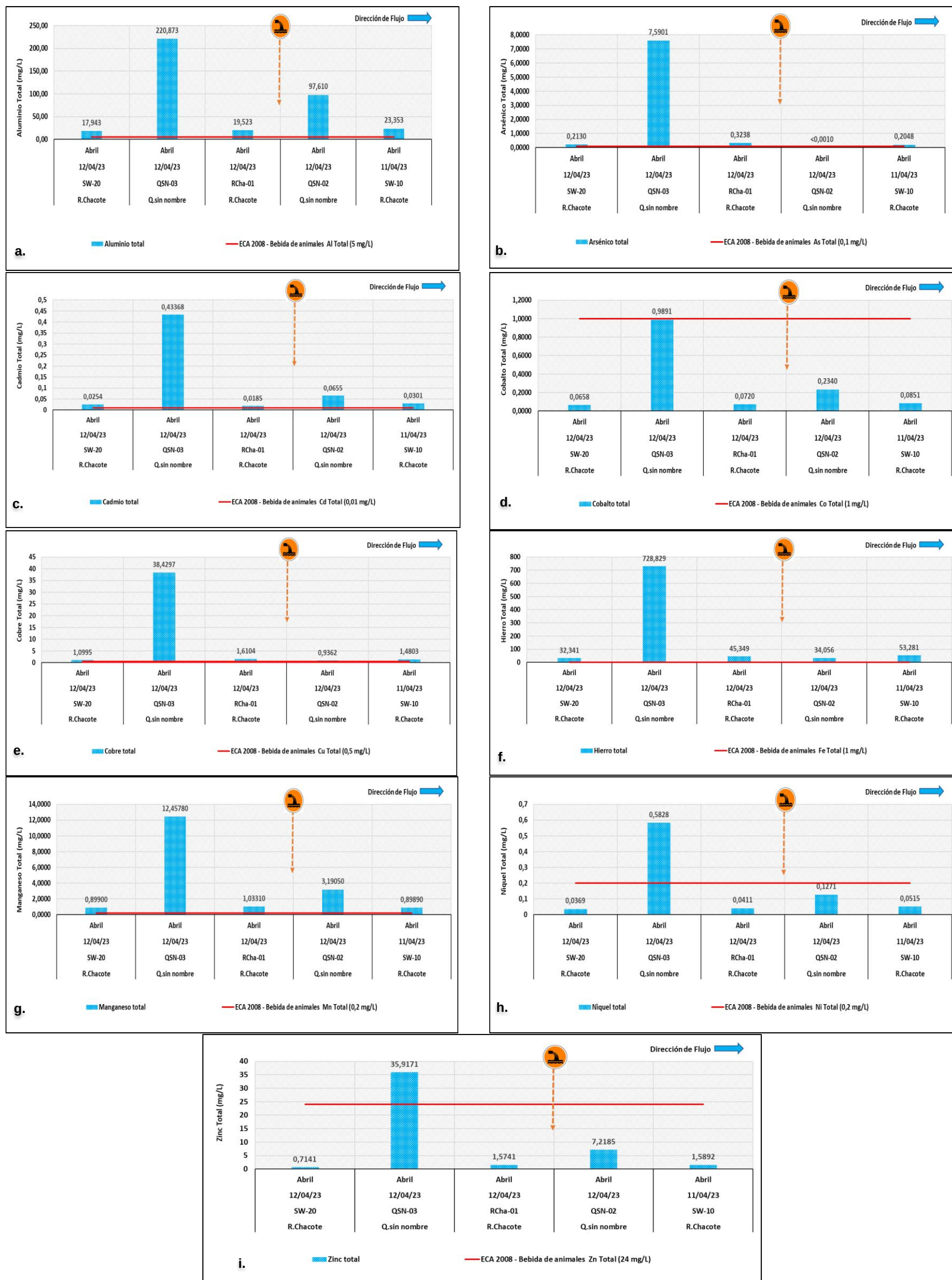


Figura 6.2. Concentraciones totales de **a.** aluminio, **b.** arsénico, **c.** cadmio, **d.** cobalto, **e.** cobre, **f.** hierro, **g.** manganeso, **h.** níquel y **i.** zinc. en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008



6.1.1.2 Comparación con la norma vigente (ECA 2017)

En abril 2023, los puntos evaluados en el río Chacote (SW-20 y SW-10) y las quebradas sin nombre QSN-3 y QSN-2, que son aportantes del río Chacote, registraron valores de pH ácidos (2,36 unidades de pH - 3,11 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 (Figura 6.3). Asimismo, el punto en la quebrada sin nombre QSN-3 registró una concentración de 4038,5 mg/L en sulfatos que superó la Subcat. D2. Los valores de conductividad eléctrica (827 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 4640 $\mu\text{S}/\text{cm}$) no superaron los valores establecidos en los ECA para agua 2017 (Figura 6.3).

Las concentraciones totales de aluminio, cadmio, cobre, hierro y manganeso, en todos los puntos evaluados, superaron los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2. Las concentraciones totales de arsénico superaron los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 excepto en la quebrada sin nombre QSN-2. La concentración total de zinc en la quebrada sin nombre QSN-3 superó los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2. (Figura 6.4).

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

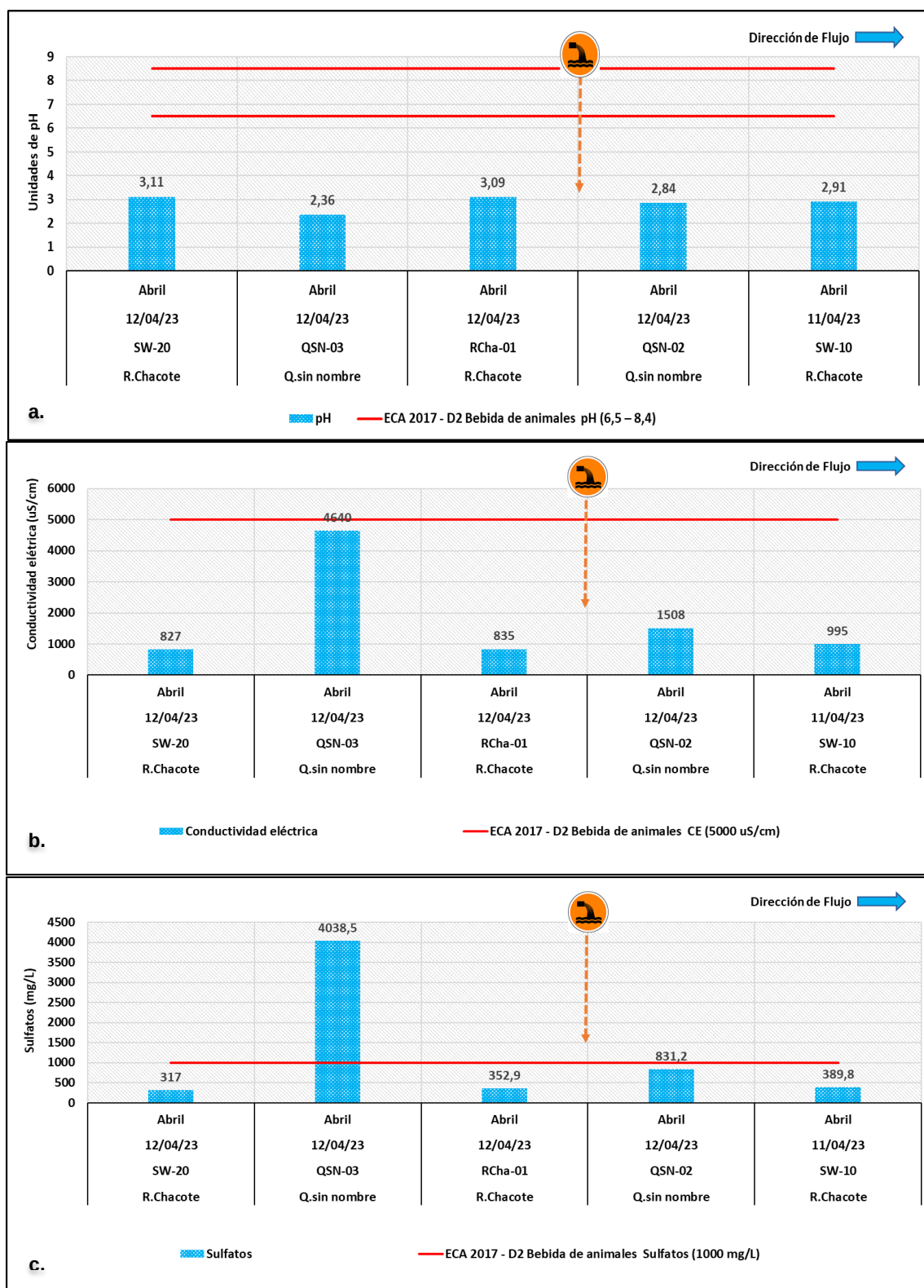


Figura 6.3. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica y concentraciones de **c.** sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

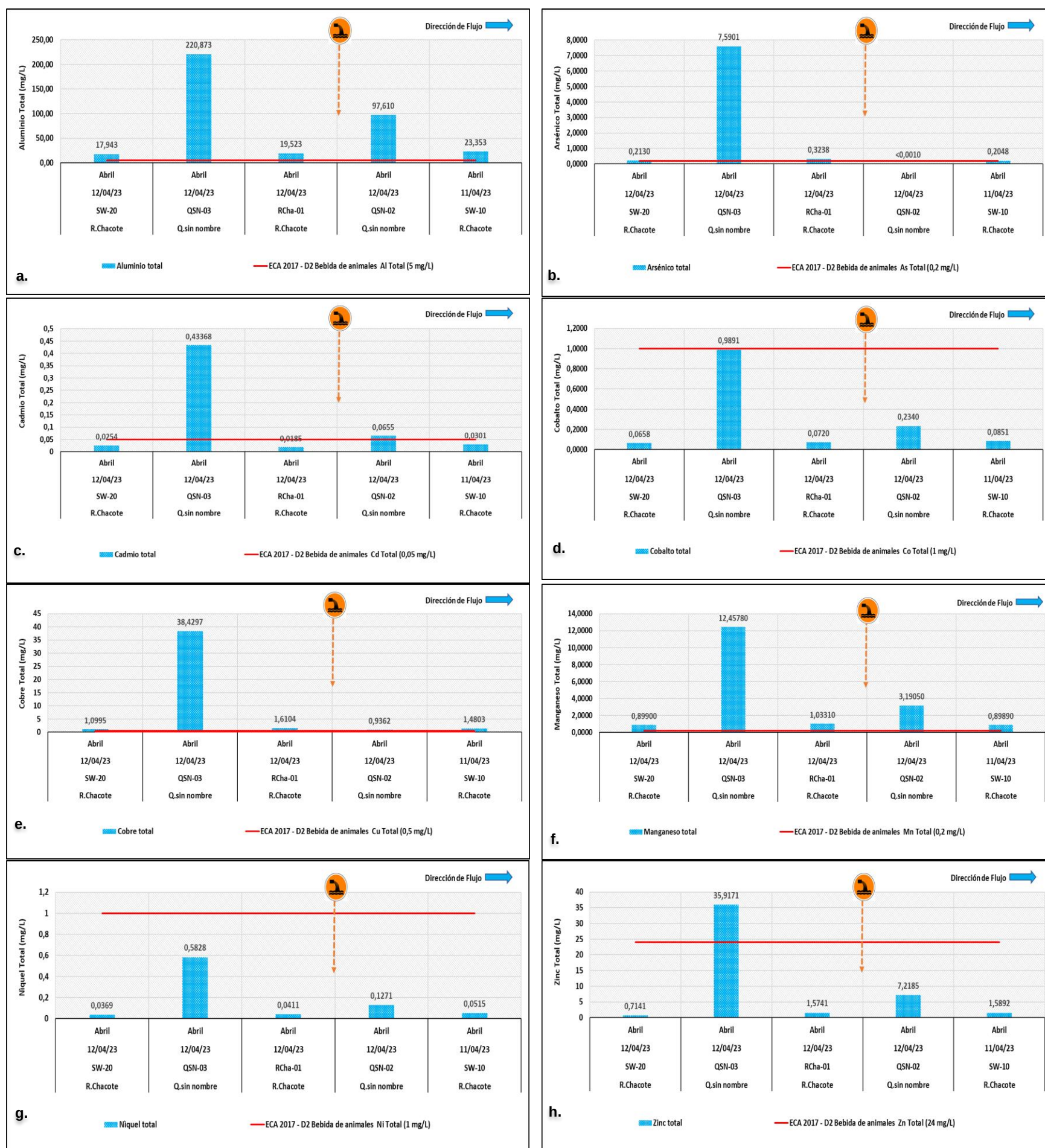


Figura 6.4. Concentraciones totales de a. aluminio, b. arsénico, c. cadmio, d. cobalto, e. cobre, f. manganeso, g. níquel y h. zinc, en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017



6.1.1.3 Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, los puntos de agua superficial evaluados en abril 2023 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 18 meq/L en la quebrada sin nombre QSN-2 y en el río Chacote (SW-20, SW-10 y RCha-01) y de 0 a 80 meq/L en la quebrada sin nombre QSN-3 (Figura 6.5).

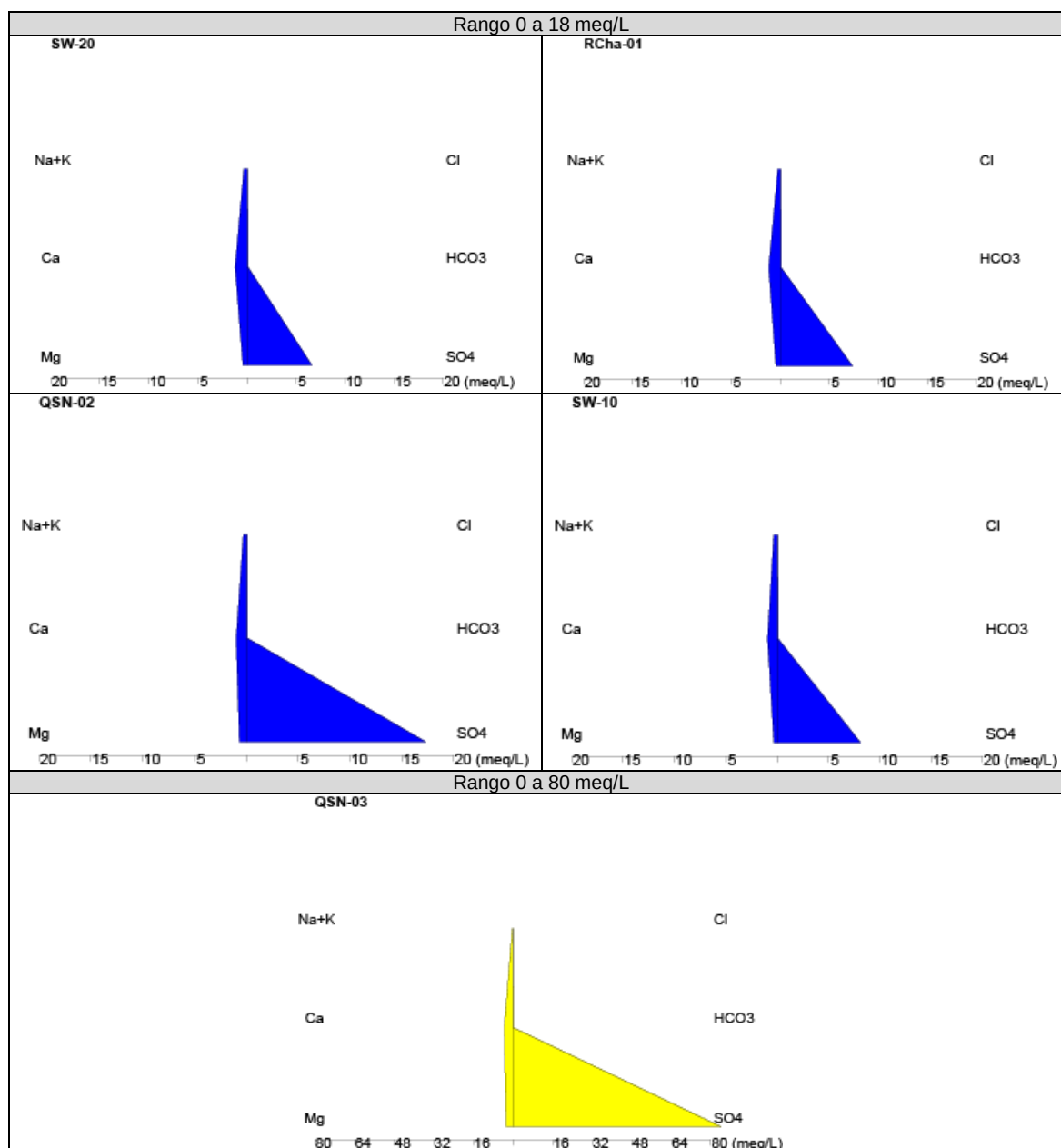


Figura 6.5. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, los puntos de agua superficial SW-10 (aguas abajo del río Chacote) y quebradas sin nombre QSN-02 y QSN-03 se clasificaron como «pH altamente

ácido» y «alto contenido de metales» mientras que los puntos SW-20 y RCha-01 (aguas arriba del río Chacote) se clasificaron como «pH ácido» y «alto contenido de metales» (Figura 6.6).

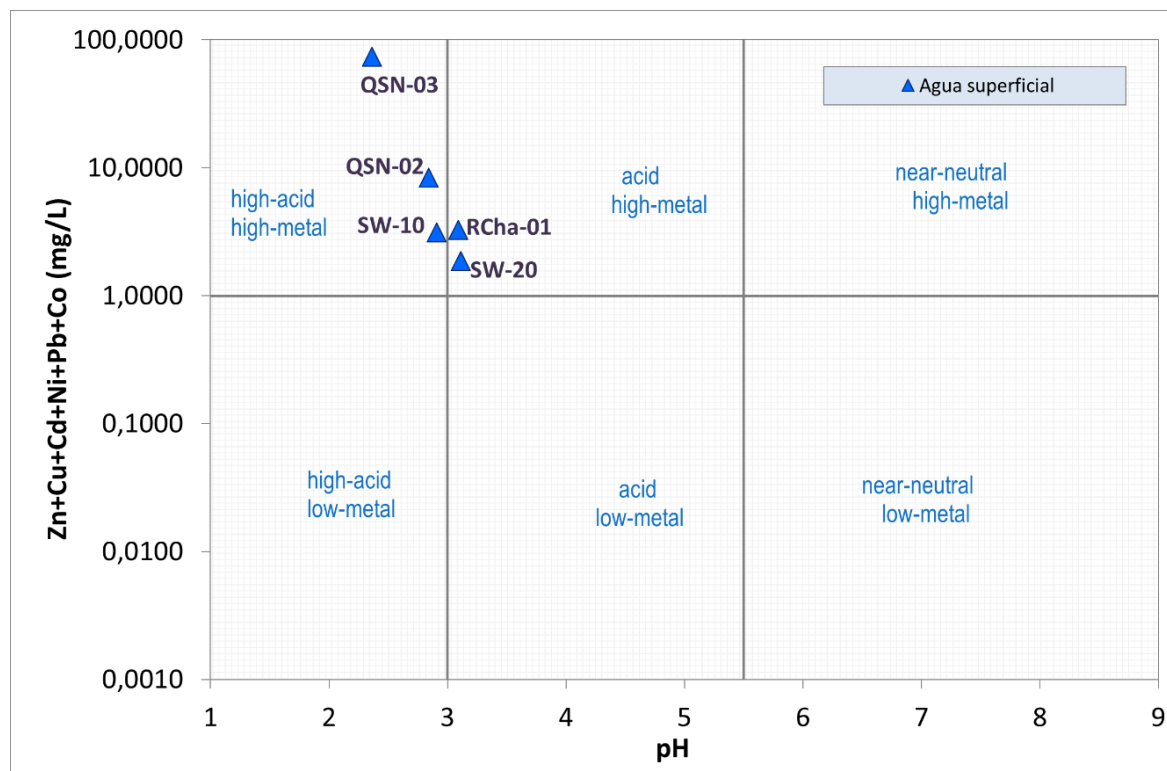


Figura 6.6. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

6.1.2. Agua subterránea

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de agua subterránea en abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1); así como su comparación referencial con los ECA para agua 2008 y 2017.

6.1.2.1 Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008)

En abril 2023, el piezómetro I-06 y el manantial MA-06 registraron valores de pH ácidos (2,55 unidades de pH y 2,79 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales y la concentración de sulfatos superó la norma mencionada solo en el piezómetro I-06. La concentración de oxígeno disuelto estuvo por debajo de los valores establecidos en los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales solo en el piezómetro I-06 (Figura 6.7).

Las concentraciones totales de aluminio, hierro y manganeso en ambos puntos evaluados superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales. La concentración total de arsénico en el manantial MA-06 superó los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales. Las concentraciones totales de cobre y cadmio en el piezómetro I-06 superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.8).

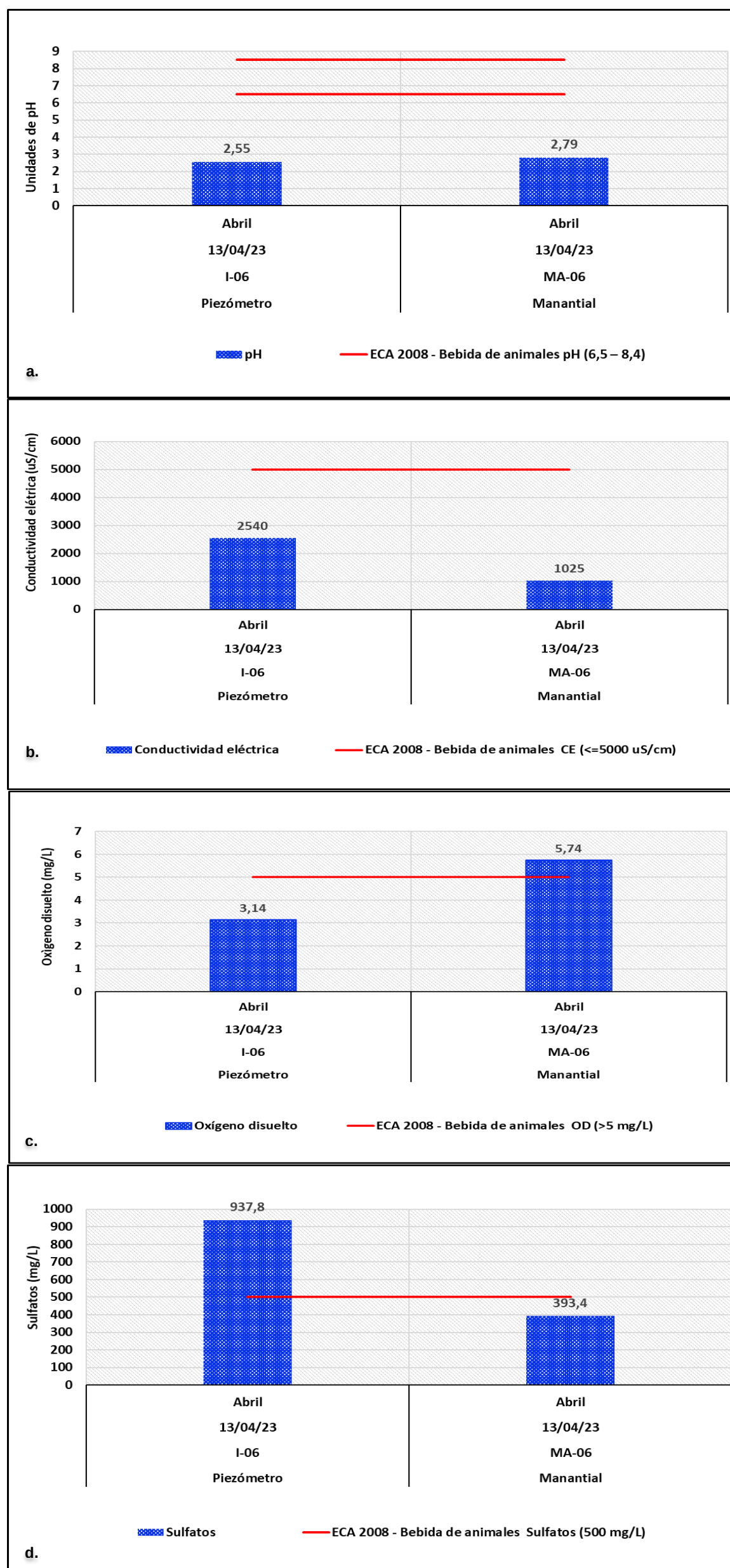


Figura 6.7. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica, **c.** oxígeno disuelto y concentraciones de **d.** sulfatos en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008

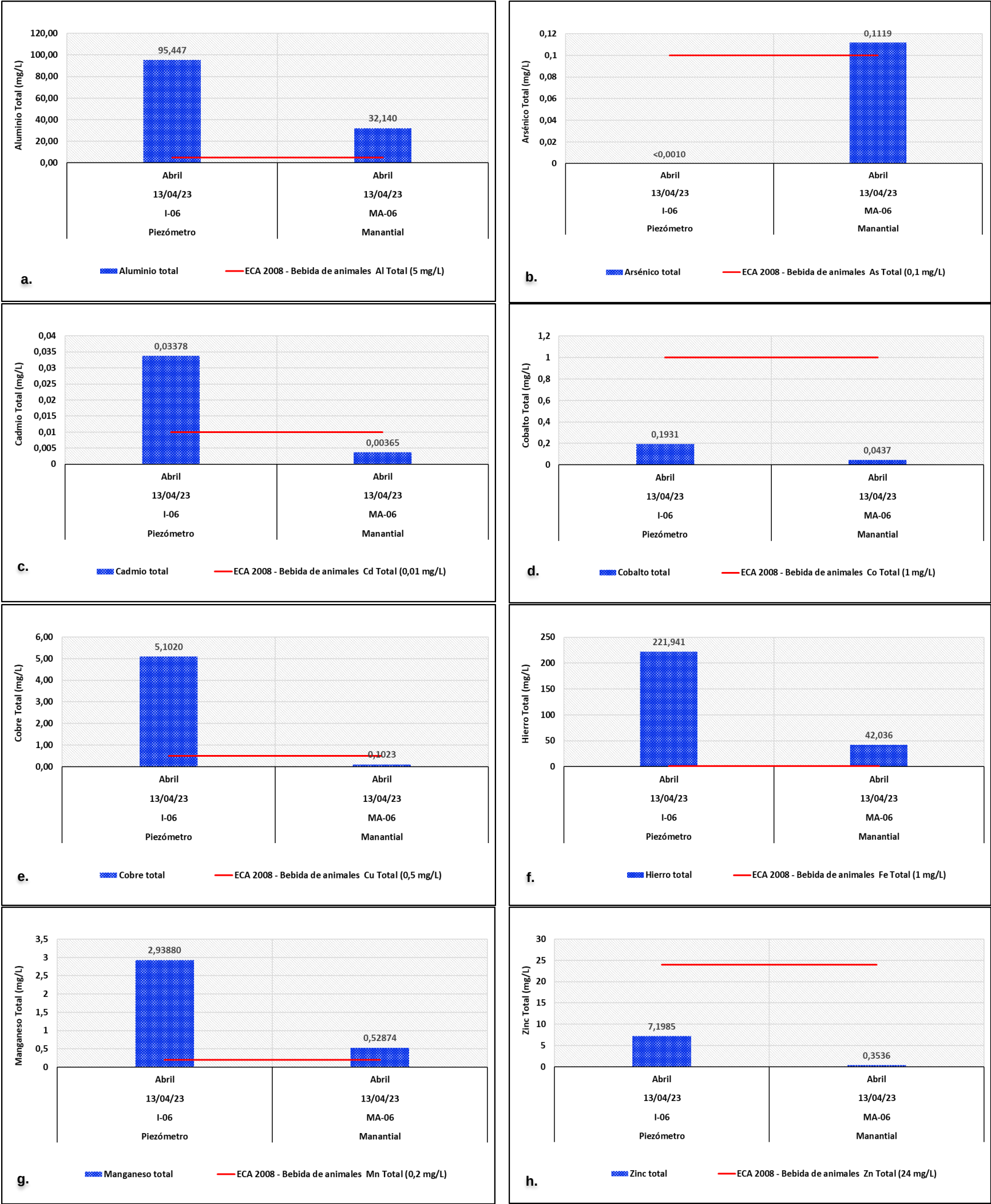


Figura 6.8. Concentraciones totales de **a.** aluminio, **b.** arsénico, **c.** cadmio, **d.** cobalto, **e.** cobre, **f.** hierro, **g.** manganeso y **h.** zinc en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.1.2.2 Comparación con la norma vigente (ECA 2017)

En abril 2023, el piezómetro I-06 y el manantial MA-06 registraron valores de pH ácidos (2,55 unidades de pH y 2,79 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2. La concentración de oxígeno disuelto estuvo por debajo de los valores establecidos en los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 solo en el piezómetro I-06 (Figura 6.9).

Las concentraciones totales de aluminio y manganeso en ambos puntos evaluados superaron los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 y la concentración total de cobre en el piezómetro I-06 superaron los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2. (Figura 6.10).

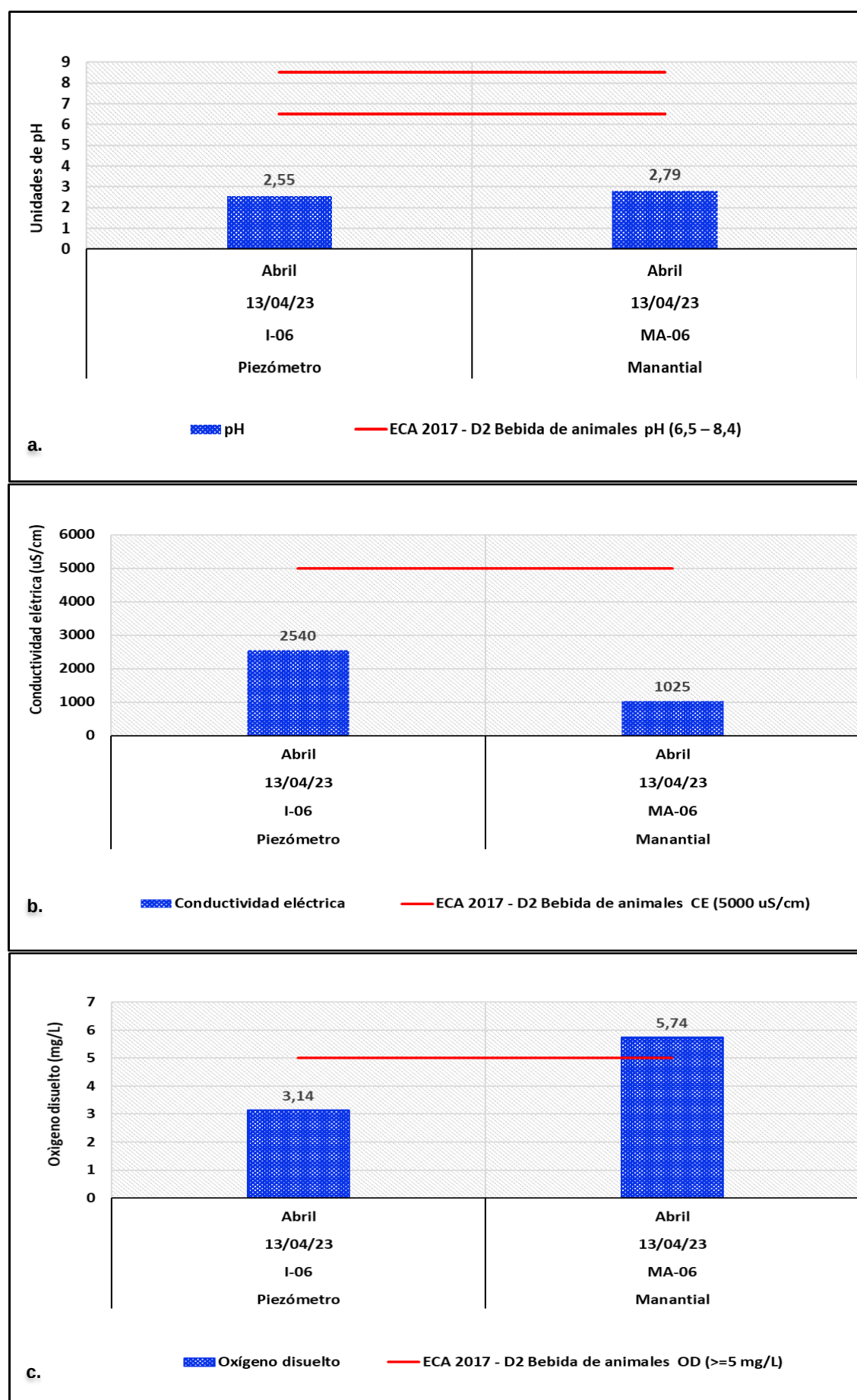
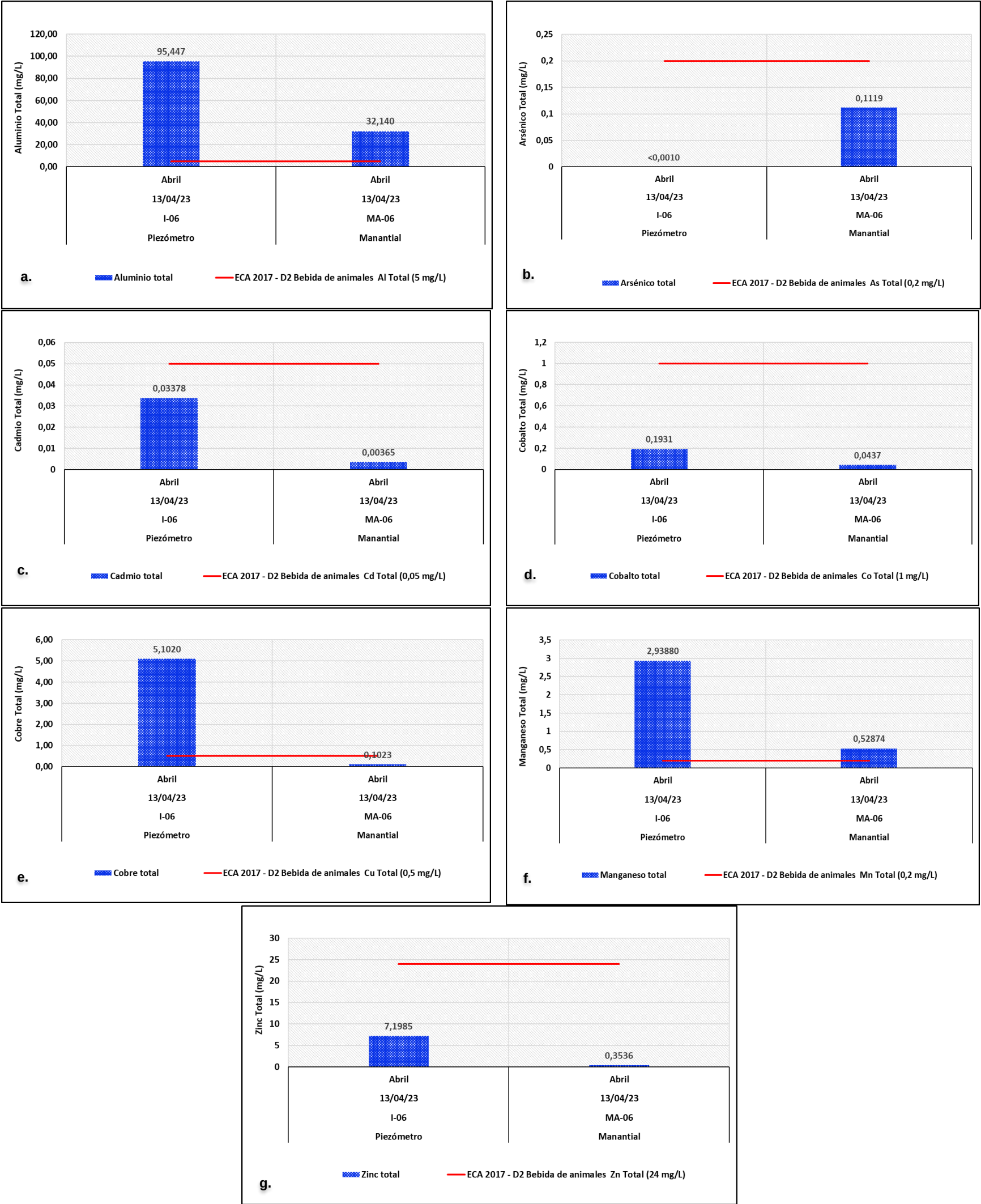


Figura 6.9. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica y **c.** oxígeno disuelto en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017



6.1.2.3 Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, los puntos de agua subterránea evaluados en abril 2023 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 20 meq/L (I-06 y MA-06) (Figura 6.11).

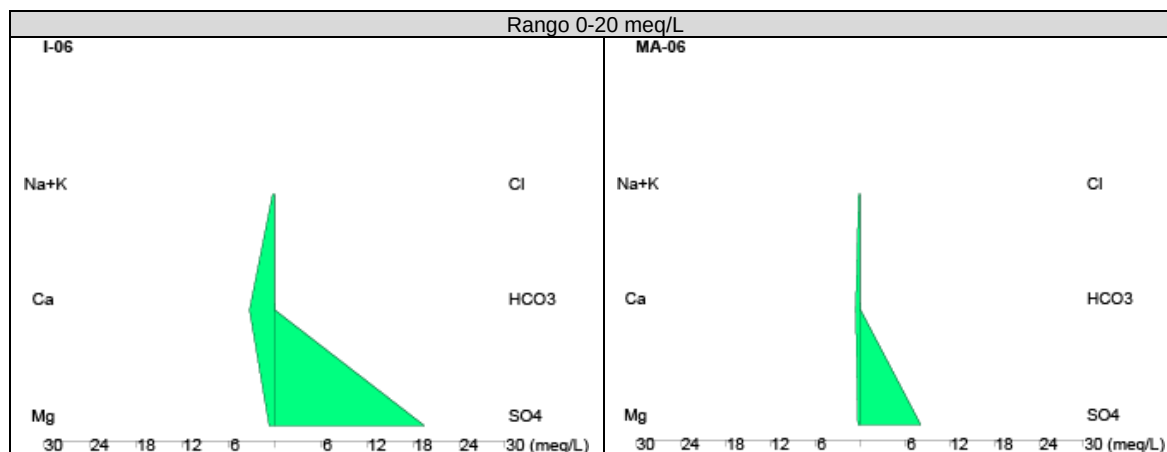


Figura 6.11. Diagramas de Stiff de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, el piezómetro I-06 se clasificó como «pH ácido» y «alto contenido de metales» mientras que, el manantial MA-06 se clasificó como «pH ácido» y «bajo contenido de metales» (Figura 6.12).

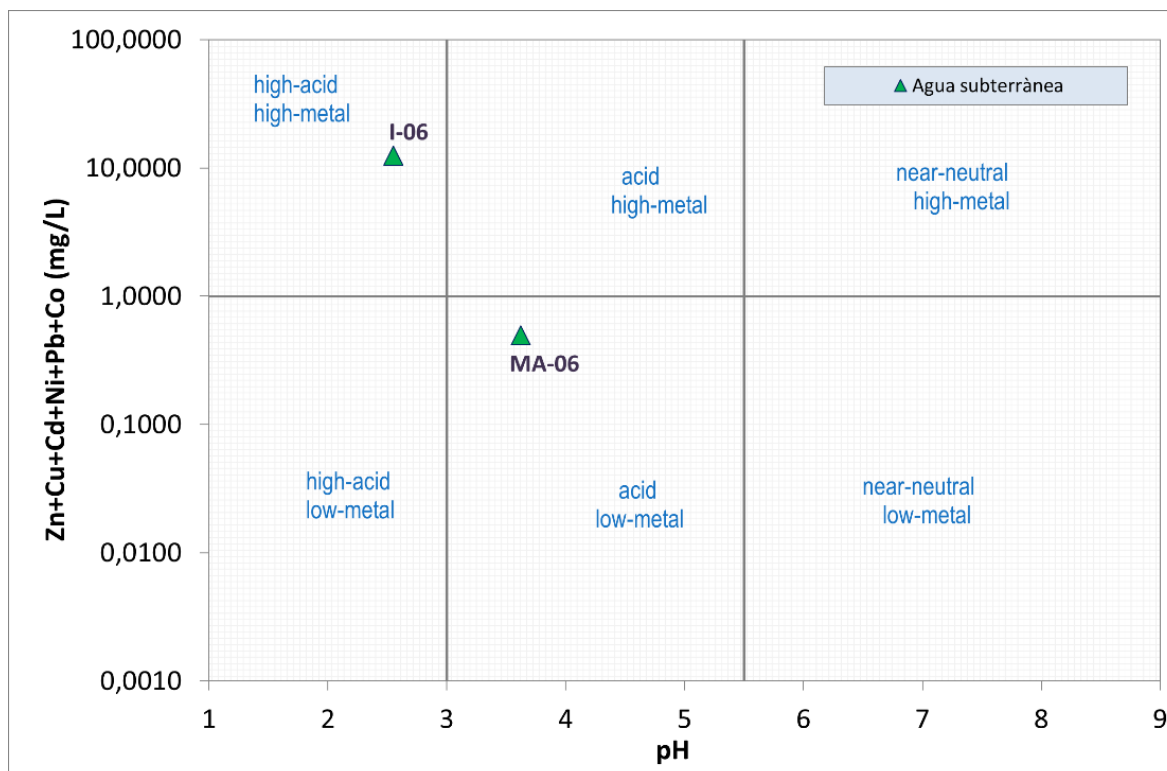


Figura 6.12. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Según el diagrama de Mifflin, los puntos de agua subterránea I-06 y MA-06 evaluados en abril 2023 se clasificaron como «flujos de recarga local» (Figura 6.13).

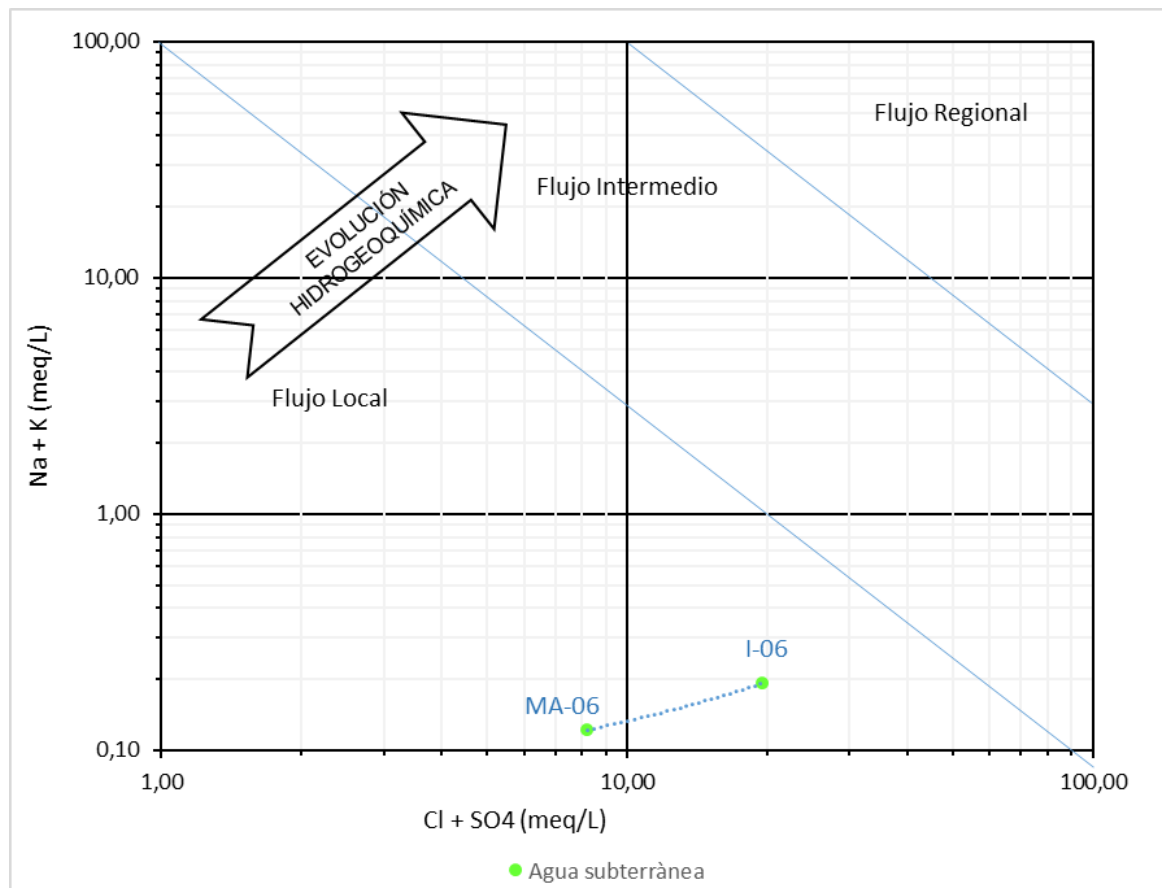


Figura 6.13. Diagrama de Mifflin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

6.1.3. Sedimento

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de sedimento en abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1).

6.1.3.1 Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG

En la microcuenca Chacote (zona 1) se evaluaron 2 puntos de muestreo de sedimento (SW-20 y SW-10). De acuerdo con los resultados, ambos puntos que excedieron (al menos en un parámetro) los valores de la guía canadiense de la calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática (*Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - CSQG*) de la guía canadiense de calidad ambiental (*Canadian Environmental Quality Guidelines – CEQG*).

De acuerdo con la Figura 6.14, las concentraciones de arsénico total y mercurio total superaron los valores referenciales PEL de la CEQG en los puntos SW-20 y SW-10; asimismo, las concentraciones de cobre total y plomo total superaron los valores referenciales ISQG de la



CEQG en ambos puntos. Por otro lado, metales totales como cadmio, cromo y zinc no superaron los valores referenciales ISQG o PEL de la CEQG en ambos puntos.

6.1.3.2 Descripción de los parámetros fisicoquímicos

De acuerdo con los resultados de parámetros fisicoquímicos pH y conductividad eléctrica en sedimento, los puntos SW-20 y SW-10 presentaron una relación inversa respecto a sus valores (Figura 6.14.h y Figura 6.14.i); en el punto SW-20 el valor de pH fue mayor (3,07 unidades de pH) y la conductividad fue menor (1,22 dS/cm), en comparación al punto SW-10 el cual presentó un menor valor de pH (2,92 unidades de pH) y una mayor conductividad (1,31 dS/cm).

En relación con el análisis granulométrico (Figura 6.14.j), se registró una predominancia de arena en los puntos SW-20 (55%) y SW-10 (65%), seguido de limo (30% en SW-20 y 20% en SW-10) y de arcillas (15% en SW-20 y en SW-10).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

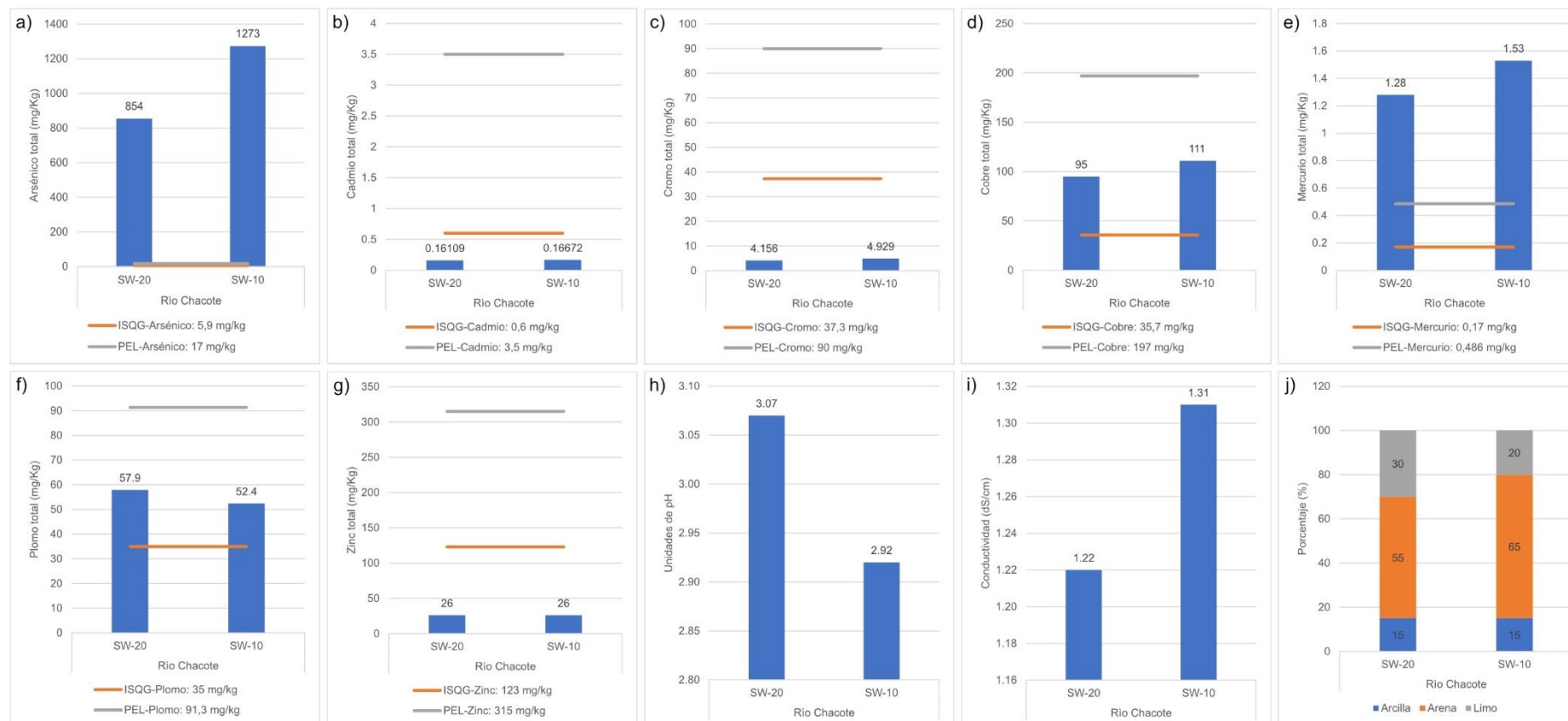


Figura 6.14. Concentraciones de metales en sedimento comparadas con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 1): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico

6.1.3.3 Disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier

Los resultados de las diferentes fracciones químicas, basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier, considera la extracción de 5 diferentes fracciones: intercambiable (fracción 1), enlazada a carbonatos (fracción 2), unida a óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso (fracción 3), enlazada a materia orgánica (fracción 4) y enlazada a minerales primarios y secundarios (fracción 5). El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento en los puntos SW-20 y en SW-10.

En la Figura 6.15.a se aprecia que la fracción 1 para los metales pesados cadmio, cobalto, cobre y níquel se encontraron en proporciones bajas ($< 10\%$) en los puntos SW-20 y en SW-10. Cambios en la composición iónica del agua pueden afectar los procesos de sorción-desorción y liberar el contenido de metales obtenidos en la fracción 1, desde los sedimentos hacia la columna de agua.

De manera similar, en la fracción 2 los metales pesados cadmio, cobalto y cobre se encontraron en proporciones bajas ($< 10\%$) en los puntos SW-20 y en SW-10, excepto el níquel en el punto SW-10, el cual presentó una proporción de 11,22% (0,0068 mg/Kg). Los metales unidos a carbonatos (fracción 2) pueden ser susceptibles a cambios de pH en el sistema, que ocasionaría que el contenido de metales en la fracción 2 sea liberado.

Para la fracción 3, los metales pesados cobalto y níquel se encontraron en proporciones bajas ($< 10\%$) en los puntos SW-20 y en SW-10, excepto el cadmio y cobre en ambos puntos. Estos metales presentaron una proporción de 13,16% (0,006 mg/Kg) y 11,52% (0,0065 mg/Kg) cada cadmio, así como 21,63% (0,4011 mg/Kg) y 18,45% (0,4148 mg/Kg) para cobre en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente. La generación de condiciones anóxicas en el sistema (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de metales de la fracción 3, puesto que los óxidos de hierro y manganeso son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

En la fracción 4, el metal pesado cadmio se encontró en proporciones bajas ($< 10\%$) en los puntos SW-20 y en SW-10, excepto el cobalto (en SW-20), cobre (en ambos puntos) y níquel (en SW-10). Estos metales presentaron una proporción de 10,49% (0,0095 mg/Kg) para cobalto en SW-20; 16,06% (0,2978 mg/Kg) y 16,19% (0,3639 mg/Kg) para cobre en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente; y 11,39% (0,0069 mg/Kg) para níquel en SW-10. En condiciones de oxidación, la materia orgánica puede degradarse lo que llevaría a liberar el contenido de metales de la fracción 4.

En relación con la fracción 5, los cuatro metales pesados (cadmio, cobalto, cobre, níquel) se encontraron en proporciones altas ($> 50\%$). Estos metales presentaron una proporción de 78,95% (0,036 mg/Kg) y 79,43% (0,0448 mg/Kg) para cadmio en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente; 78,59% (0,0712 mg/Kg) y 80,80% (0,0867 mg/Kg) para cobalto en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente; 56,03% (1,039 mg/Kg) y 60,90% (1,369 mg/Kg) para cobre en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente; y 79,34% (0,0484 mg/Kg) y 67,00% (0,0406 mg/Kg) para níquel en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente. Los metales en esta fracción forman parte de la estructura cristalina de los minerales primarios y secundarios, y por lo tanto no se espera que se liberen en solución durante un período de tiempo razonable en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza.

En la Figura 6.15.b se aprecia que en la fracción 1 los metales pesados hierro, plomo y zinc se encontraron en proporciones bajas ($< 10\%$) en los puntos SW-20 y en SW-10, excepto el manganeso en el punto SW-20, el cual presentó una proporción de 12,25% (0,229 mg/Kg).

De manera similar, en la fracción 2 los metales pesados hierro, plomo y zinc se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en los puntos SW-20 y en SW-10, excepto el manganeso en el punto SW-20, el cual presentó una proporción de 17,07% (0,319 mg/Kg).

Para la fracción 3, el metal pesado plomo se encontró en proporciones bajas (< 10 %) en los puntos SW-20 y en SW-10, excepto el manganeso (en SW-20), hierro (en ambos puntos) y zinc (en ambos puntos). Estos metales presentaron una proporción de 16,85% (0,315 mg/Kg) para manganeso en SW-20; 29,47% (292,9 mg/Kg) y 25,80% (312,5 mg/Kg) para hierro en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente; y 16,10% (0,1417 mg/Kg) y 19,02% (0,1792 mg/Kg) para zinc en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente.

En la fracción 4, los metales pesados hierro, manganeso, plomo y zinc se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en los puntos SW-20 y en SW-10.

En relación con la fracción 5, los cuatro metales pesados (cadmio, cobalto, cobre y níquel) se encontraron en proporciones altas (> 50 %). Estos metales presentaron una proporción de 61,15% (607,8 mg/Kg) y 65,90% (798,2 mg/Kg) para hierro en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente; 69,01% (0,844 mg/Kg) para manganeso en el punto SW-10, respectivamente; 95,28% (1,753 mg/Kg) y 95,65% (1,691 mg/Kg) para plomo en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente; y 59,78% (0,526 mg/Kg) y 58,46% (0,5508 mg/Kg) para zinc en los puntos SW-20 y SW-10, respectivamente.

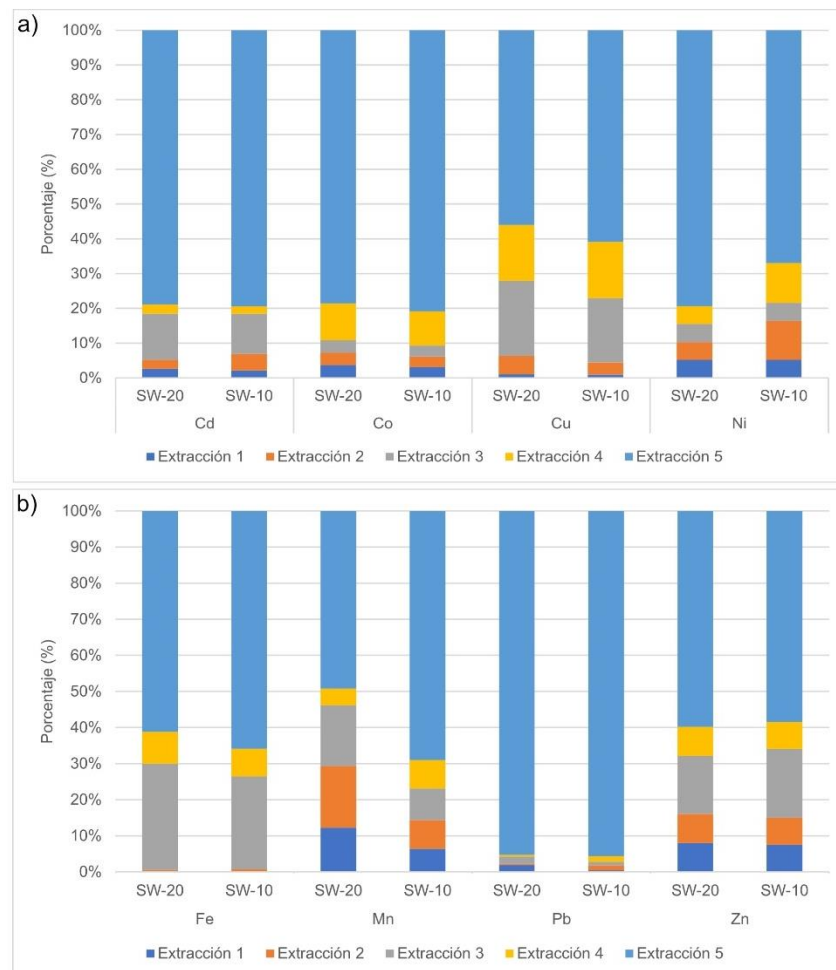


Figura 6.15. Fracciones (%) de metales obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): a) Cd, Co, Cu y Ni, y b) Pb, Zn, Fe y Mn

6.1.3.3 Difracción de rayos X (DRX)

De acuerdo con el análisis mineralógico por DRX en el punto SW-20 (Figura 6.16), las mayores concentraciones de minerales en la muestra de sedimento correspondieron a cuarzo con 60%, alunita con 10%, pagioclasa (oligoclasa) con 9%, mica (muscovita) con 5%, entre otros.

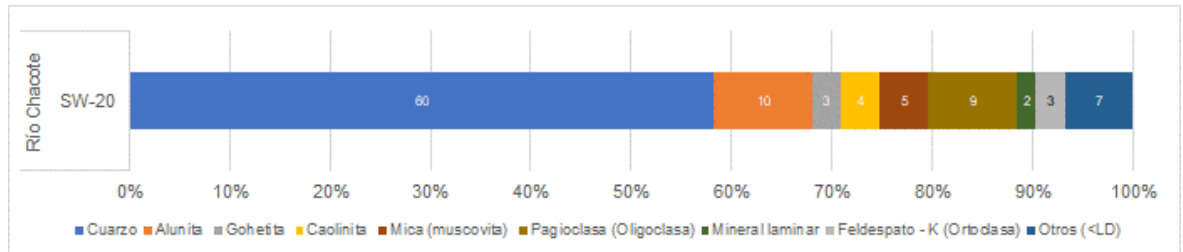


Figura 6.16. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1)

6.1.3.3 Microscopía electrónica de barrido (MEB)

De acuerdo con el análisis mineralógico por MEB en el punto SW-20 (Figura 6.17), se presentaron agregados en sedimentos como esfalerita (60,43% de Zn), galena (85,83% de Pb), pirita (53,73% de S), baritina (67,81% de As), rutilo (66,55% de Ti), Sr_baritina (66,5% de Ba), entre otros.

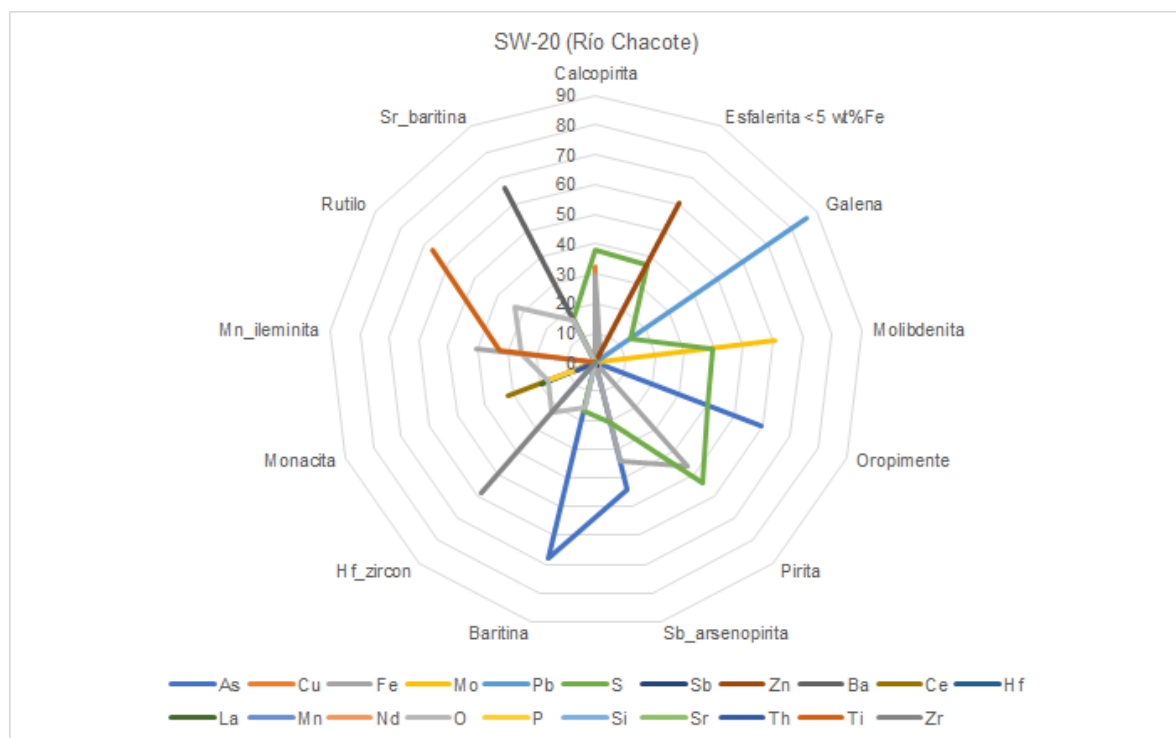


Figura 6.17. Análisis mineralógico por MEB en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1)

**6.1.4. Efluente y Agua residual industrial****6.1.4.1. Comparación con los LMP 2010**

El efluente EBMI³², en abril 2023, registró un pH ácido (4,62 unidades de pH) además de concentraciones totales de cadmio, cobre, zinc y hierro disuelto que superaron los LMP 2010 (DS 010-2010-MINAM), mientras que las concentraciones totales de arsénico, mercurio y plomo estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de análisis del laboratorio. Asimismo, los valores de conductividad eléctrica y sulfatos fueron de 3380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 2258 mg/L respectivamente (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Valores de parámetros evaluados en el efluente EBMI en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Cuerpo de agua		Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM	Efluente
Código del punto de muestreo			EBMI
Fecha de muestreo			11/04/23
Hora de muestreo			16:45
N.º de informe de ensayo		Límite en cualquier momento	IE-23-6658
Parámetro	Unidad		
pH**	Unidad de pH	6-9	4,62
Conductividad eléctrica**	µS/cm	-	3380
Sulfatos	mg/L	-	2258,3
Arsénico total	mg/L	0,1	<0,0010
Cadmio total	mg/L	0,05	0,34350
Cobre total	mg/L	0,5	13,0489
Mercurio total	mg/L	0,002	<0,00010
Plomo total	mg/L	0,2	<0,0010
Zinc total	mg/L	1,5	30,7502
Hierro disuelto	mg/L	2	64,787

Valor que superó o estuvo fuera del rango LMP 2010

(**): Datos registrados en campo

(-): No considerado en la norma ambiental de comparación

6.1.4.2. Descripción de los resultados de agua residual industrial

Los puntos de agua residual industrial (ARI-BMI-01, ARI-BMI-02 y ESP-EBMI-08), en abril 2023, registraron pH ácido con valores altos de conductividades eléctricas (4007 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 18340 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sulfatos (3496 mg/L - 13699,5 mg/L); además de concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre, zinc y de hierro disuelto mientras que, las concentraciones totales de mercurio y plomo estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de análisis del laboratorio. (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Valores de parámetros evaluados en los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Cuerpo de agua		Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua
Código del punto de muestreo		ARI-BMI-01	ARI-BMI-02	ESP-EBMI-08
Fecha de muestreo		13/04/23	13/04/23	12/04/23
Hora de muestreo		12:30	11:30	16:10
N.º de informe de ensayo		IE-23-6885	IE-23-6885	IE-23-6656
Parámetro	Unidad			
pH**	Unidad de pH	--	2,33	2,15
Conductividad eléctrica**	$\mu\text{S}/\text{cm}$	18340	4007	6870

³² El vertimiento EBMI cuenta con un sistema de tratamiento de aguas de escorrentía el consta de canales de derivación y pozas de sedimentación. Las pozas de sedimentación son utilizadas para proporcionar control de los sólidos y condiciones de pH de todas las aguas de contacto, provenientes de los accesos, botaderos, etc., a fin de implementar un control y de ser necesario un tratamiento de estas aguas antes de ser descargadas al ambiente. El control de la concentración de sólidos en suspensión en las aguas de contacto se realiza mediante tratamiento primario y consta de tres etapas: neutralización con cal, floculación para promover el asentamiento de las partículas y la sedimentación de estas en las pozas de sedimentación antes de ser descargadas al ambiente (Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento EBMI. Información remitida por el administrado con Registro 2023-E01-465854)

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

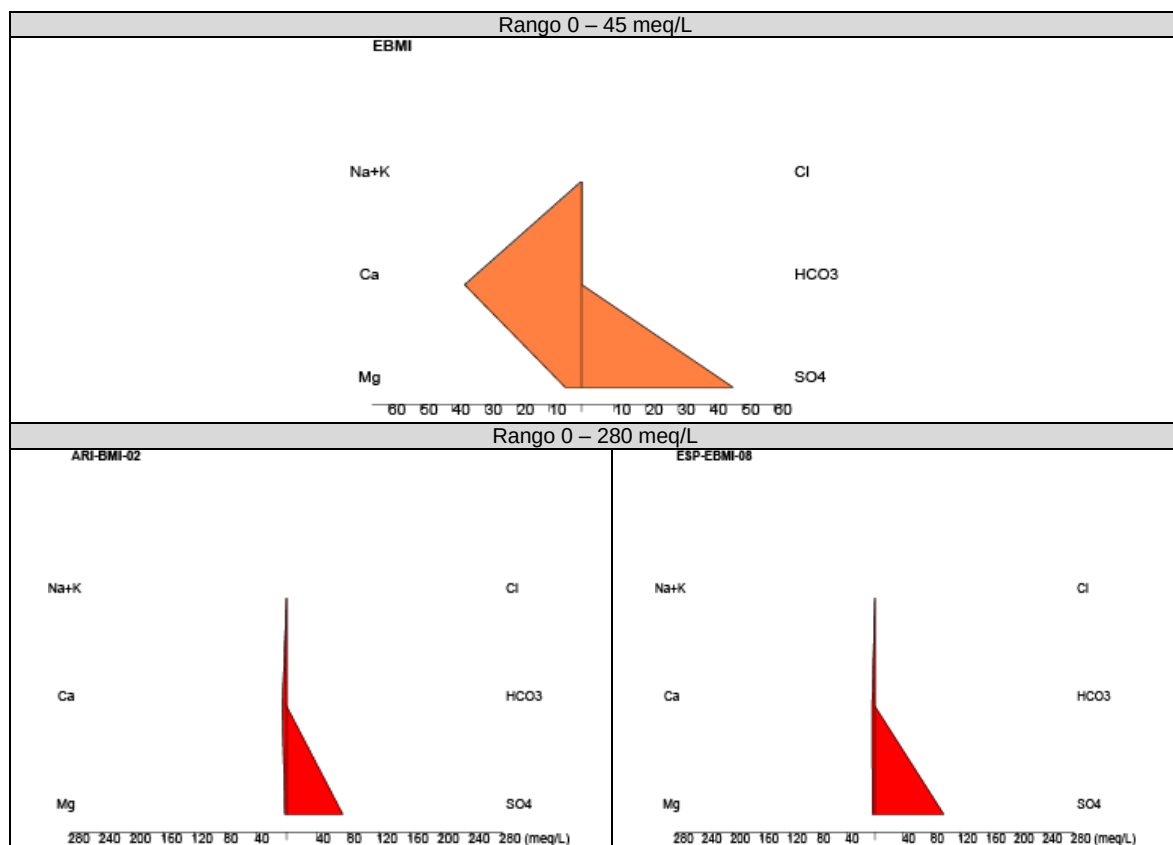
Cuerpo de agua		Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua
Código del punto de muestreo		ARI-BMI-01	ARI-BMI-02	ESP-EBMI-08
Fecha de muestreo		13/04/23	13/04/23	12/04/23
Hora de muestreo		12:30	11:30	16:10
N.º de informe de ensayo		IE-23-6885	IE-23-6885	IE-23-6656
Parámetro	Unidad			
Sulfatos	mg/L	13699,5	3496,0	4648,6
Arsénico total	mg/L	30,2017	4,2071	16,4201
Cadmio total	mg/L	2,64420	0,41580	0,86800
Cobre total	mg/L	163,8623	22,0320	62,1359
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Plomo total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Zinc total	mg/L	60,3676	27,8364	42,6199
Hierro disuelto	mg/L	2118,644	923,248	1053,492

(**): Datos registrados en campo

(--): Fuera de rango de medida del equipo, que es de 0,00 a 14,00 unidades de pH

6.1.4.3. Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, el efluente EBMI y los puntos de agua residual industrial evaluados en abril 2023 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 45 meq/L (efluente EBMI) y de 0 a 280 meq/L (ARI-BMI-02, ESP-EBMI-08 y ARI-BMI-01) (Figura 6.18).



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

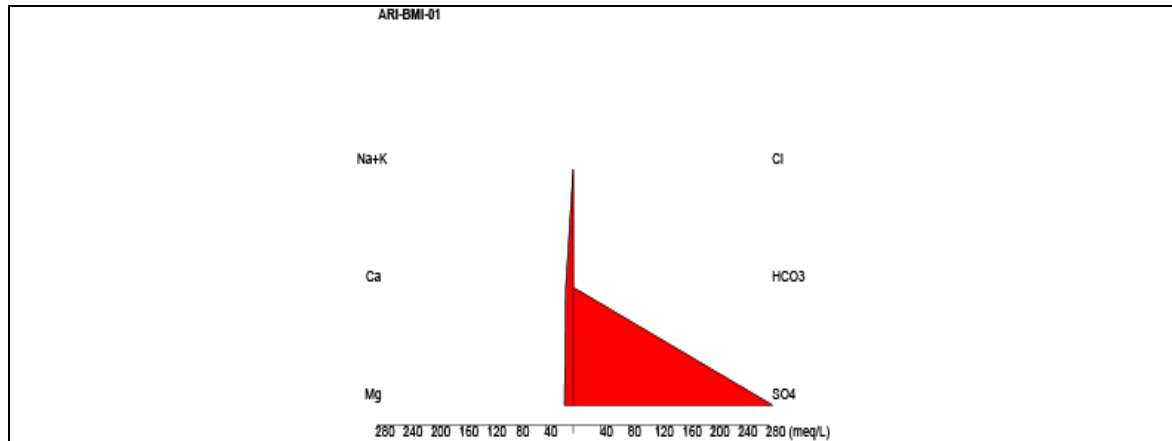


Figura 6.18. Diagramas de Stiff del efluente EBMI y de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, el efluente EBMI se clasificó como «pH ácido» y «alto contenido de metales», el punto ARI-BMI-02 se clasificó como «pH altamente ácido» y «alto contenido de metales» y el punto de agua residual industrial ESP-EBMI-08 se clasificó como «pH altamente ácido» y «extremo contenido de metales» (Figura 6.19).

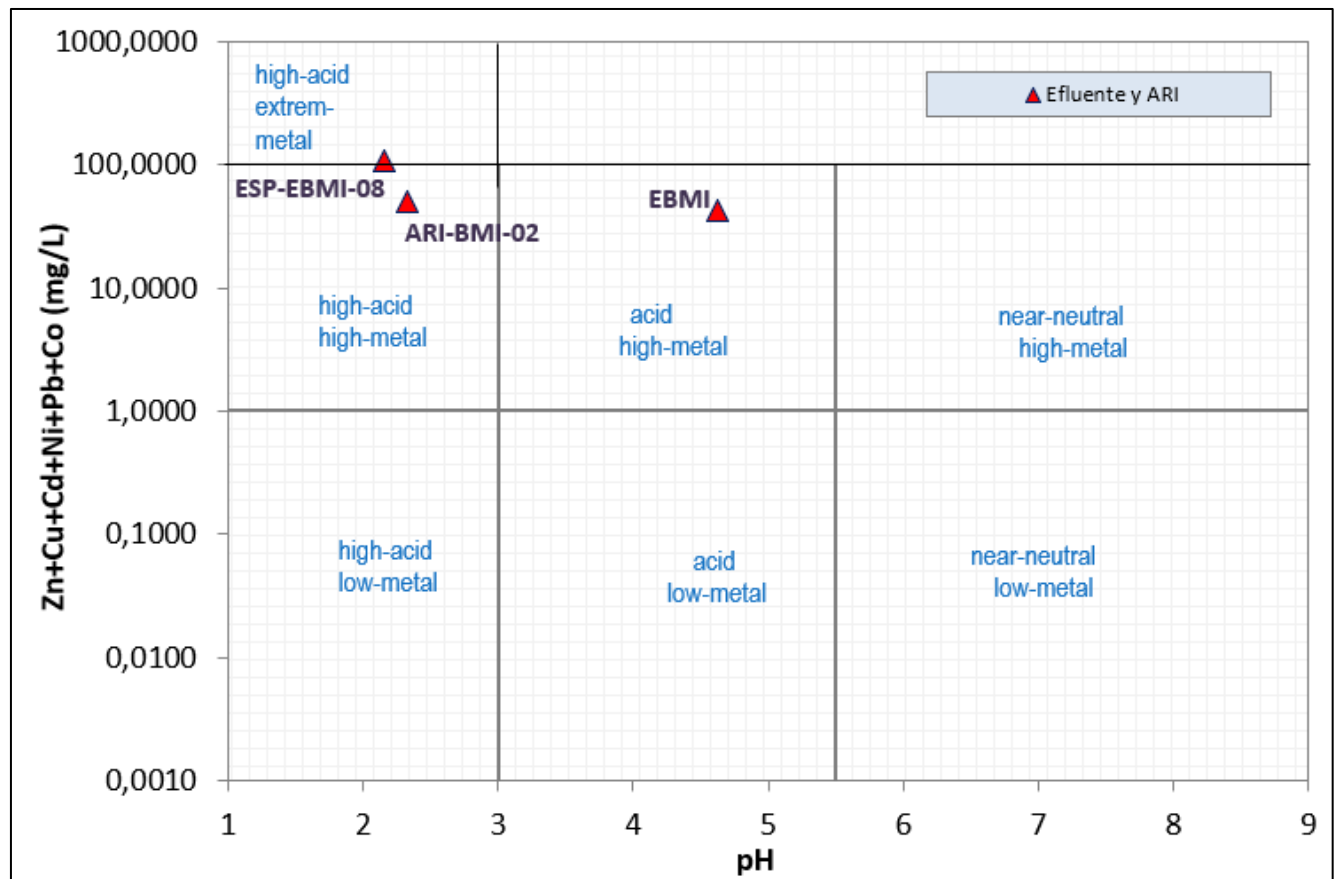


Figura 6.19. Diagrama de Ficklin del efluente EBMI y de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023



6.1.4. Comunidades hidrobiológicas

En esta zona, se han dispuesto las líneas TE-BMI-01, TE-BMI-02, TE-BMI-03, TE-BMI-04, TE-BMI-05, TE-BMI-06, TE-BMI-07 y TE-BMI-08 al lado suroeste Botadero de material inadecuado, distribuidas de forma paralela entre sí. A continuación, se describen los resultados:

6.1.4.1. Perifiton

El perifiton en esta zona estuvo conformado por 15 taxones, donde el 100 % corresponde a las microalgas. El detalle de estos resultados se muestra en el Anexo 3. De esta manera, los resultados y las estadísticas descritas a continuación se centraron al análisis de las microalgas.

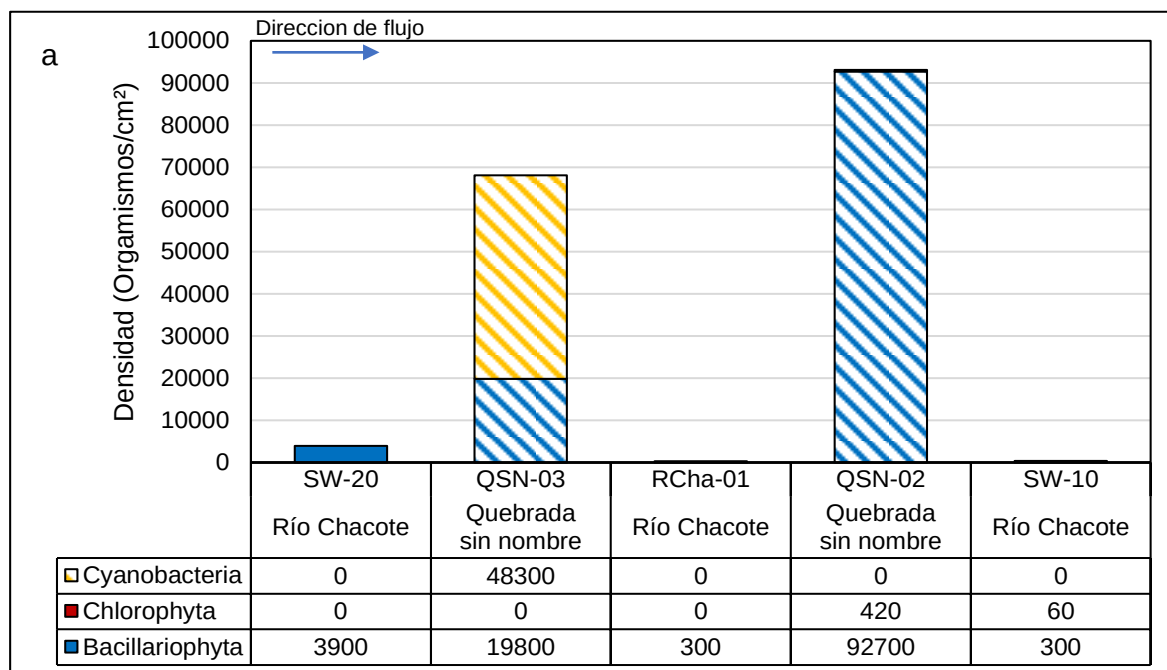
Microalgas

a. Composición, densidad y riqueza

Las microalgas estuvieron representadas por 15 taxones agrupados en 3 phylum, donde se destaca la mayor riqueza del phylum Bacillariophyta con 12 taxones. El detalle se encuentra en el Anexo 3.

En la Figura 6.20, se observa la disminución de la riqueza (3 a 1 taxones) y densidad acumulada (3900 a 300 organismos/cm²) en el tramo del río Chacote del punto SW-20 al RCha-01, relacionado con el registro de la disminución del género *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta; asimismo, en el río Chacote del punto RCha-01 a SW-10 se registró un ligero aumento de riqueza (1 a 2 taxones) y densidad acumulada (300 a 360 organismos/cm²)

Además, el punto QSN-02 (tributario) registró mayor riqueza (10 taxones) y densidad (93120 organismos/cm²) con respecto a los demás puntos de muestreo, donde se destaca la dominancia del phylum Bacillariophyta, representada por las especies *Eunotia cf. Exigua*.



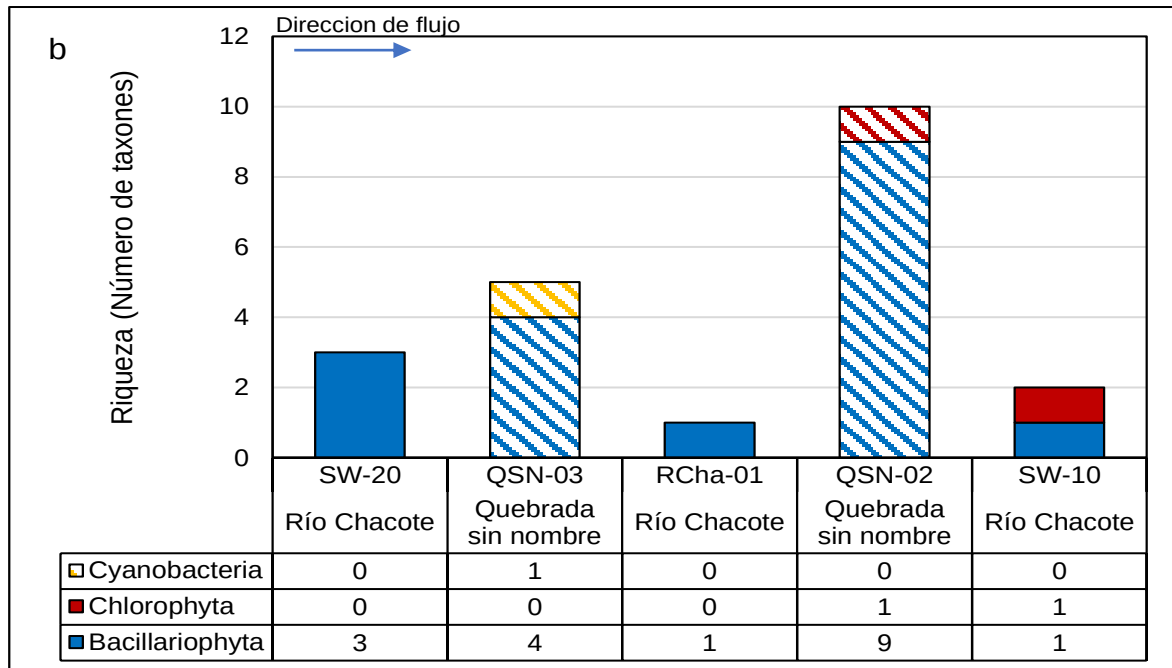


Figura 6.20. a) Densidad y b) Riqueza de las microalgas a nivel de phylum taxonómico. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores en tramas representan el tributario

b. Índices de diversidad alfa

En la Tabla 6.3, se presentan los resultados de los índices de diversidad alfa: diversidad verdadera N1, dominancia de Simpson (λ) y equidad de Pielou (J'), por punto de muestreo.

Se observa que en el recorrido del río Chacote entre los puntos SW-20 a RCha-01 se registró la disminución de la diversidad verdadera (N1: 2,46 a 1 especies efectivas), reflejándose en la disminución del valor de la equidad de Pielou (J' : 0,82 a 0) y el aumento de la dominancia de Simpson (λ : 0,56 a 1), lo que indica que existe la disminución de la distribución del ensamble y la prevalencia de ciertos taxones en el ensamble de las microalgas.

Además, en el río Chacote del punto RCha-01 al SW-10 se registró un ligero aumento de la diversidad verdadera (N1: 1 a 1,57 especies efectivas), reflejándose en el aumento del valor de la equidad de Pielou (J' : 0 a 0,65) y la disminución de la dominancia de Simpson (λ : 1 a 0,72), lo que indica que existe el aumento de la distribución del ensamble y la dominancia de ciertos taxones en el ensamble de las microalgas.

Con respecto a los tributarios (QSN-03 y QSN-02) se registró similares valores de diversidad verdadera (N1: 2,22 y 2,07 especies efectivas), reflejándose en ambos puntos una baja equidad de Pielou (J' : 0,49 y 0,32) y una moderada dominancia de Simpson (λ : 0,56 y 0,7).

Tabla 6.3. Índices de diversidad alfa de las microalgas

Cuerpo de agua	Río Chacote	Quebrada sin nombre	Río Chacote	Quebrada sin nombre	Río Chacote
Punto de muestreo	SW-20	QSN-03	RCha-01	QSN-02	SW-10
Equidad de Pielou (J')	0,82	0,49	0	0,32	0,65
Dominancia de Simpson (λ)	0,44	0,56	1	0,7	0,72
Diversidad Verdadera (N1)	2,46	2,22	1	2,07	1,57

Microorganismos



No se registraron microorganismos

6.1.4.2. Macroinvertebrados bentónicos

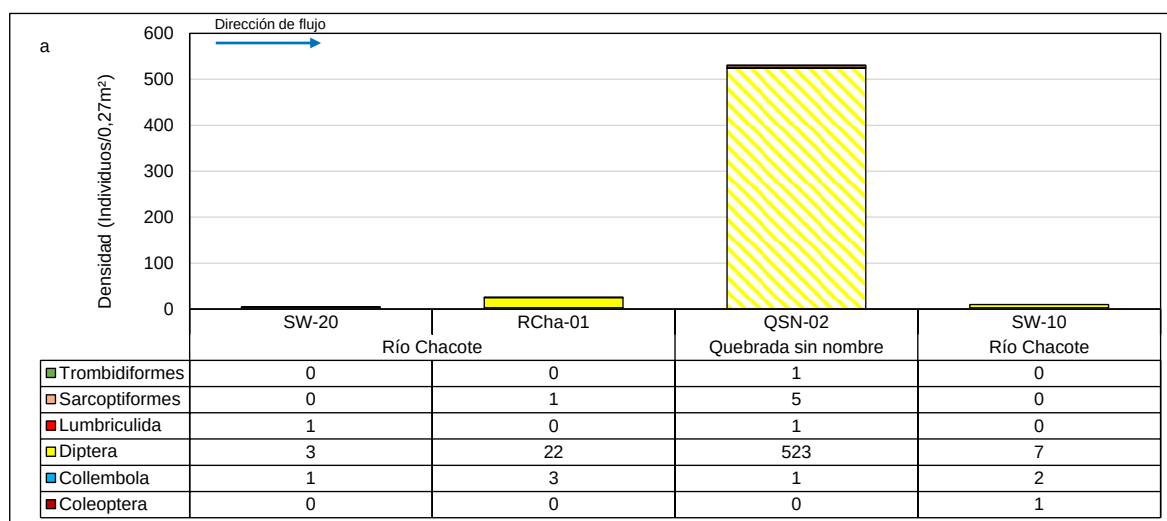
A continuación, se detalla la dinámica y distribución de los macroinvertebrados bentónicos.

a. Composición, densidad y riqueza

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo conformada por 11 taxones, representados por 2 phyla, 4 clases, 6 órdenes y 10 familias. El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo 3.

En el recorrido del río Chacote del punto SW-20 al SW-10 no se registró una variación notoria de la riqueza (4 a 5 taxones), sin embargo, del punto SW-20 al RCha-01 se registró el aumento de la densidad acumulada (5 a 26 Individuos/0,27m²), reflejándose con el aumento de taxón dominante *Cricotopus* sp. del orden Díptera; y luego del punto RCha-01 al SW-10 se registró la disminución de la densidad acumulada (26 a 10 Individuos/0,27m²).

Es importante mencionar que la quebrada sin nombre (QSN-02) registró mayor riqueza (8 taxones) y densidad acumulada (531 Individuos/0,27m²) con respecto a los demás puntos de muestreo, siendo dominante el taxón *Cricotopus* sp. del orden Díptera.



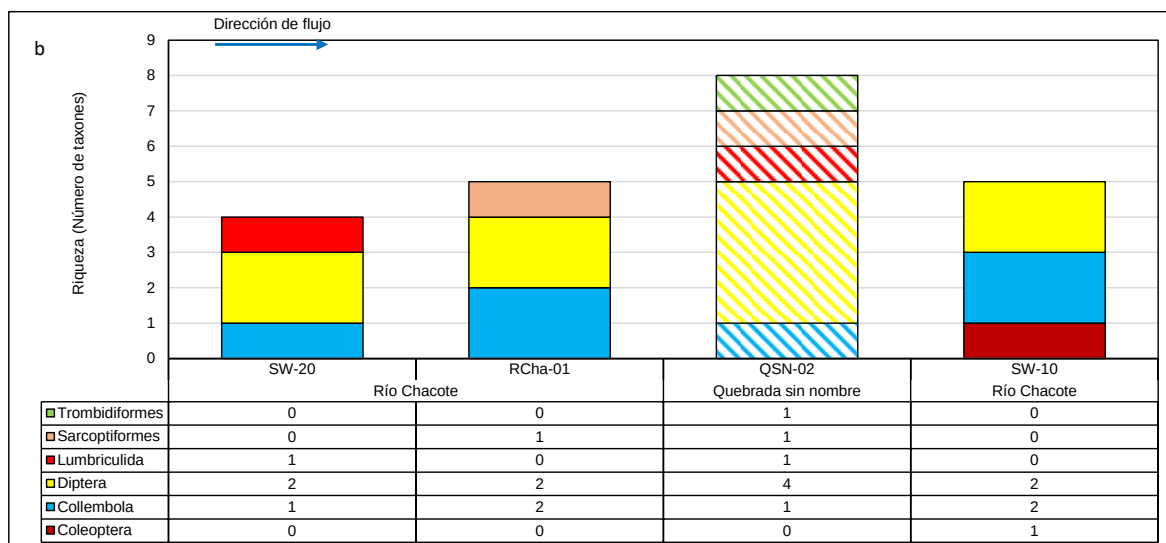


Figura 6.21. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico. Los colores sólidos representan el cauce principal y los colores en tramas representan el tributario

b. Índices de diversidad alfa

En la Tabla 6.4, se presentan los resultados por punto de muestreo de los índices de diversidad alfa: diversidad verdadera N1, dominancia de Simpson (λ) y equidad de Pielou (J').

En el recorrido del río Chacote entre los puntos SW-20 al SW-10 no se registró una variación notoria de la diversidad verdadera (N1: 3,06 a 4,13 especies efectivas) reflejándose con moderados y altos valores de equidad de Pielou (J' : 0,70 a 0,96), y bajos valores de dominancia de Simpson (λ : 0,28 a 0,41), lo que indica que existe una elevada distribución homogénea y baja dominancia de ciertos taxones en el ensamble de los macroinvertebrados bentónicos.

Es importante mencionar que el punto RCha-01 que registró la mayor densidad y riqueza se comporta con un elevado valor de equidad Pielou (J' : 0,70) y baja dominancia de Simpson (λ : 0,41), lo que indica una modera distribución del ensamble y moderada dominancia de ciertos taxones de los macroinvertebrados bentónicos.

Tabla 6.4. Índices de diversidad alfa de los macroinvertebrados bentónicos

Cuerpo de agua	Río Chacote	Río Chacote	Quebrada sin nombre	Río Chacote
Punto de muestreo	SW-20	RCha-01	QSN-02	SW-10
Equidad de Pielou (J')	0,96	0,70	0,25	0,88
Dominancia de Simpson (λ)	0,28	0,41	0,78	0,28
Diversidad verdadera (N1)	3,79	3,06	1,68	4,13

c. Resultados del protocolo CERA-S modificado

En la Tabla 6.5, se observan los resultados obtenidos del análisis de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado usado referencialmente para la obtención de la calidad ecológica, según el cual se obtuvo lo siguiente:

En la calidad hidromorfológica, se obtuvo moderada calidad en el 100% de los puntos de muestreo. Esta evaluación es importante porque permite medir el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente.



En la calidad biológica (ABI), se obtuvo mala calidad del 25 % y pésima calidad en el 75 % de los puntos de muestreo. Esta evaluación nos permite medir el grado de impacto en el cuerpo de agua mediante la tolerancia o sensibilidad de taxones de macroinvertebrados bentónicos.

Finalmente, la calidad ecológica, obtenida mediante una recombinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica, registró una mala calidad en el 25 % y 75 % de los puntos evaluados. Esta evaluación es importante porque permite hacer una medición integral del estado en el que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del cuerpo de agua como del ambiente acuático.

Tabla 6.5. Resultados de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Calidad biológica (ABI)	Calidad hidromorfológica	Estado ecológico
Río Chacote	SW-20	3 (Pésima)	20 (Moderada)	Pésima
Río Chacote	RCha-01	6 (Pésima)	25 (Moderada)	Pésima
Qda S/n	QSN-02	15 (Mala)	21 (Moderada)	Mala
Río Chacote	SW-10	5 (Pésima)	21 (Moderada)	Pésima

6.1.5. Componentes mineros

En esta subzona 1 se evaluó el material de la ampliación BMI (CM-BMI-01, CM-BMI-02 y CM-BMI-03) que consisten en fragmentos angulosos heterométricos de rocas volcánicas argilizadas, silicificadas, lavas andesíticas, flujos piroclásticos y brechas, con presencia de sufuros y óxidos (Figura 6.22).

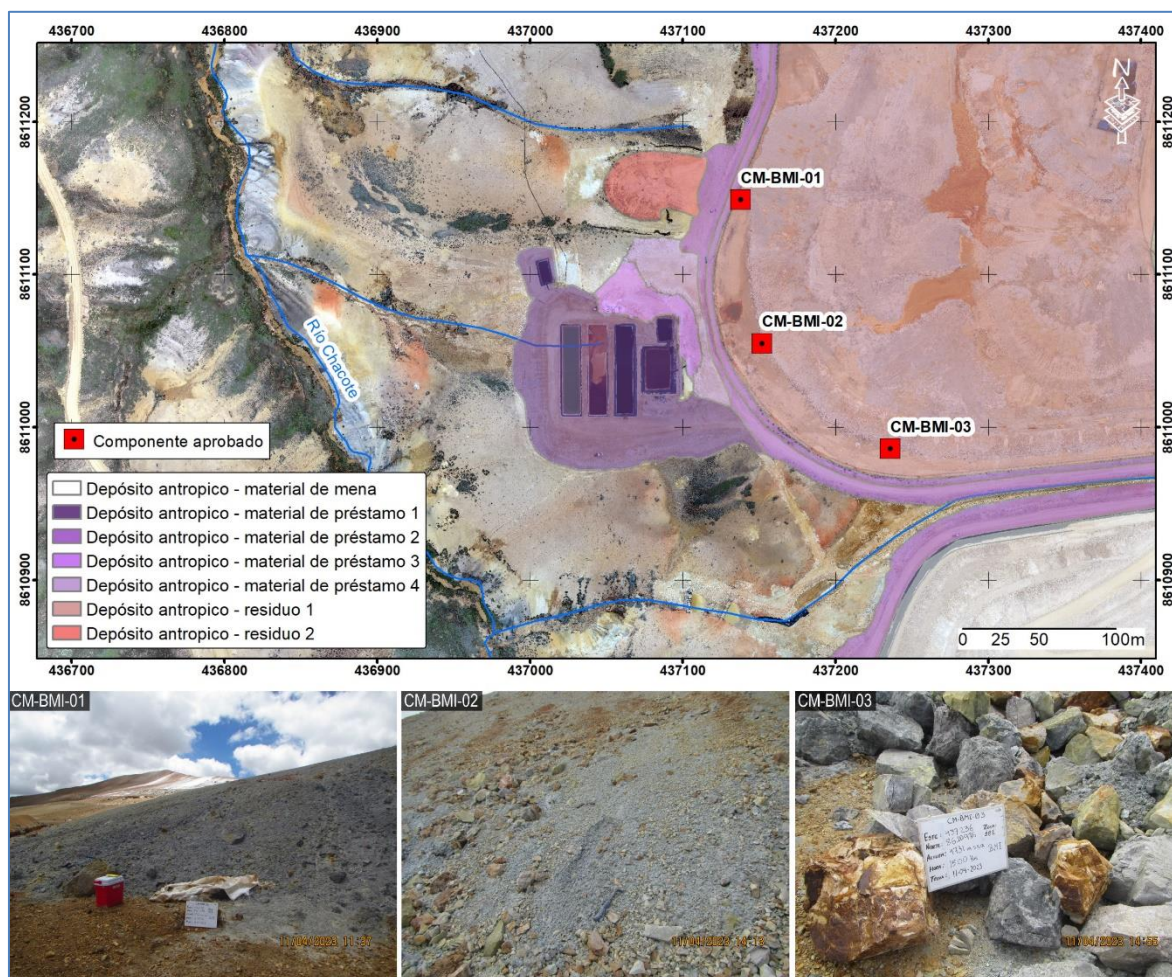


Figura 6.22. Depósitos antropogénicos identificados en la subzona 1, y puntos de muestreo realizados para la caracterización geoquímica.

Este material presentó concentraciones de hierro elevadas respecto de los demás elementos mayores; mientras que en los elementos traza, destaca la mayor concentración de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, molibdeno, plomo y zinc (Figura 6.23), que superaron referencialmente los valores de corteza continental, usado para comparar los resultados de afloramientos rocosos sin perturbación o remoción.

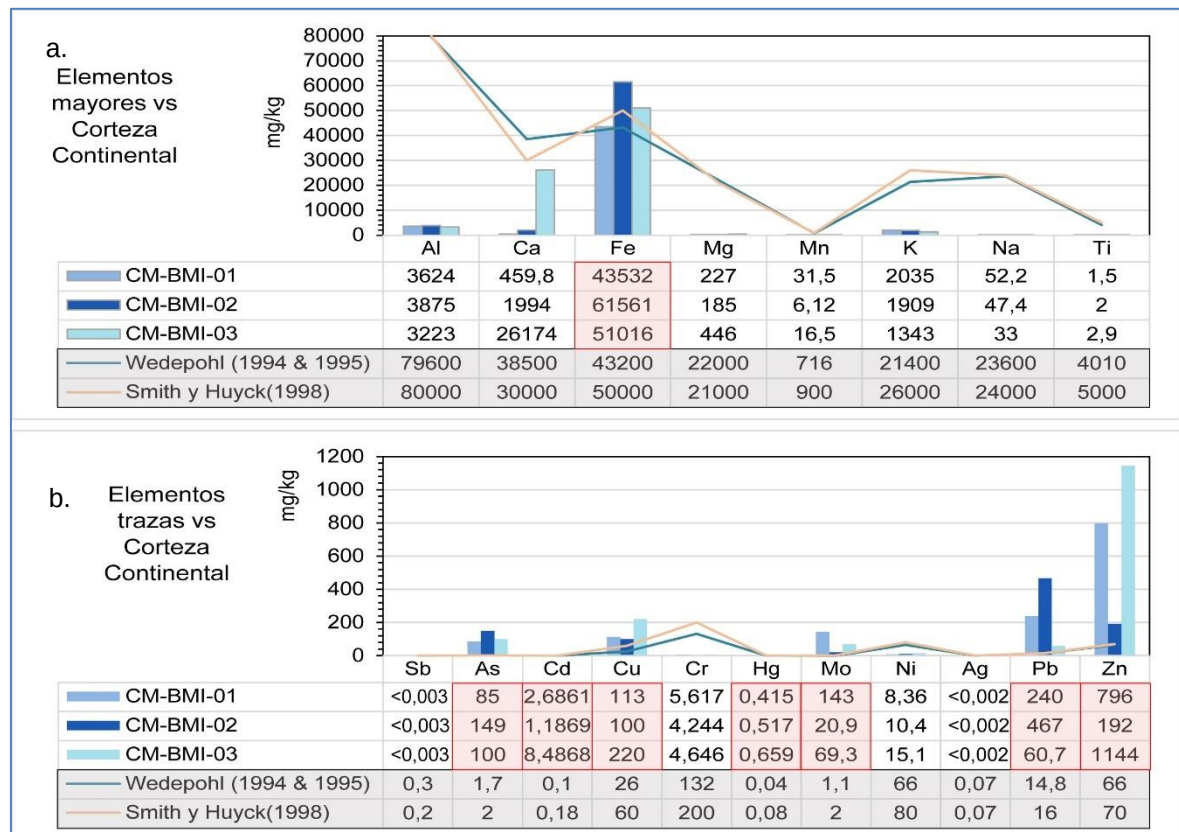


Figura 6.23. Concentración de elementos mayores y trazas del material de la Ampliación BMI, comparados con los valores de corteza continental.

Los elementos mencionados que superaron los valores de corteza continental como el hierro (CM-BMI-01: 43532 mg/kg; CM-BMI-02: 61561 mg/kg y CM-BMI-03: 51016 mg/kg) y otros calcófilos están asociados a la presencia de minerales como óxidos de hierro (jarosita: 1,1 %, 1 % y 0,5 %) y sulfuros (pirita: 1,9 %, 2,8 % y 2,5 %), respectivamente; en tanto, los elementos litófilos derivan de la estructura cristalina de cuarzo, feldespatos y micas. Asimismo, el análisis mineralógico por DRX reportó yeso menor al 2,2 % que influye en la concentración de calcio reportado en el análisis de metales totales.

El material de la Ampliación BMI está compuesto mayormente por cuarzo, arcillas, mica, alunita, jarosita, pirita, pirofilita; y trazas de yeso y feldespatos potásicos. Sin embargo, el material ubicado en el lado sur (CM-BMI-03) presentó calcita en 2,7 % (Figura 6.24).

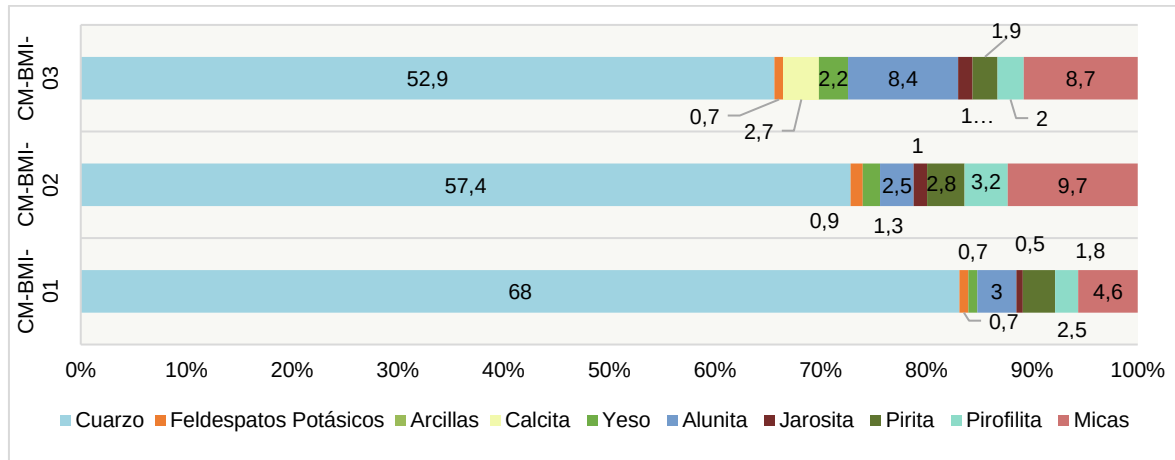


Figura 6.24. Composición mineralógica por difracción de rayos X del material de la Ampliación BMI.

Aduvire y Lopez Pamo coinciden en que al tener pirita expuesta al agua y al oxígeno se dará el proceso de oxidación produciendo Fe^{2+} , SO_4^{2-} e H^+ lo que producirá un incremento en el total de sólidos disueltos y además un incremento de la acidez asociada a la disminución del pH. Posteriormente y considerando un ambiente oxidante, los iones ferrosos (Fe^{2+}) se oxidarán a iones férricos (Fe^{3+}) que luego precipitarán como hidróxidos considerando un pH por encima y alrededor de 3 por tanto con la mencionada hidrólisis, el número de iones férricos disueltos disminuirá y al mismo tiempo disminuirá el pH. No obstante, los iones férricos (Fe^{3+}) que se mantengan en solución seguirán oxidando adicionalmente a la pirita lo que dará origen a más Fe^{2+} , SO_4^{2-} e H^+ haciendo que este proceso sea cíclico (Lopez Pamo et al, 2002; Aduvire 2006).

Lo mencionado concuerda con los resultados de la prueba estática de balance ácido-base ABA, donde el material de la Ampliación BMI (CM-BMI-01, CM-BMI-02 y CM-BMI-03) presentó alto porcentaje de azufre total (4,9 % a 5,79 %), principalmente como sulfuro. Según los criterios 1 (PNN) y 2 (RPN) fueron clasificados como «potenciales generadores de ácido - PGA» debido al alto potencial de acidez máximo (134 a 161 kg $CaCO_3$ /Ton) respecto al potencial de neutralización, que fue de 0,01 kg $CaCO_3$ /Ton en las muestras CM-BMI-01 y CM-BMI-02, y de 34,7 kg $CaCO_3$ /Ton en el punto CM-BMI-03 (Tabla 6.6), este último debido a la presencia de calcita al 2,7 %, identificado en el análisis mineralógico por DRX.

Tabla 6.6. Resultados del Balance ácido-base del material de la Ampliación BMI.

Parámetro	Unidad	CM-BMI-01	CM-BMI-02	CM-BMI-03
Azufre Total	%	5,79	4,9	5,7
Sulfuro total	%	5,11	4,3	5,16
Sulfato total	%	0,68	0,6	0,54
pH en Pasta	Unidades pH	<2,00	2,31	7,65
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg $CaCO_3$ /Ton	160	134	161
Potencial de Neutralización	kg $CaCO_3$ /Ton	0,01	0,01	34,7
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg $CaCO_3$ /Ton	-160	-134	-126
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0	0	0,216
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		PGA	PGA	PGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA	PGA	PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC.

Respecto a los elementos lixiviables, por la prueba *shake flask*, los analitos móviles del material de la Ampliación BMI de las muestras CM-BMI-01 y CM-BMI-02 son aluminio, hierro, manganeso, arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, fluoruro (solo CM-BMI-01) y sulfatos; de los cuales, el hierro, arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc presentaron concentraciones superiores a los valores de los LMP (2010) -

Límite en cualquier momento; en cambio, la muestra CM-BMI-03 solamente presentó altas concentraciones de hierro (mayor al LMP) y zinc (Figura 6.25).

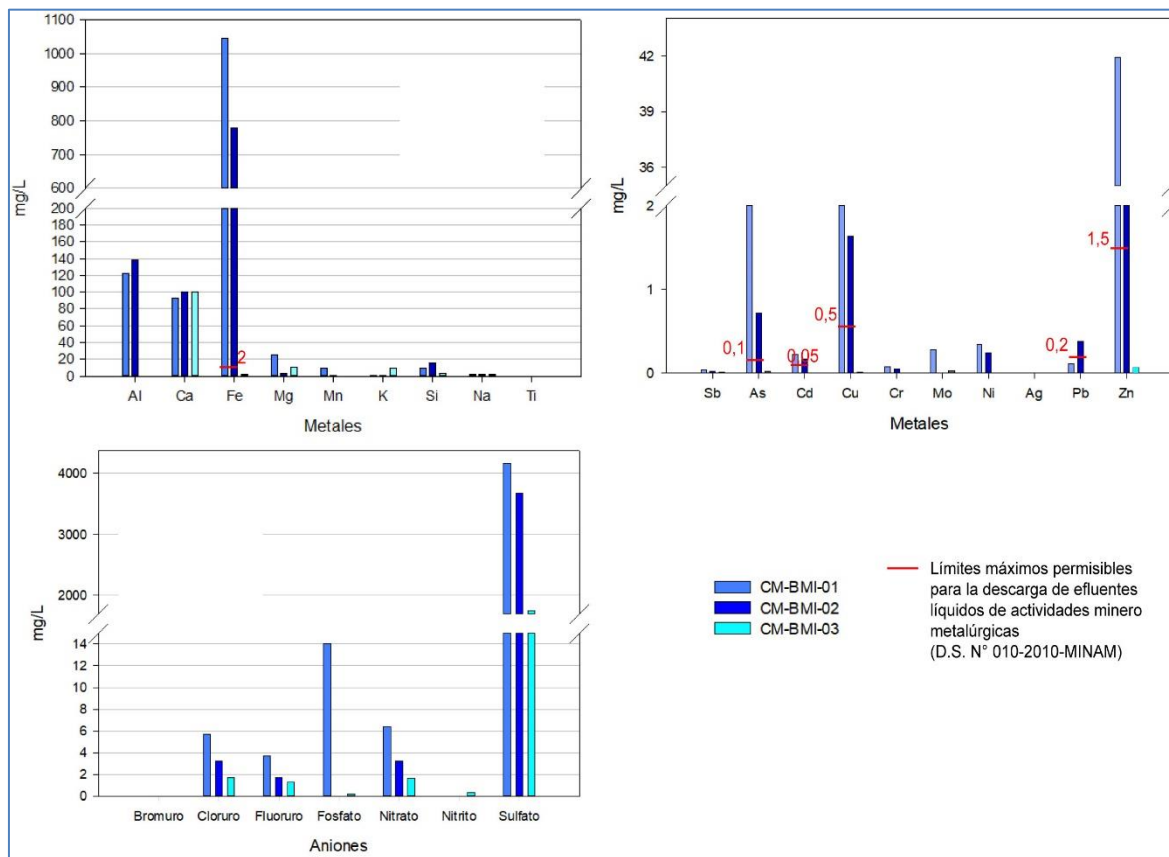


Figura 6.25. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* del material de la Ampliación BMI.

6.1.6. Litogeoquímica

En la subzona 1 afloran rocas volcanosedimentarias de las formaciones Sacasaquero (lavas andesíticas, tobas retrabajadas y brechas polimícticas) y Castrovirreyna (lavas andesíticas, tobas, areniscas y limolitas) (Ingemmet, 2022), los cuales están cubiertos de forma discordante por secuencias volcánicas de las Formación Caudalosa (piroclastos, flujos andesíticos, riodacitas y areniscas tufáceas) (EIA, 2007); sobre estas rocas se depositaron depósitos cuaternarios químicos (ferricretas), coluvial-deluvial, aluvial-fluvial y biogénicos (bofedales); asimismo, se identificó depósitos antropogénicos asociados a las actividades de explotación de Minera IRL SAC (Figura XX).

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

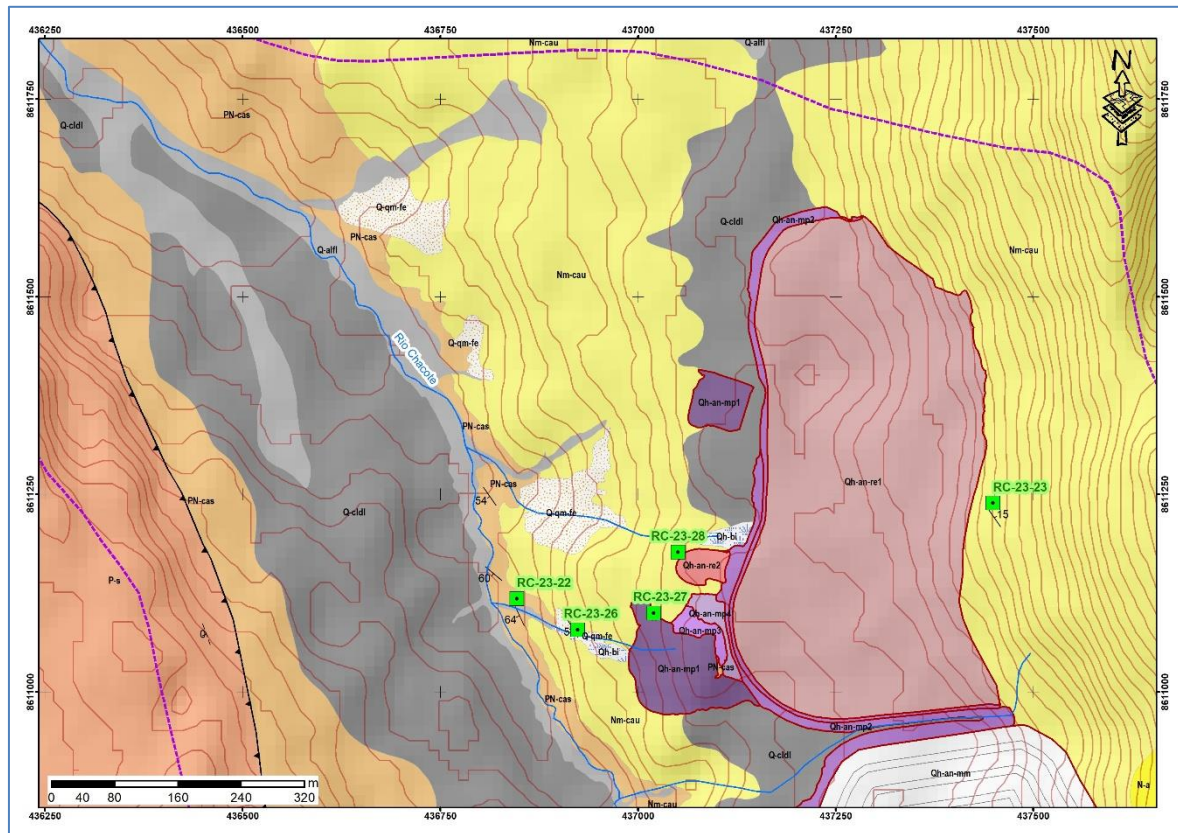


Figura 6.26. Unidades geológicas y puntos de muestreo de roca en la subzona 1.

En la Tabla 6.7 se presentan los puntos de caracterización principales unidades geológicas identificadas la subzona 1.

Tabla 6.7. Litología y análisis realizados en las unidades geológicas de la subzona 1.

N.º	Ubicación del afloramiento o depósito	Unidad geológica	Código de punto	Litología	Parámetros evaluados					
					Metales totales y Hg	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	DRX	Microscopía óptica
1	Aledaño al BMI y ampliación BMI	Formación Castrovirreyna	RC-23-22	Lutitas y areniscas	1	1	1	1	1	---
2		Formación Caudalosa	RC-23-23	Ignimbrita de composición riolítica-dacítica	1	1	1	1	---	1
3		Depósito cuaternario coluvial-deluvial	RC-23-27	Fragmentos volcánicos, gravas y arenas	1	1	1	1	1	---
4			RC-23-28	Fragmentos volcánicos argilizados	1	1	1	1	1	---
5		Depósito cuaternario químico - ferricreta	RC-23-26	Fragmentos volcánicos y óxidos de hierro	1	1	1	1	1	---

Fuente: Reportes de campo RC-024-2023-STEC.
(--): Parámetro no considerado para este punto.

A continuación, se describen las características litológicas y geoquímicas de las unidades geológicas identificadas en la subzona 1.

6.1.6.1. Formación Castrovirreyna

Esta unidad fue descrita por primera vez por Salazar H. y Landa C. (1993) como secuencias sedimentarias piroclásticas de arenisca gris rojiza, gris verdosa y arcillitas laminares, con ocasionales lechos de caliza gris-blancuecinas. Hacia el tope se ven brechas tobáceas, alternando con tobas, limos y piroclastos pequeños y medianos con lechos de caliza gris.

En la subzona BMI, afloran en la margen derecha del río Chacote (tramo entre los puntos SW-19 y SW-10), y al norte de la laguna Pucahuasi (aledaño al campamento nuevo de IRL SAC). Litológicamente se compone de niveles de lutitas y areniscas grises violáceos, rojizas y negras, interlacados con esporádicos niveles de conglomerados. Los estratos tienen rumbos entre N130° a N155° con buzamientos entre 54° y 64° hacia el sur (Figura 6.27)

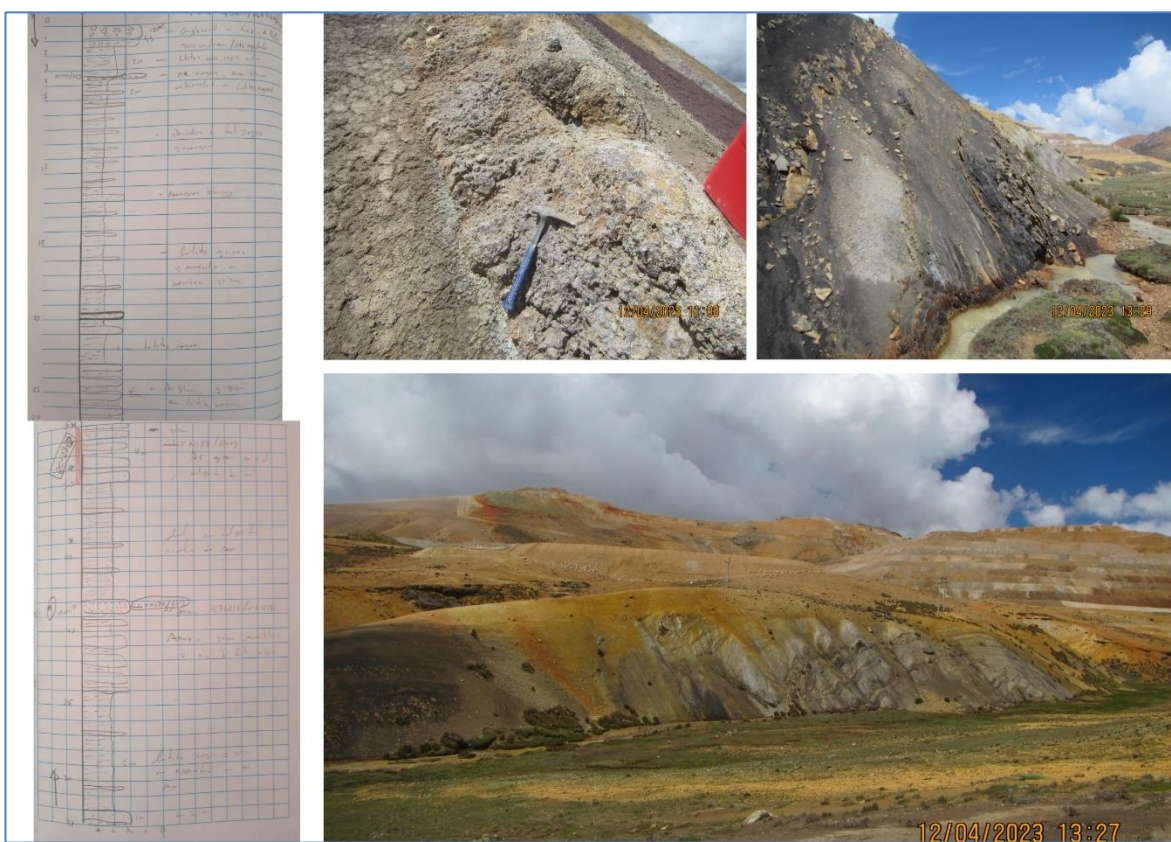


Figura 6.27. Afloramientos de secuencias sedimentarias de la Formación Castrovirreyna en la margen derecha del río Chacote.

La muestra RC-23-22 consistió en areniscas grises intercalado con niveles delgados de lutitas gris oscuras, las cuales presentaron concentraciones de arsénico y cadmio superiores a los valores de corteza continental y composición mineralógica de cuarzo, arcillas, plagioclasas, micas, pirofilita y goethita, y en menor proporción alunita, calcita y feldespatos potásicos (Figura 6.28). La pirofilita y alunita indican que estas secuencias fueron afectadas ligeramente por la actividad magmática e hidrotermal de los eventos volcánicos posteriores.

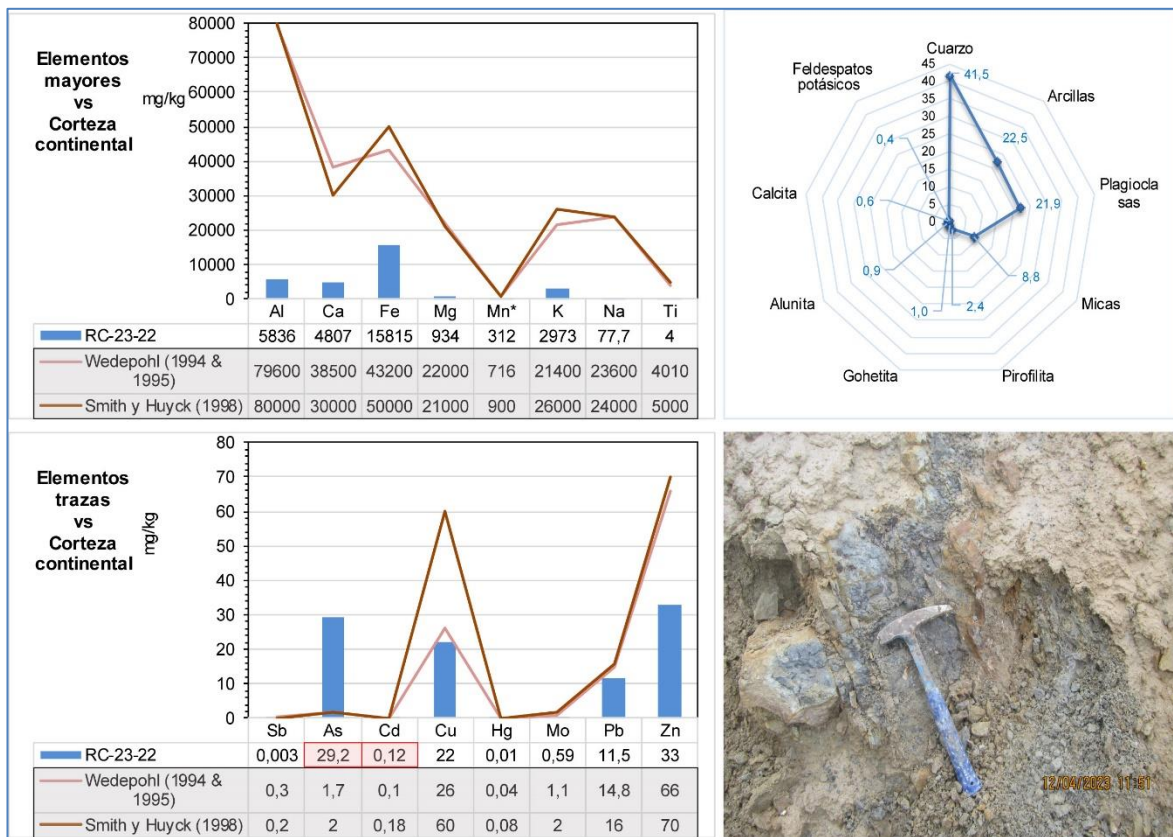


Figura 6.28. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica de las areniscas y lutitas (RC-23-22) de la Formación Castrovirreyna.

(*) El manganeso se graficó junto con los elementos mayores para mejor visualización, no obstante, se precisa que es un elemento traza debido a su menor abundancia (900 ppm) en la corteza continental.

Según la prueba estática de balance ácido-base (ABA), las areniscas y lutitas (RC-23-22) de la Formación Castrovirreyna presentaron bajo porcentaje de azufre total (0,08%) y pH en pasta alcalino (8,2 unidades de pH). El potencial de neutralización es mayor (presencia de calcita al 0,6%) que el potencial de acidez (inexistencia de sulfuros), por lo que fue clasificado como «no generador de drenaje ácido» (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Balance ácido-base de las de las areniscas y lutitas (RC-23-22) de la Formación Castrovirreyna.

Parámetro	Unidad	RC-23-22 Areniscas y lutitas
Azufre Total	%	0,08
Sulfuro total	%	0,06
Sulfato total	%	0,02
pH en Pasta	Unidades pH	8,20
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	1,88
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	26,3
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	24,4
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	13,99
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		PNGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PNGA

PNGA: Potencial no generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC.

Según la prueba *Shake Flask Extraction*³³, los analitos móviles o lixiviables de las areniscas y lutitas (RC-23-22) de la Formación Castrovirreyna fueron sulfato, calcio, magnesio, sodio, potasio; sin embargo, la concentración soluble de estos elementos no superó los valores de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (2008) Cat.3 – bebida de animales (Figura 6.29).

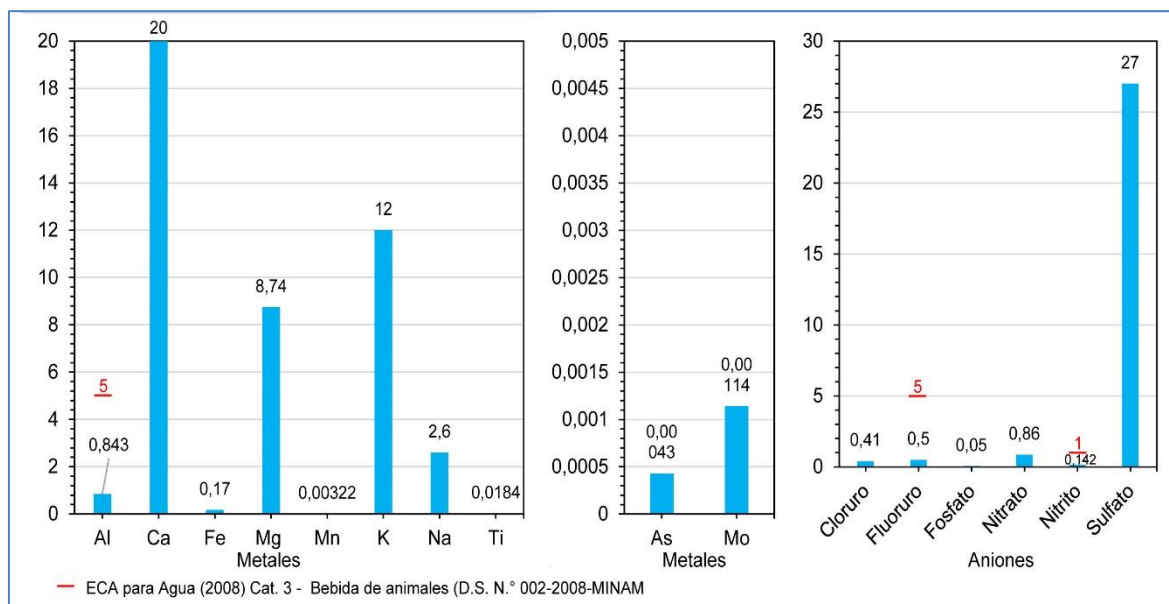


Figura 6.29. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* de las areniscas y lutitas (RC-23-22) de la Formación Castrovirreyna.

6.1.6.2. Formación Caudalosa

Esta unidad fue descrita por Salazar (1993), en los alrededores de la mina Caudalosa, como un conjunto de coladas y flujos andesíticos gris oscuro, con niveles de piroclastos y areniscas tobáceas. Estructuralmente está asociado a plegamientos -sinclinales- y a fallamientos de tectónica reciente; además, fue afectado por la actividad volcánica efusiva fisural posterior.

En la subzona BMI, afloran en la margen derecha del río Chacote, en los bordes este y oeste del BMI y ampliación BMI. Está compuesto por secuencias volcánicas de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa argilizada (illita-esmectita), cortado por venillas de sílice amorfa; presenta zonas de brechas con fragmentos argilizados y silicificados con textura oquerosa y óxidos de hierro. Las secuencias presentan rumbo N325°/15°N (Figura 6.30).

³³

La prueba *Shake Flask Extraction* en laboratorio está diseñada para simular y medir los componentes solubles de la muestra (metales y aniones en mg/L), que son liberados por interacción del material con aguas de precipitación u otras formas de saturación.

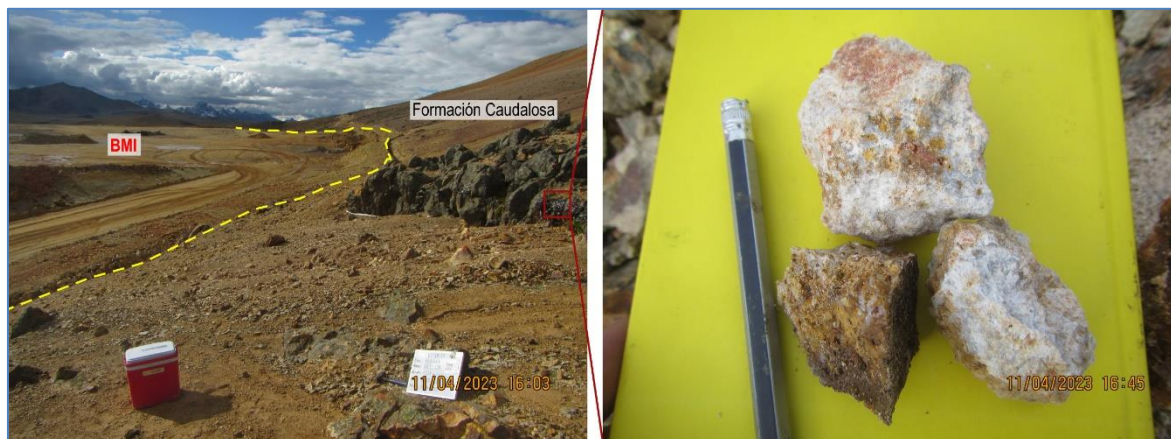


Figura 6.30. Afloramiento de secuencias volcánicas de la Formación Caudalosa en la margen derecha del río Chacote, lado este del BMI.

El análisis mineralógico de la muestra RC-23-22 lo clasificó como ignimbrita de composición riolítica-dacítica, de textura piroclástica con cristaloclastos de cuarzo I (anhedrales y redondeados) y aislados cristales prismáticos de circón; los litoclastos –irregulares– fueron reemplazados por cuarzo II (microcristalino), arcillas y posible alunita, además registran parches irregulares de jarosita fibrosa y limonitas. La matriz está compuesta por sílice de baja cristalinidad (grano fino) y escasas arcillas (Figura 6.31). La roca presenta alteración argílica avanzada fuerte y silicificación moderada DS

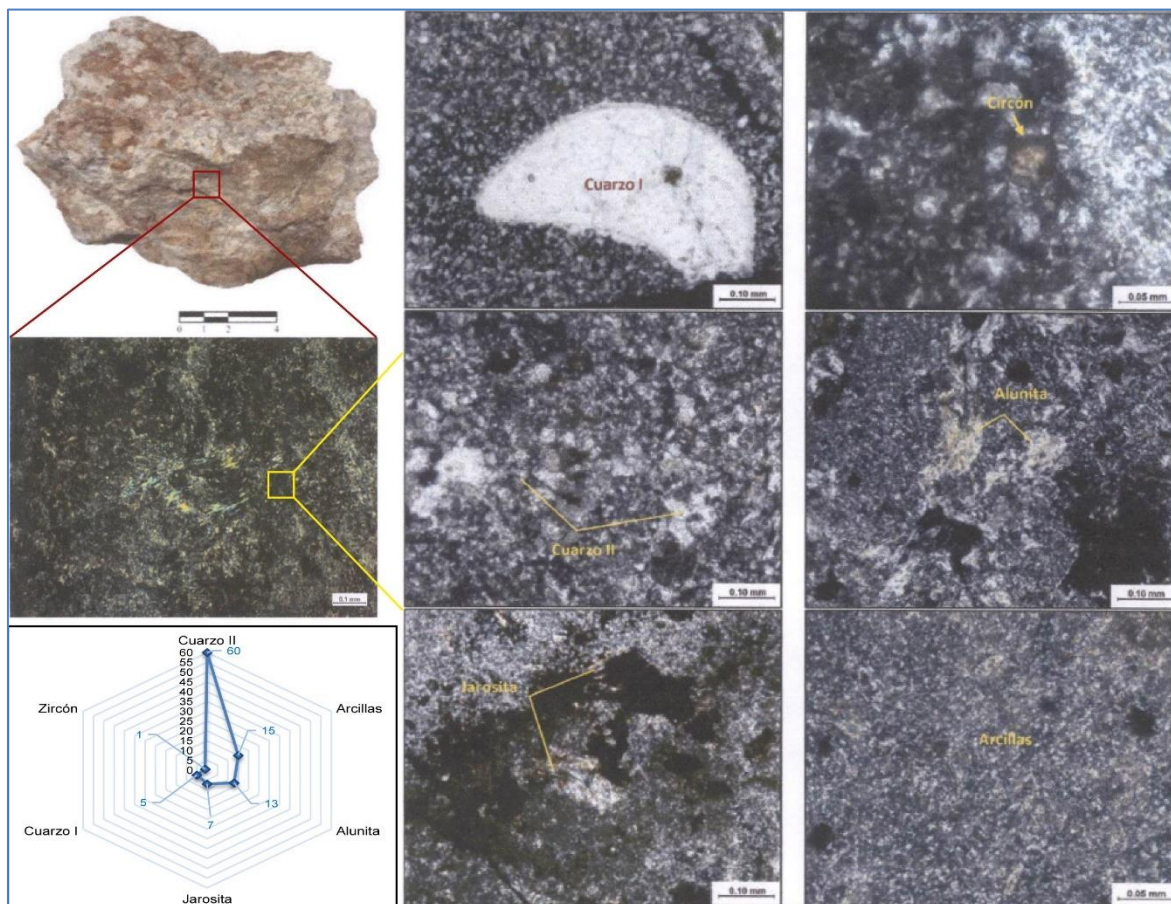


Figura 6.31. Composición mineralógica por microscopía óptica de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa.

Esta ignimbrita (RC-23-23) presentó elementos mayores con concentraciones inferiores a los valores de corteza continental; de los elementos traza, el arsénico, cobre, molibdeno y plomo fueron superiores a los valores de referencia (Figura 6.32).

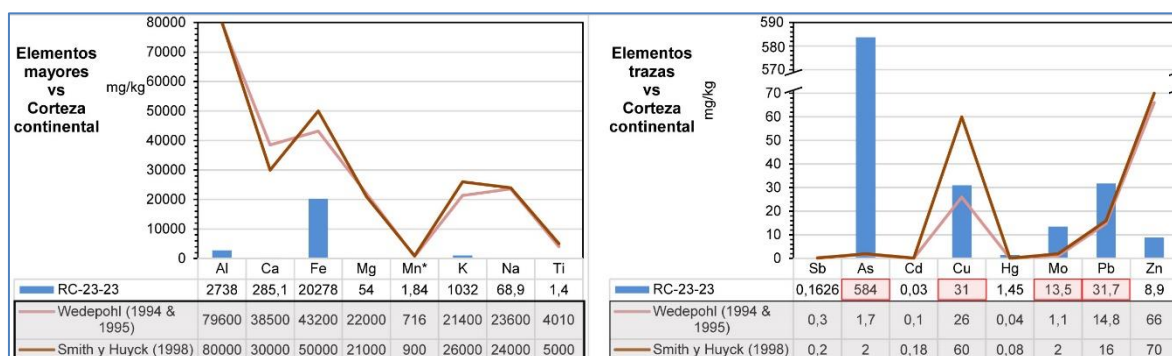


Figura 6.32. Concentraciones de elementos mayores y trazas de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa de la subzona 1.

(*) El manganeso se graficó junto con los elementos mayores para mejor visualización, no obstante, se precisa que es un elemento traza debido a su menor abundancia (900 ppm) en la corteza continental.

Según la prueba estática de balance ácido-base (ABA), la ignimbrita (RC-23-23) de Formación Caudalosa presentó moderado porcentaje de azufre total (0,56 %) y pH en pasta ácido (4,86 unidades de pH). El potencial de acidez es mayor (por la alteración argílica avanzada con alunita) que el potencial de neutralización (inexistencia de carbonatos), por lo que fue clasificado como PGA o «generador de drenaje ácido» (Tabla 6.9).

Tabla 6.9. Balance ácido-base de las de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa de la subzona 1.

Parámetro	Unidad	RC-23-23 Ignimbrita
Azufre Total	%	0,56
Sulfuro total	%	0,3
Sulfato total	%	0,26
pH en Pasta	Unidades pH	4,86
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	9,38
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	0,01
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	-9,37
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0,001
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		Incertidumbre
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC.

Según la prueba *Shake Flask Extraction*, los analitos móviles o lixiviables de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa que superaron los ECA para agua (2008) fueron hierro y manganeso (Figura 6.33).

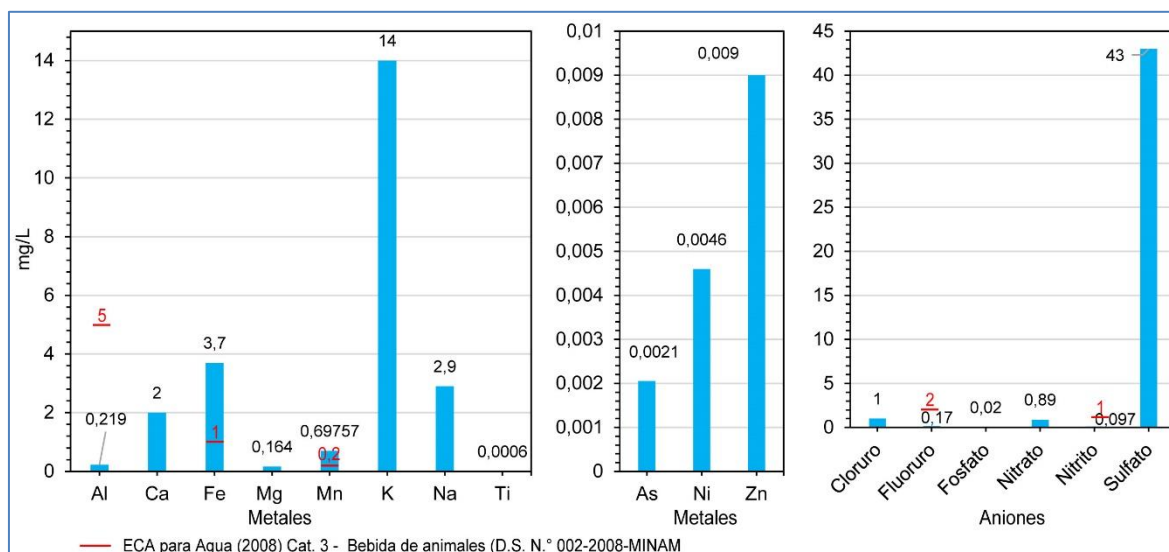


Figura 6.33. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* de la ignimbrita (RC-23-23) de la Formación Caudalosa de la subzona 1.

6.1.6.3. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvial-deluvial

Este depósito consiste en bloques rocosos angulosos, heterométrico de naturaleza homogénea y niveles de arenas arcillosas con inclusiones de fragmentos rocosos, que cubren laderas de pendientes suaves a moderados; y fueron formados por desprendimiento –intemperismo– de los afloramientos rocosos y transportados por gravedad, escorrentía pluvial y reptación y erosión de suelos.

En esta subzona, estos depósitos se presentan en la parte media de las laderas de ambos márgenes del río Chacote. En el borde oeste del BMI y ampliación BMI están compuestos por fragmentos de andesita porfírica, fragmentos silicificados y argilizados con pirita diseminada, englobado en gravas y arenas, con niveles cementados de óxidos de hierro (RC-23-27) y por fragmentos argilizados con ligera oxidación y bajo porcentaje de pirita diseminada (RC-23-28).

La composición mineralógica de estos depósitos consiste principalmente en cuarzo, arcillas, micas y plagioclasas, y en menor porcentaje por alunita, pirofilita, jarosita, feldespatos potásicos, lepisocrocita, yeso y pirita. De las concentraciones de metales, los elementos mayores fueron inferiores a los valores de corteza continental; en cuanto a los elementos trazas, el molibdeno, plomo, selenio, talio, arsénico y bario fueron superiores a los valores de referencia mencionados (Figura 6.34).

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

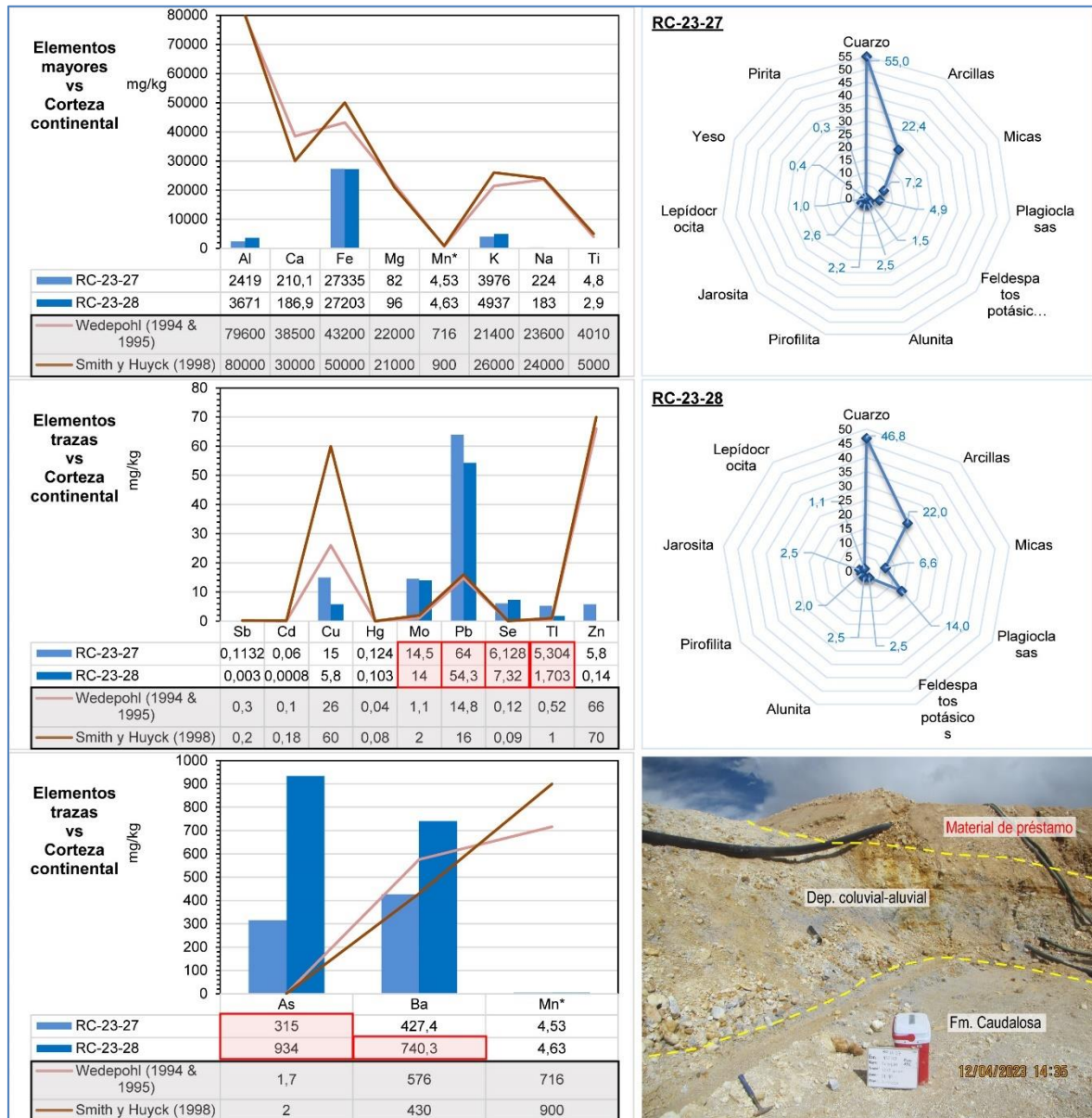


Figura 6.34. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica del depósito coluvial-deluvial (RC-23-27 y RC-23-28) de la subzona 1.

(*) El manganeso se graficó junto con los elementos mayores para mejor visualización, no obstante, se precisa que es un elemento traza debido a su menor abundancia (900 ppm) en la corteza continental.

Según la prueba estática de balance ácido-base (ABA) el depósito coluvial-deluvial presentó alto porcentaje de azufre total (0,88 % a 1,1 %) y pH en pasta ácido (3,4 a 4,65 unidades). Según el criterio 1 fue clasificado como incertidumbre debido a que el PNN fue de -9,38 y -17,8 kg CaCO₃/Ton, en cambio, el criterio 2 lo clasificó como probable generador de drenaje ácido con RPN de 0,001 (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Balance ácido-base del depósito coluvial-deluvial (RC-23-27 y RC-23-28) de la subzona 1.

Parámetro	Unidad	RC-23-27	RC-23-28
Azufre Total	%	1,1	0,88
Sulfuro total	%	0,57	0,30
Sulfato total	%	0,53	0,58
pH en Pasta	Unidades pH	3,40	4,65
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	17,8	9,38



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Parámetro	Unidad	RC-23-27	RC-23-28
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	0,01	0,01
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	-17,8	-9,37
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0,001	0,001
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		Incertidumbre	Incertidumbre
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA	PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC.

La prueba de lixiviación *Shake Flask Extraction* reportó concentraciones de aluminio, hierro y manganeso superiores a los valores del ECA para agua (2008) (Figura 6.35), que concuerdan con las características asociados a yacimientos epitermales de alta sulfuración; además, se precisa que las concentraciones de los elementos mencionados, además de zinc y sulfatos fue mayor en la muestra RC-23-27 debido a la mayor presencia de sulfuros y alteración argílica.

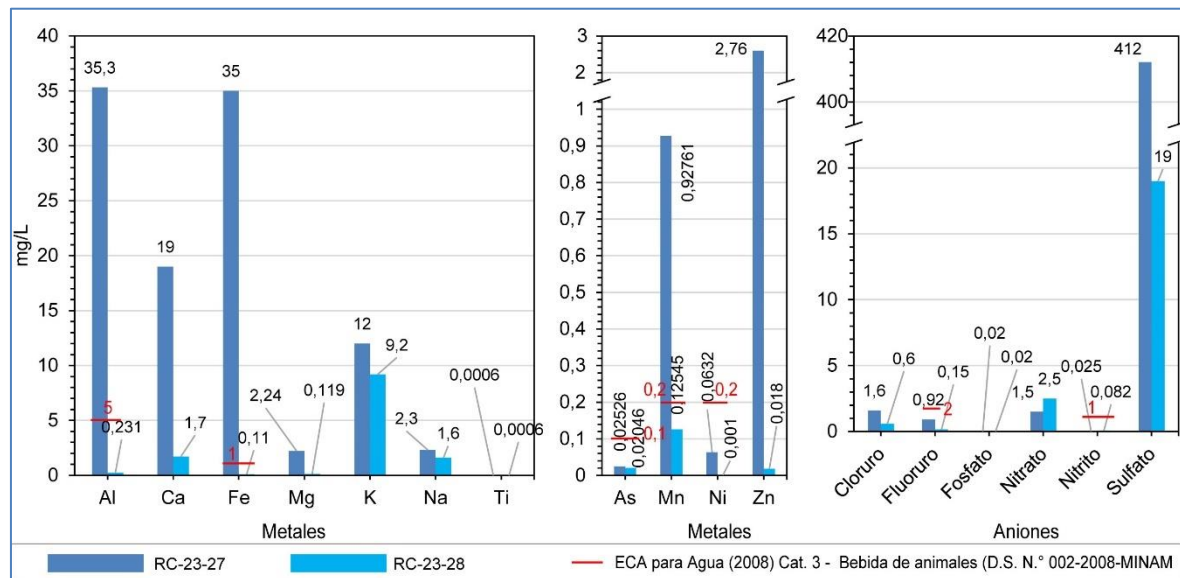


Figura 6.35. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* del depósito coluvial-deluvial (RC-23-27 y RC-23-28).

b. Depósito químico - ferricreta

Estos depósitos consisten en acumulaciones de fragmentos volcánicos con cemento de óxidos de hierro producto de procesos de lixiviación de zonas con sulfuros por donde discurre el agua subterránea subsuperficial.

En esta subzona, afloran en la margen derecha del río Chacote, sobre el contacto de las formaciones Castrovirreyna y Caudalosa, distribuidos en pequeñas áreas separadas, ubicadas en las quebradas tributarias. Consisten en depósitos de ferricretas de color rojo a naranja, compuesto por fragmentos de rocas volcánicas de textura porfírica con abundante presencia de cuarzo, arcillas, micas, y en menor porcentaje pirofilita, alunita, feldespato potásico, plagioclasas y lepidocrocita, englobado en cemento de óxidos de hierro y limonitas (goethita).

En cuanto a la concentración de metales, presenta alto contenido de hierro y arsénico, y menor concentración plomo, cobre, fósforo, molibdeno, selenio, talio, mercurio y antimonio, que fueron superiores a los valores de corteza continental (Figura 6.36).

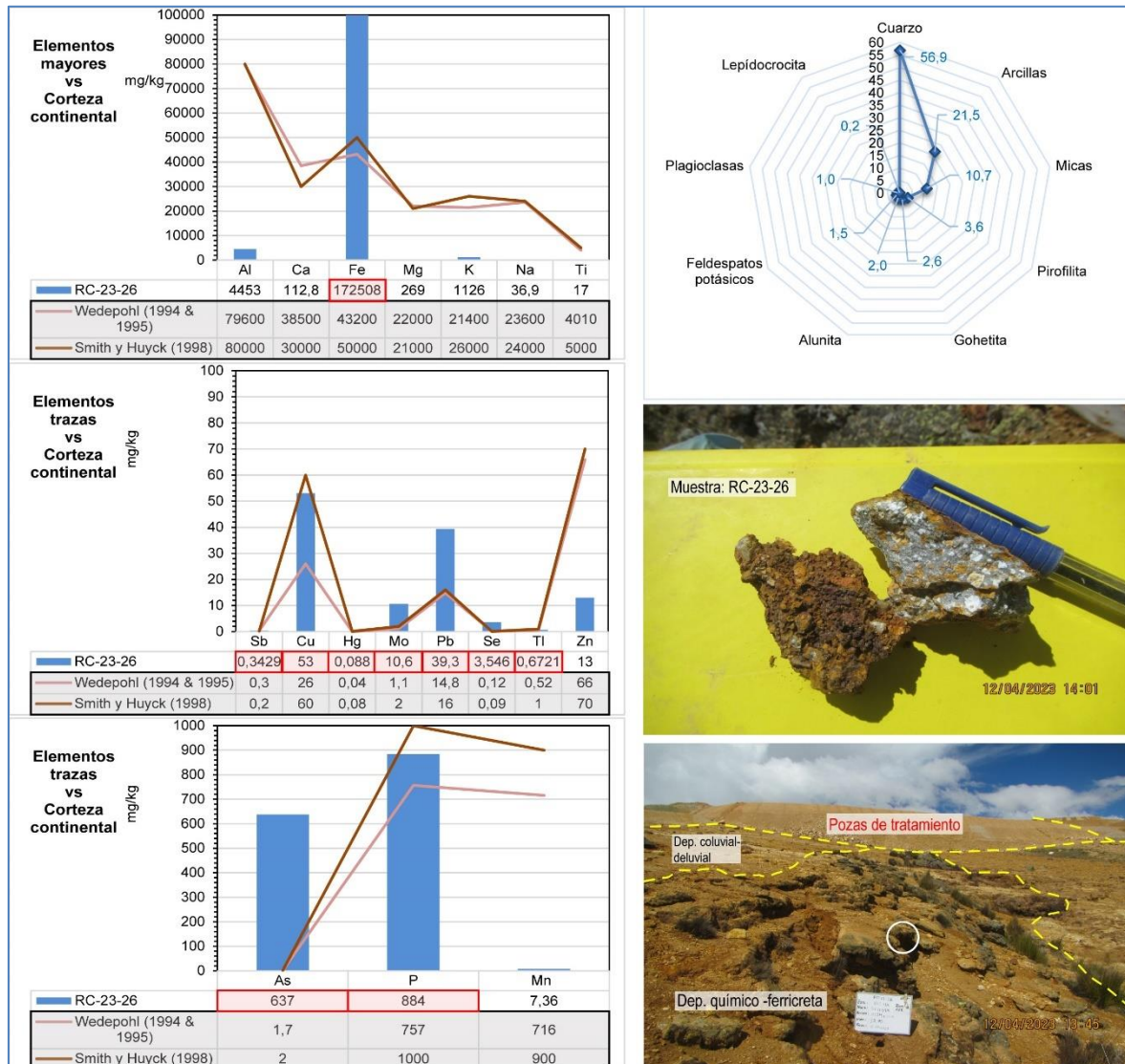


Figura 6.36. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica del depósito químico de ferricreta (RC-23-26) de la subzona 1.

Según la prueba estática de balance ácido-base (ABA) el depósito de ferricreta presentó moderado azufre total (0,52 %) y pH en pasta ácido. Según el criterio 1 fue clasificado como incertidumbre para generar drenaje ácido, en tanto, el criterio 2 lo clasificó como probable generador de drenaje ácido (Tabla 6.11); estas características se deben a la litología y composición mineralógicas de los fragmentos volcánicos, puesto que el cemento de goethita corresponde al residuo de la lixiviación de sulfuros con hierro anteriormente existentes.

Tabla 6.11. Balance ácido-base del depósito químico de ferricreta (RC-23-26) de la subzona 1.

Parámetro	Unidad	RC-23-26 Ferricreta
Azufre Total	%	0,52
Sulfuro total	%	0,28
Sulfato total	%	0,24
pH en Pasta	Unidades pH	4,68
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	8,75
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	0,01

Parámetro	Unidad	RC-23-26 Ferricreta
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	-8,74
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0,001
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		PGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC.

Según la prueba Shake Flask Extraction, ningún elemento de este depósito presentó concentraciones superiores al ECA para agua (2008) Cat.3 – bebida de animales. Los analitos lixiviables fueron sulfato, potasio, arsénico, cobre zinc y molibdeno, en moderadas a bajas concentraciones (Figura 6.37).

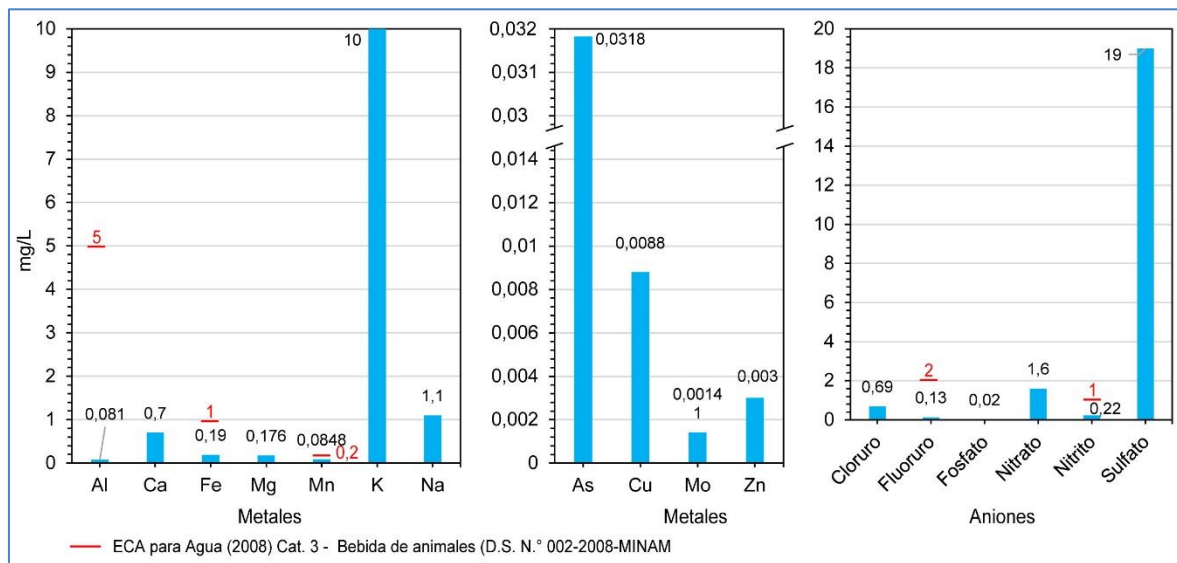


Figura 6.37. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* del depósito químico - ferricreta (RC-23-26) de la subzona 1.

6.1.7. Prospección geofísica

En la subzona BMI se realizaron 8 líneas de tomografía de resistividad eléctrica 2D, los cuales las 3 primeras líneas se encuentran en el sector 1 (lado noreste del depósito de Topsoil-piezómetro I-06) y las 5 líneas restantes se encuentran distribuidas en el sector (lado suroeste de la ampliación BMI-pozas de tratamiento).

Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

Las líneas TE-BMI-01 y TE-BMI-04 se ubican sobre el material residual del BMI; las líneas TE-BMI-02, TE-BMI-05 y TE-BMI-06 sobre material de préstamo utilizado para relleno de vías y plataformas de las pozas de tratamiento; y las líneas TE-BMI-03, TE-BMI-07 y TE-BMI-08 sobre las rocas volcánicas de la Formación Caudalosa con cobertura cuaternaria de bajo espesor. A continuación, se presenta la interpretación de las resistividades obtenidas de las secciones de las 8 líneas de ERT.

6.1.7.1. Sector 1: Lado noreste del depósito de Topsoil - piezómetro I-06

La interpretación de las secciones de tomografía eléctrica consistió en diferenciar las zonas (A, B y C) en función a valores de resistividades. Las características y resultados se presentan en la Tabla 6.12

**Tabla 6.12.** Características de las líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el sector 1

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
TE-BMI-01	115	25	Zona A	15 - 25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas
				26 - 100	Material antrópico (desmonte) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos .
			Zona B	101 - 227	Material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
TE-BMI-02	115	25	Zona A	21 - 25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas.
				26 - 100	Material antrópico (desmonte) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos
			Zona B	101 - 250	Material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251 - 368	Material antrópico (desmonte) compactado.
TE-BMI-03	115	25	Zona A	23.4-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas.
				26-100	Material antrópico (desmonte) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos .
			Zona B	101-250	Material cuaternario y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-374	Material antrópico (desmonte) compactado.

Las secciones de resistividad de las líneas TE-BMI-01, TE-BMI-02 y TE-BMI-03 se presentan en las Figura 6.38, Figura 6.39 y Figura 6.40.

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

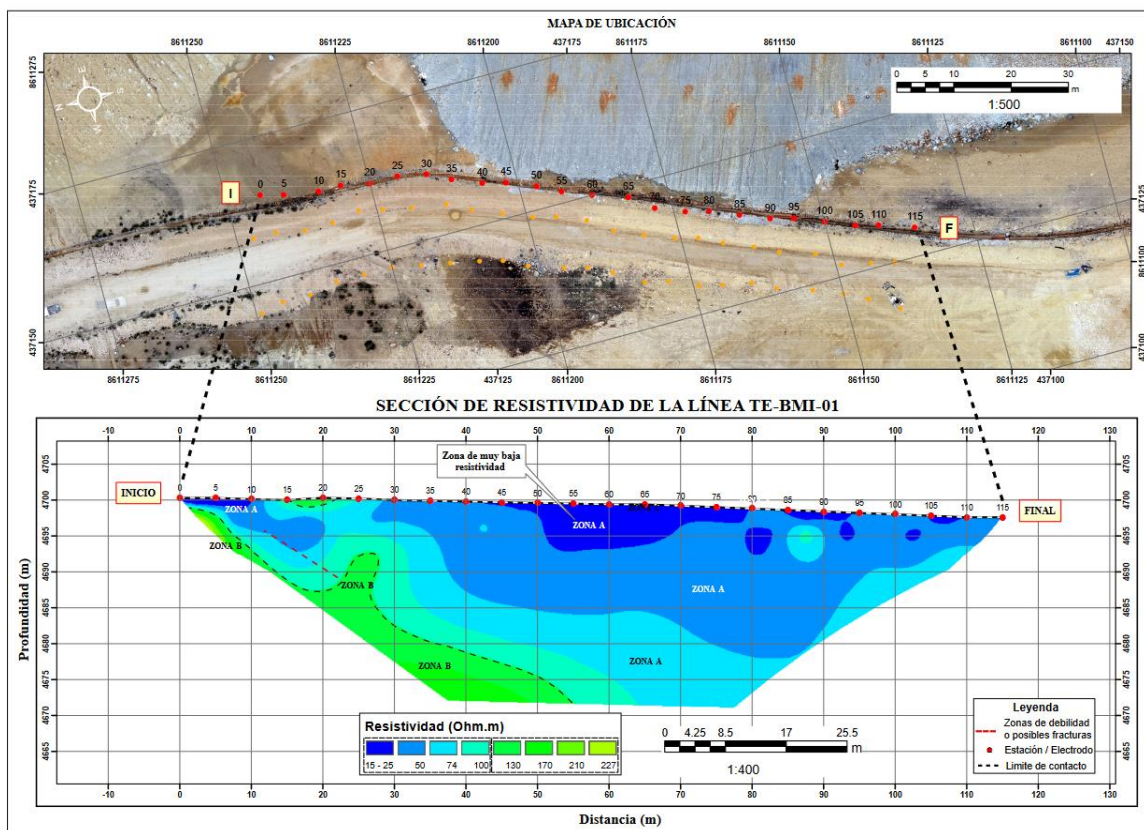


Figura 6.38. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-01

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

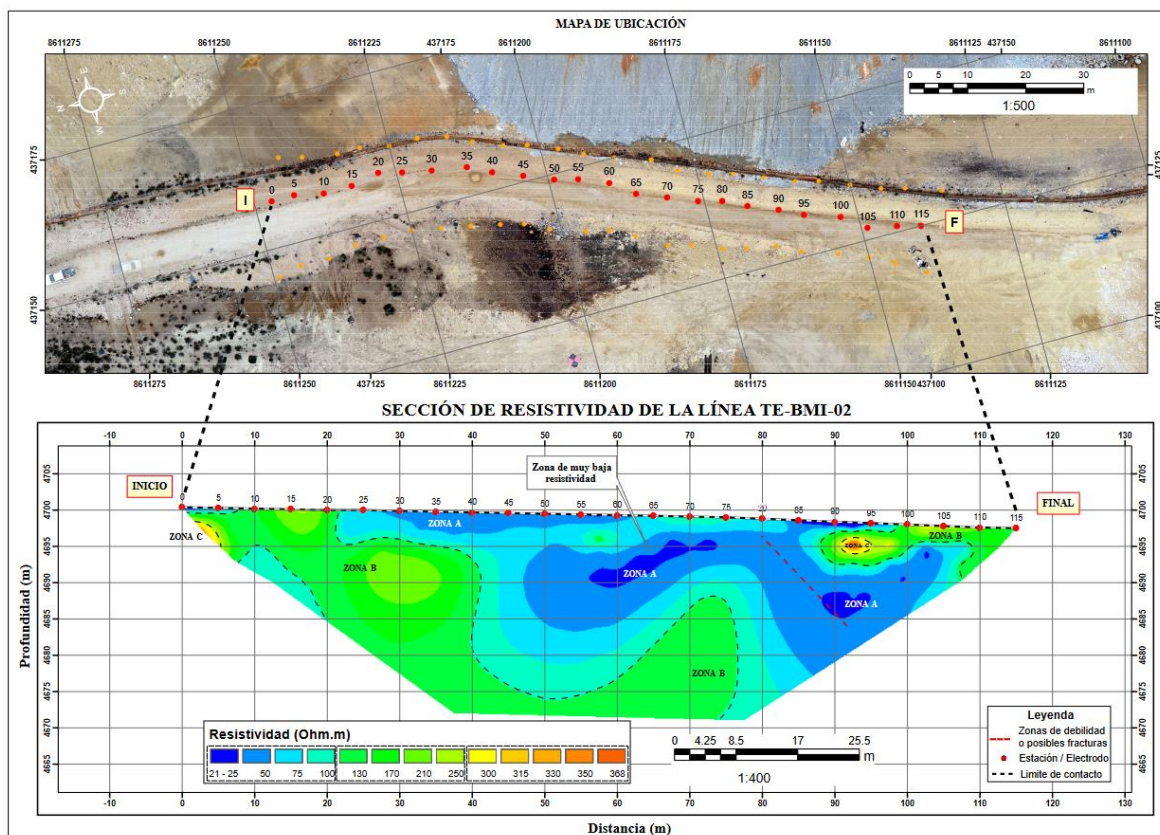


Figura 6.39. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-02

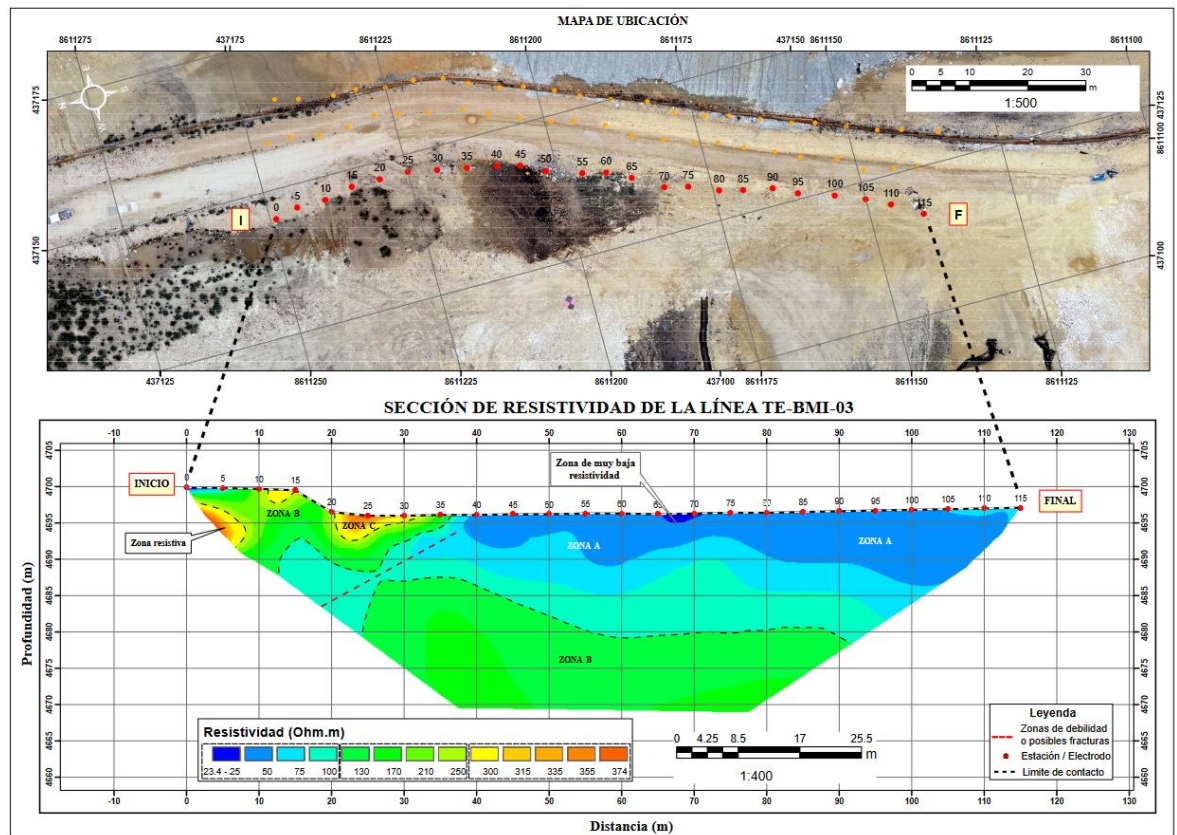


Figura 6.40. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-03

Sector 2: Lado suroeste de la ampliación BMI - pozas de tratamiento

La interpretación de las secciones de tomografía eléctrica consistió en diferenciar zonas (A, B y C) en función a valores de resistividades similares. Las características y resultados se presentan en la Tabla 6.13.

Tabla 6.13. Características de las líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el sector 2

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
TE-BMI-04	115	25	Zona A	21-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas.
				26-100	Material antrópico (desmonte) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-637	Rocas volcánicas (Fm. Caudalosa), con bajo grado de fracturamiento.
TE-BMI-05	115	25	Zona A	--	----
				55-100	Material de relleno suelto y material de préstamo semicompactado, en estado saturado e influenciados en algunas zonas por factores geológicos.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
			Zona B	101-250	Material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-1433	Rocas volcánicas (Fm. Caudalosa), con bajo grado de fracturamiento.
TE-BMI-06	115	25	Zona A	---	---
				35-100	Material de relleno suelto y material de préstamo semicompactado, en estado saturado e influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material de préstamo semicompactado y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-579	Rocas volcánicas (Fm. Caudalosa), con bajo grado de fracturamiento.
TE-BMI-07	115	25	Zona A	24-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas.
				26-100	Material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones saturadas .
			Zona B	101-250	Material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-1194	Material cuaternario (coluvial-deluvial) y Rocas volcánicas (Fm. Caudalosa), con bajo grado de fracturamiento.
TE-BMI-08	115	25	Zona A	---	---
				31-100	Material residual, material cuaternario (coluvial-deluvial) y Rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) , en estado saturado e influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material cuaternario (coluvial-deluvial), ferricreta y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-466	Material cuaternario (coluvial-deluvial) con bajo grado de fracturamiento.

Las secciones de resistividad de las líneas TE-BMI-04, TE-BMI-05, TE-BMI-06, TE-BMI-07 y TE-BMI-08 se presentan en las Figuras 6.41 a la Figura 6.45.

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

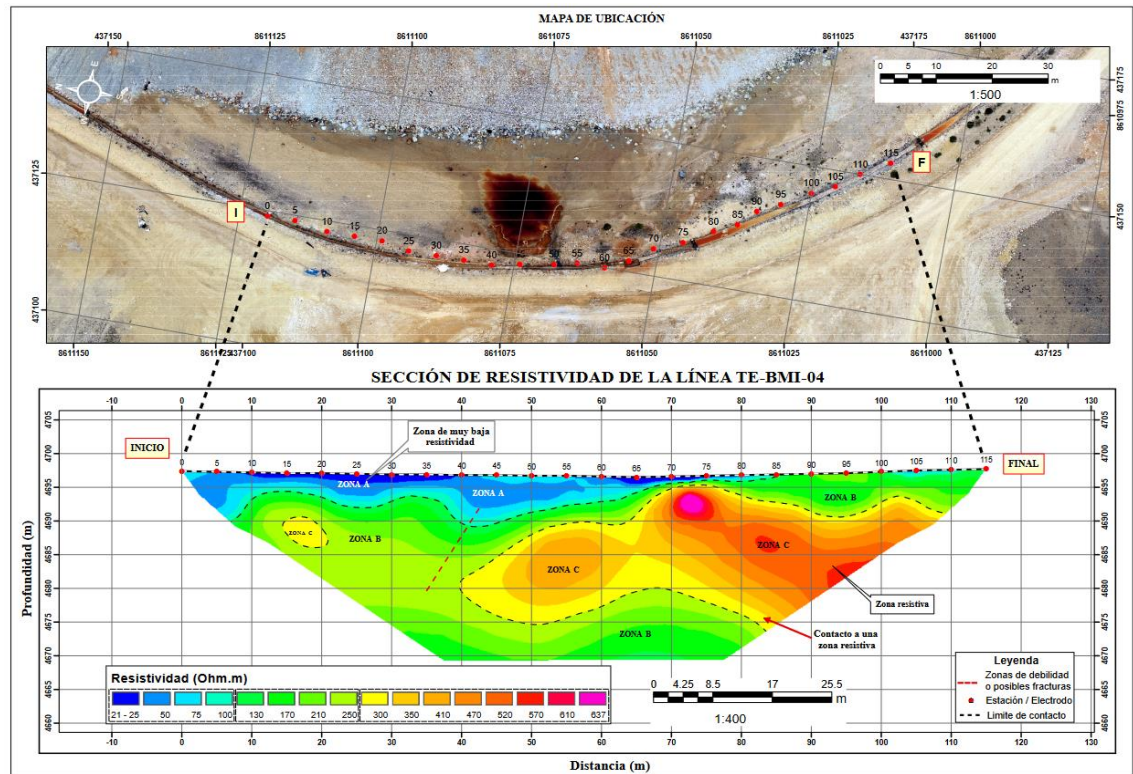


Figura 6.41. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-04

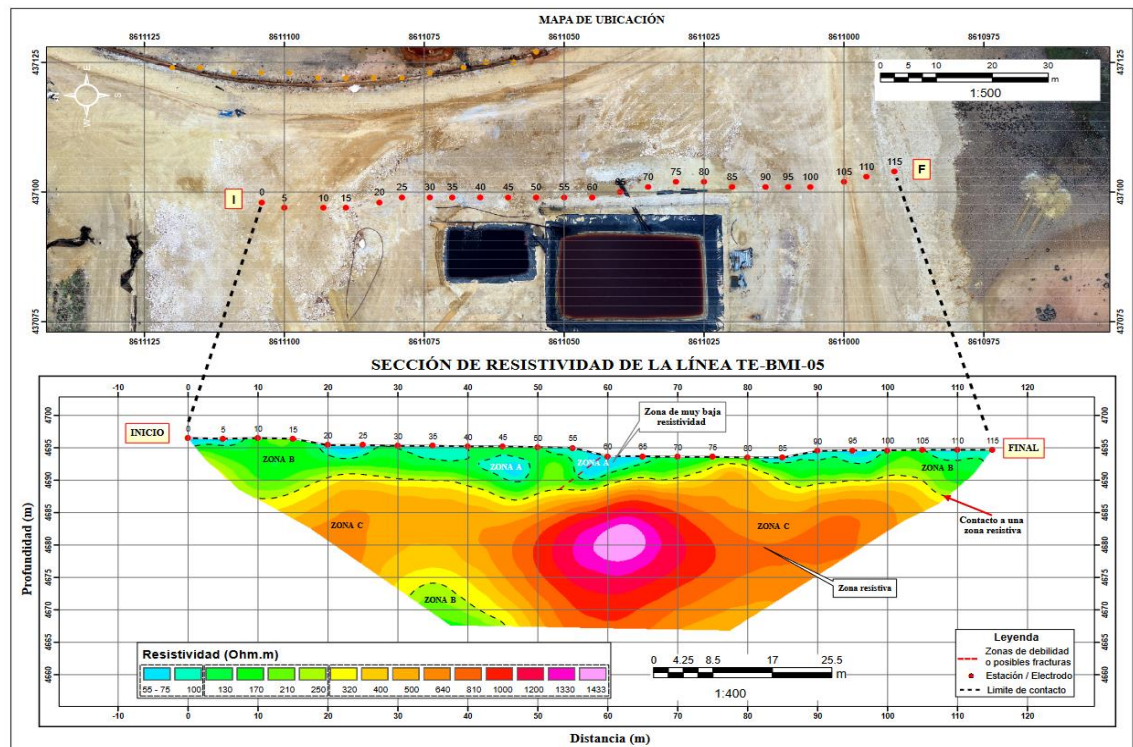


Figura 6.42. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-05

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

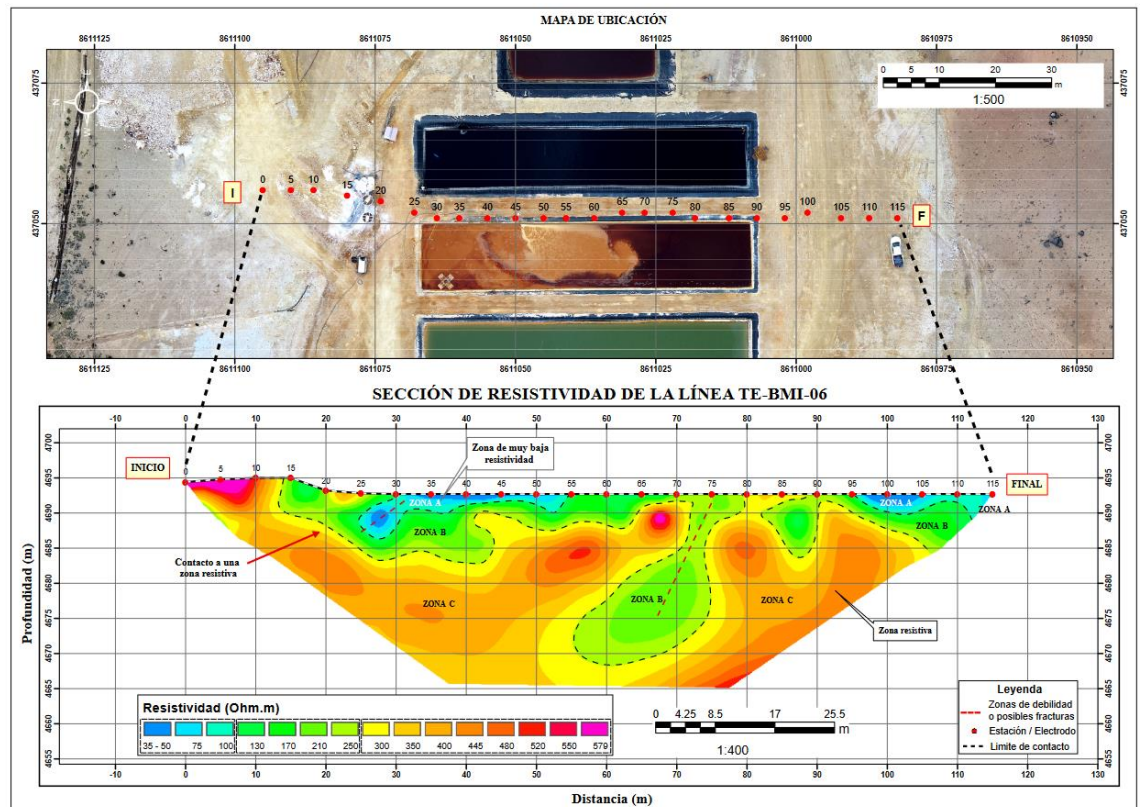


Figura 6.43. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-06

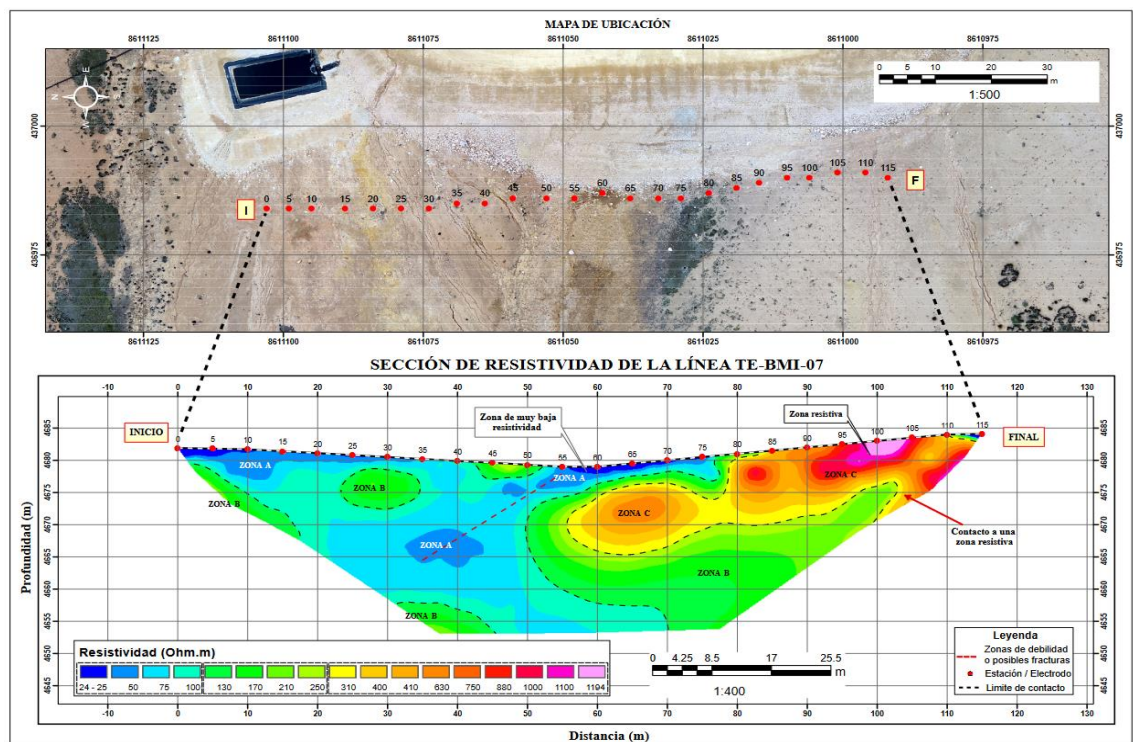


Figura 6.44. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-07

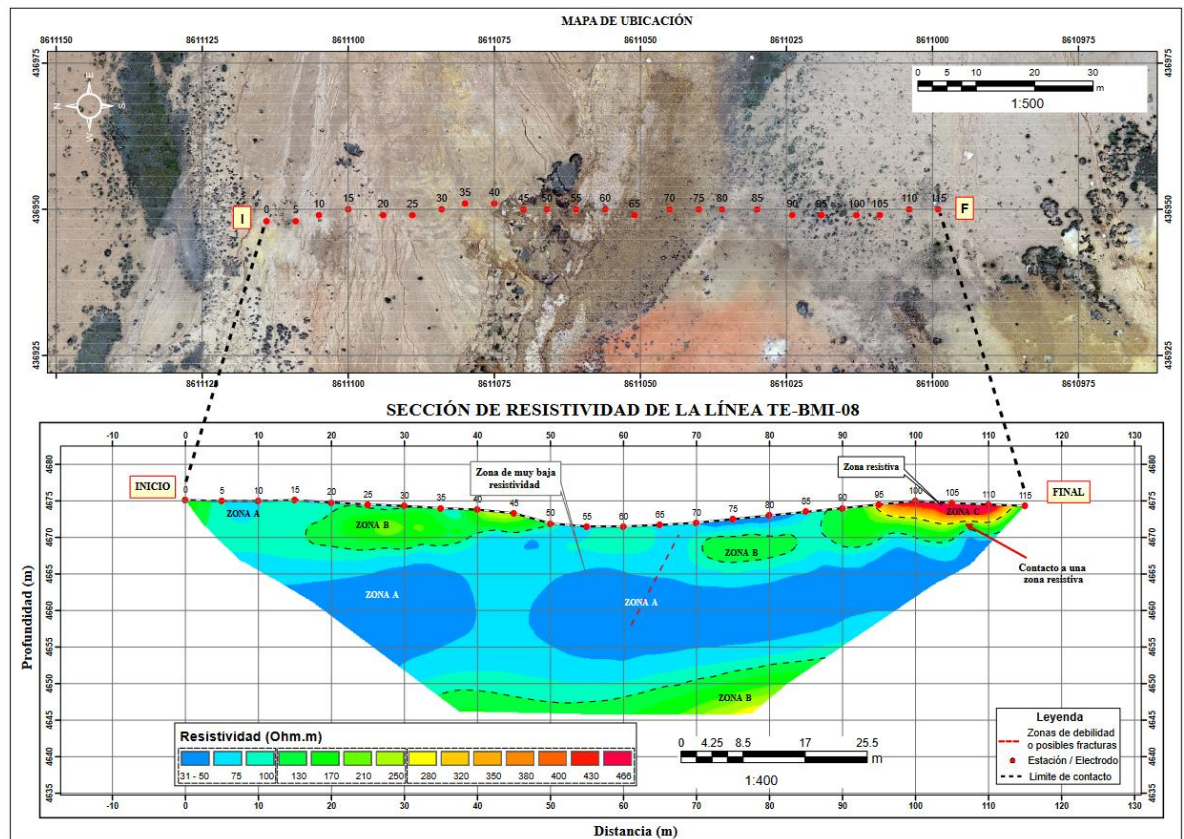


Figura 6.45. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-BMI-08

6.2. Objetivo específico 2: Determinar la influencia del sistema de tratamiento de aguas de contacto del PAD de lixiviación sobre el agua superficial, sedimento y el estado de las comunidades hidrobiológicas en la quebrada Para Para.

En esta sección se presenta los resultados de agua superficial, sedimento y comunidades hidrobiológicas, en marzo y abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1).

6.2.1. Agua superficial

Se presentan los resultados de parámetros evaluados en puntos de agua superficial en marzo y abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1); así como su comparación con los ECA para agua 2008 y 2017.

6.2.1.1. Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008)

En marzo y abril 2023, los puntos evaluados en la quebrada “Para Para” (SW-02, AS-01a y AS-02a) que es afluente del río Chacote, registraron valores de pH ácidos (3,38 unidades de pH, 2,68 unidades de pH y 3,72 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.46).

Asimismo, las concentraciones de sulfatos (926,6 mg/L – 1041,5 mg/L) en los puntos AS-01a y AS-02a superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales solo en marzo 2023. Las concentraciones totales de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro y manganeso en los 3 puntos evaluados superaron la norma mencionada en marzo 2023 (Figura 6.46).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

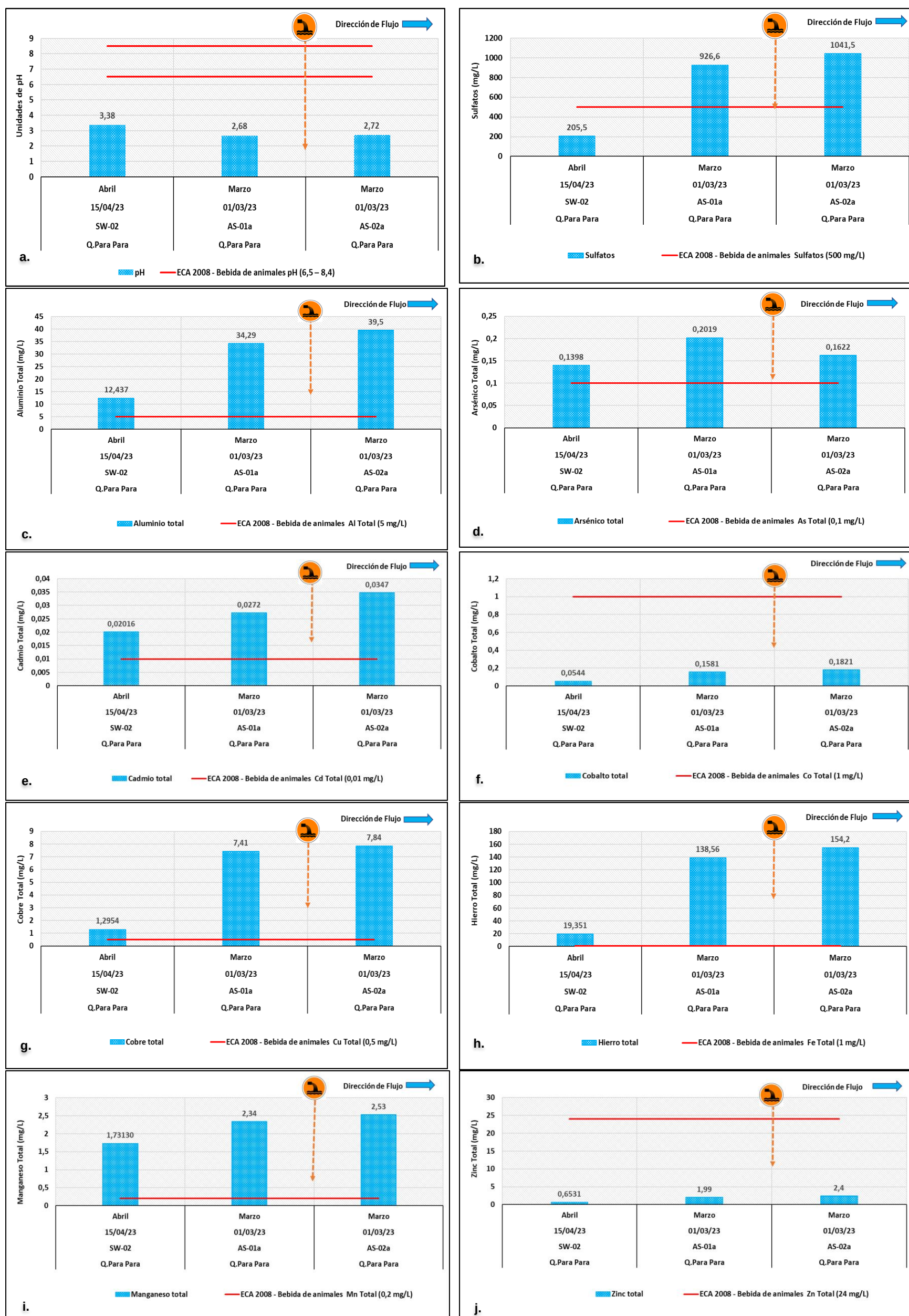


Figura 6.46. Valores de a. pH, b. sulfatos y concentraciones totales de c. aluminio, d. arsénico, e. cadmio, f. cobalto, g. cobre, h. hierro, i. manganeso y j. zinc en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en marzo y abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008



6.2.1.2 Comparación con la norma vigente (ECA 2017)

En marzo y abril 2023, los puntos evaluados en la quebrada “Para Para” (SW-02, AS-01a y AS-02a) que es afluente del río Chacote, registraron valores de pH ácidos (3,38 unidades de pH, 2,68 unidades de pH y 3,72 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 (Figura 6.47).

Asimismo, la concentración de sulfatos (1041,5 mg/L) en el punto AS-02a superó los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 solo en marzo 2023. Las concentraciones totales de aluminio, arsénico, cobre y manganeso en los 3 puntos evaluados superaron la norma mencionada y la concentración total de arsénico en el punto AS-01a solo superó los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 en marzo 2023 (Figura 6.47).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

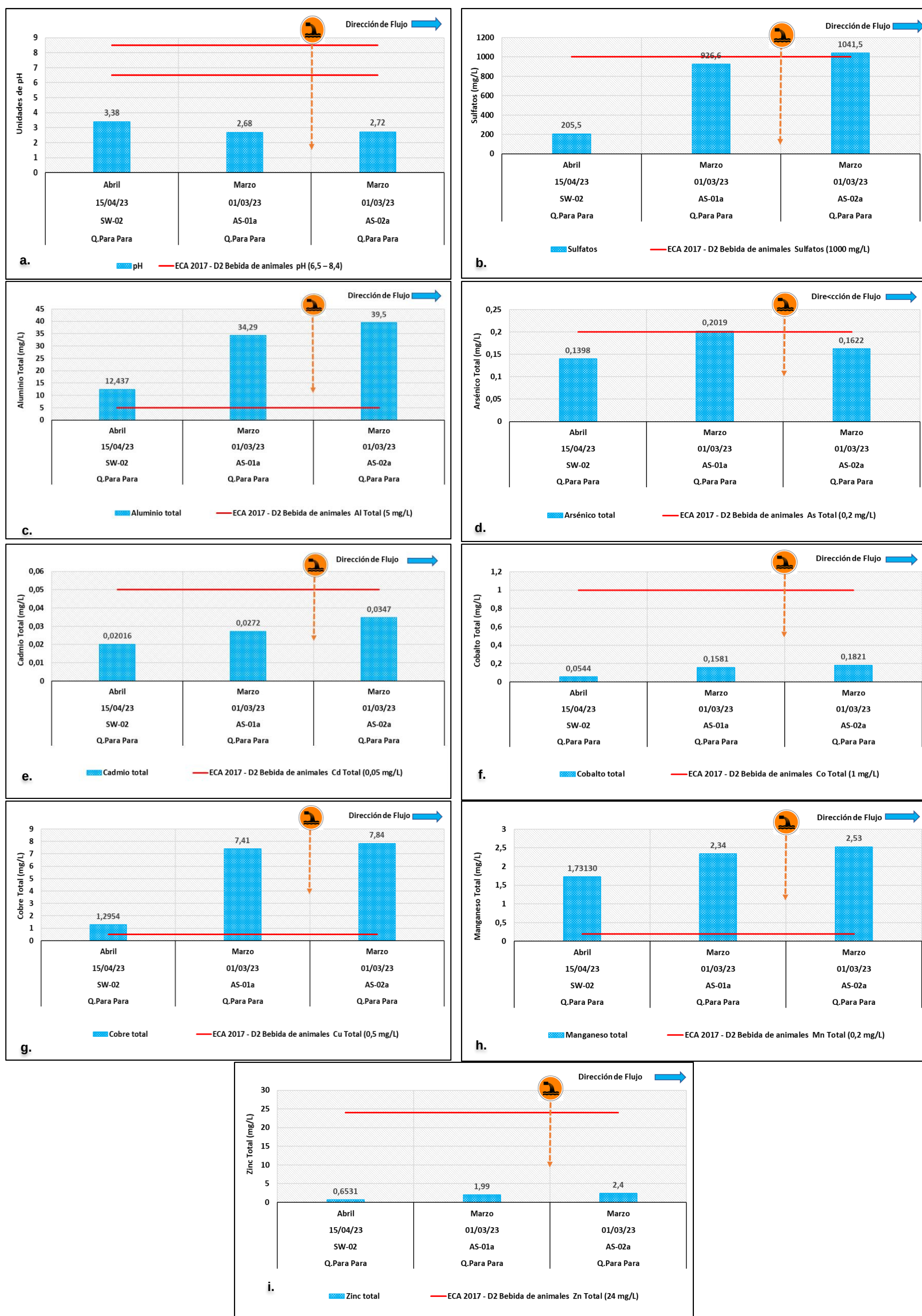


Figura 6.47. Valores de **a.** pH, **b.** sulfatos y concentraciones totales de **c.** aluminio, **d.** arsénico, **e.** cadmio, **f.** cobalto, **g.** cobre, **h.** manganeso y **i.** zinc en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en marzo y abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017

6.2.1.3 Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, el punto de agua superficial evaluado en abril 2023 en la quebrada “Para Para” (SW-02) se clasificó como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 5 meq/L (SW-02) (Figura 6.48).

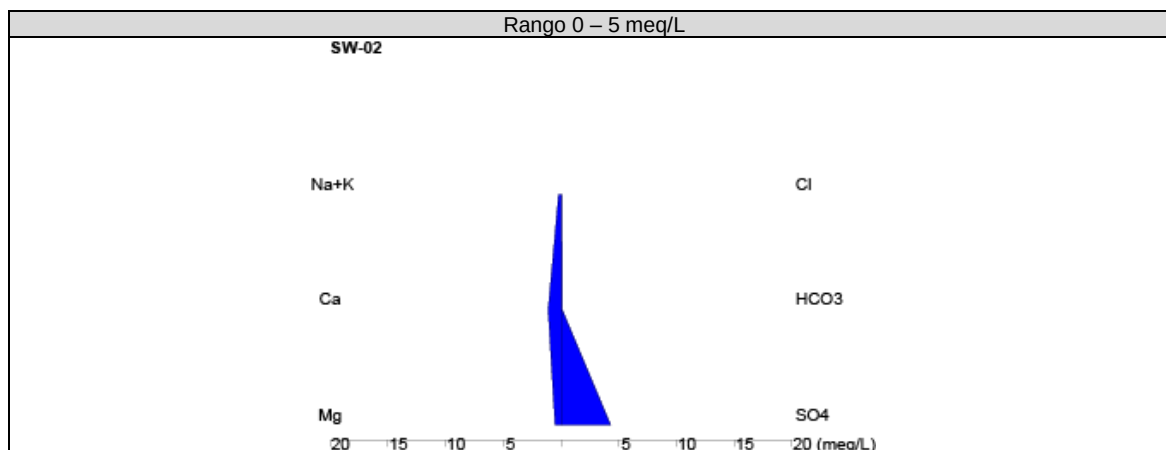


Figura 6.48. Diagrama de Stiff del punto de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Según el diagrama de Ficklin, el punto de agua superficial evaluado en abril 2023 en la quebrada “Para Para” (SW-02) se clasificó como «pH ácido» y «alto contenido de metales» (Figura 6.49).

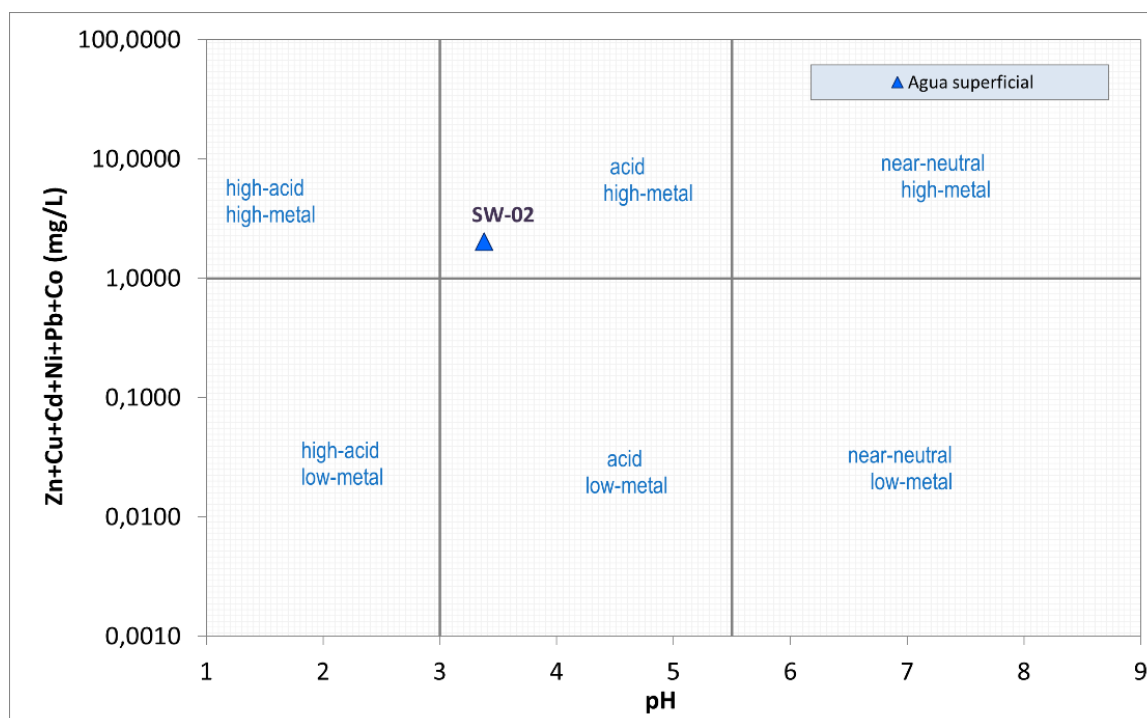


Figura 6.49. Diagrama de Ficklin del punto de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023



6.2.2. Sedimento

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de sedimento en abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 2). Dentro de estos resultados se realiza la comparación de manera referencial, con 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*) considerados para sedimentos de agua dulce (CCME, 2012), así como en análisis de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad y análisis granulométrico), disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier y análisis mineralógico por DRX y MEB.

6.2.2.1. Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG

En la microcuenca Chacote (zona 2) se evaluó 1 punto de muestreo de sedimento (SW-02). De acuerdo con los resultados, SW-02 excedió (al menos en un parámetro) los valores de la guía canadiense de la calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática (*Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - CSQG*) de la guía canadiense de calidad ambiental (*Canadian Environmental Quality Guidelines – CEQG*).

De acuerdo con la Figura 6.50, las concentraciones de arsénico total superaron los valores referenciales PEL de la CEQG en el punto SW-02; asimismo, las concentraciones de mercurio total y plomo total superaron los valores referenciales ISQG de la CEQG en SW-02. Por otro lado, metales totales como cadmio, cromo, cobre y zinc no superaron los valores referenciales ISQG o PEL de la CEQG.

6.2.2.2. Descripción de los parámetros fisicoquímicos

De acuerdo con los resultados de parámetros fisicoquímicos pH y conductividad eléctrica en sedimento (Figura 6.50.h y Figura 6.50.i), el punto SW-02 presentó un pH ácido (3,07 unidades de pH) y una reducida conductividad (0,85 dS/cm).

En relación con el análisis granulométrico (Figura 6.50.j), en el punto SW-02 se registró una predominancia de arena y limo (ambos con 45%) y una menor proporción de arcillas (10%).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

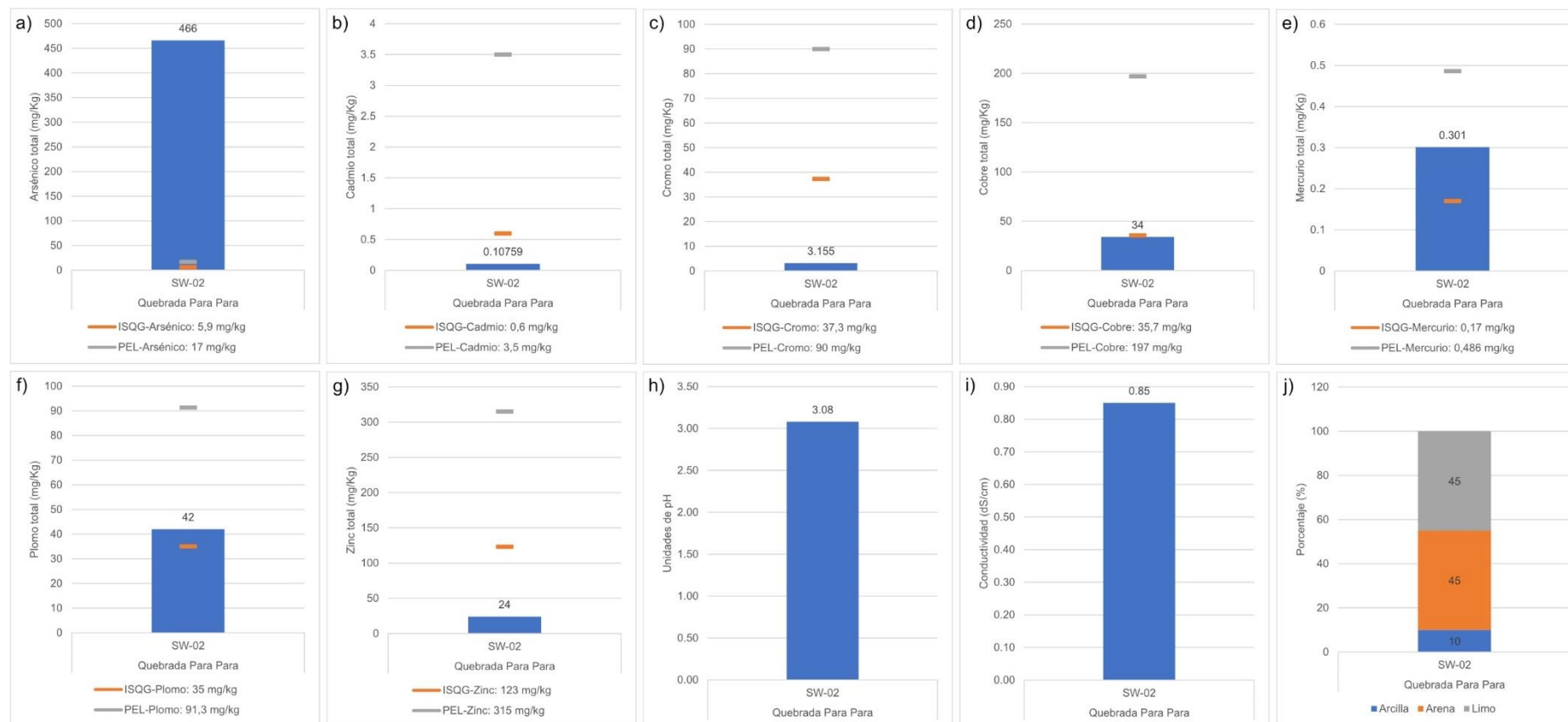


Figura 6.50. Concentraciones de metales en sedimento comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 2): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico



6.2.2.3. Disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier

Los resultados de las diferentes fracciones químicas, basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier, considera la extracción de 5 diferentes fracciones: intercambiable (fracción 1), enlazada a carbonatos (fracción 2), unida a óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso (fracción 3), enlazada a materia orgánica (fracción 4) y enlazada a minerales primarios y secundarios (fracción 5). El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento en el punto SW-02.

En la Figura 6.51.a se aprecia que la fracción 1 para los metales pesados cadmio, cobalto, cobre y níquel se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02. Cambios en la composición iónica del agua pueden afectar los procesos de sorción-desorción y liberar el contenido de metales obtenidos en la fracción 1, desde los sedimentos hacia la columna de agua.

De manera similar, en la fracción 2 los metales pesados cadmio, cobalto y cobre se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02, excepto el níquel, el cual presentó una proporción de 26,11% (0,0106 mg/Kg). Los metales unidos a carbonatos (fracción 2) pueden ser susceptibles a cambios de pH en el sistema, que ocasionaría que el contenido de metales en la fracción 2, sea liberado.

Para la fracción 3, los metales pesados cadmio, cobalto y níquel se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02, excepto el cobre, el cual presentó una proporción de 14,40% (0,0893 mg/Kg). La generación de condiciones anóxicas en el sistema (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de metales de la fracción 3, puesto que los óxidos de hierro y manganeso son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

En la fracción 4, el metal pesado cadmio se encontró en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02, excepto el cobalto con 14,02% (0,0107 mg/Kg), cobre con 20,42% (0,1266 mg/Kg) y níquel con 17,73% (0,0072 mg/Kg). En condiciones de oxidación, la materia orgánica puede degradarse lo que llevaría a liberar el contenido de metales de la fracción 4.

En relación con la fracción 5, tres de los cuatro metales pesados (cadmio, cobalto y cobre) se encontraron en proporciones altas (> 50 %) en el punto SW-02; el cadmio se encontró en una proporción de 80,17% (0,0368 mg/Kg), el cobalto se encontró en una proporción de 73% (0,0557 mg/Kg), y el cobre se encontró en una proporción de 55,20% (0,3423 mg/Kg). Los metales en esta fracción forman parte de la estructura cristalina de los minerales primarios y secundarios, y por lo tanto no se espera que se liberen en solución durante un período de tiempo razonable en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza.

En la Figura 6.51.b se aprecia que la fracción 1 para los metales pesados hierro, manganeso, plomo y zinc se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02.

De manera similar, en la fracción 2 los metales pesados hierro y plomo se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02, excepto el manganeso con una proporción de 10,13% (0,112 mg/Kg) y el zinc con una proporción de 10,01% (0,07075 mg/Kg).

Para la fracción 3, los metales pesados manganeso y plomo se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02, excepto el hierro con una proporción de 18% (94,12 mg/Kg) y el zinc con una proporción de 10,01% (0,07075 mg/Kg).

En la fracción 4, los metales pesados manganeso y plomo se encontraron en proporciones bajas (< 10 %) en el punto SW-02, excepto el hierro con una proporción de 13,55% (70,85 mg/Kg) y el zinc con una proporción de 10,01% (0,07075 mg/Kg).

En relación con la fracción 5, los cuatro metales pesados (hierro, manganeso, plomo y zinc) se encontraron en proporciones altas (> 50 %) en el punto SW-02; el hierro se encontró en una proporción de 67,60% (353,5 mg/Kg), el manganeso se encontró en una proporción de 68,63% (0,759 mg/Kg), el plomo se encontró en una proporción de 96,24% (2,885 mg/Kg) y el cobre se encontró en una proporción de 59,94% (0,4235 mg/Kg).

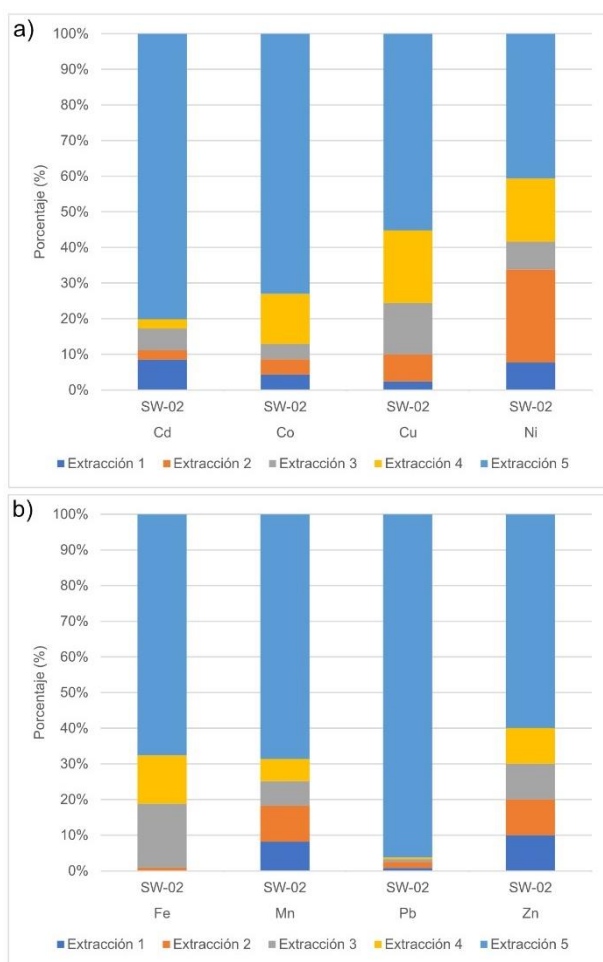


Figura 6.51. Fracciones (%) de metales obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en sedimentos en la microcuenca Chacote; a) Cd, Co, Cu y Ni, y b) Pb, Zn, Fe y Mn

6.2.2.4. Difracción de rayos X (DRX)

De acuerdo con el análisis mineralógico por DRX en el punto SW-02 (Figura 6.52), las mayores concentraciones de minerales en la muestra de sedimento correspondieron a cuarzo con 73.4%, carbonatos con 9,2%, alunita con 5,6%, arcillas con 5%, entre otros.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

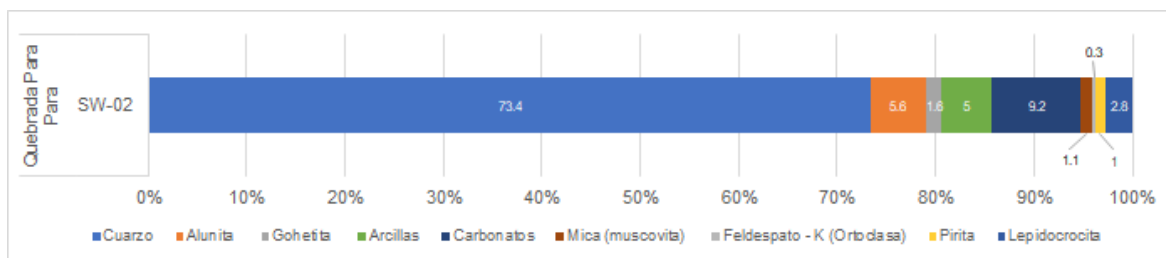


Figura 6.52. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Chacote

6.2.2.5. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

De acuerdo con el análisis mineralógico por MEB en el punto SW-02 (Figura 6.4), se presentaron agregados en sedimentos como bornita (60,88% de Cu), covelita (65,08% de Cu), galena (86,08% de Pb), pirita (54,27% de S), baritina (66,47% de Ba), hematita/magnetita (73,9% de Fe), Sr_baritina (65,54% de Ba), entre otros.

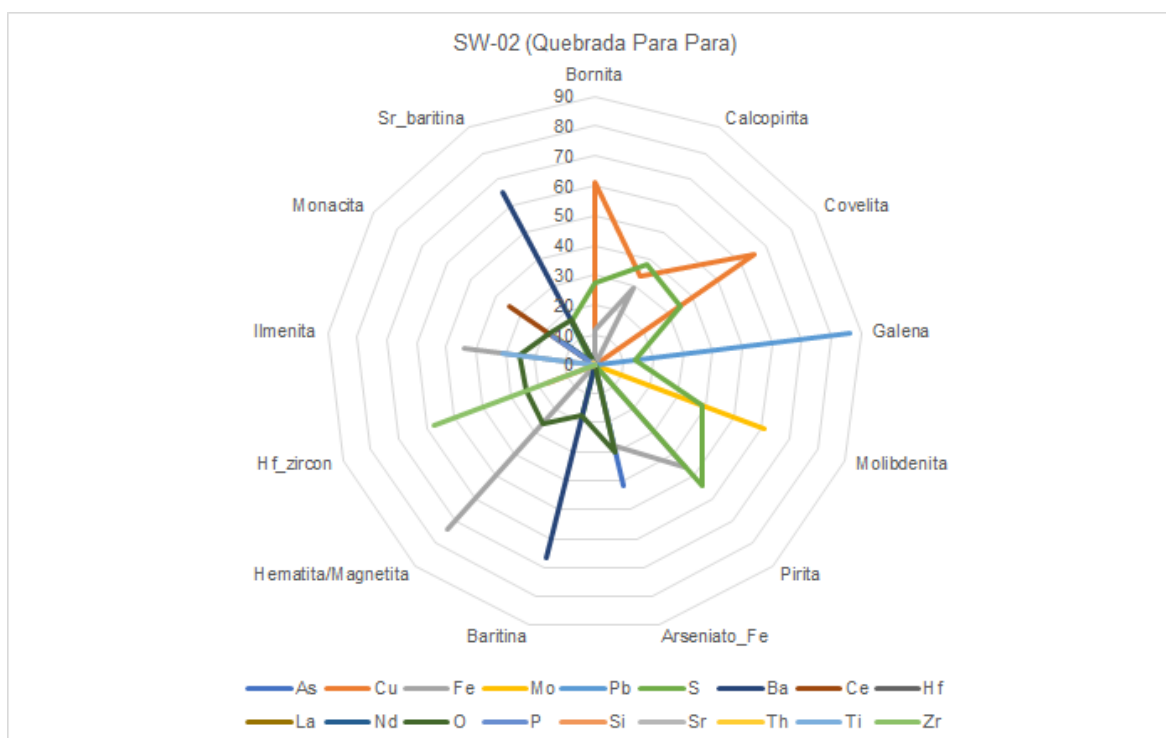


Figura 6.53. Análisis mineralógico por MEB en sedimentos en la microcuenca Chacote

6.2.3. Efluente y Agua residual industrial

6.2.3.1. Comparación con los LMP 2010

El efluente SP-03, en marzo 2023, registró un pH ácido (2,62 unidades de pH) además de concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre, zinc y hierro disueltos que superaron los LMP 2010 mientras que las concentraciones totales de mercurio y plomo estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de análisis del laboratorio. Asimismo, los valores de conductividad eléctrica y sulfatos fueron de 4830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 4730,7 mg/L respectivamente (Tabla 6.14).

**Tabla 6.14.** Valores de parámetros evaluados en el efluente SP-03 en la microcuenca Chacote (zona 1) en marzo de 2023

Código del laboratorio		LMP para efluentes minero - metalúrgicos	M-23-10036
Cuerpo de agua			Efluente
Código del punto de muestreo		Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM	SP-03
Fecha de muestreo			01/03/23
Hora de muestreo			Marzo
N.º de informe de ensayo			13:30
Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	
pH	Unidad de pH	6-9	2,2
Conductividad eléctrica	mg/L	-	4830
Sulfatos	mg/L	-	4730,7
Arsénico total	mg/L	0,1	5,1740
Cadmio total	mg/L	0,05	0,16083
Cobre total	mg/L	0,5	29,0117
Mercurio total	mg/L	0,002	<0,00010
Plomo total	mg/L	0,2	<0,0010
Zinc total	mg/L	1,5	14,0598
Hierro disuelto	mg/L	2	1 085,147
Valor que superó o estuvo fuera del rango LMP 2010			

6.2.3.2. Descripción de los resultados de agua residual industrial

Los puntos de agua residual industrial evaluados en abril y mayo 2023 registraron pH ácido con valores altos de conductividades eléctricas (6040 μ S/cm - 13400 μ S/cm) y sulfatos (4230,2 mg/L – 7101,5 mg/L); además de concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre, zinc y de hierro disuelto mientras que las concentraciones totales de mercurio y plomo estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de análisis del laboratorio. (Tabla 6.15).

Tabla 6.15. Valores de parámetros evaluados en los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023

Código del laboratorio		M-23-19397	M-23-19398	M-23-22595
Cuerpo de agua		Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua
Código del punto de muestreo		ARI-9	ARI-10	ARI-10*
Fecha de muestreo		14/04/23	14/04/23	02/05/23
Hora de muestreo		Abril	Abril	Mayo
N.º de informe de ensayo		14:45	15:10	10:45
Parámetro	Unidad	IE-23-6885	IE-23-6885	IE-23-8103
pH	Unidad de pH	2,11	2,05	fuera de rango
Conductividad eléctrica	mg/L	6040	8000	13400
Sulfatos	mg/L	4230,2	5220,0	7101,5
Arsénico total	mg/L	7,0630	8,9291	10,6019
Cadmio total	mg/L	0,57030	0,83090	0,69430
Cobre total	mg/L	43,6976	65,4759	94,9412
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Plomo total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Zinc total	mg/L	17,2944	23,3846	33,0707
Hierro disuelto	mg/L	1065,774	1347,514	3 117,463



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.2.3.3. Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, los puntos de agua residual industrial, evaluados en abril y mayo de 2023 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 150 meq/L (puntos ARI-9 y ARI-10) (Figura 6.54).

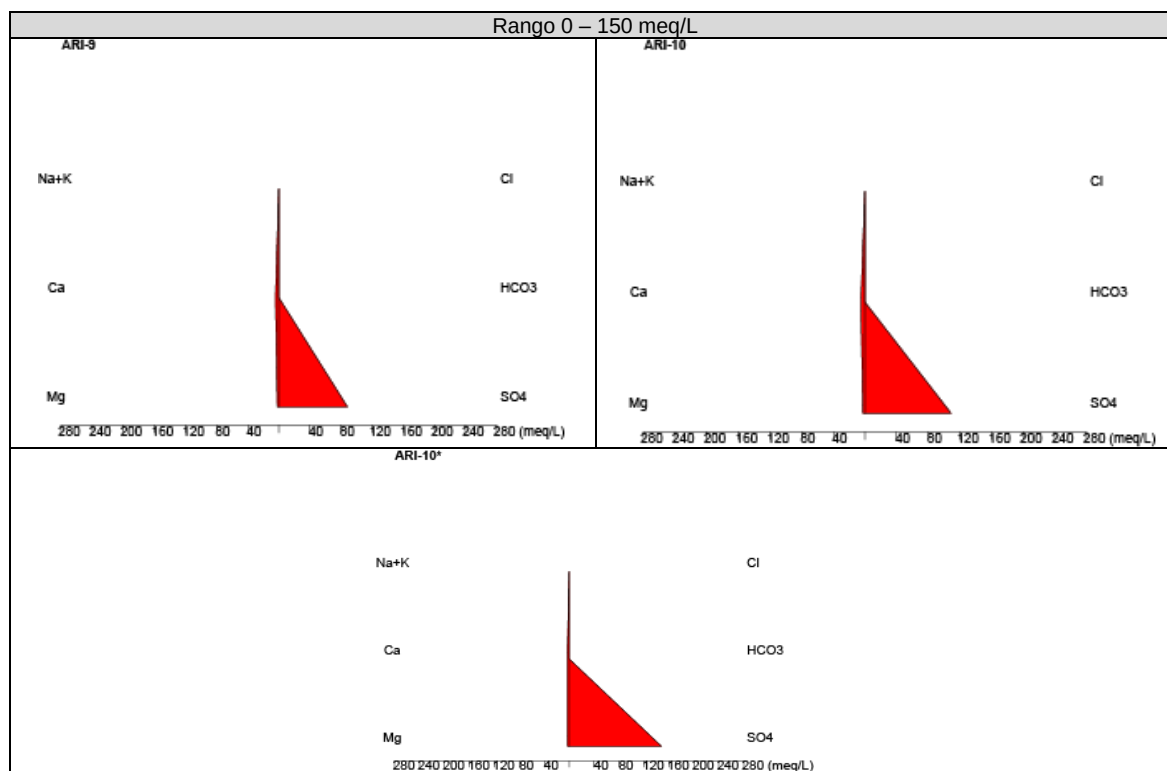


Figura 6.54. Diagramas de Stiff de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023

Según el diagrama de Ficklin, los puntos de agua residual industrial evaluados en abril 2023 (ARI-9 y ARI-10) se clasificaron como «pH altamente ácido» y «alto contenido de metales» (Figura 6.55).

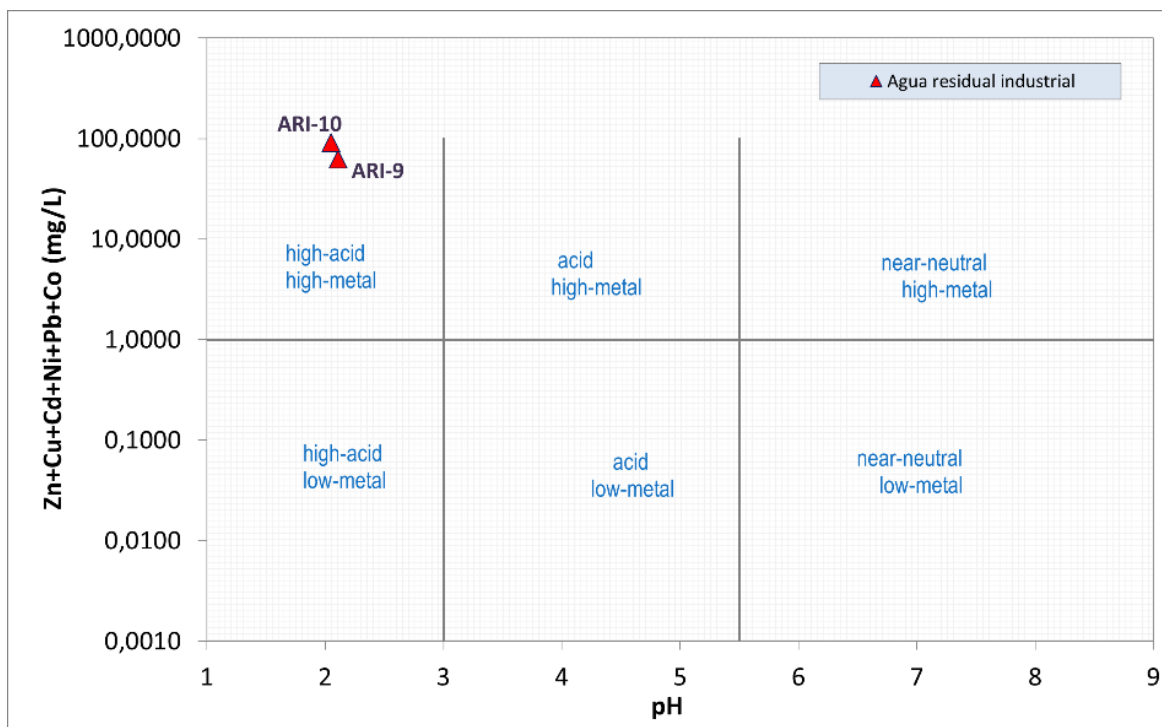


Figura 6.55. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

6.2.4. Comunidades hidrobiológicas

En esta zona, se evaluó 1 punto ubicado en la quebrada “Para Para”, colectándose 1 punto de perifiton y 1 punto de macroinvertebrados bentónicos. A continuación, se describen los resultados de cada comunidad evaluada en esta zona:

6.2.4.1. Perifiton

El perifiton en esta zona representado por el punto SW-02 estuvo conformado por 1 taxón, donde el 100 % corresponde a las microalgas; el detalle de este resultado se muestra en el reporte de resultados RR-015-2022-STEC (Anexo 3).

Microalgas

En esta zona está representado por el punto SW-02, donde se registró una densidad de 150 organismos/cm² y una riqueza de un taxón representado por *Microthamnion* sp del phylum Bacillariophyta.

Microorganismos

En la zona no se registraron microorganismos.

6.2.4.2. Macroinvertebrados bentónicos

A continuación, se detalla la dinámica y distribución de los macroinvertebrados bentónicos.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

a. Composición, densidad y riqueza

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo conformada por 3 taxones, representados por 1 phyla, 2 clases, 2 órdenes y 3 familias. El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo 3.

En esta zona representado por el punto SW-02 se registró una densidad de 14 Individuos/0,27m² y riqueza de 3 taxones, prevaleciendo el taxón *Cricotopus* sp. del orden Díptera y el taxón *Isotomatidae* ND del orden Collembola.

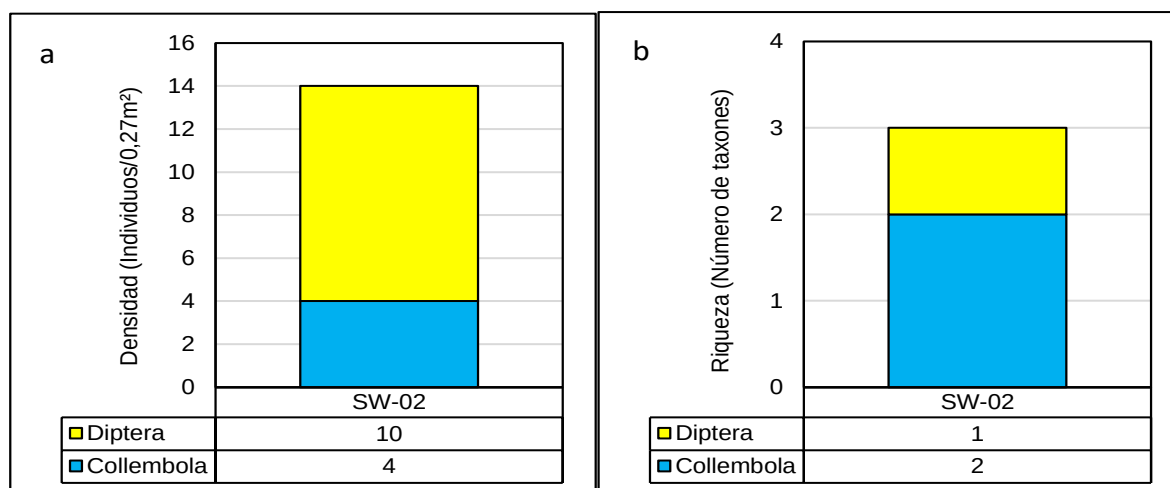


Figura 6.56. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico en la quebrada Para Para.

b. Índices de diversidad alfa

En la Tabla 6.16, se presentan los resultados por punto de muestreo de los índices de diversidad alfa: diversidad verdadera N1, dominancia de Simpson (λ) y equidad de Pielou (J').

La composición y distribución de estos individuos está representado por una diversidad verdadera (N1) de 2,12 especies efectivas, reflejando un moderado valor de equidad de Pielou (J' :0,69) y un moderado valor de dominancia de Simpson (λ : 0,56), lo que indica una moderada distribución y dominancia del ensamble de macroinvertebrados bentónicos.

Tabla 6.16. Índices de diversidad alfa de los macroinvertebrados bentónicos

Cuerpo de agua	SW-02
Punto de muestreo	Quebrada Para Para
Equidad de Pielou (J')	0,69
Dominancia de Simpson (λ)	0,56
Diversidad verdadera (N1)	2,12

c. Resultados del protocolo CERA-S modificado

En la Tabla 6.17, se observan los resultados obtenidos del análisis de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado usado referencialmente para la obtención de la calidad ecológica, según el cual se obtuvo lo siguiente:



En la calidad hidromorfológica, se obtuvo una moderada calidad. Esta evaluación es importante porque permite medir el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente.

En la calidad biológica (ABI), se obtuvo pésima calidad. Esta evaluación nos permite medir el grado de impacto en el cuerpo de agua mediante la tolerancia o sensibilidad de taxones de macroinvertebrados.

Finalmente, la calidad ecológica, obtenida mediante una recombinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica, se registró una pésima calidad. Esta evaluación es importante porque permite hacer una medición integral del estado en el que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del cuerpo de agua como del ambiente acuático.

Tabla 6.17. Resultados de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Calidad biológica (ABI)	Calidad hidromorfológicas	Estado ecológico
Río Chacote	SW-02	2 (Pésima)	25 (Moderada)	Pésima

6.3. Objetivo específico 3: Determinar la influencia de los tajos Cayhua y Cayhua Norte, y aguas de contacto sobre el estado del bofedal “Para Para” (suelo - flora), comunidades hidrobiológicas herpetofauna asociada.

En esta sección se presenta los resultados de agua superficial, agua residual industrial, comunidades hidrobiológicas, herpetofauna, flora (tejido vegetal) componente minero, litogeoquímica, suelo, análisis fotogramétrico y prospección geofísica en abril y mayo de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1).

6.3.1. Agua superficial

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de agua superficial en abril de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1); así como su comparación con los ECA para agua 2008 y 2017.

6.3.1.1 Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008)

En abril 2023, el punto evaluado en el bofedal Para (QBPar1) presentó pH cercano a la neutralidad (6,55 unidades de pH) y concentraciones totales de aluminio, cadmio, hierro y manganeso que no superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales. En mayo 2023, el punto evaluado en la quebrada Yanacocha (QYan-1) registró un valor de pH ácido (3,62 unidades de pH) y concentraciones totales de aluminio, cadmio, hierro y manganeso que superaron los valores establecidos en los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.57).

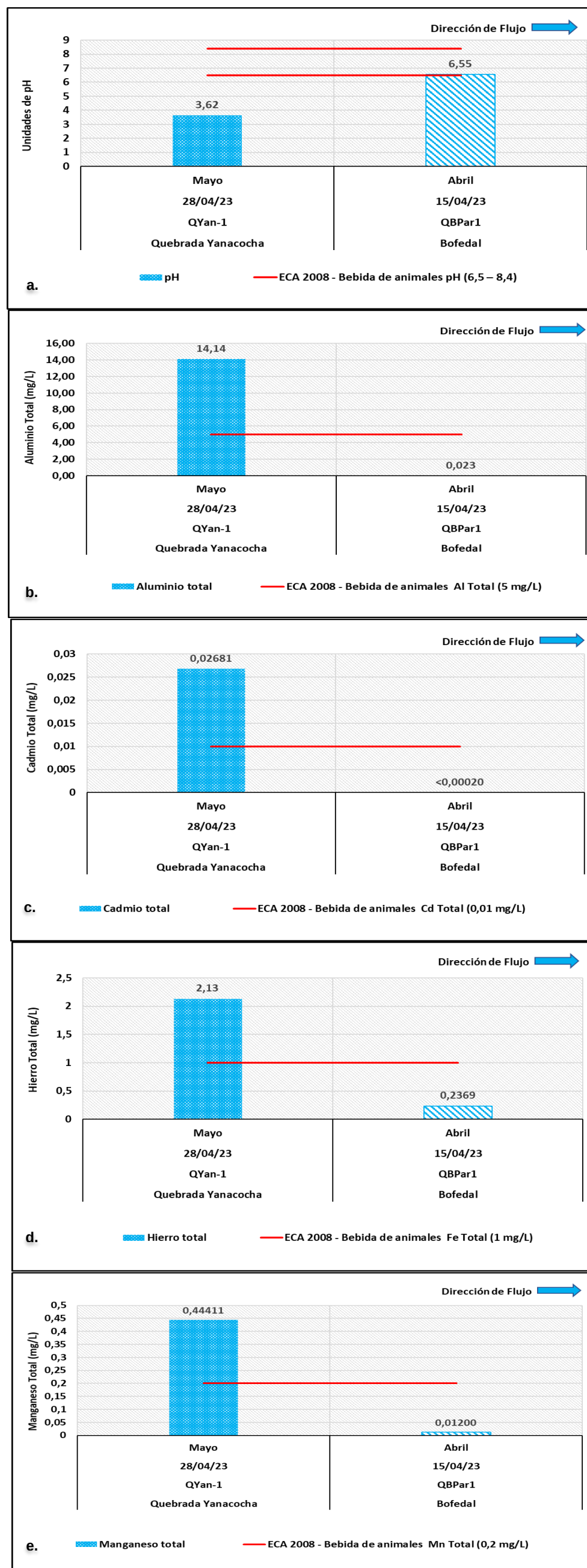


Figura 6.57. Valores de **a.** pH y concentraciones totales de **b.** aluminio, **c.** cadmio **d.** hierro y **e.** manganeso en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2008



6.3.1.2 Comparación con la norma vigente (ECA 2017)

En abril 2023, el punto evaluado en el bofedal Para (QBPar1) presentó pH cercano a la neutralidad (6,55 unidades de pH) y concentraciones totales de aluminio, cadmio y manganeso que no superaron los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2. En mayo 2023, el punto evaluado en la quebrada Yanacocha (QYan-1) registró un valor de pH ácido (3,62 unidades de pH) y concentraciones totales de aluminio, cadmio y manganeso que superaron los valores establecidos en los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat.D2 (Figura 6.58).

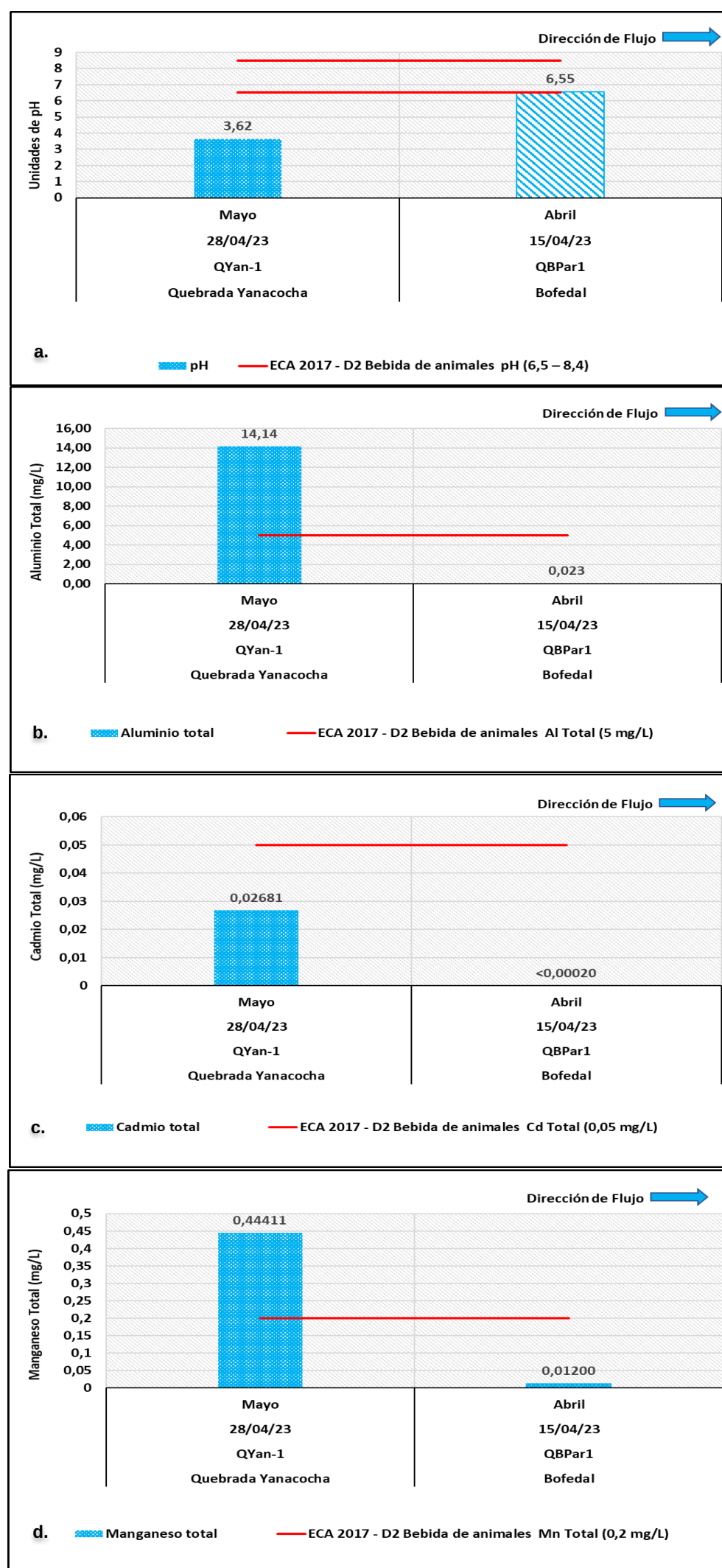


Figura 6.58. Valores de **a.** pH y concentraciones totales de **b.** aluminio, **c.** cadmio y **d.** manganeso en los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2017

6.3.1.3 Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, los puntos evaluados se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 1 meq/L en el bofedal Para (QBPar1) en abril 2023 y de 0 a 4 meq/L en la quebrada Yanacocha (QYan-1) en mayo 2023 (Figura 6.59).

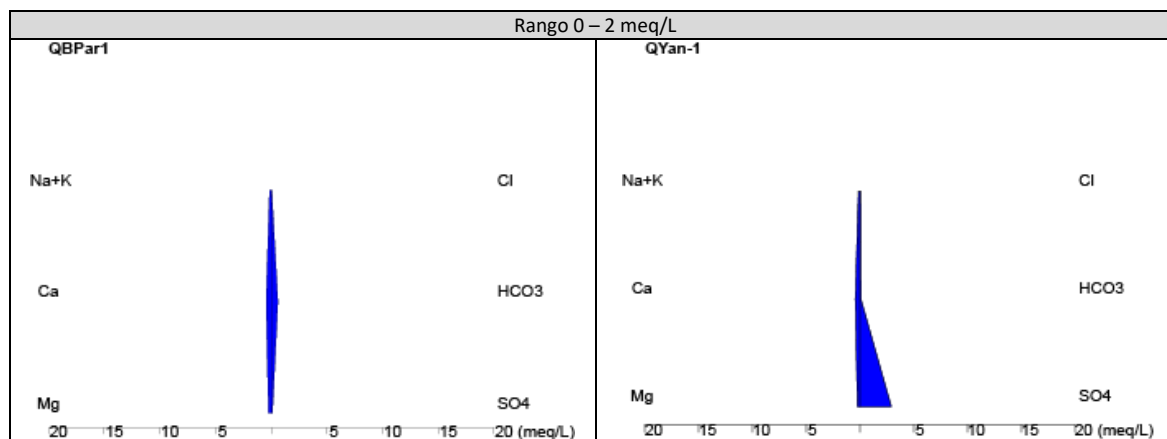


Figura 6.59. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023

Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, el punto evaluado en el bofedal Para (QBPar1) se clasificó como «pH cercano a la neutralidad» y «bajo contenido de metales» mientras que, en mayo 2023, el punto evaluado en la quebrada Yanacocha (QYan-1) se clasificó como «pH ácido» y «bajo contenido de metales» (Figura 6.60).

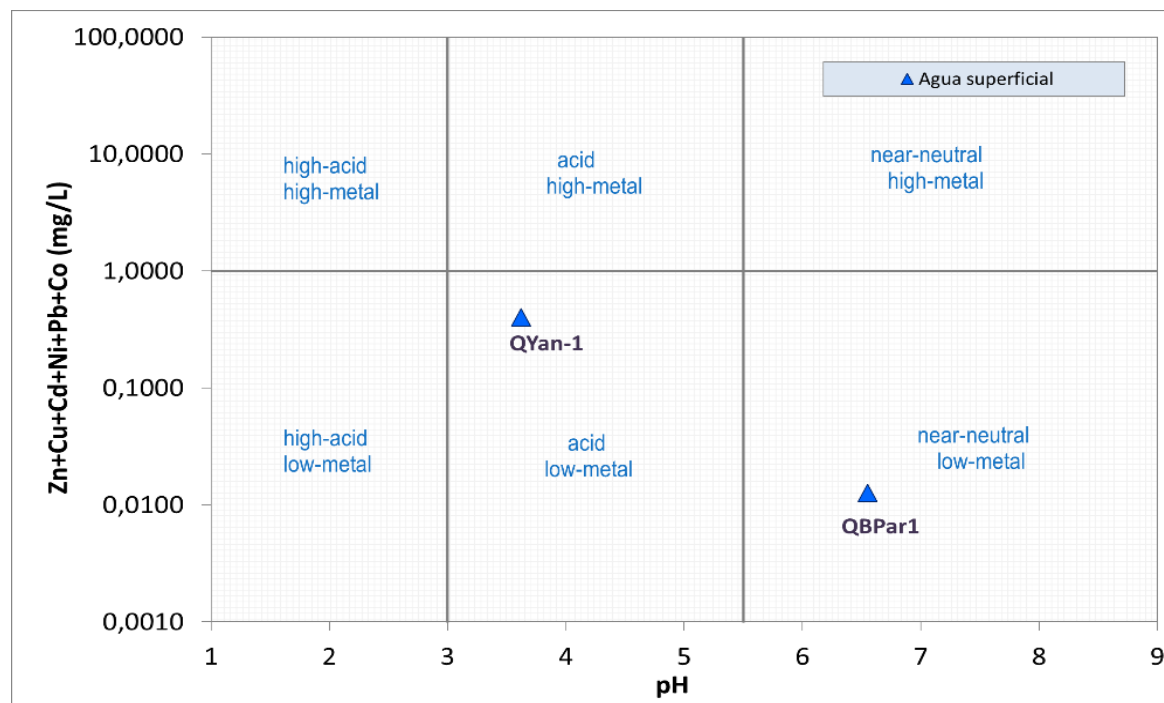


Figura 6.60. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril y mayo de 2023



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.3.2. Agua residual industrial

6.3.2.1 Descripción de los resultados de agua residual industrial

Los puntos de agua residual industrial registraron pH ácido con valores altos de conductividades eléctricas (725 μ S/cm - 11132 μ S/cm) y sulfatos (346,4 mg/L – 12590,1 mg/L); además de concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre y zinc y de hierro disuelto mientras que las concentraciones totales de mercurio y plomo estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de análisis del laboratorio. (Tabla 6.18).

Tabla 6.18. Valores de parámetros evaluados en los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en marzo y abril de 2023

Cuerpo de agua		Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua	Canal
Código del punto de muestreo		ARI-8	ARI-7*	ARI-7	CA-PAR-01
Fecha de muestreo		14/04/23	01/03/23	14/04/23	15/04/23
Hora de muestreo		Abril	Marzo	Abril	Abril
N.º de informe de ensayo		11:30	12:50	12:20	11:35
Parámetro	Unidad	IE-23-6885	IE-23-3283	IE-23-6885	IE-23-6886
pH**	Unidad de pH	--	--	2,25	3,19
Conductividad eléctrica**	μ S/cm	8840	11132	5400	725
Sulfatos	mg/L	7196,0	12590,1	3053,0	346,4
Arsénico total	mg/L	21,4112	8,8506	<0,0010	0,0862
Cadmio total	mg/L	0,22585	0,59960	0,27830	0,03803
Cobre total	mg/L	299,4848	149,1850	32,7042	2,9663
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Plomo total	mg/L	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Zinc total	mg/L	17,1038	27,0654	12,1361	1,1250
Hierro disuelto	mg/L	1494,744	2 526,827	646,428	39,365

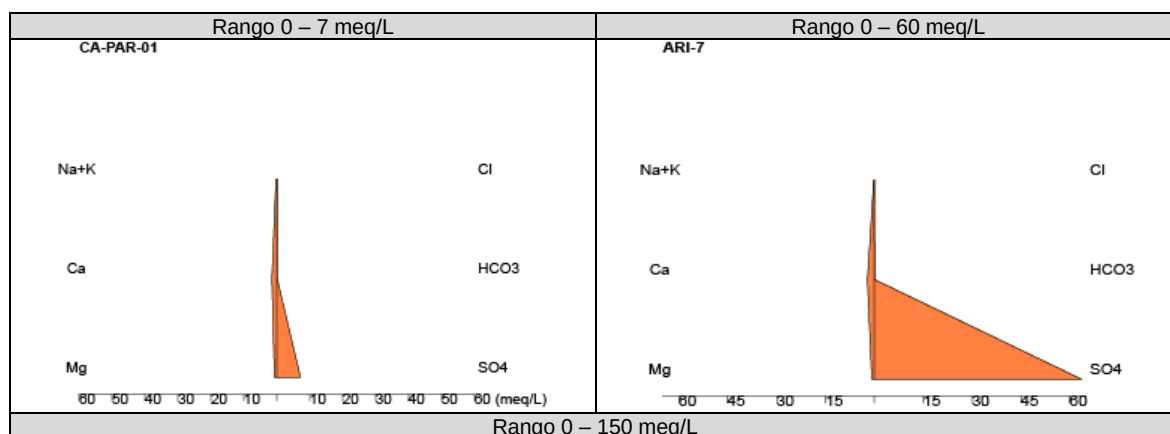
*En el mes de marzo 2023 solo se tomó metales totales para el análisis de laboratorio en este punto

**Dato de campo

(--) Fuera de rango de medida del equipo, que es de 0,00 a 14,00 unidades de pH

6.3.2.2 Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, los puntos evaluados en abril 2023 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 7 meq/L en el punto CA-PAR-01, de 0 a 60 meq/L en el punto ARI-7 y de 0 a 150 meq/L en el punto ARI-8 (Figura 6.61).



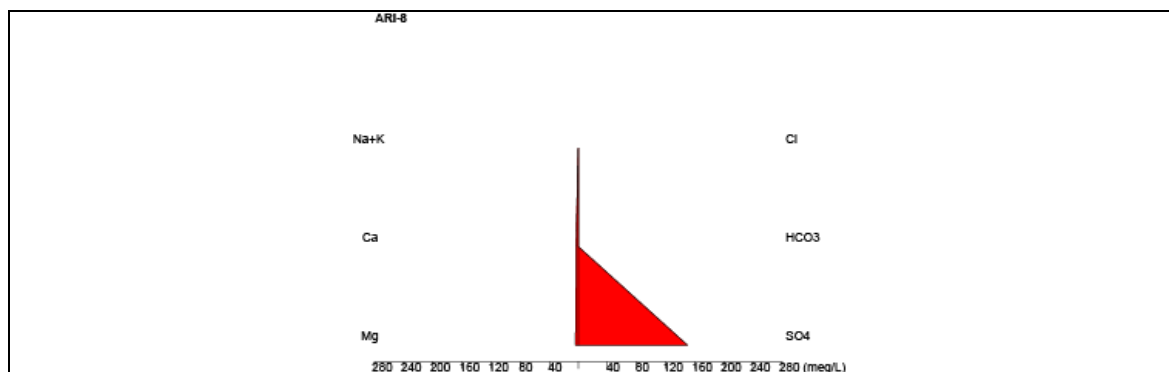


Figura 6.61. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, el punto de agua residual industrial CA-PAR-01 se clasificó como «pH ácido» y «alto contenido de metales» mientras que el punto ARI-7 se clasificó como «pH altamente ácido» y «alto contenido de metales» (Figura 6.62).

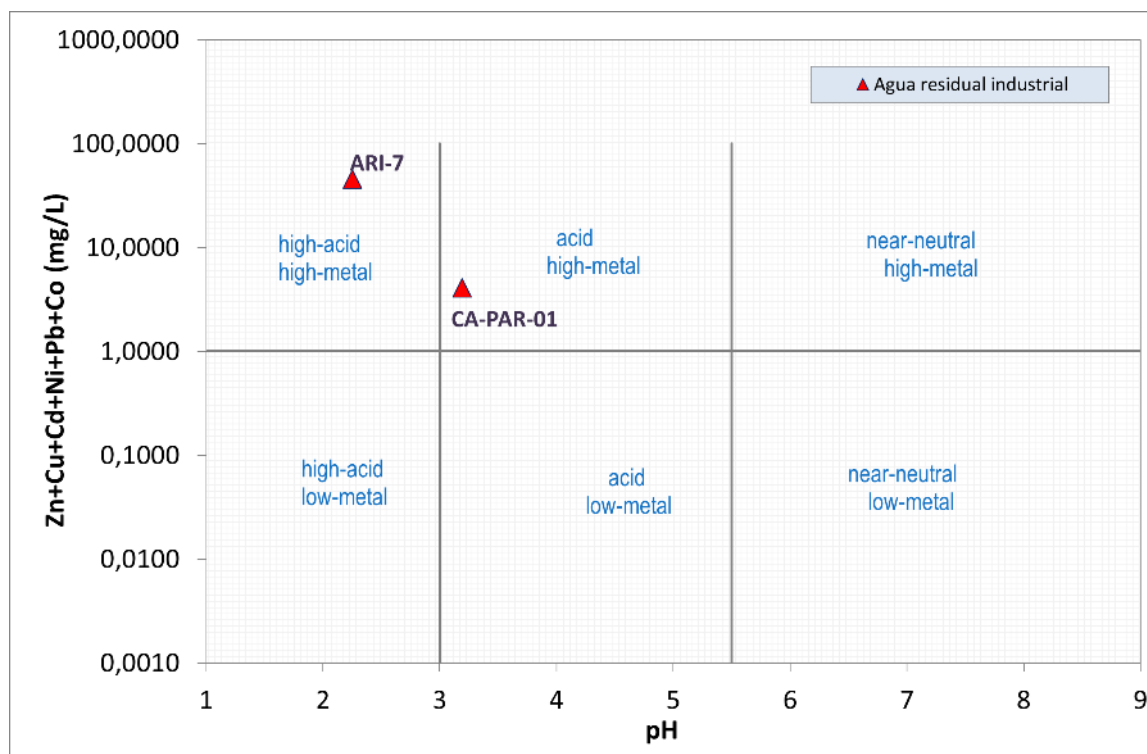


Figura 6.62. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Chacote (zona 1) en abril de 2023

6.3.3. Sedimento

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de sedimento en abril y mayo de 2023 en la microcuenca Chacote (zona 1). Dentro de estos resultados se realiza la comparación de manera referencial, con 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*) considerados para sedimentos de agua dulce



(CCME, 2012), así como en análisis de parámetros fisicoquímicos (pH y conductividad) y análisis mineralógico por DRX.

6.1.3.1 Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG

En la microcuenca Chacote (zona 1) se evaluaron 2 puntos de muestreo de sedimento, QYan-1 y QBPar1. De acuerdo con los resultados, ambos puntos que excedieron (al menos en un parámetro) los valores de la guía canadiense de la calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática (*Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - CSQG*) de la guía canadiense de calidad ambiental (*Canadian Environmental Quality Guidelines – CEQG*).

De acuerdo con la Figura 6.63, las concentraciones de arsénico total y mercurio total superaron los valores referenciales PEL de la CEQG en los puntos QYan-1 y QBPar1; asimismo, la concentración de plomo total superó el valor referencial PEL de la CEQG en QYan-1. Por otro lado, metales totales como cadmio, cromo, cobre y zinc no superaron los valores referenciales ISQG o PEL de la CEQG en ambos puntos, así como plomo total en QBPar1.

6.1.3.2 Descripción de los parámetros fisicoquímicos

De acuerdo con los resultados de parámetros fisicoquímicos pH y conductividad eléctrica en sedimento (Figura 6.63.h y Figura 6.63.i), el punto QYan-1 presentó un pH ácido (5,94 unidades de pH) y una reducida conductividad (1,40 dS/cm).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

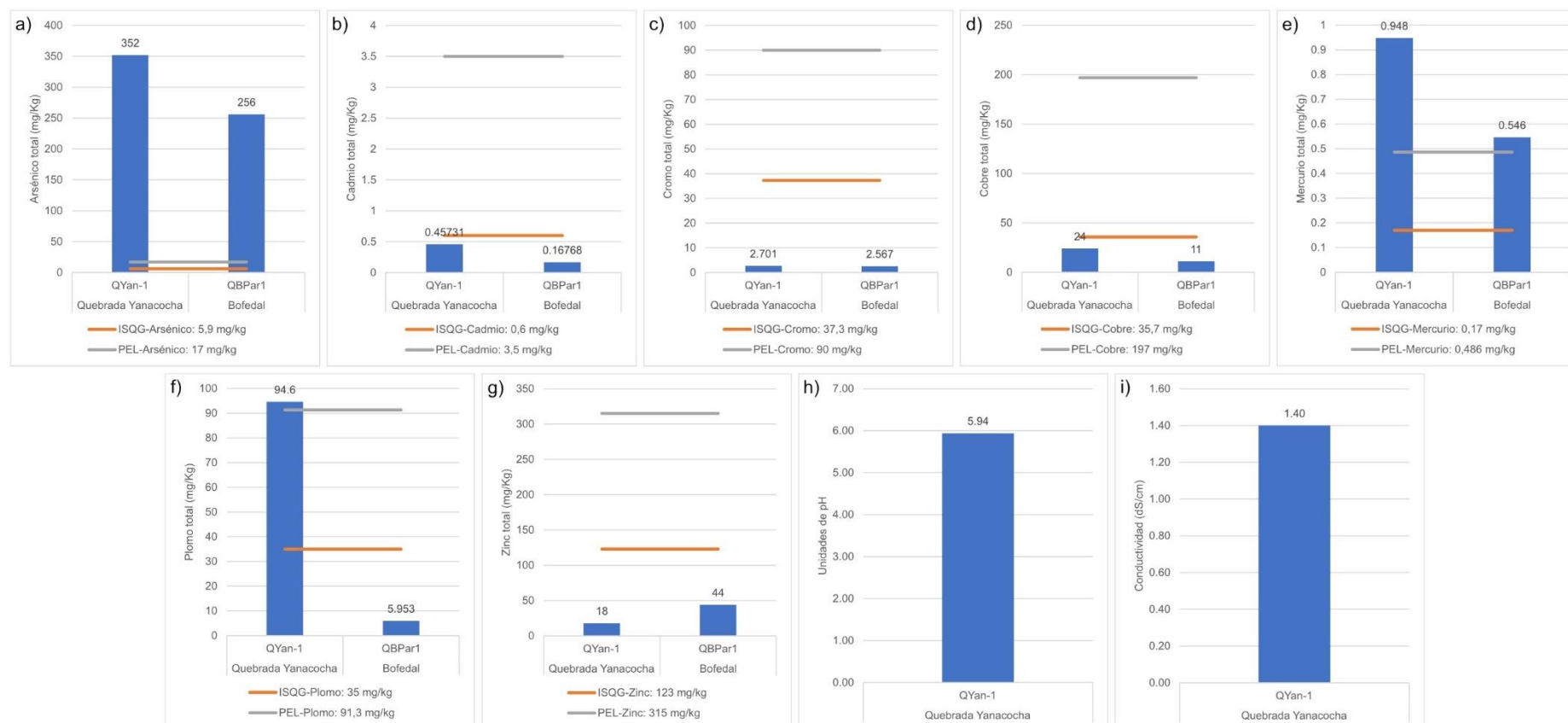


Figura 6.63. Concentraciones de metales en sedimento comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 3): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.1.3.3 Difracción de rayos X (DRX)

De acuerdo con el análisis mineralógico por DRX en el punto QYan-1 (Figura 6.64), las mayores concentraciones de minerales en la muestra de sedimento correspondieron a cuarzo con 41%, mica (muscovita) con 22%, alunita con 14%, pagioclasa (oligoclasa) con 10%, caolinita con 6%, entre otros.

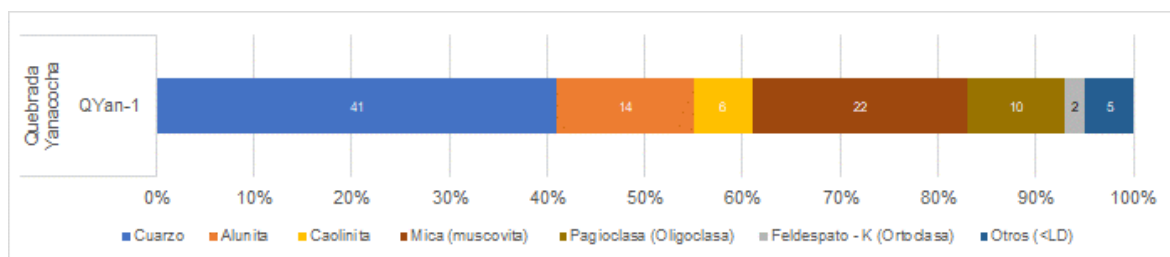


Figura 6.64. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 3)

6.3.4. Comunidades hidrobiológicas

En esta zona, se evaluaron 3 puntos distribuidos en el bofedal y la quebrada Yanacocha, colectándose un total de 3 puntos de perifiton y 3 puntos de macroinvertebrados bentónicos. A continuación, se describen los resultados de cada comunidad evaluada en esta zona:

6.3.4.1. Perifiton

El perifiton en esta zona estuvo conformado por 31 taxones, donde el 87 % corresponde a las microalgas y el 13 %, a los microorganismos; el detalle de estos resultados se muestra en el reporte de resultados RR-016-2022-STEC y RR-0xx-2022-STEC (Anexo 3). De esta manera, debido a las diferencias en los porcentajes mencionados, los resultados y las estadísticas descritas a continuación se centraron al análisis de las microalgas, mientras que, para el análisis de los microorganismos, solo se hizo una descripción.

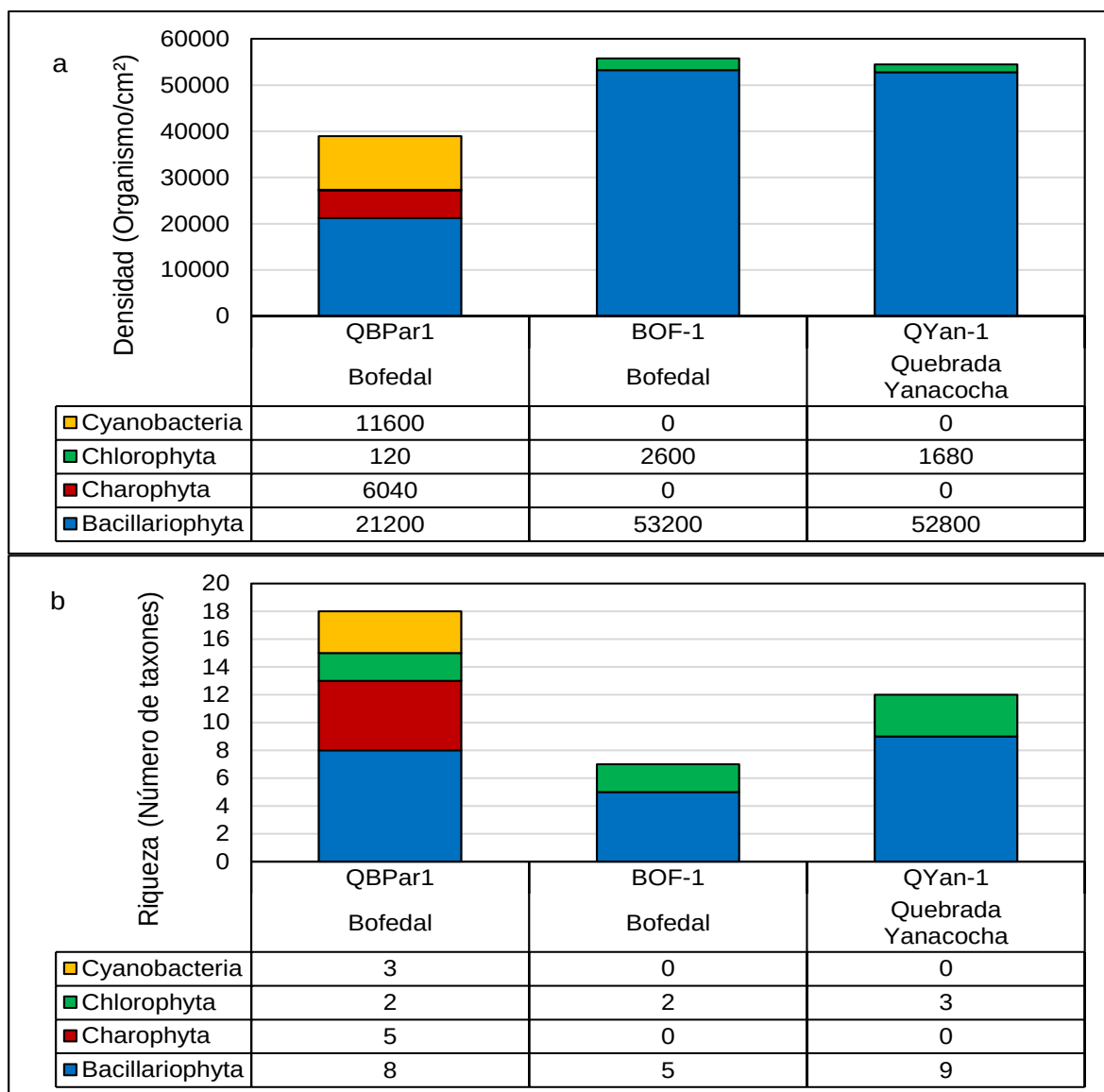
Microalgas

a. Composición, densidad y riqueza

Las microalgas estuvieron representadas por 27 taxones agrupados en 4 phylum, donde se destaca la mayor riqueza del phylum Bacillariophyta con 15 taxones.

En la Figura 6.65, se observa que los puntos BOF-1 y QYan-1 registraron las mayores densidades acumuladas de 55800 y 54480 organismos/cm² respectivamente, con respecto al punto QBPar1, con la dominancia del taxón *Eunotia cf exigua* del phylum Bacillariophyta; sin embargo, el punto QBPar1 registró mayor riqueza acumulada con 18 taxones con respecto a los puntos BOF-1 y QYan-1 que registraron 7 y 12 taxones respectivamente.

Es importante mencionar que el punto QBPar-1 registró el dominio de los taxones *Fragilaria capuccina* y *Anabaena* sp. de los phylum Bacillariophyta y Cyanobacteria respectivamente.

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**Figura 6.65.** a) Densidad y b) Riqueza de las microalgas a nivel de phylum taxonómico.**b. Índices de diversidad alfa**

En la Tabla 6.19, se presentan los resultados de los índices de diversidad alfa: diversidad verdadera N1, dominancia de Simpson (λ) y equidad de Pielou (J'), por punto de muestreo.

Se observa que los puntos QBPar1 y QYan-1 registraron los mayores valores de diversidad verdadera de 9,42 y 4,81 especies efectivas con respecto al punto BOF-1, esto se vio reflejado en moderados valores de equidad de Pielou (J : 0,78 y 0,63) y bajos valores de dominancia de Simpson (λ : 0,15 y 0,28), lo que indica que estos 2 puntos de muestreo presentaron una moderada distribución del ensamble de individuos y una baja dominancia de ciertos taxones en su distribución. Asimismo, el punto BOF-1 presentó un valor moderado de equidad de Pielou (J : 0,55) y dominancia de Simpson (λ : 0,51), lo que indica que la distribución del ensamble se está dando de manera moderada en conjunta con una moderada dominancia de ciertos taxones.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 6.19. Índices de diversidad alfa de las microalgas

Cuerpo de agua	Bofedal	Bofedal	Quebrada Yanacocha
Punto de muestreo	QBPar1	BOF-1	QYan-1
Equidad de Pielou (J')	0,78	0,55	0,63
Dominancia de Simpson (λ)	0,15	0,51	0,28
Diversidad Verdadera (N1)	9,42	2,94	4,81

Microorganismos

En esta zona la composición de microorganismos en el bofedal (QBPar-1 y BOF-1) y la quebrada Yanacocha (QYan-1) estuvo representada por 4 taxones, agrupada en 3 phyla, 3 clases, 3 órdenes, 4 familias y 4 géneros. Debido a su baja densidad y riqueza, los resultados de las métricas se presentan el Anexo 3.

6.3.4.2. Macroinvertebrados bentónicos

A continuación, se detalla la dinámica y distribución de los macroinvertebrados bentónicos.

a. Composición, densidad y riqueza

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos estuvo conformada por 26 taxones, representados por 2 phyla, 5 clases, 9 órdenes y 18 familias. El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo 3.

En la Figura 6.66, se observa que el punto BOF-1 registró la mayor densidad acumulada de 1212 Individuos/0,27m² con respecto a los puntos QBPar1 y QYan-1, registrando la dominancia del taxón *Cricotopus* sp. del orden Díptera; sin embargo, los puntos QBPar1 y QYan-1 registraron la mayor riqueza acumulada con 12 y 17 taxones con respecto al punto BOF-1 que registró 9 taxones.

Es importante mencionar que el punto QBPar-1 registró el dominio del taxón Haplotaxidae ND. del orden Lumbriculida, mientras que el punto QYan-1 registró el dominio de los taxones *Podonomus* sp y *Cricotopus* sp. del orden Díptera.

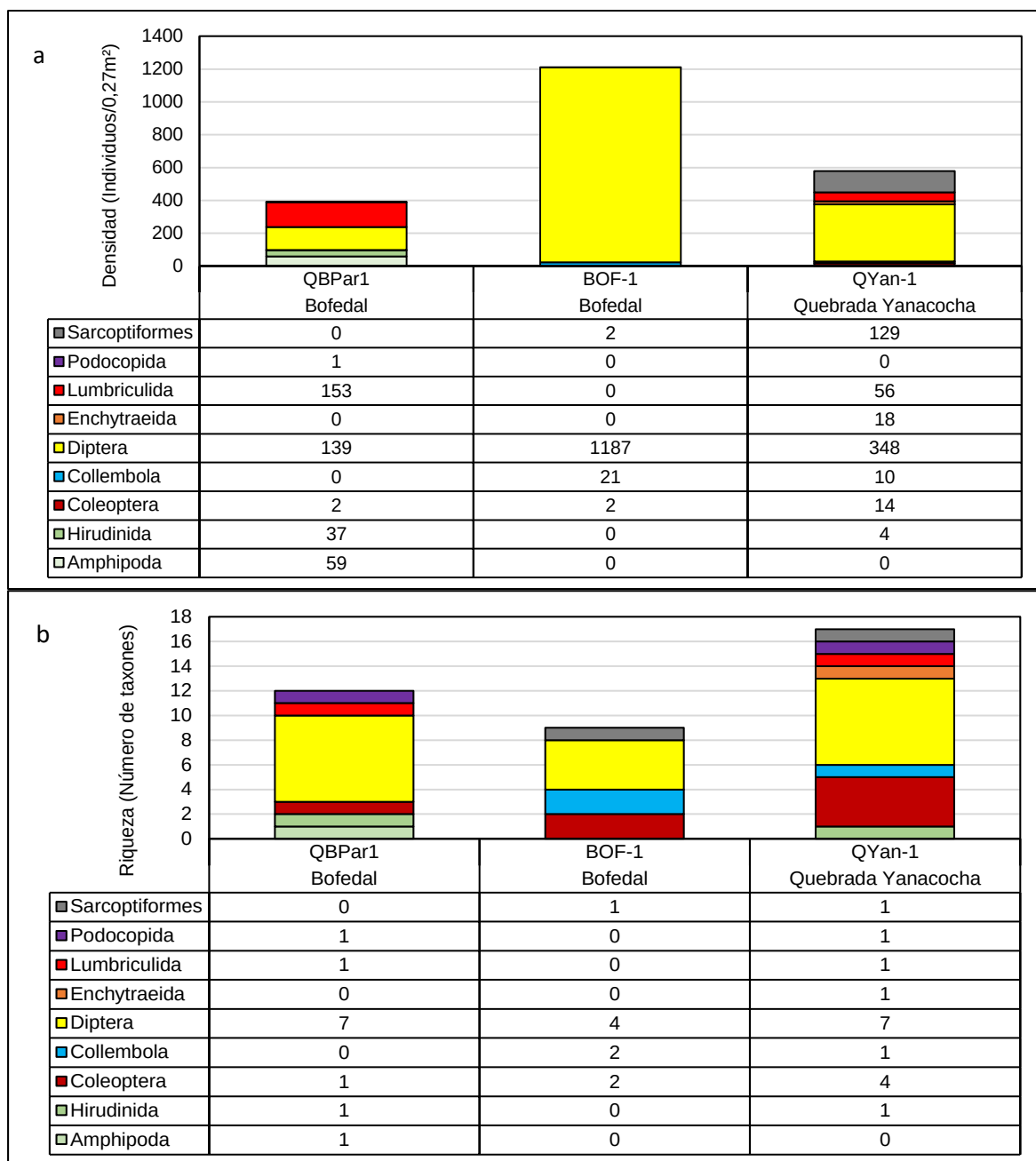
**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Figura 6.66. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico.

b. Índices de diversidad alfa

En la Tabla 6.20, se presentan los resultados por punto de muestreo de los índices de diversidad alfa: diversidad verdadera N1, dominancia de Simpson (λ) y equidad de Pielou (J').

Se observa que los puntos QBPar1 y QYan-1 registraron los mayores valores de diversidad verdadera de 4,68 y 6,27 especies efectivas con respecto al punto BOF-1, esto se vio reflejado en moderados valores de equidad de Pielou (J' : 0,62 y 0,68) y bajos valores de dominancia de Simpson (λ : 0,27 y 0,21), lo que indica que estos 2 puntos de muestreo

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

presentaron una moderada distribución del ensamble de individuos y una baja dominancia de ciertos taxones en su distribución. Asimismo, el punto BOF-1 presentó un bajo valor de equidad de Pielou (J : 0,07) y un alto valor de dominancia de Simpson (λ : 0,95), lo que indica que la distribución del ensamble se está dando de manera heterogénea en conjunta con una alta dominancia de ciertos taxones.

Tabla 6.20. Índices de diversidad alfa de los macroinvertebrados bentónicos

Cuerpo de agua	Bofedal	Bofedal	Quebrada Yanacocha
Punto de muestreo	QBPar1	BOF-1	QYan-1
Equidad de Pielou (J')	0,62	0,07	0,66
Dominancia de Simpson (λ)	0,27	0,95	0,21
Diversidad verdadera (N_1)	4,68	1,17	6,27

c. Resultados del protocolo CERA-S modificado

En la Tabla 6.21, se observan los resultados obtenidos del análisis de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado usado referencialmente para la obtención de la calidad ecológica, según el cual se obtuvo lo siguiente:

Pero antes de detallar los resultados es importante mencionar que para los puntos QBPar1 y BOF-1 no se calculó la calidad ecológica debido a que su ecosistema es de origen de bofedal por lo cual los criterios y características que se toman a consideración son para ecosistemas de ríos y quebradas, es por ello que solo se consideró el cálculo de la calidad ecológica para el punto QYan-1.

Se obtuvo mala calidad hidromorfológica en el punto QYan-1. Esta evaluación es importante porque permite medir el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente.

Se obtuvo buena calidad biológica (ABI) en el punto QYan-1. Esta evaluación nos permite medir el grado de impacto en el cuerpo de agua mediante la tolerancia o sensibilidad de taxones de macroinvertebrados.

Finalmente, la calidad ecológica, obtenida mediante una recombinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica, registrando mala calidad en el punto QYan-1. Esta evaluación es importante porque permite hacer una medición integral del estado en el que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del cuerpo de agua como del ambiente acuático.

Tabla 6.21. Resultados de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Calidad biológica (ABI)	Calidad hidromorfológica	Estado ecológico (CERA-S)
Bofedal	QBPar1	-	-	-
Bofedal	BOF-1	-	-	-
Quebrada Yanacocha	QYan-1	26 (Mala)	29 (Buena)	Mala

(-): No se calculó



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.3.5. Suelo

El suelo del bofedal “Para Para” se ubica en un paisaje de llanuras hidromórficas con pendientes de 2 % a 25 %. El bofedal está ubicado en la ladera y base de colinas moderadamente empinadas de rocas volcánicas. Las pendientes de estos suelos son ligeramente inclinadas en la base de la colina, y empinados a partir del tercio medio de la colina.

El material parental que dio origen a los suelos son los materiales orgánicos que se formaron sobre materiales de origen transportado (materiales fluvio-glaciares); El suelo es superficial y moderadamente profundos, con drenaje imperfecto a drenaje pobre, por lo que la napa freática se observó luego de 30 cm de profundidad. Los suelos presentaron materiales orgánicos en diversos grados de descomposición.

El desarrollo del suelo es incipiente presentando mayormente una secuencia Oi-Oe-C debido al régimen de temperatura de clima frío predominante de la zona que acumula la materia orgánica con una descomposición muy lenta, al estar ubicados por encima de los 3900 m s.n.m., con régimen humedad acuico y régimen de temperatura frío.

El uso actual es de terrenos hidromórficos con una vegetación típica de bofedal, sobre esta formación se ha observado (mediante observación de excretas de animales) que pastan animales domésticos y silvestres. Parte del bofedal, presenta posibles impactos por las actividades mineras en la zona noreste, en la cual se observó que aguas de contacto con pH ácidos y altos contenidos con sólidos en suspensión ingresaron al bofedal, cubriendo con sólidos que precipitaron sobre el suelo y causando erosión.

De acuerdo con el objetivo planteado y a la metodología de evaluación, a continuación, se presentan los datos de campo, los resultados de metales, salinidad, lixiviación por Shake Flask de metales, mineralogía, densidad aparente y la microfauna del suelo del bofedal con la presunta afectación, así como de la zona control (nivel de fondo).

Durante la evaluación del bofedal se registraron los datos de campo, tanto en el área (API) de la presunta afectación, así como en un área no afectada (control/nivel de fondo), algunos de los datos recopilados se detallan en la Tabla 6.22.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»

«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 6.22. Datos de campo de los suelos en el bofedal “Para Para”

N.º	Área /zona	Muestra /punto	Capa u Horiz.	Prof.	Uso actual	Paisaje	Pendiente	Material parental	Estructura	Color	Consistencia	Observaciones			
				(m)						Húmedo	Húmedo				
1	API Para Para	SUC1	--	0,20	Pastos (Bofedal)	Llanura hidromórfica	8 - 15 %	Orgánico	Masivo	10YR 6/6	Muy friable, adhesivo y muy fluido - glutinoso	Material de textura fina cubrió el suelo y se mezcló con el material orgánico			
2		SUC2	--	0,20			8 - 15 %			10YR 6/6 - 10YR 5/8					
3		SUC3	--	0,20			8 - 15 %			10YR 6/6					
4		SUC4	--	0,20			8 - 15 %			10YR 6/6					
5		SUC5	--	0,20			8 - 15 %			10YR 6/6					
6		SUC6	--	0,20			8 - 15 %			10YR 6/6					
7		SUC7	--	0,20			8 - 15 %			10YR 2/1 - 10YR 6/6					
8		SUC8	--	0,20			8 - 15 %			10YR 6/6					
9		SUC9	--	0,20			8 - 15 %			10YR 6/6					
10		CAL1-1	C	0 - 5			8 - 15 %			10YR 6/6					
11		-	Oi1	5 - 30			8 - 15 %		Material orgánico	10YR 3/6	Muy friable no adhesivo	Material orgánico ligera y moderadamente descompuesto			
12		-	Oi2	30 - 50			8 - 15 %			10YR 4/4					
13		CAL1-2	Oe	50 – 60			8 - 15 %			10YR 3/3					
14	Control	SUC10	--	0,20		Piedemonte / ladera de montaña (Llanura hidromórfica)	8 - 15 % / 15 - 25 %	Orgánico	Material orgánico	10YR 2/1					
15		SUC11	--	0,20			8 - 15 % / 15 - 25 %			10YR 2/1					
16		SUC12	--	0,20			8 - 15 % / 15 - 25 %			10YR 2/1					
17		SUC13	--	0,20		Llanura hidromórfica				fluvioglacial			Masivo	10YR 3/4 - 10YR 3/2	
18		SUC14	--	0,20										8 - 15 % / 15 - 25 %	10YR 2/1 - 10YR 3/4
19		CAL2-1	Oi	0 – 14										8 - 15 % / 15 - 25 %	10YR 2/2
20		CAL2-2	Oe	14 – 22										8 - 15 % / 15 - 25 %	10YR 3/2
21		CAL2-3	C	22 – 30				8 - 15 % / 15 - 25 %			Muy friable ligeramente adhesivo				
22		SUC15	--	0,20				8 - 15 % / 15 - 25 %	Orgánico		Material orgánico			10YR 2/1	Muy friable no adhesivo
23		SUC16	--	0,20				8 - 15 % / 15 - 25 %						10YR 2/1	

Nota: Para ver otros datos de campo, ver el documento RC-032-2023-STEC en el Anexo N.º x.x

Hz: Horizonte o capa

Prof.: Profundidad



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.3.5.1. Caracterización y análisis de salinidad del suelo

En la calicata CAL1 evaluada en la parte afectada del bofedal “Para Para” (API “Para Para”), se observó que el perfil de suelo (hasta 0.60 m de profundidad) presentó una secuencia de horizontes C-Oi1-Oi2-Oe-W (Figura 6.51) de origen orgánico, el cual se caracterizó por tener una capa que cubrió el suelo orgánico con un material de arrastre por escorrentía reciente de color amarillo parduzco (10YR 6/6) y de textura franco limoso (capa C), seguido de capas orgánicas, con grados de descomposición ligera (Oi) y moderada (Oe), y presencia de la napa freática (W) (Figura 6.6). El pH en pasta saturada fue de ultra ácido en la capa superficial a extremadamente ácido en la capa Oe (Figura 6.7a) y una baja salinidad (en el extracto de saturación) que descende en profundidad (Figura 6.7b); el contenido de materia orgánica fue de medio en la capa C a muy alto en la capa Oe (Figura 6.9). Libre de carbonatos en todas las muestras. Cabe señalar que, la clase textural, valores de pH y contenidos de materia orgánica de la muestra compuesta superficial CUSC-a fueron similares a la muestra de la capa C (muestra CAL1-1) de la calicata CAL1, por otra parte, la salinidad en esta misma muestra fue de 3,81 dS/m, siendo el mayor valor de todo el bofedal evaluado.

Con relación a su fertilidad (determinado en base al porcentaje de materia orgánica y concentraciones de fósforo y potasio soluble) esta parte del bofedal presentó un nivel bajo en la parte superficial y medio en profundidad (en la capa Oe), debido a que presentó bajos contenidos de fósforo y potasio disponible en la parte superficial del bofedal del API.



Figura 6.67. Calicata CAL1: **a)** Vista panorámica y ubicación de la calicata, **b)** Detalle de la capa «C» y horizontes «Oi1» y «Oi2», **c)** Perfil del suelo con sus horizontes y capas, y **d)** Muestras de cada capa u horizonte

Respecto a la calicata CAL2 evaluada en el bofedal “Para Para” sin afectación (control/nivel de fondo), a diferencia de la calicata CAL1 evaluada en el API, presentó un perfil de suelo (hasta 0,55 m de profundidad) con una secuencia de horizontes Oi-Oe-C-W (Figura 6.6), el cual se caracterizó por tener materiales orgánicos de colores negros y pardos muy oscuros (10YR 2/2) con un grado de descomposición ligera en la capa superficial (Oi) y materiales orgánicos y minerales de texturas franco-arenosas en las capas subsuperficiales (Oe y C) (Figura 6.7). El pH del suelo en pasta saturada del perfil del suelo fue de moderadamente ácido en la capa superficial a fuertemente ácido en profundidad (Figura 6.8a), no salino con valores < 0,90 dS/m disminuyendo en profundidad hasta 0,24 dS/m (en el extracto de saturación) (Figura 6.8b). Los porcentajes de materia orgánica en las capas superiores fueron muy altos (hasta 37,73 %), disminuyendo en profundidad hasta 2,44 % (contenido de nivel medio) (Figura 6.9). Libre de carbonatos en todas las muestras. Cabe señalar que, la clase textural, valores de pH, conductividad, así como los contenidos de materia orgánica de la muestra compuesta superficial CUSC-b, fueron similares a la muestra de la capa Oi (muestra CAL2-1) de la calicata CAL1.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Con relación a su fertilidad (determinado en base al porcentaje de materia orgánica y concentraciones de fósforo y potasio soluble) esta parte del bofedal presentó un nivel alto de fertilidad en la parte superficial y de medio a bajo en profundidad; esta alta fertilidad de la parte superficial se debe a los altos contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio de esta parte del bofedal respecto al API.



Figura 6.68. Calicata CAL2: **a)** Vista panorámica y ubicación de la calicata, **b)** Perfil del suelo con sus horizontes y capas, y **c)** Detalle de la capa «C1 y C2», donde se observó gravas y gravillas en un 80%, depósitos de materiales fluvioglaciares, y **d)** Muestras de cada capa

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

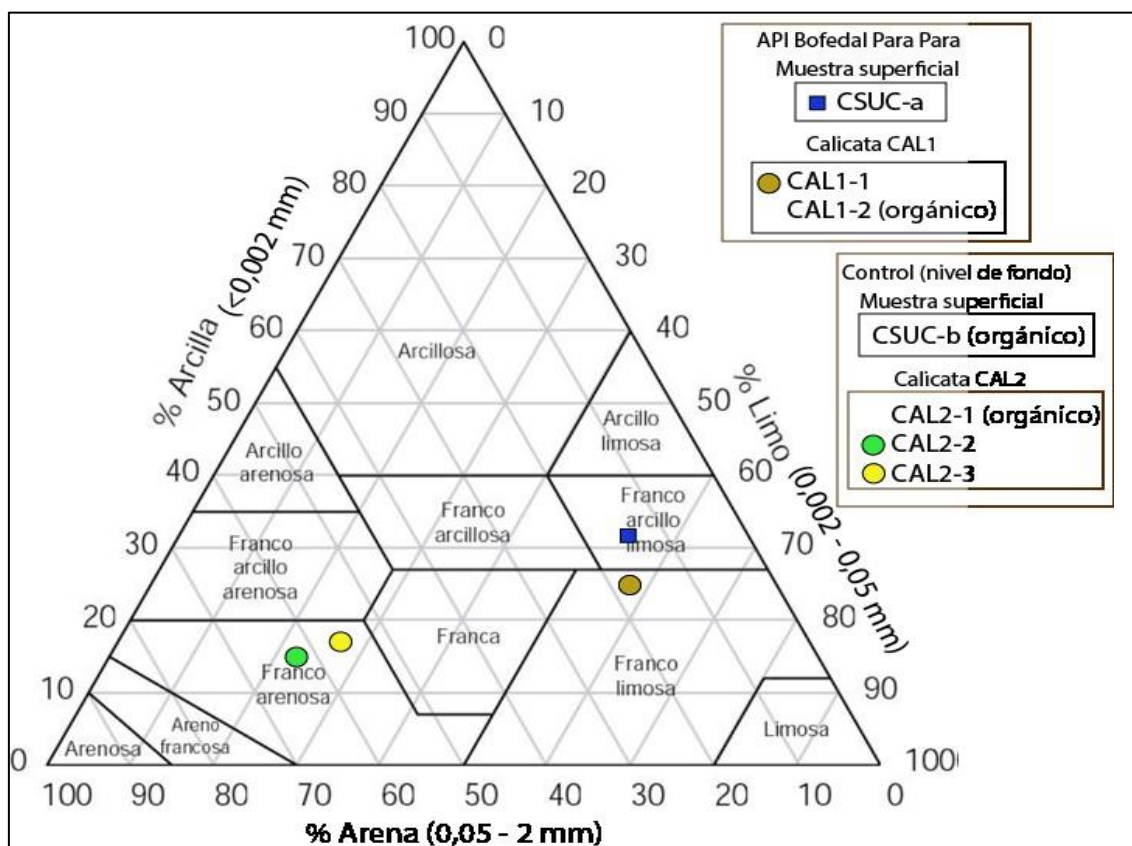


Figura 6.69. Resultados de la clase textural en los puntos superficiales y en los perfiles de calicatas CAL1 y CAL2

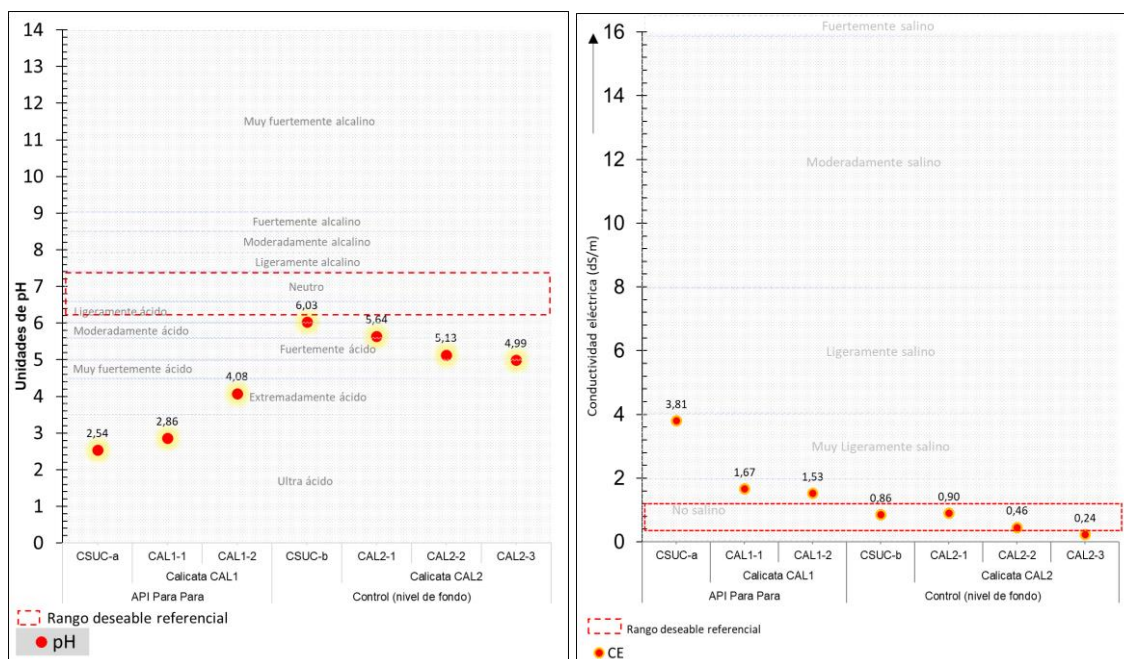


Figura 6.70. a) Resultados de pH y, **b)** Conductividad eléctrica en los puntos superficiales y en el perfil de suelo del API “Para Para” (CAL1) y suelo control (CAL2)



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

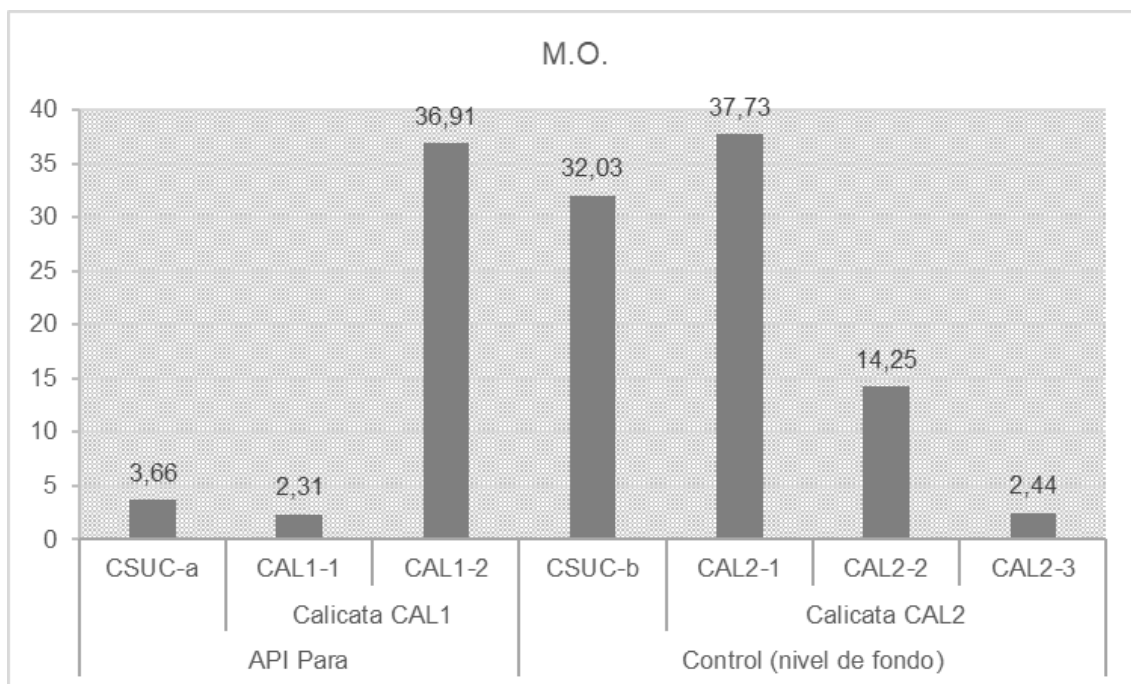


Figura 6.71. Contenidos de materia orgánica del bofedal “Para Para” en el API y suelo control

En la Tabla 6.23 se presenta la distribución de cationes intercambiables del suelo del API y suelo control, los mismos que indicaron que la distribución de los cationes cambiabiles en el suelo del API está altamente desequilibrada en relación con la saturación de cationes «ideal»; asimismo, la distribución de cationes en el suelo control presentaron una mejor distribución las cuales se acercan a los porcentajes de referencia de saturación de cationes «ideal» del suelo. Por lo tanto, la distribución de cationes de los suelos del API presentó mayor desequilibrio en relación con los suelos control. Cabe señalar que, los suelos del API presentaron bajas saturaciones de bases y alta saturación de cationes que generan acidez.

Las relaciones catiónicas (Tabla 6.24) del suelo del API, indicaron que en las muestras superficiales y las muestras de la calicata CAL1 las relaciones $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^{+}$ y $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/\text{K}^{+}$ y $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^{+}$ indicaron relaciones críticas, es decir que se ha perdido calcio y magnesio del sistema. En relación con la relación $\text{K}^{+}/\text{Mg}^{2+}$ se observó que hay más potasio en las muestras del API, sin embargo, esto solo representa una fracción mínima en concentración.

Tabla 6.23. Distribución de cationes cambiabiles (%) en el complejo de cambio

Área/zona	Calicata	Muestras /puntos	Distribución de cationes cambiabiles en el complejo de cambio (%)					% ocupado de los sitios de intercambio
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ⁺³	
API	---	CSUC-a	0,13	0,26	0,89	0,51	71,43	73,21
	CAL1	CAL1-1	0,11	0,22	1,86	0,33	41,12	43,64
		CAL1-2	7,16	3,01	0,28	0,06	8,43	18,93
Control	---	CSUC-b	51,04	15,58	1,46	0,76	0,00	68,84
	CAL2	CAL2-1	51,26	14,69	1,55	0,93	0,00	68,43
		CAL2-2	43,93	15,55	0,51	0,36	3,20	63,55
		CAL2-3	39,21	16,44	0,60	0,45	1,49	58,18
Saturación de cationes «ideal» del suelo *			65 - 75	15 - 20	4 - 7	0 - 5	0 - 5	-

(---) Muestras compuesta superficial

(*) Moro (2015)



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 6.24. Relaciones catiónicas del complejo de cambio

Área/zona	Calicata	Muestras/puntos	$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}/\text{K}^{+}$	$(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/\text{K}^{+}$	$\text{Mg}^{2+}/\text{K}^{+}$	$\text{K}^{+}/\text{Mg}^{2+}$
API	CAL1	CSUC-a	0,50	0,14	0,43	0,29	3,50
		CAL1-1	0,50	0,06	0,18	0,12	8,50
		CAL1-2	2,38	25,50	36,20	10,70	0,09
Control	CAL2	CSUC-b	3,28	34,84	45,48	10,64	0,09
		CAL2-1	3,49	33,12	42,62	9,49	0,11
		CAL2-2	2,82	86,36	116,93	30,57	0,03
		CAL2-3	2,38	65,88	93,50	27,63	0,04
Categoría ^a	Nivel crítico		<2 ^a	<5 ^a	<10 ^a	<2,5 ^a	<0,2 ^b
	medio		2 ^a – 5 ^a	5 ^a – 25 ^a	10 ^a – 40 ^a	2,5 ^a – 15 ^a	0,2 ^b – 0,3 ^b
	Alto		>5 ^a ; >10 ^b	>25 ^a	>40 ^a	>15 ^a	>0,5 ^b

(---) Muestras compuesta superficial

(a) Adaptado por Bertsch (2003)

(b) Criterios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM)

En relación con las sales presentes en la solución suelo de ambas áreas, a pesar de que las concentraciones de las sales solubles fueron bajas, las muestras de la calicata CAL1 y superficial, ubicadas en el API (CAL1-1, CAL1-2 y CSUC-a), presentaron mayores concentraciones de sales solubles (630,69 a 1908,1 mg/L) y mayores valores de conductividad eléctrica (1,53 a 3,81 dS/m) en relación con todas las muestras de los suelos control.

Los iones predominantes con mayores concentraciones en los suelos del API fueron Ca^{+2} , SO_4^{-2} y Cl^{-} . Cabe señalar que, en relación con el balance iónico de las muestras CSUC-a y CAL1-1 presentaron un DPR por encima del error admisible y por lo tanto una anomalía respecto al valor de la conductividad eléctrica (Ver N.º RR-010-2023-STEC en el Anexo XX), esto se debe a que las muestras antes indicadas presentaron materiales de alteración de origen antrópico con altos contenidos de óxidos de hierro y aluminio de fácil movilización los cuales formarían parte de los iones de la solución del suelo. Estos iones no fueron determinados en el análisis de salinidad, no obstante, tomando como referencia las concentraciones de hierro y aluminio de la prueba de lixiviación por Shake Flask metales (Tabla 6.16) se llega a un balance iónico que cumple con el error admisible del DPR. Por otra parte, las concentraciones de magnesio, nitratos, sulfatos, cloruros y boro no superaron a los valores de los ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales (D1) y Bebida de animales (D2), comparado con esta norma solo con fines referenciales, a excepción de la CE en la muestra CSUC-a, que superó a la subcategoría D1 (Tabla 6.11).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»

«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 6.25. Concentraciones de sales e iones (mg/L), conductividad eléctrica (dS/m) y boro (ppm) en el extracto acuoso del suelo - bofedal “Para Para”

N°	Área /zona	Calicata	Muestras/puntos	CE	Concentración de sales	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Boro
1	API	---	CSUC-a	3,81	1908,1	136,00	32,04	2,34	31,97	75,64	0,00	1459,92	170,22	0,09
2		CAL1	CAL1-1	1,67	630,69	92,60	23,04	8,58	39,10	7,44	58,56	316,03	85,34	0,12
3			CAL1-2	1,53	815,72	114,00	48,96	14,82	46,92	4,15	124,44	355,93	106,50	0,40
4	Control	---	CSUC-b	0,86	668,60	62,28	19,32	35,10	59,43	23,56	385,83	4,80	78,28	0,12
5		CAL2	CAL2-1	0,90	659,17	83,00	23,04	24,34	43,33	21,08	373,32	12,96	78,10	0,11
6			CAL2-2	0,46	334,93	41,00	11,76	4,45	30,68	19,47	152,13	12,96	62,48	0,11
7			CAL2-3	0,24	164,17	17,40	5,16	1,17	26,91	6,82	48,80	5,52	52,39	0,10
ECA agua 2017 Categoría 3			D1	2500	-	-	-	-	-	100	-	1000	500	1
			D2	5000	-	-	250	-	-	100	-	1000	-	5

Concentración que supera referencialmente a los ECA para agua 2017 Cat. 3: Riego de vegetales (D1) y Bebida de animales (D2)

(-) No contemplado para este parámetro

(---) Muestra superficial compuesta

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**6.3.5.2. Densidad aparente**

Para evaluar la condición del bofedal se realizó el análisis de densidad aparente, propiedad física del suelo que indica, entre otras variables, la compactación del suelo y la capacidad de almacenaje de agua del suelo. Con relación a ello, los resultados analíticos indicaron que el suelo del API “Para Para” presentó una mayor densidad aparente (con valor de 0,73 g/cm³) respecto al suelo de bofedal control (con un valor de 0,17 g/cm³), obteniendo, de acuerdo con el rango de valores de referencia (Minam, 2019) un puntaje bajo respecto del suelo control (Tabla 6.26).

Tabla 6.26. Densidad aparente del suelo del API “Para Para” y del suelo control

Área/zona	Calicata	Muestras/puntos	Densidad g/cm ³	Puntaje
API	CAL1	CAL1-1	0,73	1,2
Control	CAL2	CAL2-1	0,17	3,5
Rango de valores de referencia y puntaje*			< 0,2	3,5
			0,2 – 0,3	2,3
			0,3 – 0,9	1,2
			> 0,9	0,0

(*) Rango de valores de referencia para bofedales propuesto por el Minam (2019)

6.3.5.3. Microbiología del suelo

En la Tabla 6.27, se presenta los resultados del análisis de microbiología del suelo, en la que se observa que los suelos de API presentaron menores recuentos de UFC/g de suelo en bacterias y no se detectaron UFC en actinomicetos en relación con el suelo control; asimismo, las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y bacterias nitrificantes presentaron el mismo comportamiento en el suelo del API en relación con el suelo control. Respecto a la respiración del suelo estas presentaron menor actividad microbiana y menor cantidad de biomasa microbiana del suelo en el API “Para Para” en relación con el suelo control, en la que se registró mayores valores. Por otra parte, al comparar el recuento de los organismos mesófilos totales y las bacterias fijadoras con los rangos comunes en suelo, el suelo del API se aleja de dichos rangos, a diferencia de los recuentos del suelo control, que se acerca a los rangos de referencia.

Tabla 6.27. Microbiología del suelo del API “Para Para” y del suelo control

Área/zona	Código de muestra	Humedad gravimétrica (%)	Organismos mesófilos totales (UFC/g de suelo seco)			Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre	Bacterias nitrificantes	Respiración microbiana	Biomasa microbiana
			Bacterias	Hongos	Actinomicet.				
API Para Para	CSUC-a	104,73	1,08 x 10 ⁵	7,65 x 10 ³	N.D.	2,50 x 10 ¹	2,50 x 10 ¹	0,32	0,33
	CAL1-1	50,53	7,80 x 10 ⁴	4,00 x 10 ¹	N.D.	6,00 x 10 ¹	2,50 x 10 ¹	0,14	0,33
Control	CAL2-1	445,20	3,15 x 10 ⁶	4,80 x 10 ⁴	3,70 x 10 ²	1,50 x 10 ³	2,50 x 10 ⁴	1,05	3,67
	CSUC-b	459,55	1,18 x 10 ⁷	3,00 x 10 ³	5,35 x 10 ²	9,50 x 10 ³	9,50 x 10 ⁵	1,58	2,65
Rangos comunes en suelo*			10⁶ - 10⁹	10⁵ - 10⁶	10⁷ - 10⁸	10³ - 10⁶	-	-	-

(---) : Muestra superficial

N.D.: No detectable

UFC: Unidades formadoras de colonias

Actinomicet.: Actinomicetos

(*) Meeting (1993)

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**6.3.5.4. Metales**

Las concentraciones de metales en el suelo del API de los elementos mayoritarios o predominantes como aluminio, hierro, calcio y magnesio, seguidos de los elementos manganeso, sodio, fósforo y talio, además de elementos secundarios o traza como cobalto, cromo, boro, litio, cadmio, níquel, estroncio, talio, vanadio y zinc presentaron menores concentraciones respecto al suelo control; asimismo, los elementos potasio, arsénico, bario, cobre, mercurio, molibdeno, plomo, selenio y talio presentaron mayores concentraciones en el suelo del API respecto al suelo control; cabe indicar que, Plata en todas las muestras, presentó concentraciones menores al límite de cuantificación del método de ensayo del laboratorio (Figura 6.72 y Tabla 6.28).

En el perfil del suelo de la calicata CAL1 solo las concentraciones de arsénico (en las dos muestras) y cadmio (en la muestra subsuperficial) superaron a los valores de los ECA para suelo uso agrícola 2017; por otro lado, al comparar referencialmente con los valores de la CSQG uso agrícola los metales cobre, molibdeno y talio en una muestra, así como boro y selenio en las dos muestras de la calicata CAL1 lo superaron, a diferencia de la calicata CAL2 del suelo control, en la que solo boro y talio en una muestra y selenio en todo el perfil superaron a dicha norma de referencia (Tabla 6.14). Cabe señalar que, el metaloide arsénico, así como los metales bario, cobre, molibdeno y selenio tienden a disminuir sus concentraciones en profundidad.

Tabla 6.28. Concentraciones de metales en el perfil de suelo de la calicata CAL1 (API) y CAL2 (control)

Área/zona		API Para Para		Control			ECA 2017 ¹	CSQG - CEQG ²
Calicata		CAL1		CAL2				
Horizonte o capa		C	Oe	Oi	Oe	C		
Profundidad (cm)		0 - 5	50 - 60	0 - 14	14 - 22	22 - 30		
Parámetro	Unidad	CAL1-1	CAL1-2	CAL2-1	CAL2-2	CAL2-3		
Aluminio	mg/kg PS	3 659	10 369	4 820	13 874	7 029	---	---
Antimonio	mg/kg PS	0,1559	1,539	0,2544	0,1571	0,1501	---	20
Arsénico	mg/kg PS	312	57,8	42,	15,8	49,7	50	12
Bario	mg/kg PS	197,7	40,34	105,7	75,28	37,51	750	750
Berilio	mg/kg PS	0,099	1,24	0,633	1,04	0,677	---	4
Boro	mg/kg PS	3,917	6,992	7,569	5,201	< 0,0120	---	2
Cadmio	mg/kg PS	0,09950	1,5323	1,7327	0,38144	0,22826	1,4	1,4
Calcio	mg/kg PS	172,2	4 912	9 253	4 776	1 562	---	---
Cobalto	mg/kg PS	1,179	9,931	11,2	3,955	6,374	---	40
Cobre	mg/kg PS	74	24	40	34	55	---	63
Cromo	mg/kg PS	3,068	2,287	4,704	8,719	4,516	---	64
Estaño	mg/kg PS	< 0,0060	1,857	0,4463	0,4804	1,022	---	5
Estroncio	mg/kg PS	21,02	33,53	73,64	45,45	16,85	---	---
Fósforo	mg/kg PS	336	1 383	1 738	1 621	412	---	---
Hierro	mg/kg PS	56 223	8 758	48 586	25 530	135 304	---	---
Litio	mg/kg PS	0,9904	0,7986	2,997	11,96	3,391	---	---
Magnesio	mg/kg PS	227	801	2 034	3 031	1 017	---	---
Manganeso	mg/kg PS	25,5	313	1 525	308	540	---	---
Mercurio	mg/kg PS	0,606	0,123	0,448	0,185	< 0,010	6,6	6,6
Molibdeno	mg/kg PS	28,3	4,117	1,792	0,568	2,074	---	5
Níquel	mg/kg PS	0,901	8,04	10,5	6,25	3,65	---	45
Plata	mg/kg PS	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	---	20
Plomo	mg/kg PS	64,7	27,1	46,8	14,3	6,758	70	70
Potasio	mg/kg PS	1 330	249	376	383	73	---	---
Selenio	mg/kg PS	4,510	3,454	2,919	4,456	2,025	---	1
Sodio	mg/kg PS	122	158	114	152	41,8	---	---
Talio	mg/kg PS	1,304	0,5726	0,9912	1,011	0,2812	---	1
Titanio	mg/kg PS	6,1	24	74	45	61	---	---
Vanadio	mg/kg PS	20	7	41	51	59	---	130

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Área/zona		API Para Para		Control			ECA 2017 ¹	CSQG - CEQG ²
Calicata		CAL1		CAL2				
Horizonte o capa		C	Oe	Oi	Oe	C		
Profundidad (cm)		0 - 5	50 - 60	0 - 14	14 - 22	22 - 30		
Parámetro	Unidad	CAL1-1	CAL1-2	CAL2-1	CAL2-2	CAL2-3		
Zinc	mg/kg PS	23	136	145	69	57	---	250

 Concentración que supera al ECA para suelo 2017 uso agrícola

 Concentración que supera la CSQG para uso agrícola

(---) Valores no contemplados en el ECA para suelo 2017 o la CSQG

Anexo N° X.X: RR-010-2023-STEC.

Respecto a las 10 muestras superficiales del API, las concentraciones de arsénico y plomo en todas las muestras superaron a los valores de los ECA para suelo uso agrícola 2017; por otro lado, al comparar referencialmente con los valores de la CSQG uso agrícola los metales cobre en 5 muestras, boro, selenio y talio en 9 muestras, molibdeno en todas las muestras superaron a dicha norma de referencia. Respecto a las muestras del suelo control, solo las concentraciones de arsénico y bario en una muestra (SUC15) superaron a los valores de los ECA para suelo uso agrícola 2017, no obstante, tales concentraciones representarían valores anómalos, debido a que solo se registraron en dicha muestra del punto. Con relación a las concentraciones de boro en todas las muestras, molibdeno en una muestra, selenio en tres muestras y talio en dos muestras estos superaron a los valores de la CSQG uso agrícola, comparado referencialmente (Tabla 6.29).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

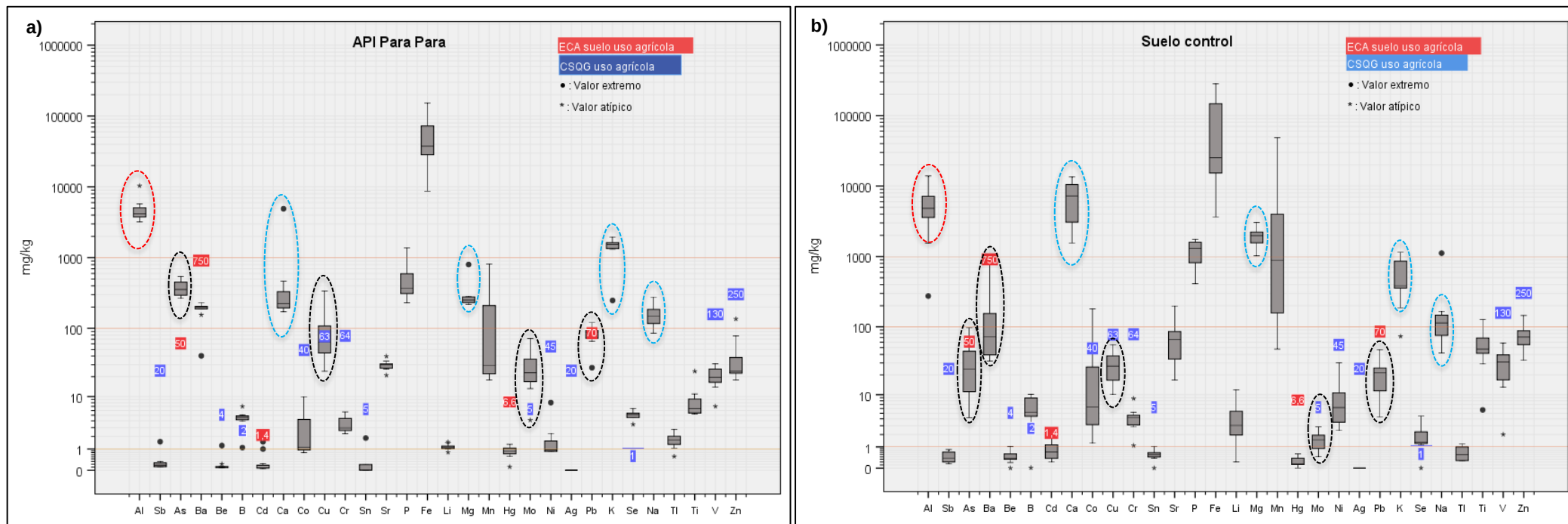


Figura 6.72. BOX PLOT de las concentraciones de metales. **a)** Suelo del API “Para Para” y **b)** Suelo control

Tabla 6.29. Concentraciones de metales en las muestras de los puntos superficiales del suelo del API “Para Para” y suelo control

Área/zona		API Para Para										Control								ECA 2017 ¹	CSQG - CEQG ²
Parámetro	Unidad	SU-02*	SUC1	SUC2	SUC3	SUC4	SUC5	SUC6	SUC7	SUC8	SUC9	SU-01*	SUC10	SUC11	SUC12	SUC13	SUC14	SUC15	SUC16		
Aluminio	mg/kg PS	3 898	3 193	3 662	3 885	3 916	5 237	4 391	5 771	4 626	4 906	12 307	274,7	3 832	7 011	7 305	3 564	1 554	3 600	---	---
Antimonio	mg/kg PS	0,1083	0,1905	0,1594	0,1349	0,1198	0,1200	0,2830	0,3362	0,2737	0,2559	0,2392	0,5756	0,5941	0,2051	0,3656	0,7957	0,7920	0,8271	---	20
Arsénico	mg/kg PS	280	271	375	326	335	406	391	543	525	502	25,5	22,4	7,76	24,6	4,23	46,3	96,2	5,99	50	12
Bario	mg/kg PS	192,4	207,2	202,8	199,9	205,1	212,5	189,4	188,7	155,7	230,6	52,48	369,3	71,21	31,81	38,36	226,5	985,4	40,51	750	750
Berilio	mg/kg PS	0,113	0,094	0,084	0,092	0,110	0,109	0,108	0,231	0,148	0,108	0,375	< 0,006	0,548	0,208	0,336	0,330	0,352	0,551	---	4
Boro	mg/kg PS	1,095	5,070	5,026	4,677	4,571	4,712	4,122	4,310	4,237	4,721	4,646	4,420	9,259	2,364	9,067	4,459	8,734	10,07	---	2
Cadmio	mg/kg PS	0,07287	0,08683	0,12754	0,07577	0,09033	0,05620	0,07437	0,24287	0,10324	1,0013	0,62758	1,2068	0,68035	0,21777	1,1799	0,80765	0,36783	1,1076	1,4	1,4
Calcio	mg/kg PS	263,2	177,6	198,6	191,8	215,9	234,6	211,7	462,7	380,6	288,0	1 984	7 244	13 498	1 976	4 777	7 942	13 493	11 908	---	---
Cobalto	mg/kg PS	1,046	1,018	0,783	0,905	0,894	0,989	5,404	3,265	6,717	2,972	4,979	179	13,8	2,456	1,251	48,8	103	1,552	---	40
Cobre	mg/kg PS	47	42	87	41	53	47	91	338	129	184	12	10	27	46	23	24	12	36	---	63
Cromo	mg/kg PS	2,709	2,350	4,037	2,600	2,761	2,869	3,541	5,698	5,124	4,800	5,243	1,099	2,924	3,784	4,489	3,307	2,859	4,143	---	64
Estaño	mg/kg PS	<0,0060	0,2071	< 0,0060	< 0,0060	< 0,0060	< 0,0060	0,2169	< 0,0060	< 0,0060	0,2073	<0,0060	0,5593	0,6175	0,6318	0,7541	0,4394	0,3878	0,6893	---	5
Estroncio	mg/kg PS	30,23	26,88	29,75	30,23	29,97	39,78	25,59	29,57	26,51	31,23	25,86	65,84	116	19,85	53,14	69,46	198	99,02	---	---
Fósforo	mg/kg PS	366	229	371	260	314	311	540	656	654	456	1 482	592	1 130	478	1 746	1 262	1 298	1 575	---	---
Hierro	mg/kg PS	26 568	24 380	39 273	30 575	36 258	34 218	80 396	74 526	153 172	70 015	15 423	223 779	17 371	15 205	3 663	283 714	158 587	3 807	---	---
Litio	mg/kg PS	1,075	0,9825	1,105	1,122	1,168	1,513	1,141	1,435	1,133	1,237	7,786	0,2217	3,035	5,335	5,478	2,226	1,092	1,703	---	---
Magnesio	mg/kg PS	258	218	243	227	250	279	239	286	266	278	2 185	1 055	2 266	1 463	1 681	1 694	1 989	2 391	---	---
Manganeso	mg/kg PS	30,2	18,0	19,1	19,2	28,1	57,7	818	141	534	27,4	877	33 273	3 525	80,9	48,0	4 500	48 299	63,9	---	---
Mercurio	mg/kg PS	0,571	0,851	0,857	0,832	0,859	1,16	1,00	1,34	1,14	0,927	0,317	0,106	0,143	0,055	0,157	0,145	0,583	0,478	6,6	6,6
Molibdeno	mg/kg PS	13,3	14,3	22,0	19,8	22,6	23,6	30,9	53,4	42,2	71,4	1,523	1,759	1,395	0,453	0,686	2,826	6,654	1,147	---	5
Níquel	mg/kg PS	1,02	0,882	0,842	0,835	0,817	0,858	1,00	1,79	1,42	2,32	3,32	12,9	7,00	2,42	2,63	6,05	30,4	10,8	---	45
Plata	mg/kg PS	<0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	<0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	---	20
Plomo	mg/kg PS	70,4	73,7	83,2	90,2	87,3	120	87,8	94,3	91,3	94,5	22,5	4,358	21,7	17	28,3	22,2	9,136	36,5	70	70
Potasio	mg/kg PS	1 601	1 361	1 575	1 613	1 550	1 962	1 639	1 536	1 844	1 320	1 138	753	346	367	978	188	1 143	647	---	---
Selenio	mg/kg PS	5,222	4,501	4,631	5,105	5,229	6,337	5,081	6,422	5,160	5,565	1,342	< 0,006	1,405	1,161	1,179	1,307	1,333	2,530	---	1
Sodio	mg/kg PS	215	85,7	187	115	153	146	184	118	277	116	167	1 119	87,4	67,4	121	62,8	142	83,9	---	---
Talio	mg/kg PS	1,074	1,362	1,553	2,014	1,860	2,807	2,047	1,784	2,051	1,429	0,2677	0,3884	0,5537	1,157	0,2751	1,193	0,5451	0,2822	---	1
Titanio	mg/kg PS	11	9,7	8	6,9	6,0	5,7	5,2	5,2	5,2	8,6	126	5,7	48	89	40	64	29	43	---	---
Vanadio	mg/kg PS	16	14	22	17	19	19	23	30	31	29	38	2	19	31	15	25	34	13	---	130
Zinc	mg/kg PS	19	18	23	22	24	24	26	38	38	78	71	94	49	33	54	116	82	71	---	250

Concentración que supera al ECA para suelo 2017 uso agrícola

Concentración que supera la CSQG para uso agrícola

(---) Valores no contemplados en el ECA para suelo 2017 o la CSQG

Anexo N° X.X: RR-010-2023-STEC.

(*) Muestras obtenidas durante la visita de reconocimiento del 24 de febrero al 04 de marzo de 2023, reportado con Informe de Ensayo SAA-23/00272.

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**6.3.5.5.Extracción shake flask de metales**

En la Tabla 6.30, se presentan los resultados de la extracción shake flask de metales de suelos, los mismos que indicaron que los metales que pasaron al extracto acuoso (movilización) desde el suelo del API "Para Para" fueron aluminio, azufre, boro, cadmio, cobalto, cobre, hierro, litio, manganeso, níquel, uranio y zinc, además de los elementos conocidos como bases del suelo (calcio, magnesio, potasio y sodio) los mismos que presentaron mayores concentraciones en relación con el suelo del control. Asimismo, al comparar las concentraciones de dichos elementos presentes en el extracto acuoso del suelo del API con los valores de los ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales (D1) y Bebida de animales (D2) (comparado con esta norma solo con fines referenciales) aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro y manganeso lo superaron, a diferencia de las concentraciones del suelo control, en la que solo hierro en una muestra y manganeso en ambas muestras superaron a dicha norma.

Tabla 6.30. Extracción shake flask de metales del suelo - API "Para Para" y suelo control

Área/zona		API Para Para		Control		Riego de vegetales	Bebida de animales
Parámetro	Unidades	CSUC-a	CAL1-1	CAL2-1	CSUC-b		
Aluminio	mg/L	49,6	20,5	3,44	0,942	5	5
Antimonio	mg/L	0,00983	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002	0,1	0,2-
Arsénico	mg/L	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	-	-
Azufre	mg/L	524,71	143,78	24,777	19,111	-	-
Bario	mg/L	0,0271	0,031	0,0934	0,0555	0,7	-
Berilio	mg/L	0,00792	0,00292	0,0003	0,00008	0,1	0,1
Bismuto	mg/L	0,0145	0,00368	0,00718	< 0,00001	-	-
Boro	mg/L	0,409	0,12	0,033	0,005	1	5
Cadmio	mg/L	0,03957	0,04119	0,00006	< 0,00001	0,01	0,05
Calcio	mg/L	72	19	41	34	-	-
Cobalto	mg/L	0,25346	0,06801	0,00697	0,02035	0,05	1
Cobre	mg/L	8,412	3,18	0,0455	0,0321	0,2	0,5
Cromo	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,1	1
Estaño	mg/L	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	-	-
Estroncio	mg/L	0,1797	0,12871	0,26885	0,23861	-	-
Fósforo	mg/L	0,18	0,069	4,91	1,49	-	-
Hierro	mg/L	496	89	4	5	5	-
Litio	mg/L	0,0144	0,0159	0,0064	0,0031	2,5	2,5
Magnesio	mg/L	13	4,48	14,5	11,5	-	250
Manganeso	mg/L	15,776	1,8071	2,5662	8,5118	0,2	0,2
Molibdeno	mg/L	< 0,00003	0,00211	0,0042	0,00394	-	-
Níquel	mg/L	0,1153	0,0497	0,0103	0,0076	0,2	1
Plata	mg/L	0,00155	0,00035	0,00058	0,00101	-	-
Plomo	mg/L	0,04919	0,01443	0,01973	< 0,00006	0,05	0,05
Potasio	mg/L	3,1	4,8	12	26	-	-
Selenio	mg/L	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	0,02	0,05
Silicio	mg/L	16	15	17	14	-	-
Sodio	mg/L	5,2	2,7	10	22	-	-
Titanio	mg/L	< 0,0006	< 0,0006	0,0484	0,0145	-	-
Uranio	mg/L	1,2823	0,20557	0,00874	0,00226	-	-
Vanadio	mg/L	< 0,0032	< 0,0032	0,0274	< 0,0032	-	-
Zinc	mg/L	1,29	1,57	0,083	0,028	2	24

<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

Concentración que supera referencialmente a los ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales (D1) y Bebida de animales (D2)

Concentraciones que son mayores a las concentraciones de los suelos Control

(-) No contemplado para este parámetro

Anexo N° x.x: RR-010-2023-STEC.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.3.5.6. Análisis mineralógico por DRX

En el análisis mineralógico por DRX se identificó que las capas superficiales de los suelos del API “Para Para” presentaron una composición mineralógica más variada, siendo el cuarzo el mineral mayoritario, seguido de minerales de alteración o secundarios como alunita, goethita y en menores porcentajes jarosita, así como filosilicatos (micas y caolinita) y silicatos (plagioclasas y feldespato), a diferencia del suelo control (capas superficiales) que presentó mayormente materiales amorfos (materia orgánica), seguido de plagioclasas, feldespatos y porcentajes menores de micas. Respecto a las muestras subsuperficiales, se observó que los suelos del API presentaron altos porcentajes de materiales amorfos, a diferencia de los suelos control en la que predominaron minerales primarios (plagioclasas, feldespatos y cuarzo), probablemente arcillas (minerales laminares) y bajos porcentajes de minerales de alteración (goethita y lepidocrocita). Cabe señalar que, en los suelos control no se identificaron minerales de alunita y jarosita, siendo exclusivos solo del suelo del API “Para Para” (Figura 6.73 y Tabla 6.31).

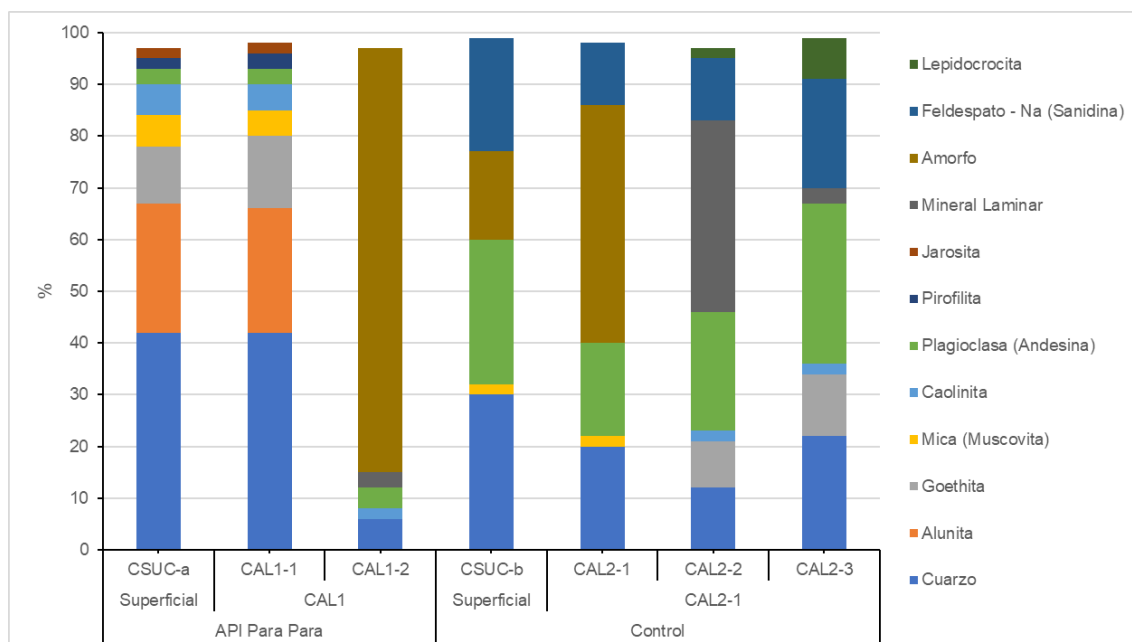


Figura 6.73. Distribución porcentual de los minerales cuantificados por DRX en el suelo del API “Para Para” y suelo Control

Tabla 6.31. Análisis mineralógico cuantificado mediante DRX en el suelo del API “Para Para” y suelo Control

Minerales*	Área/zona		API Para Para			Control			
	Unidad	Fórmula general	CSUC-a	CAL1-1	CAL1-2	CAL2-1	CAL2-2	CAL2-3	CSUC-b
Cuarzo	%	SiO ₂	42	42	6	20	12	22	30
Alunita	%	K Al ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	25	24	-	-	-	-	-
Goethita	%	FeO(OH)	11	14	-	-	9	12	-
Mica (Muscovita)	%	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	6	5	-	2	-	-	2
Caolinita	%	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	6	5	2	< L.D.	2	2	< L.D.
Plagioclasa (Andesina)	%	(Ca,Na)(Al,Si) ₄ O ₈	3	3	4	18	23	31	28
Pirofilita	%	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	2	3	-	-	-	-	-
Jarosita	%	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	2	2	-	-	-	-	-
Rutilo	%	TiO ₂	< L.D.	-	-	-	-	-	-
Mineral Laminar	%	-----	-	-	3	-	37	3	-

Formato PM0302-F05

Versión: 00

Fecha de aprobación: 29/12/2020

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Área/zona			API Para Para			Control			
Minerales*	Unidad	Fórmula general	CSUC-a	CAL1-1	CAL1-2	CAL2-1	CAL2-2	CAL2-3	CSUC-b
Pirita	%	FeS ₂	-	-	<L.D.	-	-	-	-
Greigita	%	Fe ₃ S ₄	-	-	<L.D.	-	-	-	-
Amorfo	%	----	-	-	82	46	-	-	17
Feldespató - Na (Sanidina)	%	(K,Na)(Si,Al) ₄ O ₈	-	-	-	12	12	21	22
Lepidocrocita	%	FeO(OH)	-	-	-	-	2	8	-
Anatasa	%	TiO ₂	-	-	-	-	<L.D.	-	-
Zeolita (Clinoptilolita)	%	(Ca,K,Na) ₆ (Si ₃₀ Al ₆)O ₇₂ ·20(H ₂ O)	-	-	-	-	<L.D.	-	-

(-) No cuantificado

(<L.D.) Mineral observado sin cuantificar

(*) Determinación semicuantitativa de fases cristalinas

6.3.5.7. Análisis mineralógico por MEB

El análisis mineralógico por MEB, reportó que en los suelos del API se identificaron minerales de sulfuro como molibdenita, covelita, acantita, Sb Bismutinita, así como óxidos como rutilo, casiterita, Mn_ilmenita, Ti_hematita/magnetita, además de un compuesto de arseniato de Fe. Dichos minerales identificados en el suelo del API no se identificaron en el suelo control. Por otra parte, en ambas áreas del bofedal se ha identificado sulfuros como pirita, baritina, galena, cinabrio, enargita, esfalerita y calcopirita, así como óxidos de hematita, magnetita y goethita. Cabe señalar que, los minerales alabandita (MnS) y Uchucchacuaíta (AgMnPb₃Sb₅S₁₂) principalmente, se identificaron solo en los suelos control (Tabla 6.32).

Tabla 6.32. Minerales identificados por mediante MEB en el suelo del API “Para Para” y Control

API “Para Para”		Control	
CSUC-a	CAL1-1	CSUC-b	CAL2-1
Minerales identificados			
Pirita	Arseniato_Fe	Hematita/magnetita	Enargita
Sr_baritina	Molibdenita	Pirita	Calcosita/digenita
Galena	Monacita	Mg_ilmenita	Bornita
Calcopirita	Calcosita/digenita	Hf_zircón	Alabandita
Cinabrio	Esfalerita < 5% Fe	Galena	Monacita
Baritina	Enargita	Calcopirita	Silicato_TiCa
Esfalerita > 5% Fe, < 5% Mn	Covelita	Cinabrio	Mg_ilmenita
Acantita	Ag_tetraedrita-tennantita-Fe < 5% Ag	Baritina	Ilmenita
Arseniato_BiFe	Acantita	Esfalerita > 5% Fe, < 5% Mn	Hematita/magnetita
Sb_bismutinita	Hf_zircón	Esfalerita < 5% Fe	Goethita
Ag_tetraedrita - Fe > 5% Ag	Hematita / magnetita	Sr_baritina	Pirita
Esfalerita < 5% Fe	Sr_baritina	-	Esfalerita < 5% Fe
Arseniato_Fe	Pirita	-	Galena
Hematita / magnetita	Galena	-	Sr_baritina
Molibdenita	Baritina	-	Baritina
Hf_zircón	Calcopirita	-	Anglesita
Enargita	Goethita	-	Calcopirita
Bornita	Rutilo	-	Uchucchacuaíta
-	Casiterita	-	Esfalerita > 5% Fe, < 5% Mn
-	Cinabrio	-	Esfalerita < 5% Fe, < 5% Mn
-	Mn_ilmenita	-	Esfalerita < 5% Fe, < 5% In
-	Ti_hematita/magnetita	-	

(-) No se identificó minerales



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.3.6. Flora Silvestres

Los resultados de la evaluación de flora silvestre en las áreas de interés (API del bofedal “Para Para”) en el ámbito de la UM Corihuarmi, relacionados a composición de especies y tejido vegetal, son presentados a continuación.

6.3.6.1. Composición florística

Se identificaron 18 especies de plantas vasculares, agrupadas en 2 clases, 6 familias botánicas y 12 géneros (Anexo 4: Reporte de resultados). La clase Magnoliopsida (angiospermas) representa el grupo dominante con 10 especies (55,6 %), seguida de la clase Liliopsida (angiospermas) con 8 especies (28,4 %). Tabla 6.33 y Figura 6.74.

Tabla 6.33. Número de familias, géneros y especies por cada clase registrada en el API del bofedal “Para Para”

Clase	Familia	Genero	Especie
Liliopsida	3	7	8
Magnoliopsida	3	5	10
Total	6	12	18

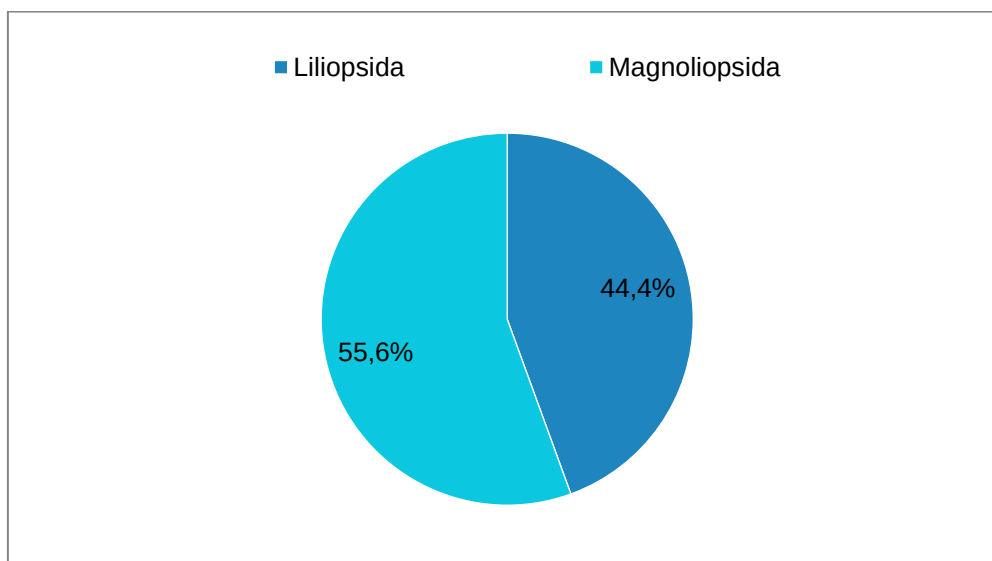


Figura 6.74. Porcentaje de especies por Clase registrado en el área de estudio

La familia más diversa fue Poaceae con 6 especies en 4 géneros que representa el 33,3 % del total de especies. La segunda familia con mayor diversidad fue Asteraceae con 4 especies en 3 géneros que representa el 22,2 % del total de especies (Figura 6.75). En conjunto solo estas 2 familias agrupan el 55,5 % del total de especies, poco más de la mitad del total presentes en el área de estudio (Figura 6.76), en general estas familias son las más frecuentes (diversas) en los ecosistemas altoandinos del Perú. Entre otras familias tenemos a Rosaceae con 3 especies, Plantaginaceae y Cyperaceae con 2 especies cada una.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

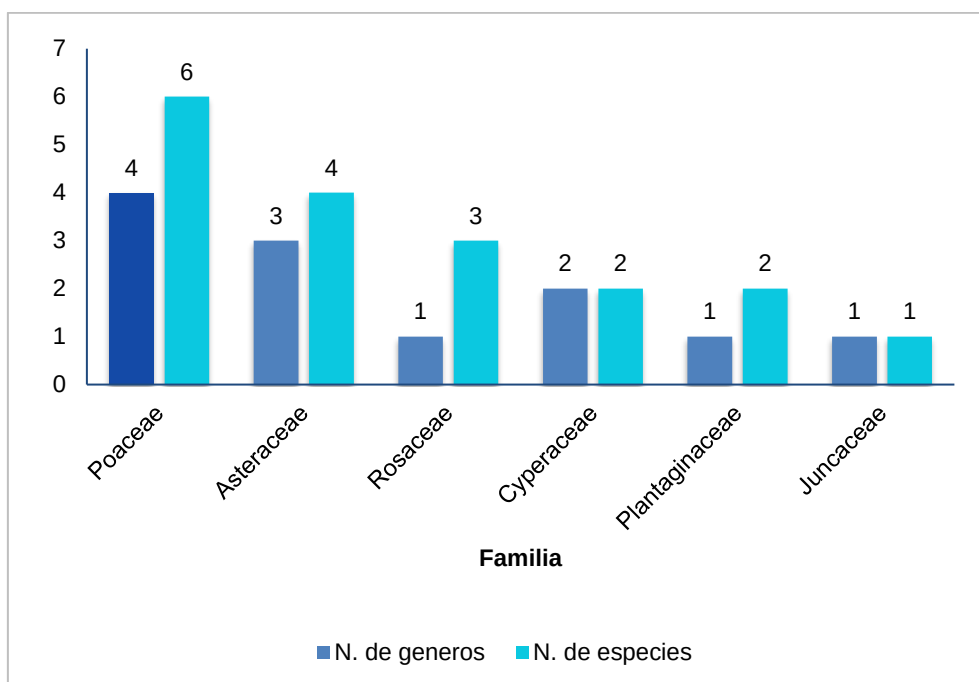


Figura 6.75. Familias más diversas, indicando número de géneros y especies, registradas en el área de estudio

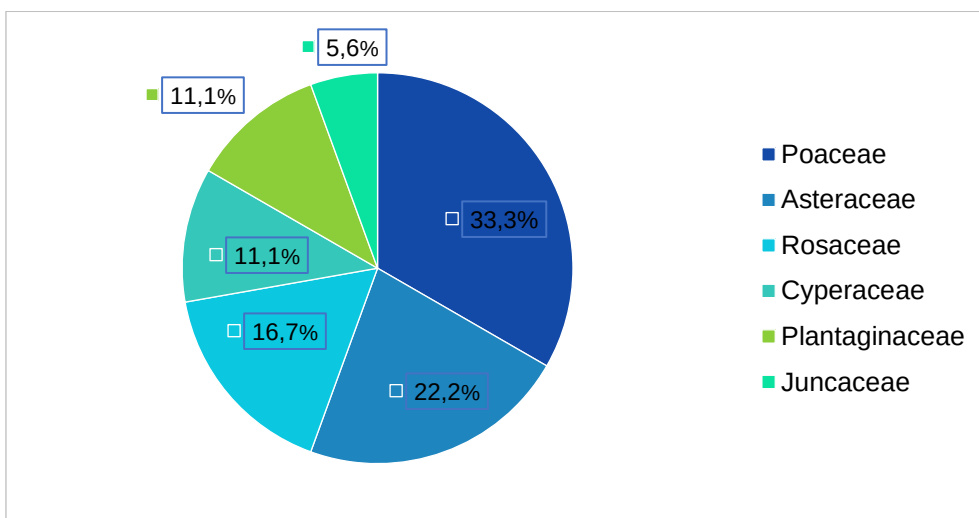


Figura 6.76. Familias con mayor porcentaje de especies, por encima del 4 % de especies registradas en el área de estudio

Los géneros con mayor número de especies fueron *Calamagrostis* (Poaceae) y *Lachemilla* (Rosaceae) con 3 especies cada uno, seguida de los géneros *Plantago* y *Werneria* con 2 especies cada uno. Entre otros géneros tenemos a *Aciachne*, *Distichia*, *Carex*, *Eleocharis*, *Festuca* y *Hypochaeris* con 1 especie cada uno (Figura 6.77).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

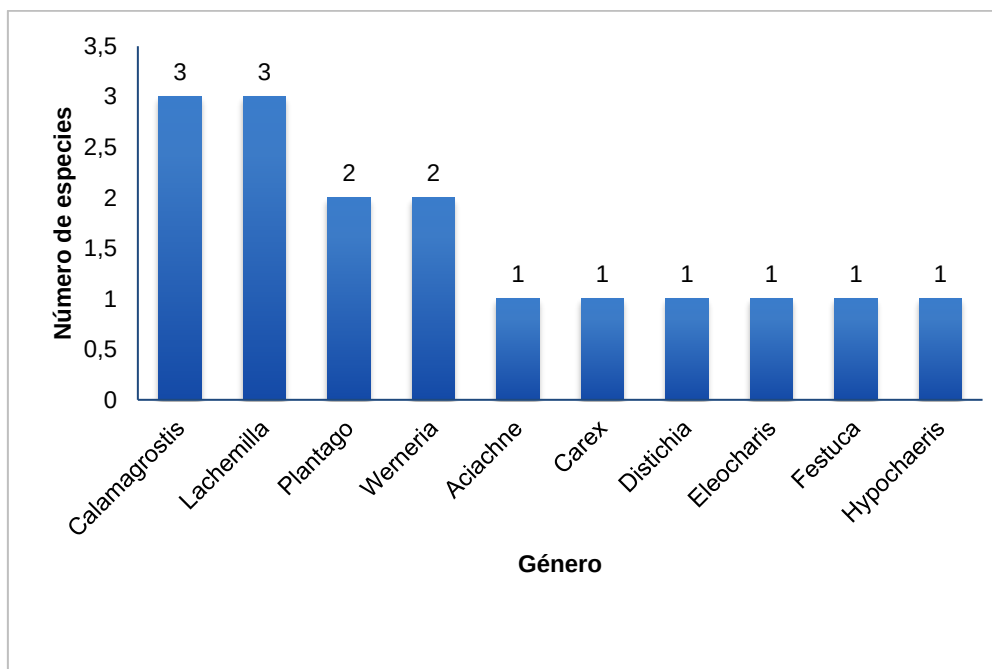


Figura 6.77. Géneros con mayor número de especies registradas en el área de estudio

Las especies con forma de crecimiento herbáceo fueron las más comunes en el área de estudio, con 16 especies que representa el 88,9 % del total de las especies, seguida de las formas sufrútice con 2 especies (Figura 6.78).

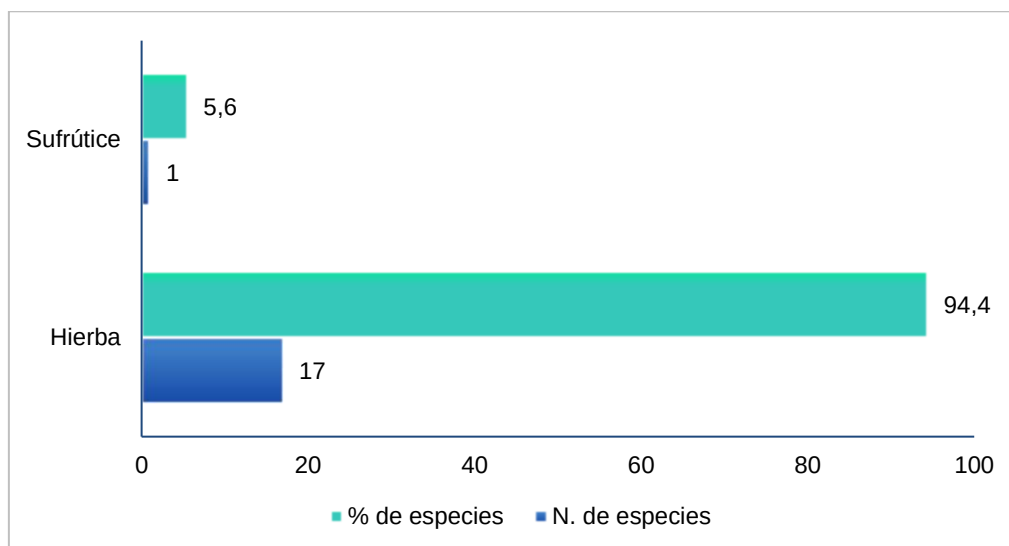


Figura 6.78. Formas de crecimiento de la flora vascular registrada en el área de estudio

6.3.6.1.1. Especies amenazadas, casi amenazadas y endémicas de flora silvestre

a) Especies amenazadas y casi amenazadas

De acuerdo con los criterios de amenaza de las listas de categorización nacional e internacional, no se registraron especies dentro de estas categorías.

b) Especies CITES

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Respecto a los apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre CITES (2018), no se registraron especies dentro de estas categorías.

c) Especies endémicas

No se registró especies endémicas según el «Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Perú» (León *et al.*, 2006).

6.3.4.2. Tejido vegetal

El análisis de tejido vegetal se realizó en 2 especies del género *Calamagrostis* de la familia Poaceae (*Calamagrostis chrysantha* y *Calamagrostis* cf. *brevifolia*), en las cuales se analizaron las concentraciones de metales, macronutrientes y micronutrientes en el tejido vegetal de estas especies.

a) Concentración de metales

En la Tabla 6.34 se presentan los resultados de los metales analizados en las muestras de tejido vegetal de las muestras colectadas en el API “Para Para” y en la zona control, donde se muestran los principales estadísticos obtenidos en ambas zonas de evaluación, los resultados por puntos de muestreo se muestran en el Anexo 4. Además, en la Figura 6.79 se muestra los resultados de los metales cromo, cobre, hierro, selenio, molibdeno y titanio.

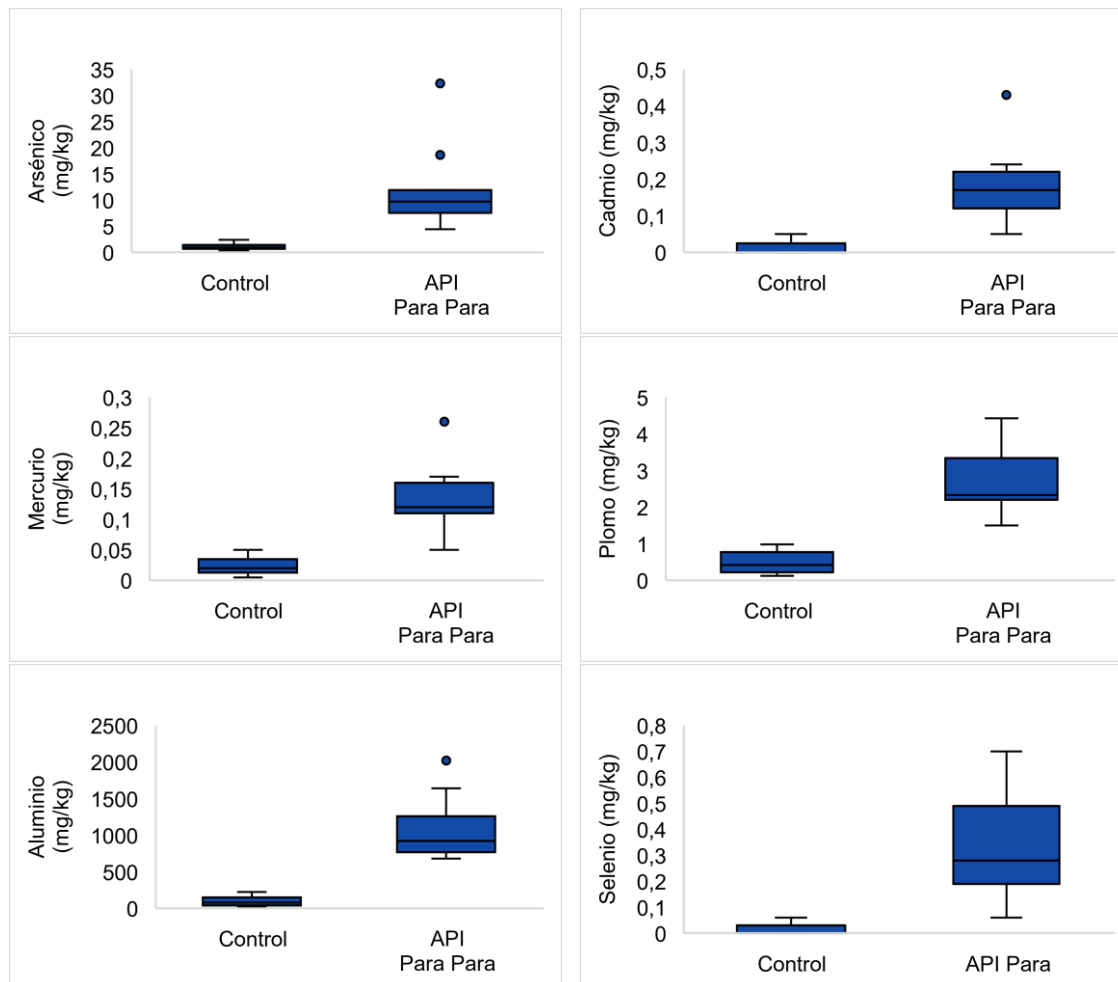
Tabla 6.34. Concentraciones de metales en tejido vegetal del API “Para Para” y zona control

Zonas	Metales (mg/kg)	Estadísticos					
		N	Media	Mediana	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
API “Para Para”	Arsénico	9	12,16	9,68	8,57	4,43	32,28
	Cadmio	9	0,18	0,17	0,11	0,05	0,43
	Cromo	9	2,54	2,59	0,46	1,83	3,13
	Cobre	9	87,83	78,24	50,69	44,38	183,09
	Hierro	9	3717,02	2328,02	3557,27	1316,52	12768,96
	Mercurio	9	0,13	0,12	0,06	0,05	0,26
	Manganeso	9	110,27	73,22	93,84	29,65	330,75
	Níquel	9	3,16	2,58	0,89	2,36	4,64
	Plomo	9	2,76	2,33	1,04	1,50	4,43
	Selenio	9	0,35	0,28	0,23	0,06	0,70
	Zinc	9	30,43	27,54	11,35	15,89	51,17
	Aluminio	9	1119,92	920,65	459,83	678,82	2017,00
	Bario	9	7,48	8,02	1,49	5,16	9,25
	Cobalto	9	2,29	1,70	1,83	0,95	6,50
	Molibdeno	9	1,52	1,51	0,71	0,39	2,88
	Estroncio	9	9,53	8,68	3,97	5,15	16,01
	Titanio	9	3,53	2,75	1,65	2,03	6,83
Control	Arsénico	7	1,13	0,94	0,70	0,38	2,40
	Cadmio	7	0,014	0,000	0,024	0,000	0,050
	Cromo	7	1,03	0,90	0,42	0,68	1,77
	Cobre	7	3,07	3,15	0,63	2,13	4,10
	Hierro	7	164,11	126,29	112,68	66,20	393,57
	Mercurio	7	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05
	Manganeso	7	341,17	216,26	373,58	61,37	1164,63
	Níquel	7	0,87	0,80	0,37	0,42	1,36
	Plomo	7	0,50	0,42	0,34	0,12	0,98
	Selenio	7	0,02	0,00	0,03	0,00	0,06
	Zinc	7	18,40	19,32	7,57	9,40	28,70

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Zonas	Metales (mg/kg)	Estadísticos					
		N	Media	Mediana	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
	Aluminio	7	99,22	78,14	77,59	20,00	223,11
	Bario	7	7,72	6,40	3,93	4,76	16,21
	Cobalto	7	0,10	0,07	0,09	0,07	0,31
	Molibdeno	7	1,09	1,14	0,62	0,30	1,87
	Estroncio	7	13,65	12,78	4,83	8,79	20,42
	Titanio	7	2,83	2,72	0,58	2,18	3,81

N: número de muestras.

**Figura 6.79.** Concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio, plomo, aluminio y selenio, en el tejido vegetal del API “Para Para” y zona control**b) Concentración de macronutrientes**

En la Tabla 6.35 se presentan los resultados de los macronutrientes analizados en las muestras de tejido vegetal, donde se muestran los principales estadísticos del API “Para Para” y zona control, los resultados por puntos de muestreo se muestran en el Anexo 4.

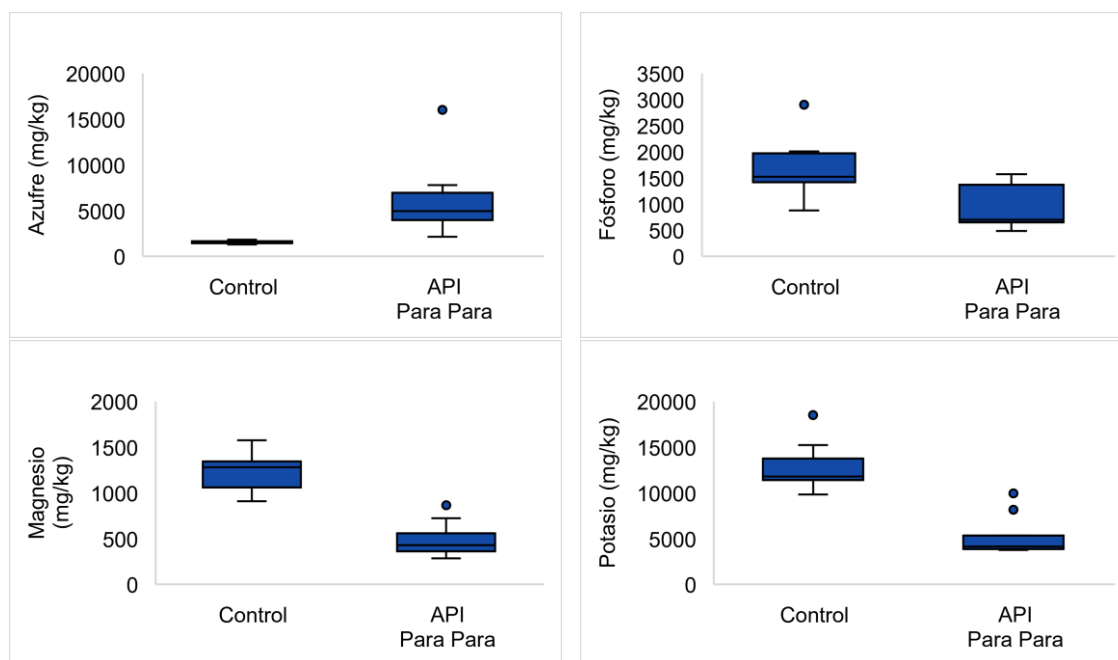
Tabla 6.35. Concentraciones de macronutrientes en tejido vegetal del API “Para Para” y zona control

Zonas	Macronutriente (mg/kg)	Estadísticos					
		N	Media	Mediana	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
	Azufre	9	6081,22	4938	4102,24	2135	16024

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Zonas	Macronutriente (mg/kg)	Estadísticos					
		N	Media	Mediana	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
API Para Para	Calcio	9	2533,78	1836	2162,97	1096	7956
	Fósforo	9	915,89	701	420,30	485	1571
	Magnesio	9	490,89	428	192,52	283	866
	Nitrógeno Total	9	13915,56	13660	2464,69	10570	18500
	Potasio	9	5312,11	4149	2214,60	3743	9928
Control	Azufre	7	1557,86	1586	193,76	1297	1833
	Calcio	7	2900,57	2424	973,14	2026	4771
	Fósforo	7	1726,00	1525	641,48	880	2902
	Magnesio	7	1224,14	1280	241,05	910	1574
	Nitrógeno Total	7	16368,57	15020	4791,75	12750	26940
	Potasio	7	12907,57	11767	2952,03	9822	18492

N: número de muestras.

**Figura 6.51.** Concentraciones de azufre, calcio, fosforo y magnesio, en el tejido vegetal del API “Para Para” y zona control**c) Concentración de micronutrientes**

En la Tabla 6.36 se presentan los resultados de los micronutrientes analizados en las muestras de tejido vegetal, donde se muestran los principales estadísticos del API “Para Para” y zona control, los resultados por puntos de muestreo se muestran en el Anexo 4.

Tabla 6.36. Concentraciones de micronutrientes en tejido vegetal del API “Para Para” y zona control

Zonas	Metales (mg/kg)	Estadísticos					
		N	Media	Mediana	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
API Para Para	Boro	9	1,02	1,08	0,56	0,00	1,77
	Cobre	9	87,93	82,10	35,10	50,10	134,00
	Hierro	9	6067,06	3762,60	6958,29	2012,42	24203,13



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Zonas	Metales (mg/kg)	Estadísticos					
		N	Media	Mediana	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
	Manganeso	9	168,89	172,00	134,86	41,00	488,00
	Zinc	9	54,07	42,30	34,89	30,40	142,00
Control	Boro	7	5,44	5,57	1,38	3,26	6,99
	Cobre	7	3,71	3,67	0,75	2,27	4,54
	Hierro	7	390,25	253,00	429,52	186,00	1361,73
	Manganeso	7	244,00	182,00	186,57	39,00	618,00
	Zinc	7	22,10	24,30	7,06	12,30	28,90

N: número de muestras.

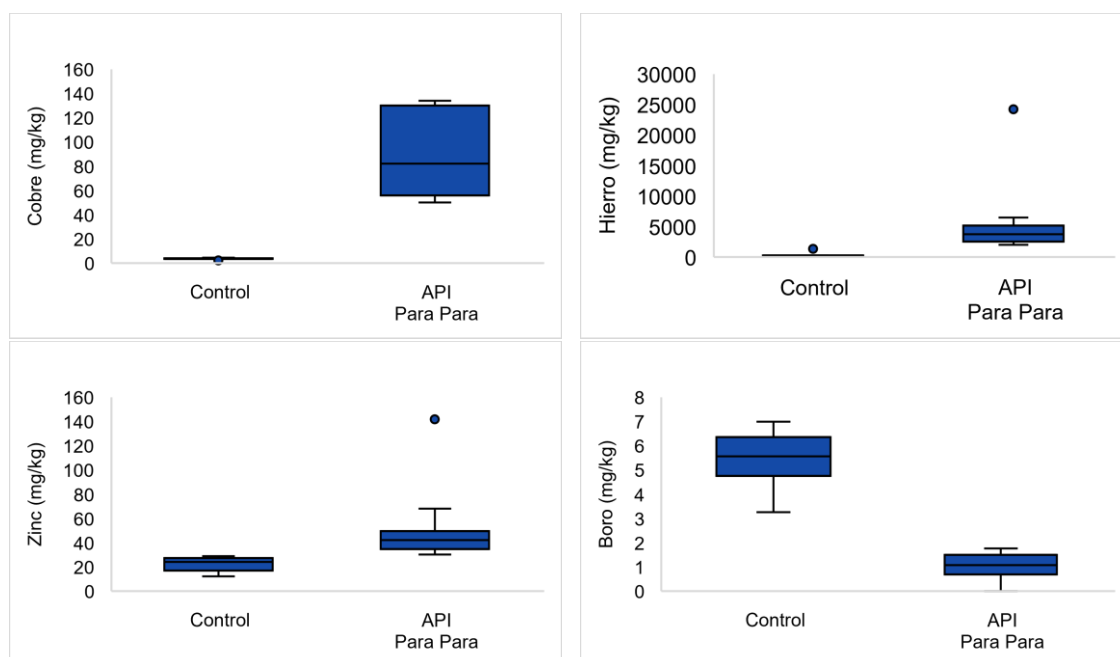


Figura 6.80. Concentraciones de sulfato y cloruro, en el tejido vegetal del API “Para Para” y zona control

d) Contenido de sustancias indeseables según el Real Decreto 465/2003 y el *National Research Council* (2005) en el análisis de tejido vegetal

Las concentraciones de metales y macronutrientes en el tejido vegetal fueron comparados referencialmente con valores de estudios mencionados en el ítem 5.1.6.3 Criterios de evaluación, el contenido máximo de los metales establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española y los metales establecidos por el *Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals, National Research Council* (2005), sobre los niveles máximos tolerables en el alimento para el consumo animal, basados en índices de salud animal (Tabla 6.12).

Al respecto, referencialmente en el tejido vegetal de las plantas analizadas las concentraciones de arsénico (COTV-09), cobre (COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09), hierro (COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09), aluminio (COTV-03, COTV-04, COTV-07 y COTV-08) y azufre (COTV-02, COTV-04, COTV-07 y COTV-09); así como, las de sulfato (en el punto ANTV-N141) superaron el contenido máximo establecidos por el NRC (Tabla 6.6). Asimismo, las concentraciones de arsénico (COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

05, COTV-06, COTV-07, COTV-08, COTV-09 y COTV-14) y mercurio (COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-07, COTV-08 y COTV-09) superaron el contenido máximo establecido por el Real Decreto 465/2003.

Tabla 6.37. Concentración de metales en tejido vegetal en el API “Para Para” y zona Control en comparación referencial con los valores establecidos por el *National Research Council* (2005) y Real Decreto 465/2003

Zona	Código	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Aluminio (mg/kg)	Azufre (mg/kg)
API “Para Para”	COTV-01	7,58	0,12	45,2	1316,52	0,05	1,98	767,84	4938
	COTV-02	11,88	0,05	78,24	3314,26	0,12	2,33	717,87	6961
	COTV-03	5,88	0,24	183,09	2328,02	0,26	2,28	1218	2135
	COTV-04	18,62	0,11	83,87	4977,84	0,16	4,34	1257	5234
	COTV-05	4,43	0,22	161,48	2028,21	0,12	1,5	861,06	3650
	COTV-06	9,26	0,14	84,39	2669,63	0,09	2,47	920,65	4054
	COTV-07	9,68	0,18	49,33	1727,83	0,12	3,34	1641	7776
	COTV-08	9,79	0,17	60,45	2321,92	0,17	2,2	678,82	3959
	COTV-09	32,28	0,43	44,38	12768,96	0,11	4,43	2017	16024
Control	COTV-10	0,94	0	3,2	126,29	0,02	0,42	78,14	1700
	COTV-11	0,45	0	3,47	85,38	0,005	0,12	20	1321
	COTV-12	1,56	0,05	4,1	207,21	0,02	0,82	173,51	1623
	COTV-13	0,38	0	2,84	66,2	0,005	0,12	20	1833
	COTV-14	2,4	0,05	3,15	172,32	0,04	0,98	223,11	1586
	COTV-15	0,91	0	2,13	393,57	0,03	0,32	57,61	1297
	COTV-16	1,24	0	2,6	97,83	0,05	0,72	122,16	1545
Real Decreto 465/2003 ⁽¹⁾ Sustancias indeseables en la alimentación animal (mg/kg) ⁽²⁾		2	1	-	-	0,1	30	-	-
NRC 2005 ⁽³⁾	Oveja	30	10	15	500	2	100	1000	5000
	Vaca	30	10	40	500	2	100	1000	5000

(1): 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.º 102 del Ministerio de la Presidencia de España, de 29 de abril de 2003, referencia: BOE-A-2003-8717. Última modificación: 5 de marzo de 2011.

(2): Contenido máximo en mg/kg en piensos, referido a un contenido de humedad del 12 %.

(3): Valores establecidos por el «Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals», National Research Council (2005).

Exceden los valores establecidos por el NRC (2005).

Exceden los valores establecidos en el Real Decreto 465/2003.

e) Niveles críticos de concentración de metales en tejido vegetal

Las concentraciones de metales obtenidas en el análisis de tejido vegetal fueron referencialmente comparadas con valores de estudios especializados en toxicidad vegetal, las cuales son referido por Kabata-Pendias (2010) en su artículo «*Trace Elements in Soils and Plants*», donde se menciona las concentraciones normales y críticas (excesivo o tóxico).

De acuerdo con lo precisado por Kabata-Pendias (2010), las concentraciones de arsénico (halladas en las muestras de los puntos COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09) y cobre (en los puntos COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09) se encontraron en el rango de concentraciones críticas (excesivo o tóxico) para las plantas. Tabla 6.38.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Tabla 6.38. Concentración de metales en tejido vegetal de la zona 4 en comparación referencial con rangos normales y críticas (excesivo o tóxico) en plantas según Kabata-Pendías (2010)

Zona	Código	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Selenio (mg/kg)	Cobalto (mg/kg)	Molibdeno (mg/kg)
API Para Para	COTV-01	7,58	0,12	45,2	0,05	1,98	0,62	0,97	1,04
	COTV-02	11,88	0,05	78,24	0,12	2,33	0,47	0,95	1,51
	COTV-03	5,88	0,24	183,09	0,26	2,28	0,28	1,3	1,56
	COTV-04	18,62	0,11	83,87	0,16	4,34	0,49	1,8	2,88
	COTV-05	4,43	0,22	161,48	0,12	1,5	0,06	1,7	0,39
	COTV-06	9,26	0,14	84,39	0,09	2,47	0,16	2,1	1,18
	COTV-07	9,68	0,18	49,33	0,12	3,34	0,19	6,5	1,3
	COTV-08	9,79	0,17	60,45	0,17	2,2	0,19	1,3	1,61
	COTV-09	32,28	0,43	44,38	0,11	4,43	0,7	4	2,23
Control	COTV-10	0,94	0	3,2	0,02	0,42	0	0,065	0,67
	COTV-11	0,45	0	3,47	0,005	0,12	0	0,065	1,87
	COTV-12	1,56	0,05	4,1	0,02	0,82	0	0,065	1,14
	COTV-13	0,38	0	2,84	0,005	0,12	0,06	0,065	1,51
	COTV-14	2,4	0,05	3,15	0,04	0,98	0	0,065	0,3
	COTV-15	0,91	0	2,13	0,03	0,32	0	0,31	1,66
	COTV-16	1,24	0	2,6	0,05	0,72	0,06	0,065	0,46
Rango normal en plantas ^(a)		0,01* – 4	0,05– 0,5*	2* - 20*	0,005*– 0,2*	0,1* – 10	0,01 – 2	0,02 – 3*	0,2 – 5
Concentraciones críticas en plantas ^(b)		5 – 20 (80*)	5 – 30	20 – 100	1–3	30 – 300	5 – 30	15 – 50	10 – 50

(a y b): Concentraciones normales y críticas de metales referidas en el libro «Trace Elements in Soils and Plants» por Kabata-Pendías (2010). Taylor and Francis Group, LLC. 2010. Pp. 105

(*) Concentraciones normales y críticas de metales ajustadas según lo establecido en el libro «Plants and Heavy Metals» Edited by A. Furini, G. Dal Corso, A. Manara, E. Fasani and A. Neslar. Heidelberg, Germany: Springer (2012), pp. 86

Concentraciones que se encuentran en el rango de posible toxicidad en plantas.

6.3.5. Anfibios y reptiles (fauna silvestre)

Son presentados a continuación los resultados de la evaluación de anfibios y reptiles realizada en el ámbito del bofedal “Para Para” en la UM Corihuarmi.

6.3.5.1. Composición, riqueza y abundancia de especies

En esta evaluación, en el ámbito del bofedal “Para Para”, se registró una especie de anfibio (Clase Amphibia) perteneciente al orden anura de la familia Leptodactylidae y una especie de reptil, incluida en el orden Squamata, perteneciente a la familia Liolaemidae (Tabla 6.39).

Los resultados por unidad de evaluación se encuentran detallados en el reporte de resultados RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

Tabla 6.39. Especies de anfibios y reptiles registrados en el área de estudio

Clase	Orden	Familia	Especie	Nombre en español o local
Amphibia	Anura	Leptodactylidae	<i>Pleurodema marmoratum</i> (Duméril and Bibron, 1840)	Sapo marmoleado de cuatro ojos*
Reptilia	Squamata	Liolaemidae	<i>Liolaemus robustus</i> Laurent, 1922	Lagartija**

(*) Traducido al español de Frost (2023), (**) nombre local.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Considerando los registros obtenidos mediante las búsquedas por encuentro visual (VES) y los registros oportunistas (RO), para la clase Amphibia, con la especie *Pleurodema marmoratum*, se obtuvo 1 individuo en estadio postmetamórfico y aproximadamente 1130 en estadio larval. En cuanto a los reptiles, con una especie, la lagartija *Liolaemus robustus* se registraron 4 individuos adultos y 2 subadultos.

a) Esfuerzo de muestreo

En el ámbito del bofedal Para Para y áreas cercanas, se evaluaron 14 búsquedas por encuentro visual (VES) que representan un esfuerzo de muestreo de 7 horas – hombre, ejecutadas por un evaluador entre las 10 y 17 horas. En el área de potencial interés – API Para Para y áreas cercanas se evaluaron 6 VES (3 horas – hombre) y en el área control se evaluaron 8 VES (4 horas – hombre).

b) Riqueza y abundancia de especies

En el API Para Para y zona control se registraron 2 especies de anfibios y reptiles, *Pleurodema marmoratum* y *Liolaemus robustus*, respectivamente.

En cuanto a la abundancia relativa se halló una diferencia importante respecto a las larvas de *Pleurodema marmoratum*. En el área control se obtuvo una mayor abundancia relativa con 121,67 individuo por VES, hallándose larvas en 4 de los 8 VES evaluados. Por el contrario, en la zona control se registró una menor abundancia relativa con 41,67 individuos por VES, al igual que una menor frecuencia ya que se hallaron larvas en 1 de los 6 VES evaluados (Figura 6.81). Solo se registró un individuo postmetamórfico de esta especie en el área control.

Respecto a la lagartija *Liolaemus robustus*, tanto en el área control como en el API se registraron 2 individuos, que representan a 0,33 individuos por VES.

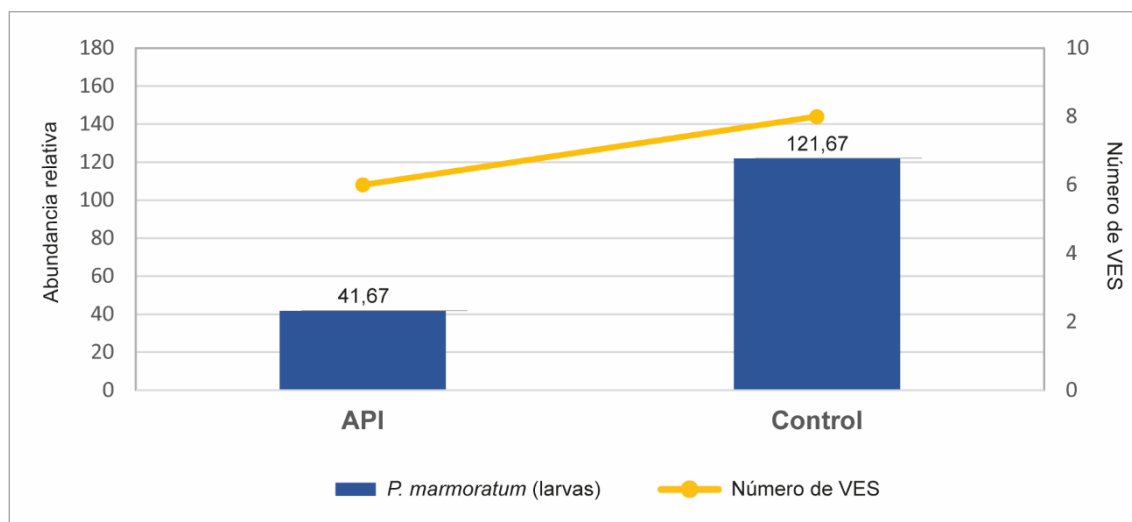


Figura 6.81. Abundancia relativa de larvas de *Pleurodema marmoratum* y esfuerzo de muestreo (número de VES) en el área de potencial interés – API y área control en el bofedal “Para Para”

Nota: API hace referencia al API Para Para y áreas cercanas



PERÚ

Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»**c) Anfibios y reptiles en categorías de amenaza, casi amenazada, endémicas o de importancia científica**

En el ámbito del bofedal “Para Para”, en la UM Corihuarmi, se registró la especie *Liolaemus robustus* que en la actualidad se encuentra categorizada como una especie Casi Amenazada (NT) según la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza – IUCN y también es considerada una especie endémica de Perú (Tabla 6.40)

La lagartija *Liolaemus robustus* (familia Liolaemidae) es una especie endémica de Perú porque según la información recopilada hasta la actualidad se distribuye en los departamentos de Pasco, Junín, Lima y Huancavelica, en un rango altitudinal comprendido entre los 4466 m y 4657 m (Aguilar *et al.*, 2017). Se encuentra incluida en la categoría de Casi Amenazada (NT) porque a pesar de tener un rango de distribución relativamente pequeño (12265 km²) donde se ha identificado la continua disminución de la extensión y calidad de hábitat debido a al crecimiento urbano, expansión de áreas agrícolas y actividades mineras, así como una sobreexplotación de individuos para uso medicinal, aún no está claro cuál es la extensión e intensidad de las amenazas identificadas (Aguilar *et al.*, 2017).

Tabla 6.40. Especies endémicas y de importancia científica registradas en el área de estudio

Clase	Orden	Familia	Especie	Nombre local	Categoría de amenaza		Endemismo
					IUCN 2022	D.S. N.º 004-2014	
Reptilia	Squamata	Liolaemidae	<i>Liolaemus robustus</i>	Lagartija	NT	-	Perú

Dónde: (NT) Casi Amenazada o *Near Threatened***6.3.5.2. Concentración de metales en anfibios**

En el ámbito del bofedal Para Para se colectaron 8 muestras compuestas de larvas de *Pleurodema marmoratum*, 3 muestras en el áreas cercanas al API Para Para, 4 en el área control y 1 en un área de erosión (Tabla 6.41.). En todas las muestras se cuantificaron 30 elementos; sin embargo, en los subsiguientes análisis se incluyeron 17 (Tabla 6.41). Para elegir estos elementos se consideraron aquellos que, según estudios previos, pueden tener efectos negativos en anfibios y están relacionados a los componentes mineros, no se consideraron los elementos cuyas concentraciones se encontraban por debajo del límite de cuantificación en más del 50 % de las muestras de tejido.

Los resultados de cada una de las muestras se encuentran detallados en el reporte de resultados RR-010-2023-STEC (Anexo 4).

Tabla 6.41. Número de muestras de larvas de *Pleurodema marmoratum* colectadas en el área de estudio

Localidad	Zona	Especie	Número de muestras	Código de muestras
Bofedal Para Para	Área cercanas al API Para Para	<i>Pleurodema marmoratum</i>	3	CORI-HE-V5, CORI-HE-RO3 CORI-HE-RO1
	Área control		4	CORI-HE-V7, CORI-HE-V8, CORI-HE-V12, CORI-HE-R04
	Área de erosión		1	CORI-HE-V10



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

En el ámbito de las áreas cercanas al API, según el valor de la mediana de las 3 muestras colectadas, se obtuvo que los elementos de mayor concentración fueron el hierro (463,6 mg/kg) y el sodio (131,4 mg/kg); seguidos por el aluminio (78,92 mg/kg), manganeso (21,39 mg/kg) y silicio (16,65 mg/kg) como elementos intermedios, el resto de los elementos presentaron concentraciones menores a 5,04 mg/kg del valor de la mediana (Tabla 6.17). El orden relativo de concentración para todos los elementos fue: Fe > Na > Al > Mn > Si > Ba > Ti > V > Sr > As > Pb > Cu > Co > Se > Bo > Hg > Cr.

En el ámbito del área control se colectaron 4 muestras, se obtuvo que el hierro y el sodio también fueron los elementos de mayor concentración con una mediana de 771,8 mg/kg y 120,95 mg/kg, respectivamente. Seguidamente, el silicio, aluminio y manganeso fueron los elementos intermedios, los demás elementos presentaron valores menores 1,734 mg/kg del valor de la mediana (Tabla 6.17). El orden relativo de concentración para todos los elementos fue: Fe > Na > Si > Al > Mn > Ba > As > Ti > Sr > Cu > V > Se > Co > Bo > Hg > Cr > Pb.

En el área de erosión se colectó una muestra, en la cual se obtuvo que el elemento de mayor concentración fueron el hierro (464,1 mg/kg), aluminio (265,6 mg/kg) y sodio (244,6 mg/kg). Seguidamente el manganeso (14,08 mg/kg), silicio (8,974 mg/kg) y bario (7,636 mg/kg) presentaron valores intermedios y el resto de los elementos presentó valores menores a 4,078 mg/kg (Tabla 6.17). El orden relativo de concentración para todos los elementos fue: Fe > Al > Na > Mn > Si > Ba > Ti > Sr > As > V > Pb > Cr > Cu > Se > Co > Hg > Bo.

Comparación de las concentraciones de metales en las larvas de *Pleurodema marmoratum* entre el API y área control

Al comparar las concentraciones de los elementos entre las áreas cerca al API y área control se obtuvo que, la mediana de la mayoría de los elementos analizados fue mayor en el API, a excepción del estroncio, hierro y silicio que alcanzaron mayores concentraciones en el área control (Tabla 6.42, Figura 6.81). El arsénico presentó similares valores en ambas localidades y aunque la mediana fue mayor en el área control, cerca al API alcanzó su mayor valor con 1,247 mg/kg (Tabla 6.42, Figura 6.81)

Como se muestra en la Tabla 6.42 y Figura 6.81, los datos presentaron una gran variación en ambas áreas; sin embargo, según la prueba de Mann – Whitney se obtuvo una diferencia significativa ($p < 0,05$) para el plomo y mercurio, que presentaron concentraciones que respectivamente fueron 21 y 2 veces mayor en el API, en comparación a lo hallado en el área control, siendo importante mencionar que el plomo no alcanzó el nivel mínimo de cuantificación en el área control (Tabla 6.42).

Para las comparaciones y análisis los valores de las concentraciones que no alcanzaron el límite de cuantificación fueron reemplazados por el valor del límite de cuantificación (LC) dividido por 2 (LC/2).

Tabla 6.42. Concentración de elementos en anfibios y reptiles en el API y área control del bofedal “Para Para”

Parámetro	Localidades bofedal Para Para ^a		Estadísticos	
	Áreas cercanas API Para Para (n = 3)	Área Control (n = 4)	Valor Mann- Whitney	Valor p
	Concentración (mg/kg)			
Aluminio	78,92 (32,25 - 254,7)	33,61 (1,473 - 82,5)	9	0,400
Arsénico	0,697 (0,5923 - 1,247)	1,088 (0,2028 - 1,235)	6	1



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Parámetro	Localidades bofedal Para Para ^a		Estadísticos	
	Áreas cercanas API Para Para (n = 3)	Área Control (n = 4)	Valor Mann- Whitney	Valor p
	Concentración (mg/kg)			
Bario	5,04 (1,085 - 6,365)	1,734 (1,359 - 2,918)	8	0,629
Boro	0,114 (0,1136 - 0,1828)	0,057 (0,1136 - 0,1136)	9	0,324
Cobalto	0,267 (0,0572 - 0,426)	0,075 (0,0507 - 0,1377)	9	0,400
Cobre	0,306 (0,2943 - 0,4666)	0,203 (0,1475 - 0,3464)	10	0,229
Cromo	0,03 (0,0594 - 0,1074)	0,03 (0,0594 - 0,0297)	8	0,386
Estroncio	0,795 (0,3248 - 2,111)	0,998 (0,1820 - 11)	7	0,857
Hierro	463,6 (276,8 - 633,2)	771,8 (99,12 - 2677)	6	1
Manganeso	21,39 (5,262 - 151,9)	13,967 (4,47 - 27,98)	8	0,629
Mercurio	0,081 (0,0752 - 0,2001)	0,0476 -	12	0,032*
Plomo	0,432 (0,1226 - 0,5161)	< 0,0423 -	12	0,032*
Selenio	0,145 (0,0924 - 0,2346)	0,093 (0,0924 - 0,1256)	9	0,359
Silicio	16,65 (7,511 - 45,67)	54,435 (38,56 - 149,9)	1	0,114
Sodio	131,4 (126,9 - 285,8)	120,95 (76,88 - 431,6)	7	0,857
Titanio	1,942 (0,5812 - 6,279)	1,082 (0,1533 - 1,301)	9	0,400
Vanadio	0,842 (0,334 - 1,125)	0,167 (0,0615 - 0,2993)	12	0,057

(a) Se indica el valor de la mediana y entre paréntesis los valores mínimos y máximos de la concentración de metales.

(<) Indica que el valor del elemento fue menor al nivel de cuantificación del método del laboratorio de ensayo.

Nota: Cálculos realizados con base a la matriz de concentración de metales en *Pleurodema marmoratum* del Reporte de resultados RR 010-2023-STEC (Anexo 4)



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

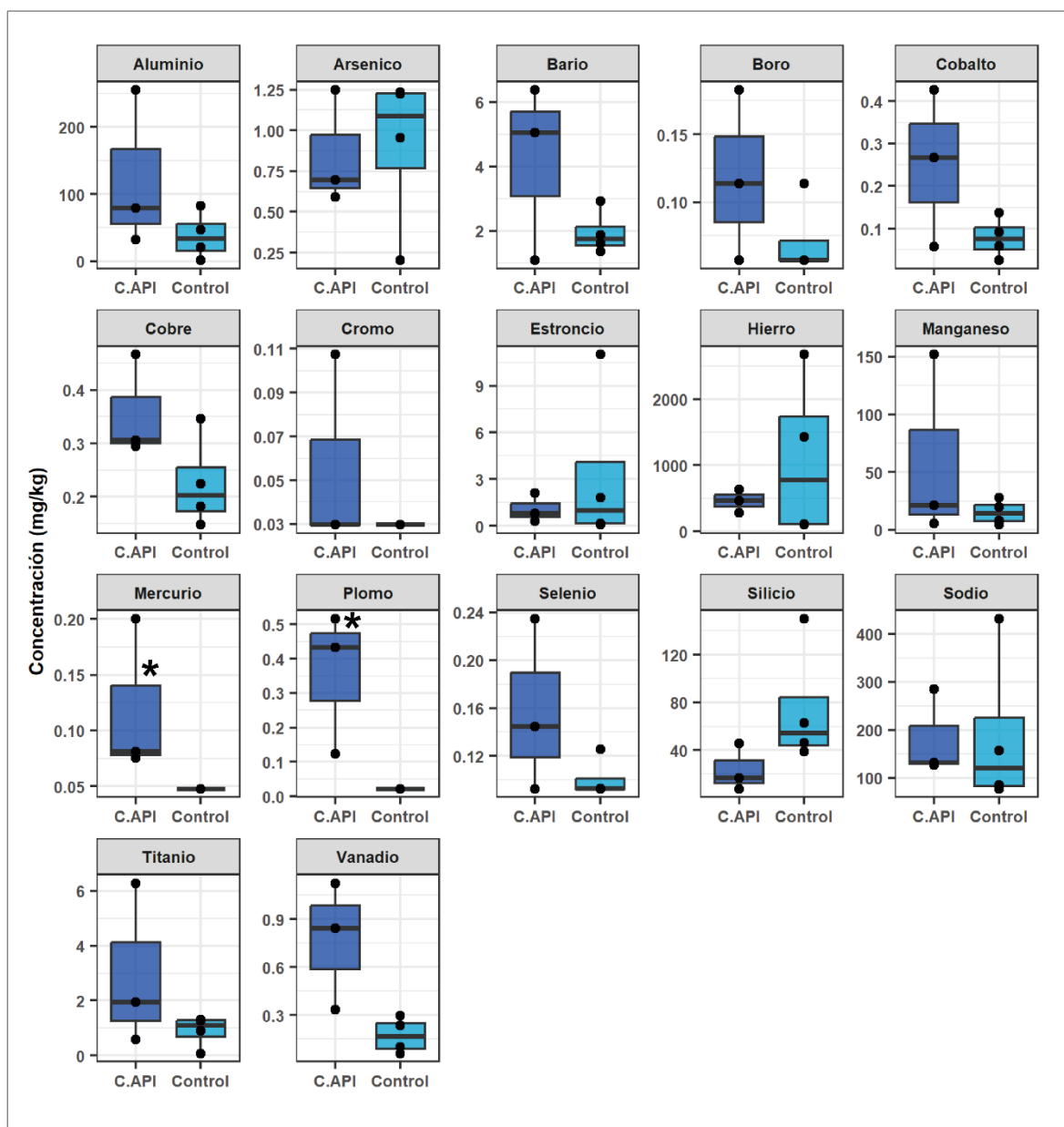


Figura 6.82. Comparación de la concentración de metales y metaloides en larvas de *Pleurodema marmoratum* entre áreas cercanas al API Para Para y área control en el ámbito del bofedal Para Para

(*) Metales y metaloides que presentaron diferencia significativa

Nota: C.API significa áreas cercanas al API Para Para

6.3.6. Componentes mineros y otros materiales

En la subzona 3 se identificó depósitos antropogénicos como residuos de mina, ubicados en el borde oeste del tajo Cayhua (CM-CAY-01) y en el lado sur del taller de maquinaria pesada (CM-P4A y CM-MAT1), además de, materiales acumulados en el canal de tierra del sistema de manejo de aguas de contacto (CA-PAR-01) (Figura 6.83).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

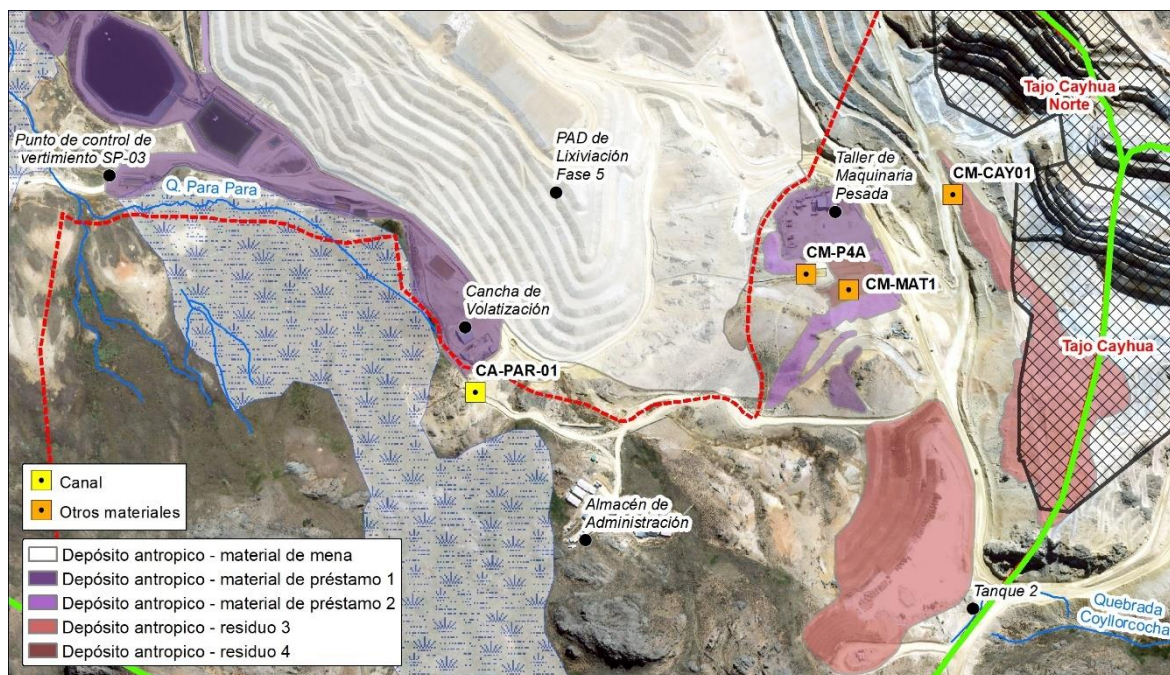


Figura 6.83. Depósitos antropogénicos identificados en la subzona 3, y puntos de muestreo realizados para la caracterización geoquímica.

Residuos de mina

El residuo de mina ubicado en el borde oeste del rajo Cayhua (CM-CAY01) presentó elevadas concentraciones de cadmio, mercurio, molibdeno, selenio talio, arsénico, plomo y zinc, que incluso superaron referencialmente los valores de corteza, usado para comparar los resultados de afloramientos rocosos sin perturbación o remoción.

Los residuos de mina ubicados en el lado sur del Taller de maquinaria pesada (CM-P4A y CM-MAT1) presentaron concentraciones elevadas de mercurio, molibdeno, selenio, arsénico y plomo; adicional a los mencionados, el material de relleno de la poza P-04A presentó elevadas concentraciones de hierro, cadmio, talio y zinc (Figura 6.84).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

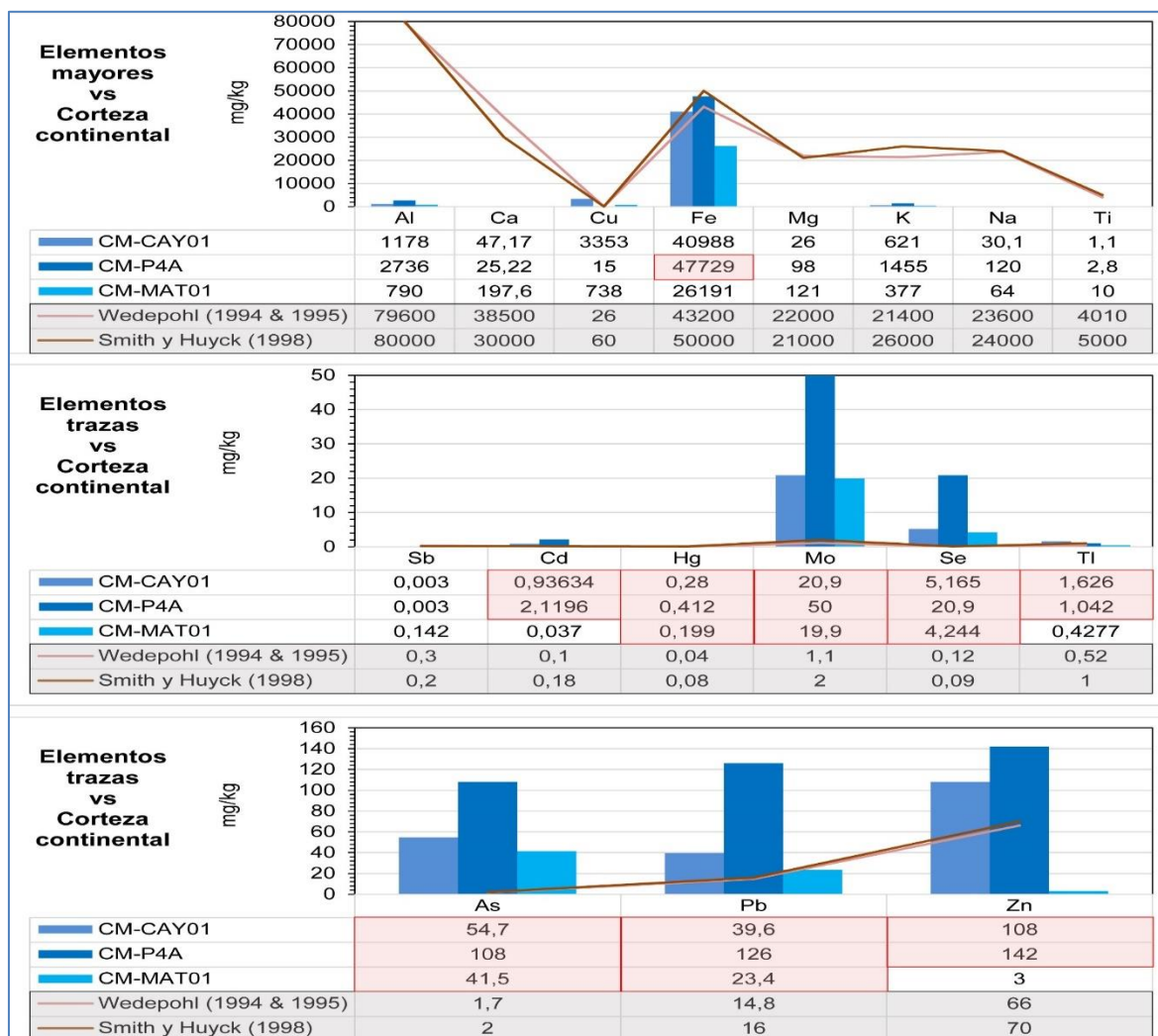


Figura 6.84. Concentración de elementos mayores y trazas del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) de la subzona 3, comparados referencialmente con los valores de corteza continental.

El material CM-CAY01 consiste en bloques de rocas volcánicas silicificadas y argilizadas con sulfuros, cuya composición mineralógica consta de abundante cuarzo, arcillas, alunita, pirofilita y mica, en menor porcentaje la pirita, jarosita, lepidocrocita y feldespato potásico. El material de relleno CM-P4A presentó abundante cuarzo, arcillas y micas, acompañado de alunita, pirita (2,8 %), pirofilita, lepidocrocita y feldespatos potásicos. En cambio, el material de residuo CM-MAT1 consta de cuarzo (77 %) y alunita (19 %) y en menor porcentaje de pirita, caolinita, rutilo y molibdenita (Figura 6.85).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

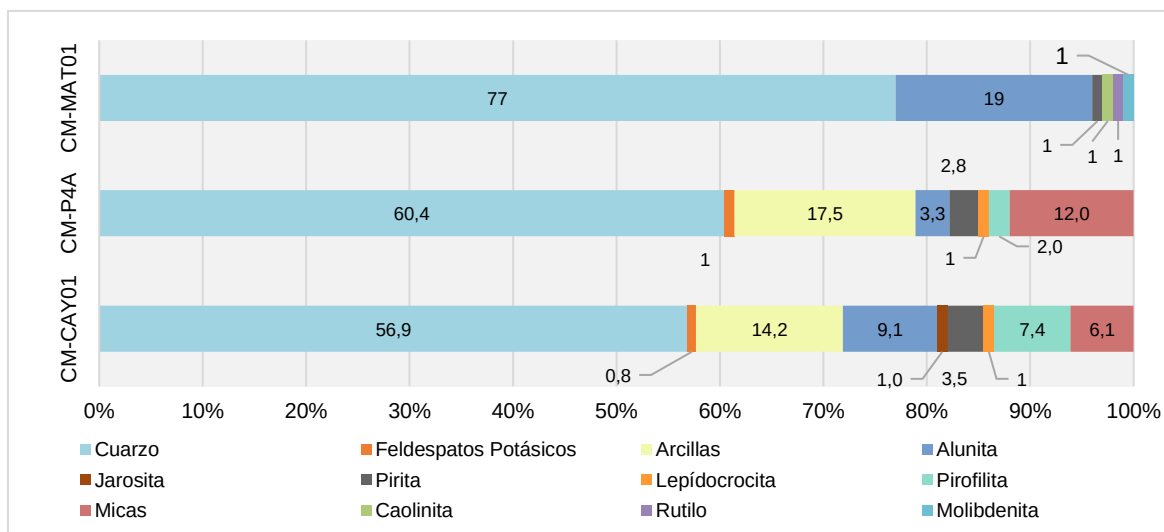


Figura 6.85. Composición mineralógica por difracción de rayos X del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1).

Según la prueba estática de balance ácido-base ABA, los materiales de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) presentaron alto porcentaje de azufre total (4,8 % a 6,78 %), principalmente como sulfuro, por el contenido de pirita, y pH en pasta ácido (2,31 a 3,43 unidades de pH). Según los criterios 1 (PNN) y 2 (RPN) fueron clasificados como «potenciales generadores de ácido - PGA» debido al alto potencial de acidez máximo (139 a 200 kg CaCO₃/Ton) respecto al potencial de neutralización que fue de 0,01 kg CaCO₃/Ton (Tabla XX).

Tabla 6.1. Resultados del Balance ácido-base del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) de la subzona 3.

Parámetro	Unidad	CM-CAY01	CM-P4A	CM-MAT1
Azufre Total	%	6,78	5,09	4,8
Sulfuro total	%	6,41	4,75	4,45
Sulfato total	%	0,37	0,34	0,35
pH en Pasta	Unidades pH	2,52	2,31	3,43
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	200	148	139
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	0,01	0,01	0,01
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	-200	-148	-139
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0	0	0
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		PGA	PGA	PGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA	PGA	PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-0XX-2023-STEC.

Respecto a los elementos lixiviables, por la prueba *shake flask*, los analitos móviles del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) son aluminio, hierro, cobre, zinc, arsénico, cadmio, manganeso, plomo y sulfatos; de los cuales, el hierro, arsénico, cobre, manganeso y zinc presentaron concentraciones superiores a los valores de los LMP (2010) - Límite en cualquier momento (Figura CC).

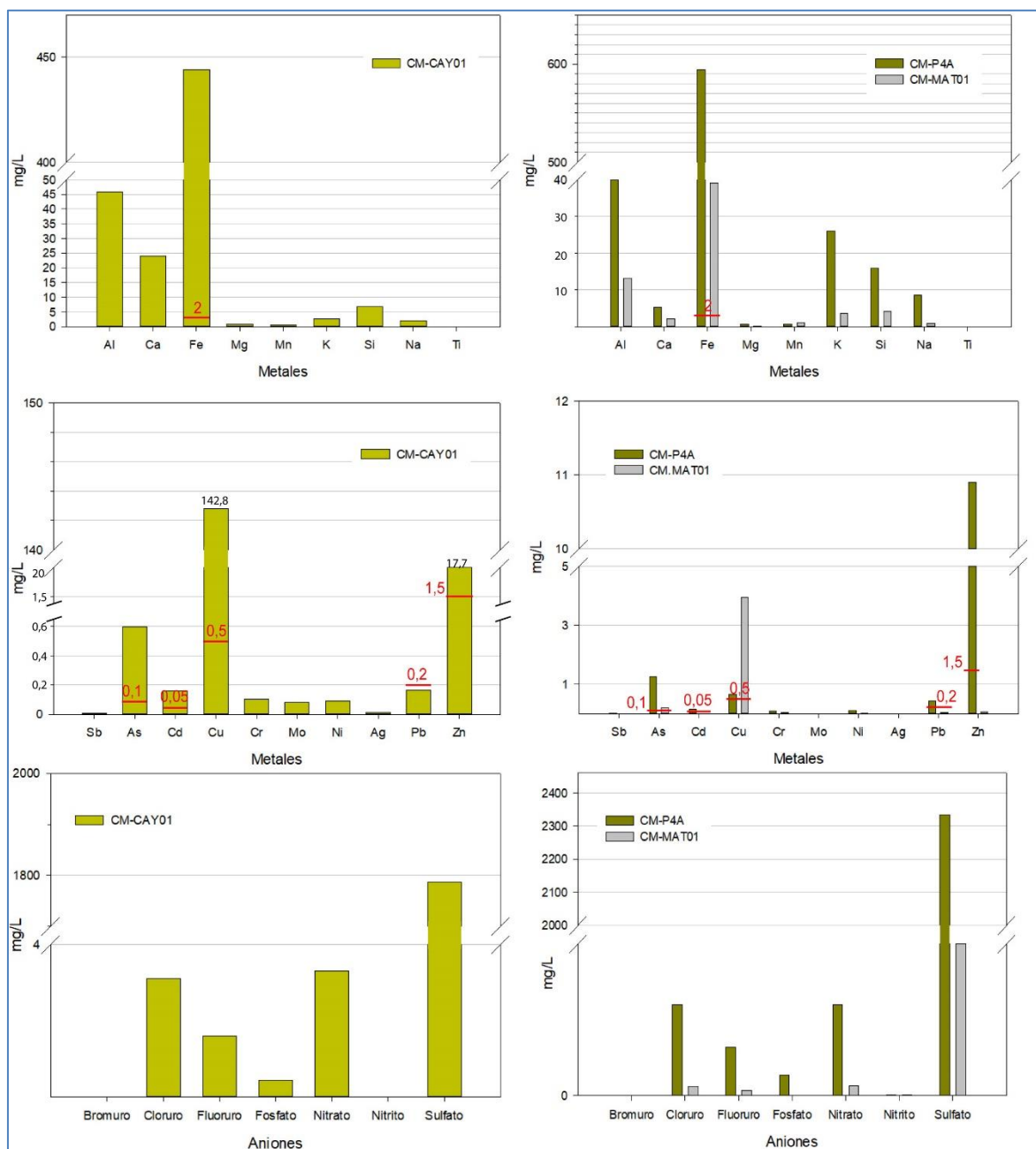


Figura 6.86. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT01) de la subzona 3.

Material acumulado en el canal de tierra del sistema de manejo de aguas de contacto

Según el plano detallado de subdrenajes del PAD de lixiviación (plano MIRL-SUBDF3Y4-01), en el lado este del PAD de lixiviación se construyó un canal para flujos de aguas de contacto que son captados desde el Taller de maquinaria pesada, aldaño al Tanque 2 y del campamento antiguo, que luego son conducidos mediante canales de tierra y geomembrana hacia la poza SP-03. Este material consiste en acumulaciones de material fino de color pardo naranja depositado entre los bloques rocosos –volcánicos– que conforman los bordes del canal de tierra (Figura 6.87).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

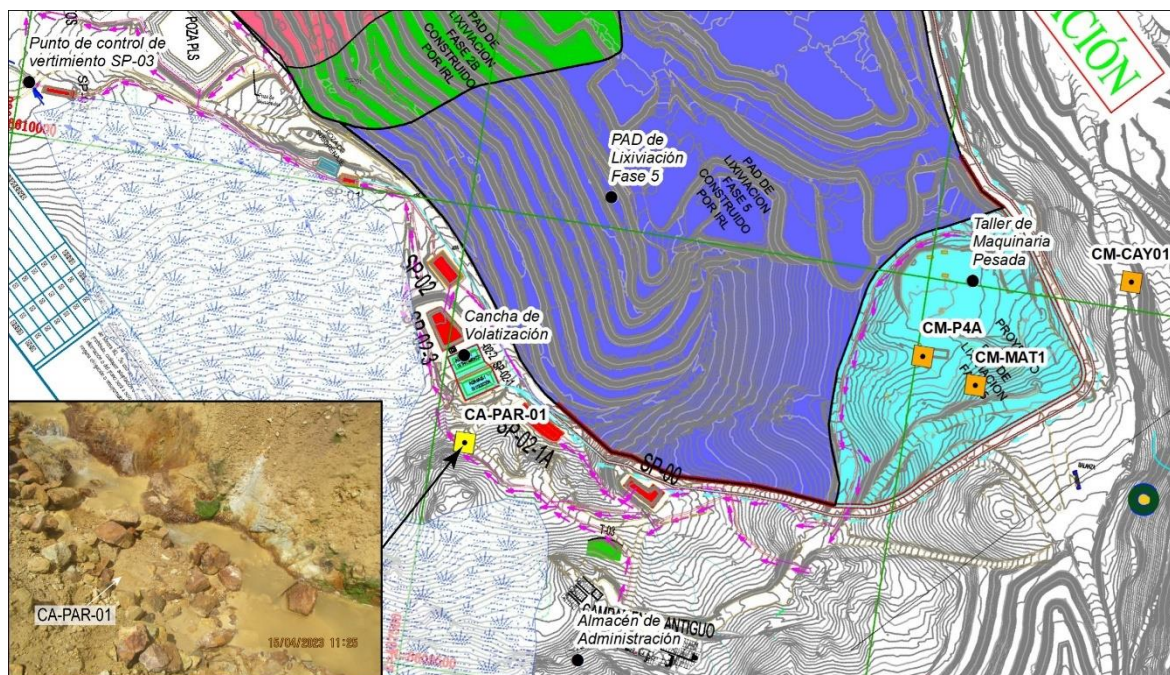


Figura 6.87. Punto de muestreo del material acumulado CA-PAR-01 ubicado en el canal para flujos de aguas de contacto del lado sur del PAD de lixiviación.

En cuanto a la concentración de metales, el hierro presentó mayor concentración respecto a los demás elementos mayores, y en cuanto a los elementos trazas, las concentraciones de arsénico, plomo y molibdeno fueron elevadas, acompañados de talio, selenio, antimonio, cadmio y mercurio (Figura 6.88).

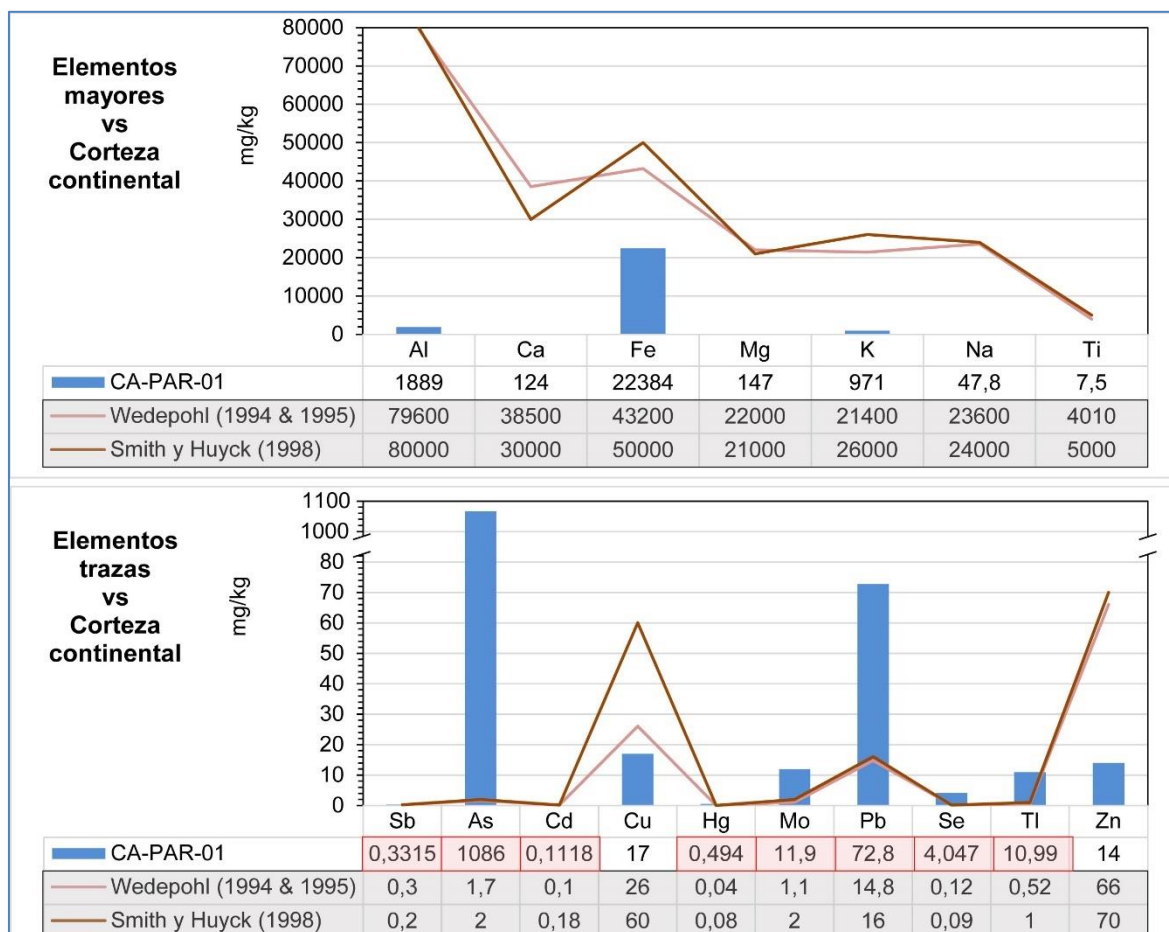
**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Figura 6.88. Concentración de elementos mayores y trazas del material acumulado CA-PAR-01 ubicado en el canal para flujos de aguas de contacto del lado sur del PAD de lixiviación, comparados referencialmente con los valores de corteza continental.

El pH de este material acumulado fue ácido (3,02); en tanto, la conductividad fue de 0,66 dS/m lo que sugiere que es un material no salino (Soil Survey Staff (1993), Janzen (1993) y Smith y Doran (1996).

6.3.7. Litogeoquímica

En la subzona 3 afloran rocas volcanosedimentarias de la Formación Caudalosa y rocas volcánicas de la Formación Astobamba; estas rocas son cubiertas por depósitos coluvial-deluvial, y sobre ellas, niveles biogénicos (bofedales). Adicionalmente, se identificó depósitos antropogénicos asociados a las actividades de explotación de Minera IRL SAC (Figura 6.89).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

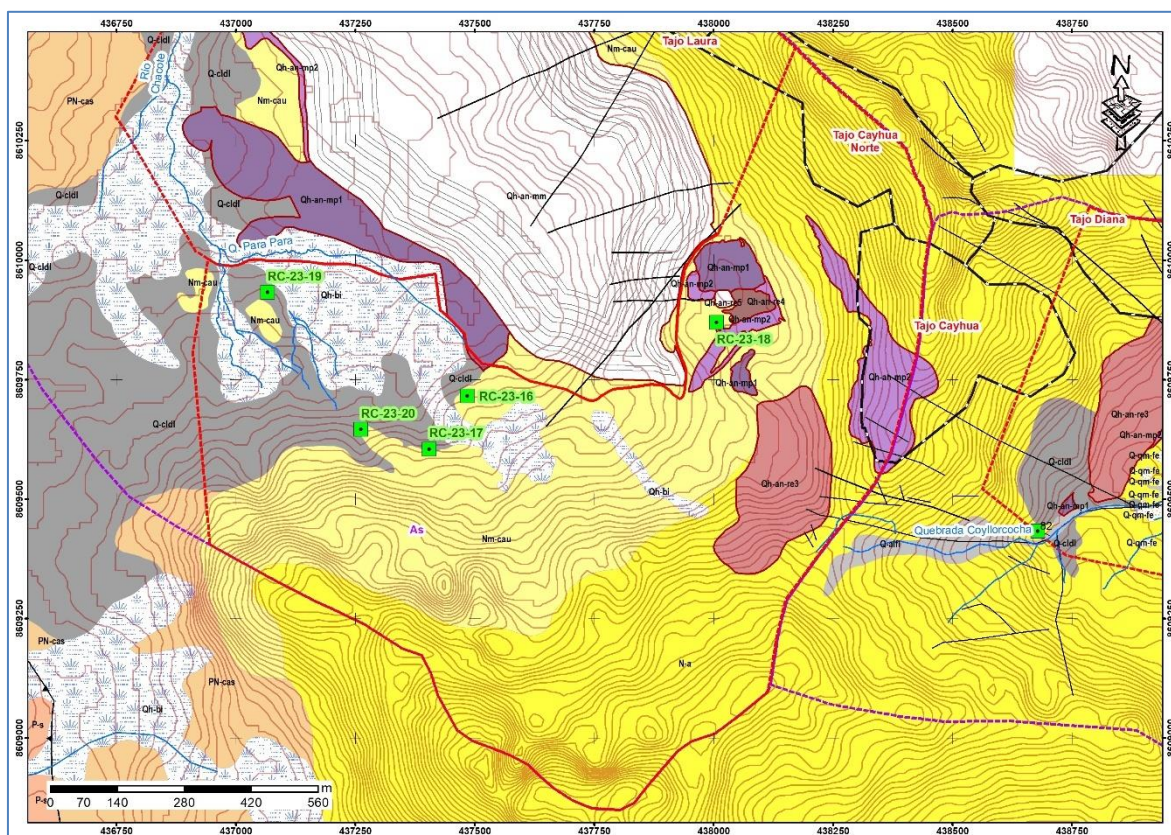


Figura 6.89. Unidades geológicas y puntos de muestreo de roca de la subzona 3.

En la Tabla 6.2 se presentan los puntos de caracterización principales unidades geológicas identificadas la subzona 3.

Tabla 6.2. Litología y análisis realizados en las unidades geológicas de la subzona 3.

N.º	Ubicación del afloramiento o depósito	Unidad geológica	Código de punto	Litología	Parámetros evaluados					
					Metales totales y Hg	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	DRX	Microscopía óptica
1	Lado sur del taller de maquinaria pesada	Formación Caudalosa	RC-23-18	Ignimbrita / brecha	1	1	1	1	--	1
2	Lado sur del bofedal Para		RC-23-16	Andesita porfírica	1	---	---	---	1	---
3			RC-23-20	Andesita porfírica	1	---	---	---	1	---
4	Lado suroeste del bofedal Para	Depósito coluvial-deluvial	RC-23-17	Fragmentos de andesita, en matriz de arena	1	---	---	---	1	---
5			RC-23-19	Fragmentos de rocas volcánicas, en matriz de lomos y arcillas	1	---	---	---	1	---

Fuente: Reportes de campo RC-011-2022-STEC.

(---): Parámetro no considerado para este punto.

A continuación, se describen las características litológicas y geoquímicas de las unidades geológicas identificadas aledaño en la subzona 3.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.3.7.1. Formación Caudalosa

Lado sur del taller de maquinaria pesada

Los afloramientos ubicados en el lado sur del taller de maquinaria pesada consisten en ignimbritas de composición riolítico-dacítica con zonas de brechas volcánicas silicificadas con textura oquerosa, y aglomerados oxidados con bajo porcentaje de pirita (RC-23-18). Las concentraciones de los elementos mayores fueron inferiores a los valores de corteza continental, en cuanto a los elementos trazas, el arsénico, mercurio, molibdeno, plomo y selenio superaron la referencia (Figura 6.90).

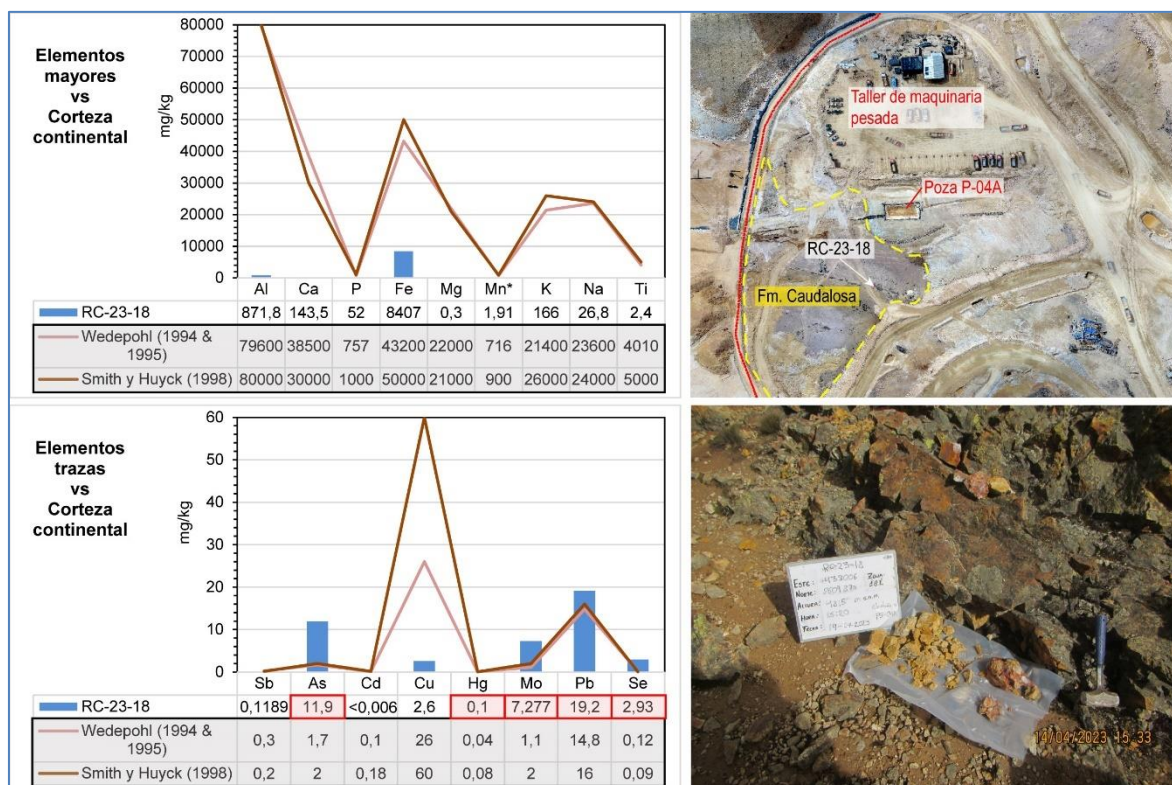


Figura 6.90. Afloramiento y concentraciones de elementos mayores y trazas de la roca volcánica (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.

(*) El manganeso se graficó junto con los elementos mayores para mejor visualización, no obstante, se precisa que es un elemento traza debido a su menor abundancia (900 ppm) en la corteza continental.

El análisis mineralógico de la muestra RC-23-22 lo clasificó como ignimbrita de composición riolítica-dacítica, de textura piroclástica con cristaloclastos de cuarzo I y litoclastos irregulares reemplazados por un mosaico microcristalino, acompañados por cristales de alunita y arcillas, con escasa limonita, y de forma accesoria presenta circón. La matriz consiste en granos finos de cuarzo II (mosaico) acompañados con parches de cloritas, además, presenta cavidades irregulares tardías de limonita y jarosita en cristales de hábito fibroso-radiado (Figura 6.91). Estas rocas presentan alteración moderada de tipo silicificación (cuarzo microcristalino) y argílica avanzada (alunita, arcillas, limonitas y jarosita), ambos de estilo penetrativo.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

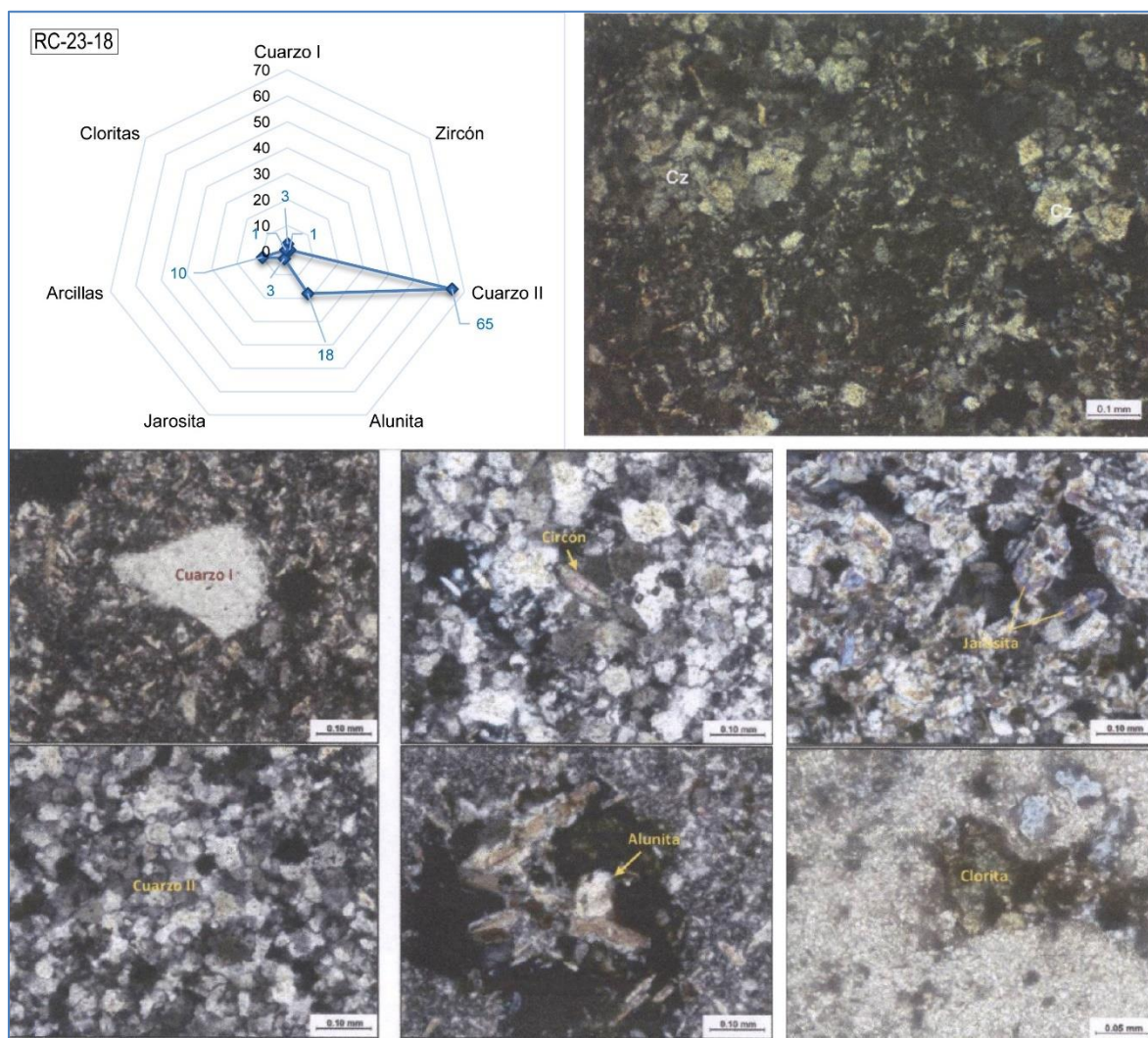


Figura 6.91. Composición mineralógica de la ignimbrita (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.

Según la prueba estática de balance ácido-base (ABA), la ignimbrita (RC-23-18) de Formación Caudalosa presentó alto porcentaje de azufre total (5,97 %) principalmente como sulfuro (5,53 %), y pH en pasta ácido (4,77 unidades de pH). Según los criterios 1 y 2 fue clasificado como «potencial generador de ácido» debido al mayor potencial de acidez (por la alteración argílica avanzada con alunita) respecto al potencial de neutralización (inexistencia de carbonatos) (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Balance ácido-base de las de la ignimbrita (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.

Parámetro	Unidad	RC-23-18 Ignimbrita
Azufre Total	%	5,97
Sulfuro total	%	5,53
Sulfato total	%	0,44
pH en Pasta	Unidades pH	4,77
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	173
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	0,02
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	-173
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Parámetro	Unidad	RC-23-18 Ignimbrita
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		PGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC.

Según la prueba *Shake Flask Extraction*, los analitos móviles o lixiviables de la ignimbrita (RC-23-18) de la Formación Caudalosa que superaron los ECA para agua (2008) fueron hierro y manganeso (Figura 6.11).

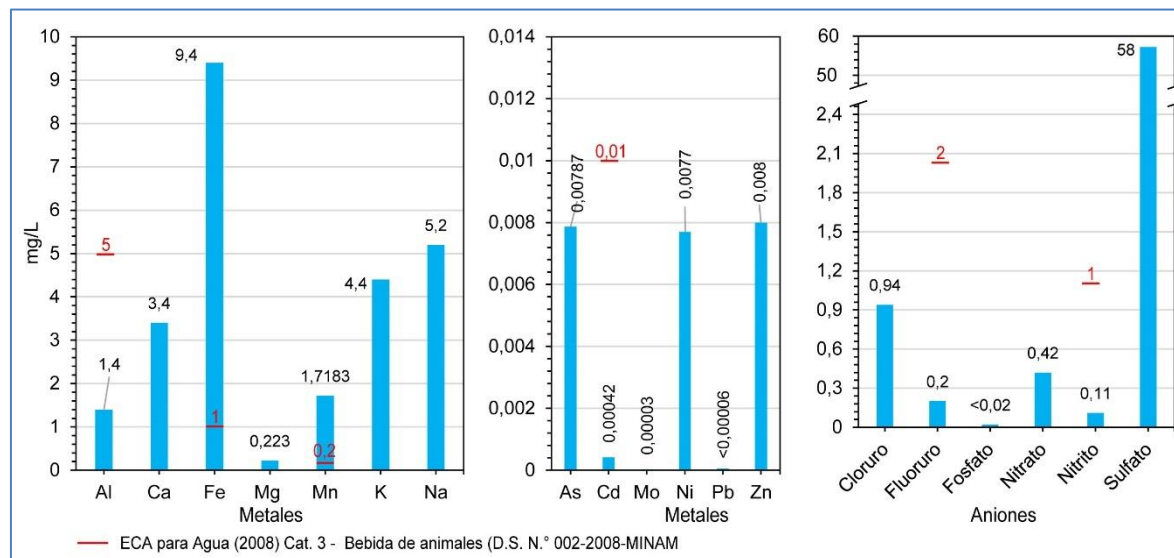


Figura 6.92. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* de la ignimbrita (RC-23-18) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del taller de maquinaria pesada.

Lado sur del bofedal Para

Los afloramientos ubicados en el lado sur del bofedal Para consisten en secuencias masivas de andesita de textura porfírica de color gris rojizo, con zonas de brechas argilizadas con pirita diseminada (RC-23-16) y andesita de textura porfírica con fenocristales de biotita, plagioclasa y ojos de cuarzo, y presenta óxidos de hierro por reemplazamiento de los minerales máficos (RC-23-20).

Las concentraciones de elementos mayores fueron inferiores a los valores de corteza continental; en cuanto a los elementos trazas, el manganeso, fósforo, zinc, arsénico, cadmio, molibdeno y selenio presentaron mayores concentraciones que la referencia, principalmente en la andesita porfírica ubicado cerca de la cancha de volatilización (RC-23-20). La composición mineralógica consta principalmente de plagioclasas, arcillas, cuarzo, micas y feldespatos potásicos, acompañado de pirofilita, magnetita, ilmenita, lepidocrocita y sulfuros (pirita y esfalerita) (Figura 6.92).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

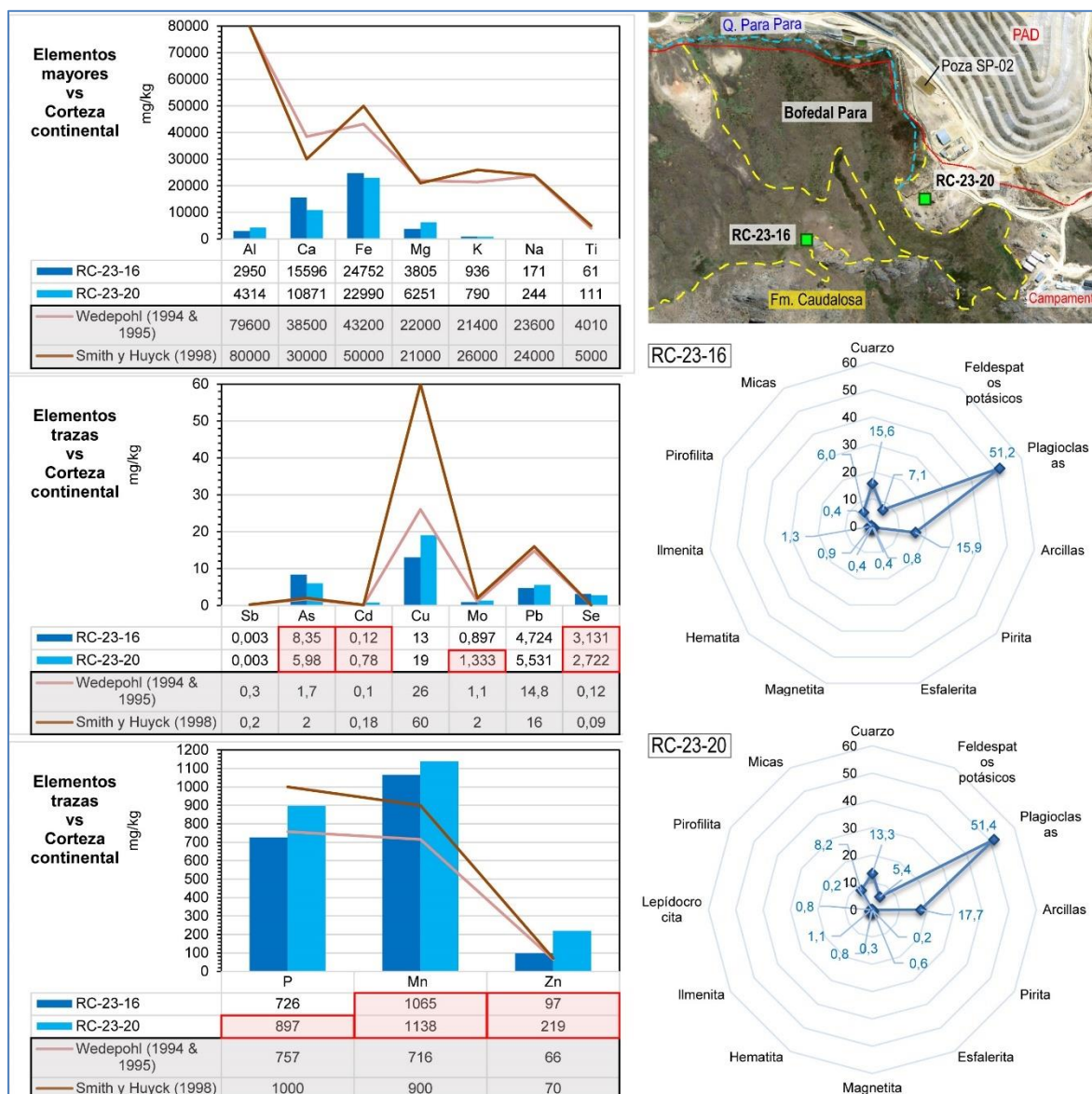


Figura 6.93. Composición mineralógica por Difracción de Rayos X y concentraciones de elementos mayores y trazas de las rocas volcánicas (RC-23-16 y RC-23-20) de la Formación Caudalosa ubicado en el lado sur del bofedal Para.

6.3.7.2. Depósitos cuaternarios

c. Depósito coluvial-deluvial

Estos depósitos se ubican en las laderas del lado sur del bofedal Para, presentan bajo espesor y forman relieves llanos a moderadamente inclinados. Aledaño a los afloramientos de andesitas de la Formación Caudalosa (zona proximal) consisten en fragmentos subangulosos de andesita porfírica (cristales de plagioclasa, biotita, cuarzo y epidota), englobado en matriz arenosa (RC-23-17); en tanto en la parte media del valle (zona distal) se componen de material deluvial marrón naranja compuesto por fragmentos de rocas volcánicas silicificadas y argilizadas, englobado en matriz de limo y arcillas (RC-23-19).

La zona proximal o zona de aporte (RC-23-17) presentó concentraciones de hierro, cadmio, molibdeno, selenio, talio, arsénico, manganeso y zinc que superan a los valores de corteza



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

continental, resaltando la concentración de manganeso que reportó 2867 mg/kg; asociados a minerales como plagioclasas, arcillas, cuarzo, feldespatos potásicos, micas, lepidocrocita, acompañados de trazas de óxidos de hierro (goethita, ilmenita y hematita), pirofilita, esfalerita y pirita. En la zona distal (RC-23-19) las concentraciones de mercurio, molibdeno, plomo, selenio, talio y arsénico superaron los valores de referencia y se componen de minerales como cuarzo, arcillas, plagioclasas, micas, pirofilita, lepidocrocita, alunita, feldespatos potásicos y trazas de óxidos de hierro (goethita y hematita) y yeso (Figura 6.94).

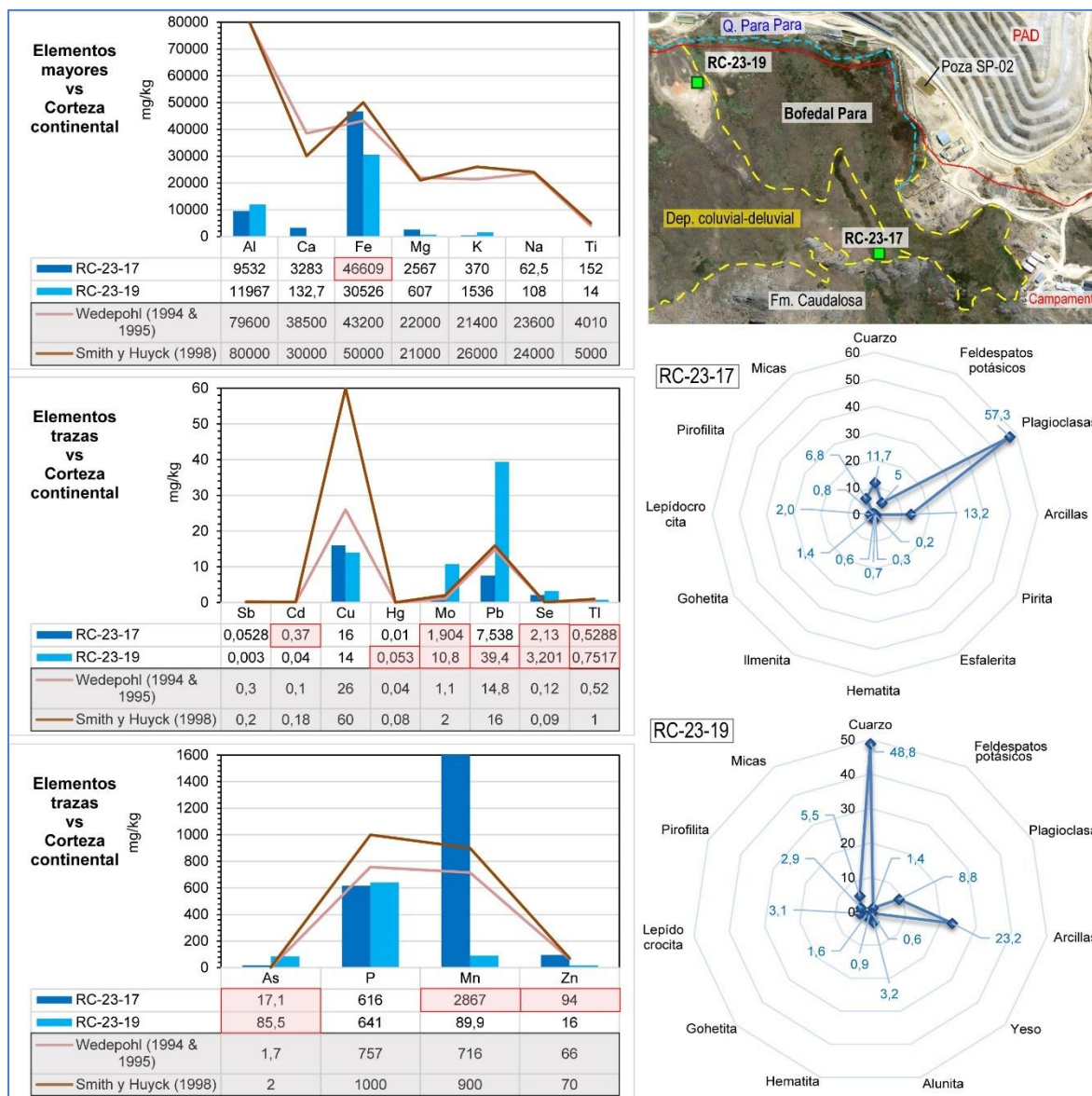


Figura 6.94. Composición mineralógica por Difracción de Rayos X y concentraciones de elementos mayores y trazas del depósito coluvial-deluvial (RC-23-17 y RC-23-19) de la subzona 3.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.3.8. Prospección geofísica

En la subzona 3 se realizaron 2 líneas de tomografía de resistividad eléctrica 2D, distribuidos en la zona de la poza P04A.

Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

Las líneas TE-P4A-01 y TE-P4A-02, estas líneas se ubican sobre el material de préstamo semicompactado material de desmonte y sobre las rocas volcánicas de la formación caudalosa con una baja cobertura de depósito cuaternario (Coluvial –deluvial).

A continuación, se presenta la interpretación de las resistividades obtenidas de las secciones, de las 2 líneas de ERT.

6.3.8.1. Sector 1: Poza P-04A - lado sur del taller de maquinaria pesada

La interpretación de las secciones de tomografía eléctrica consistió en diferenciar las zonas (A, B y C) en función a valores de resistividades. Las características y resultados se presentan en la Tabla 6.24

Tabla 6.4. Características de las líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el sector

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
TE-P04A-01	115	25	Zona A	---	---
				32.5 - 100	Material de desmonte (residuo minero), en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos .
			Zona B	101 - 250	Material de préstamo semicompactado, material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-1490	Material de préstamo semicompactado, material cuaternario (coluvial-deluvial) y Rocas volcánicas (Fm. Caudalosa), con bajo grado de fracturamiento.
TE-P04A-02	115	25	Zona A	22.5-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas
				26-100	Material de desmonte (residuo minero), material de préstamo semicompactado, material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa), en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material de préstamo semicompactado, material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) argilizadas en condiciones húmedas.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
			Zona C	251-714	Material de desmonte (residuo minero), material cuaternario (coluvial-deluvial) , Rocas volcánicas (Fm. Caudalosa) y brechas volcánicas silicificada con bajo grado de fracturamiento.

Las secciones de resistividad de las líneas TE-BMI-01, TE-BMI-02 y TE-BMI-03 se presentan en las Figura 6.95 y Figura 6.96

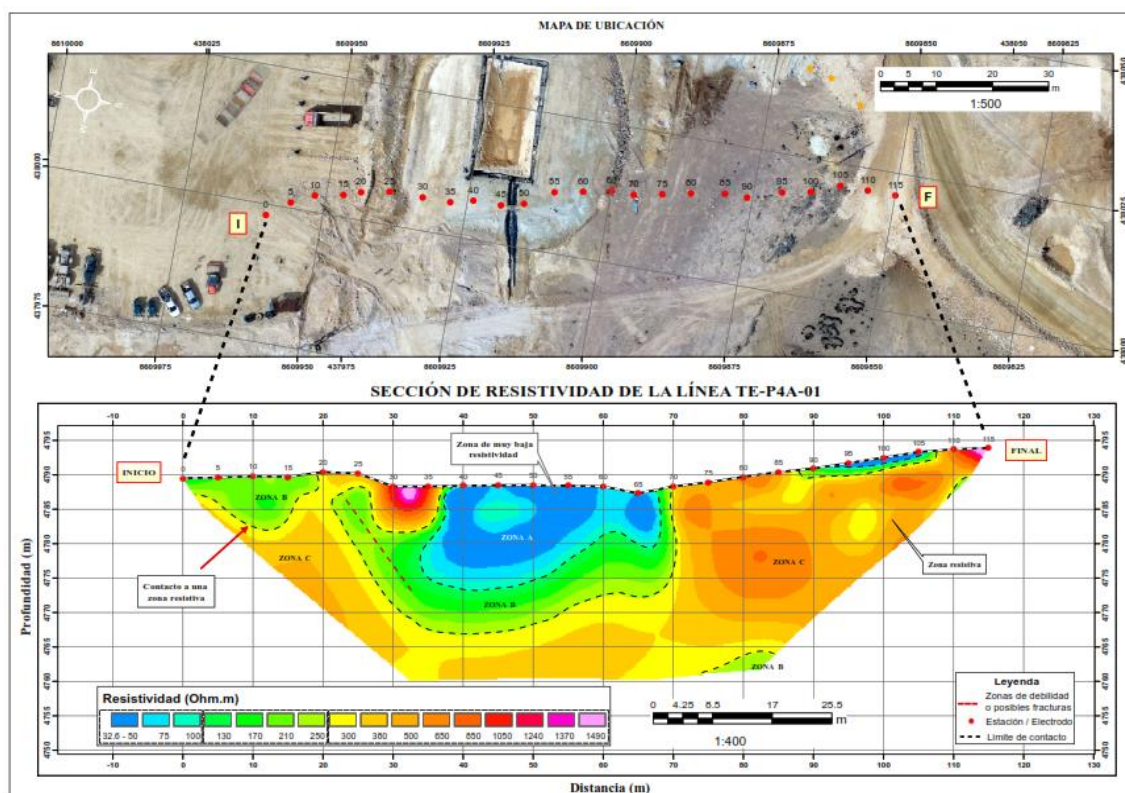


Figura 6.95. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-P04A-01

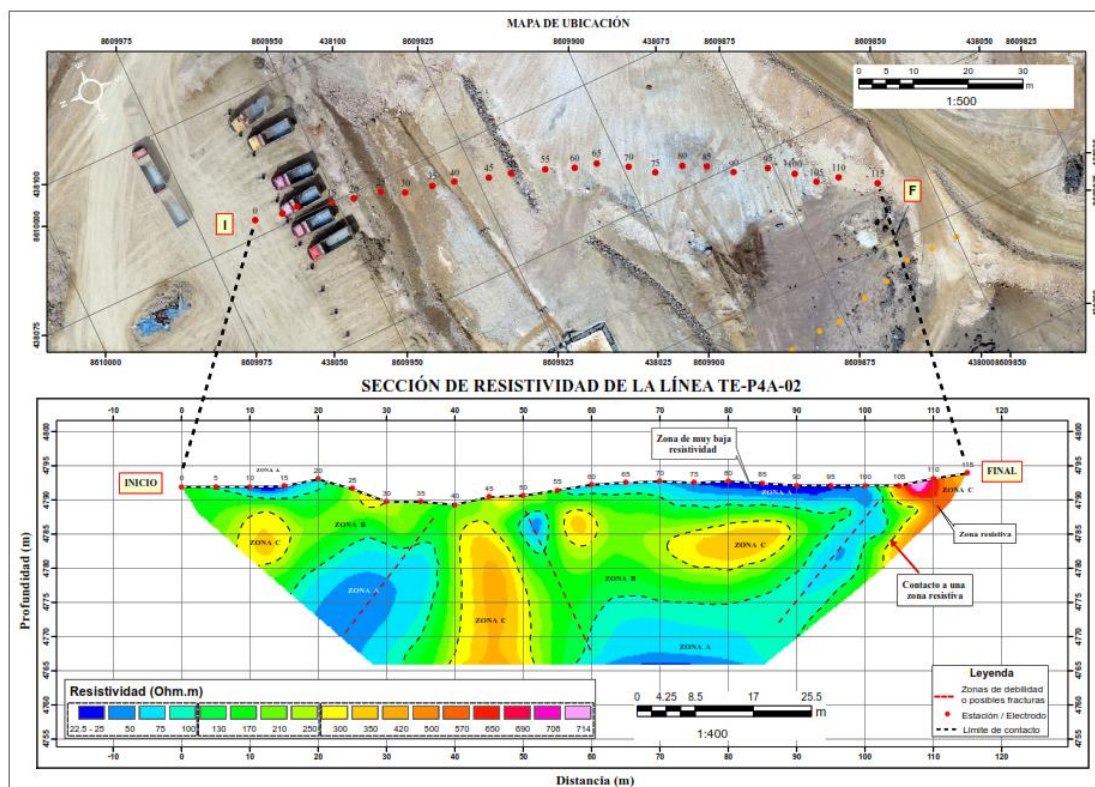


Figura 6.96. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-P04A-02

6.4. Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los materiales de los tajos Diana y Scree Slope, aguas de contacto sobre el agua superficial y subterránea, sedimento y estado de las comunidades hidrobiológicas de la quebrada y laguna Coyllorcocha

En esta sección se presenta los resultados de agua superficial, agua subterránea, agua residual industrial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, componente minero, litogeoquímica, análisis fotogramétrico y prospección geofísica en abril y mayo de 2023 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3).

6.4.1. Agua superficial

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de agua superficial en abril y mayo de 2023 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3); así como su comparación con los ECA para agua 2008 y 2017.

6.4.1.1 Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008)

En abril 2023, los puntos ESP-SS-03, ARI-5 y la quebrada Coyllorcocha (QCoy01, QCoy-04, SW-04A, SW-04) registraron valores de pH ácidos (2,6 unidades de pH – 4,22 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales. Las concentraciones de sulfatos en 2 puntos de la quebrada Coyllorcocha (SW-04A y SW-04) presentaron valores que superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.97).

Las concentraciones totales de aluminio, hierro y manganeso en todos los puntos evaluados en abril 2023 superaron la norma mencionada. Dos puntos en la quebrada Coyllorcocha (SW-



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

04A y SW-04) presentaron concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobalto y cobre que superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.98).

En mayo 2023, los puntos evaluados en la laguna Coyllorcocha registraron valor de pH que estuvieron dentro del rango establecido en los ECA para agua 2008 Cat. 4 a excepción del punto LCoy05. Las concentraciones de cobre total superaron la norma mencionada en los 7 puntos evaluados mientras que las concentraciones de zinc total solo superaron los ECA para agua 2008 Cat. 4 en 5 puntos (del LCoy01 al LCoy05) y las concentraciones de arsénico solo superaron los ECA para agua 2008 Cat. 4 solo en 4 puntos (LCoy01, LCoy02, LCoy04 y LCoy05) (Figura 6.99).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

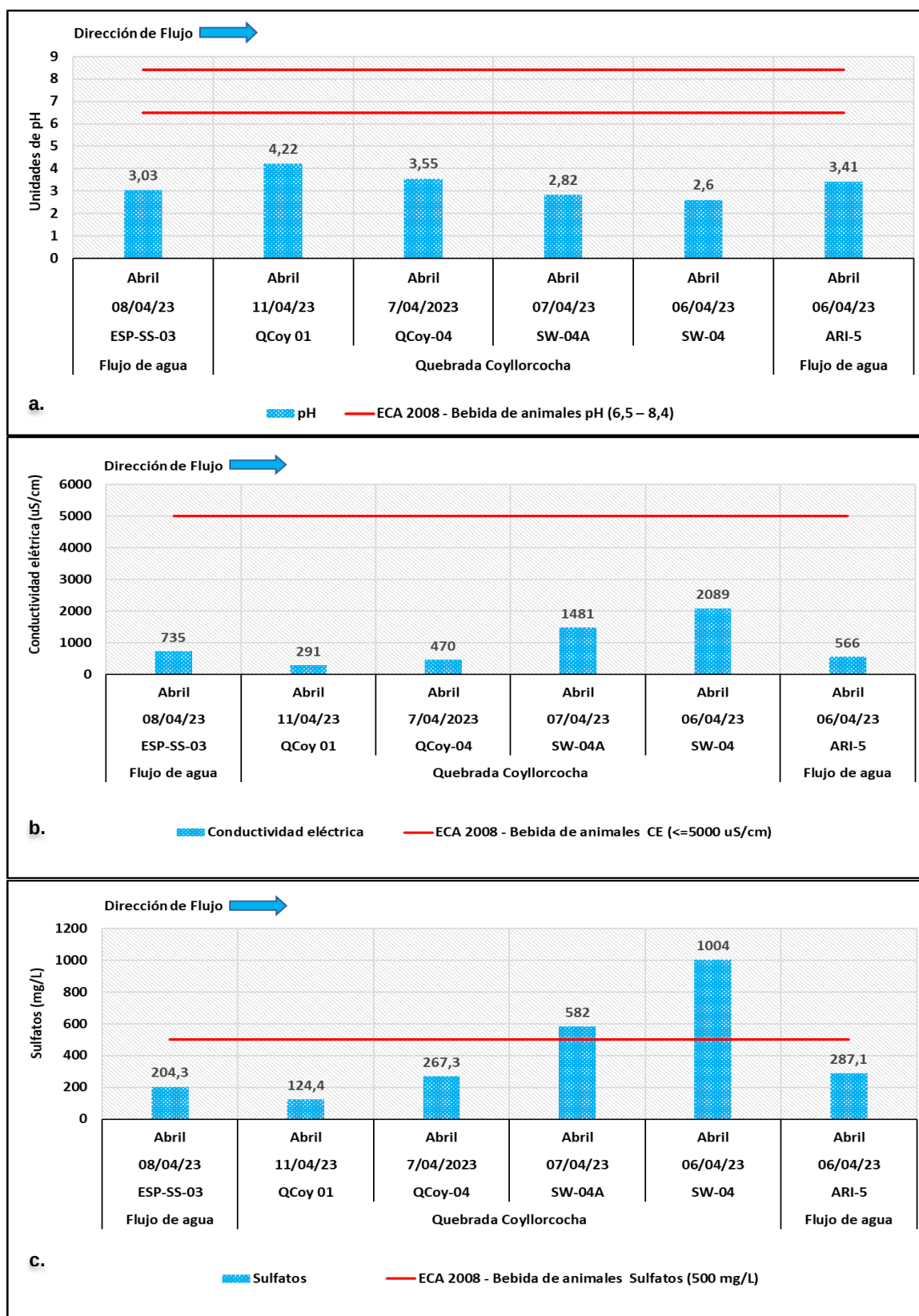


Figura 6.97. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica y concentraciones de **c.** sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008

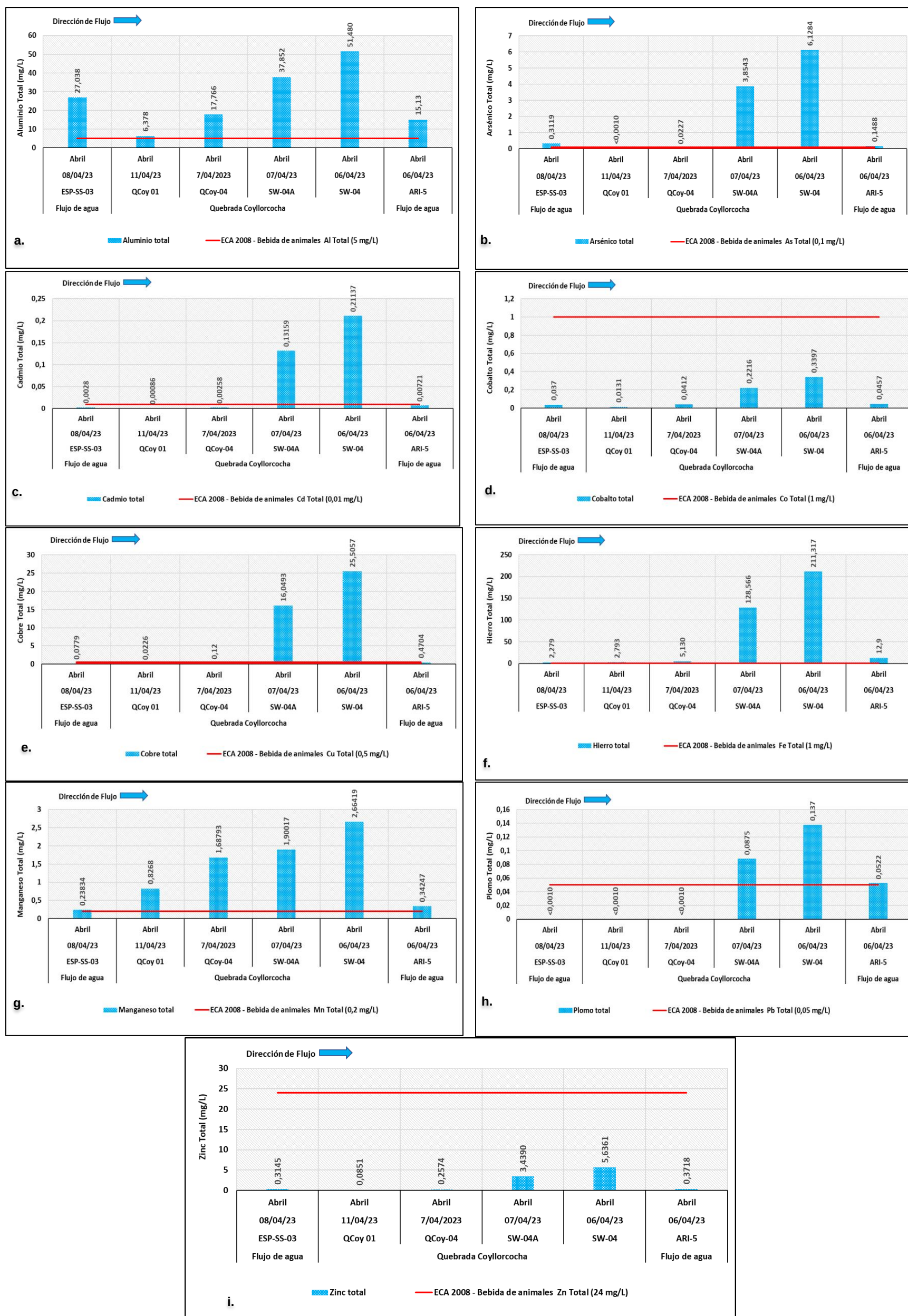


Figura 6.98. Concentraciones totales de **a.** aluminio, **b.** arsénico, **c.** cadmio, **d.** cobalto, **e.** cobre, **f.** hierro, **g.** manganeso, **h.** plomo y **i.** zinc, en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

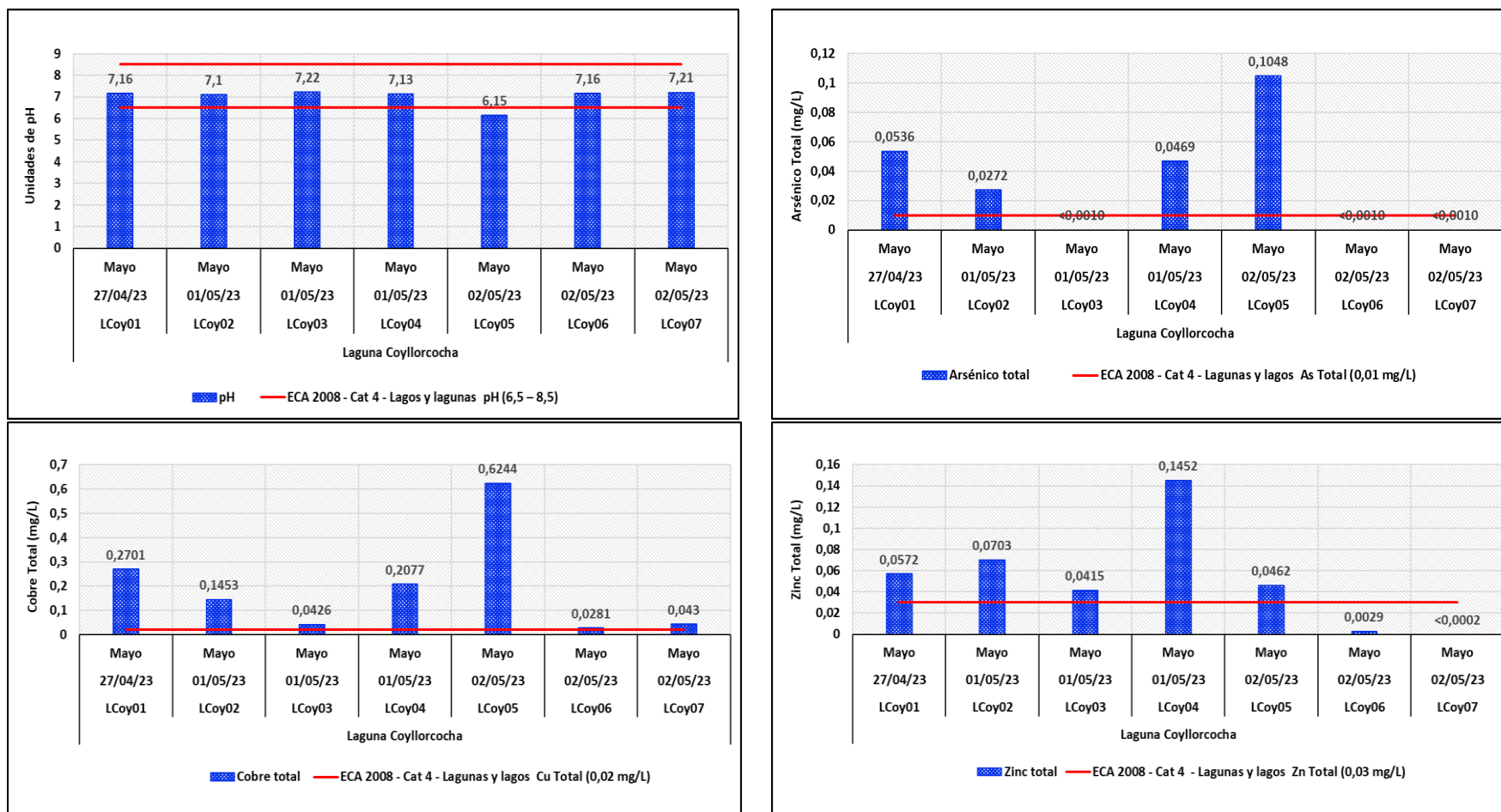


Figura 6.99. Valores de **a.** pH y concentraciones totales de **b.** arsénico, **c.** cobre y **d.** zinc en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2008



6.4.1.2 Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2017)

En abril 2023, los puntos ESP-SS-03, ARI-5 y la quebrada Coyllorcocha (QCoy01, QCoy-04, SW-04A, SW-04) registraron valores de pH ácidos (2,6 unidades de pH – 4,22 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2. Solo el punto SW-04 presentó concentración de sulfatos que superó los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 (Figura 6.100).

Las concentraciones totales de aluminio y manganeso en todos los puntos evaluados en abril 2023 superaron la norma mencionada. Dos puntos en la quebrada Coyllorcocha (SW-04A y SW-04) presentaron concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre y plomo que superaron los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 (Figura 6.101).

En mayo 2023, los puntos evaluados en la laguna Coyllorcocha registraron valor de pH que estuvieron dentro del rango establecido en los ECA para agua 2017 Cat. 4 a excepción del punto LCoy05. Las concentraciones de cobre total superaron la norma mencionada solo en 4 puntos (LCoy01, LCoy02, LCoy04 y LCoy05) mientras que la concentración de zinc total solo superó los ECA para agua 2017 Cat. 4 en un punto (LCoy04) y las concentraciones de cadmio disuelto solo en 2 puntos (LCoy01 y LCoy05) (Figura 6.102).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

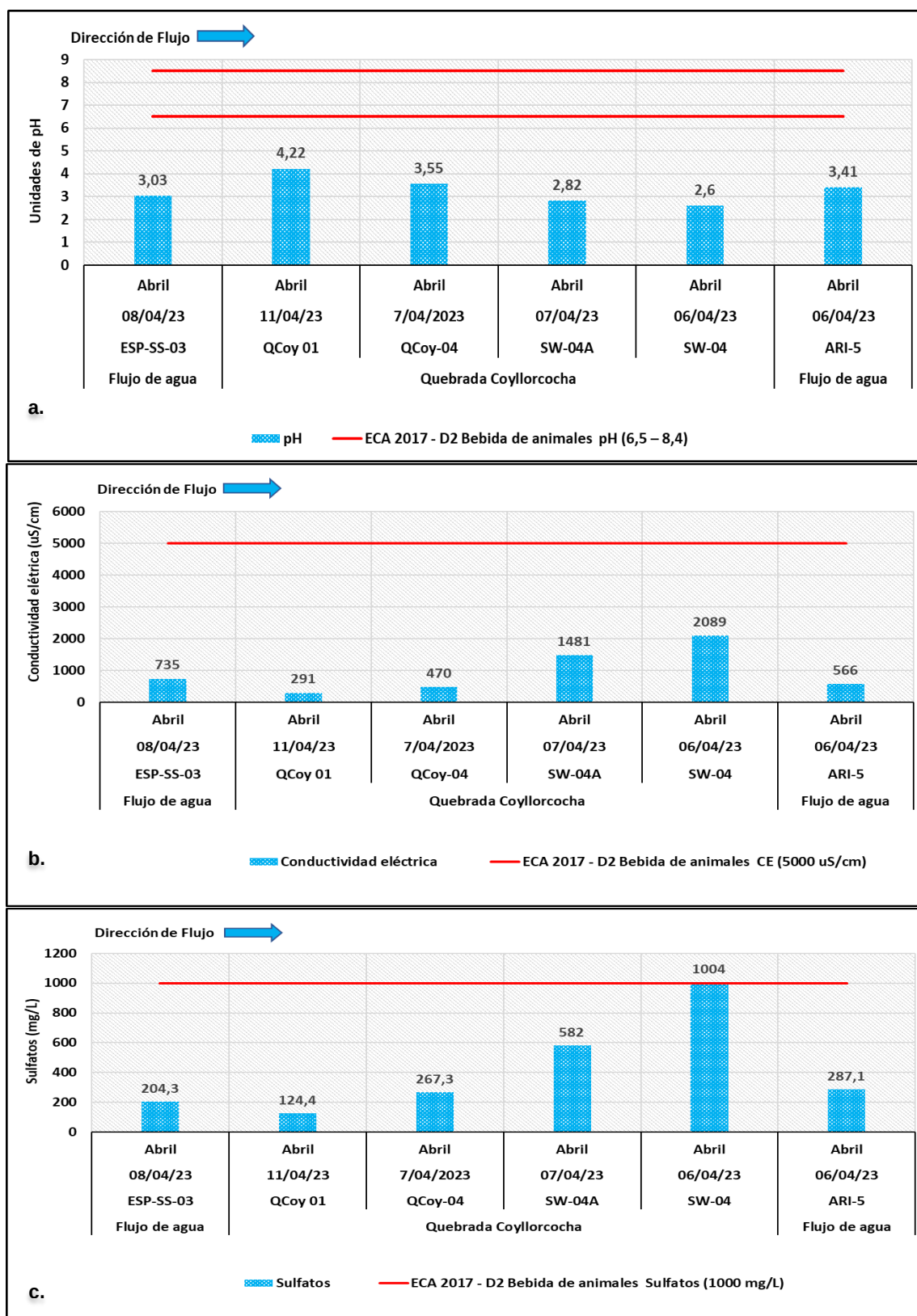


Figura 6.100. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica y concentraciones de **c.** sulfatos en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

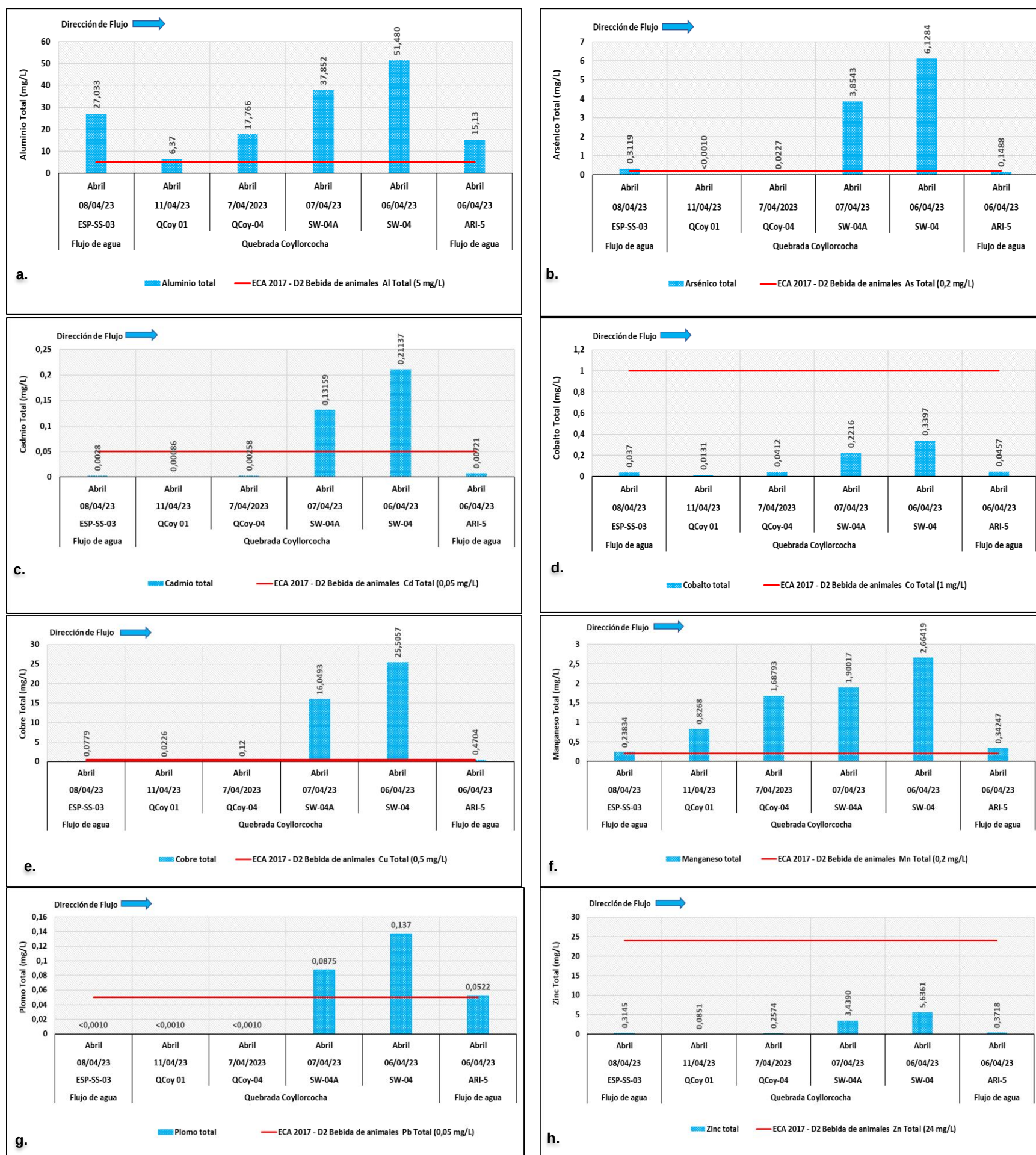


Figura 6.101. Concentraciones totales de **a.** aluminio, **b.** arsénico, **c.** cadmio, **d.** cobalto, **e.** cobre, **f.** manganeso, **g.** plomo y **h.** zinc, en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

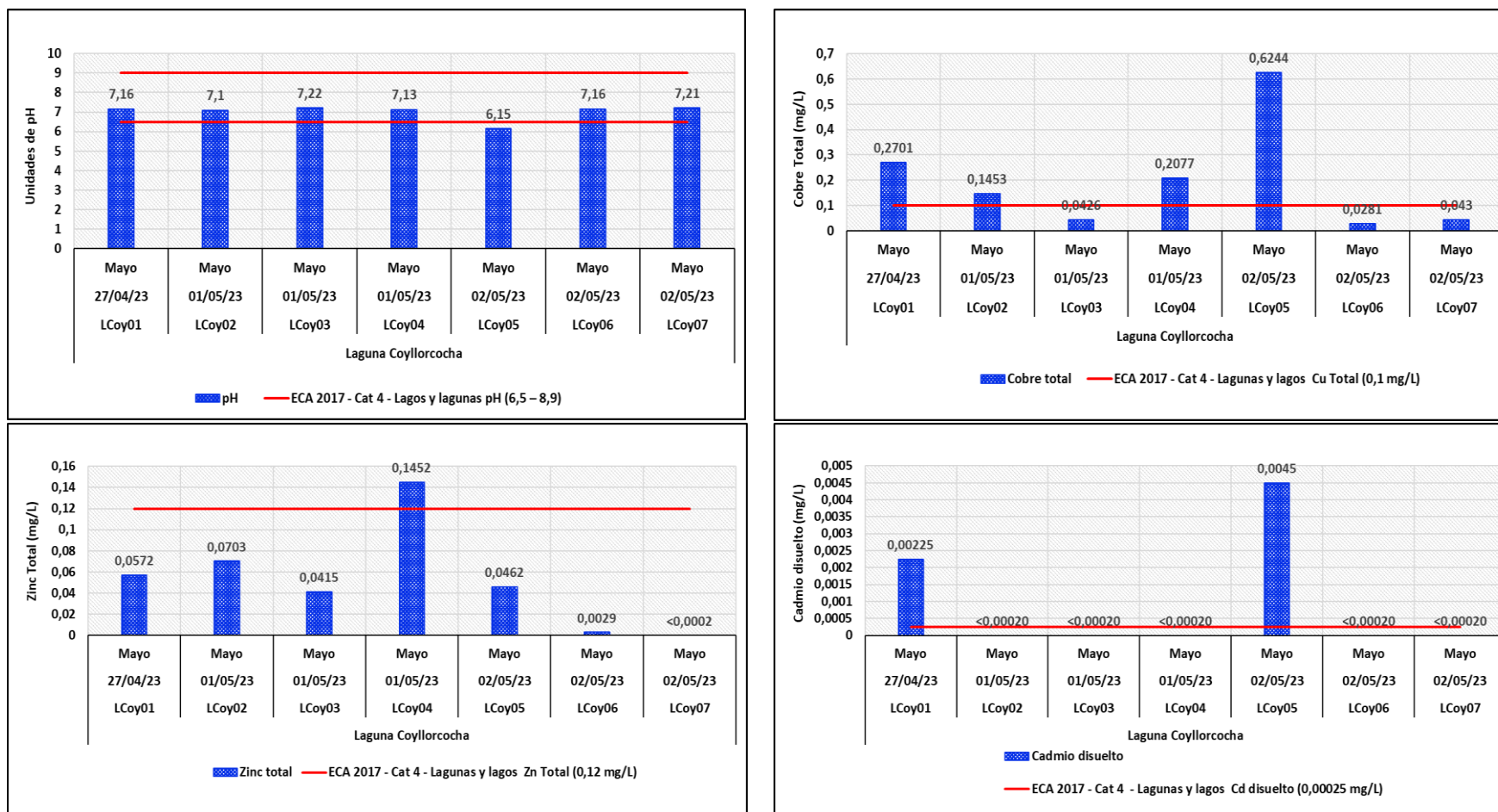


Figura 6.102. Valores de a. pH y concentraciones de b. cobre, c. zinc y d. cadmio disuelto en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en mayo de 2023 comparados con los ECA para agua 2017



6.4.1.3 Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, en abril 2023, los puntos de agua superficial ESP-SS-03 y ARI-5 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 6 meq/L y los puntos de agua superficial en la quebrada Coyllorcocha (QCoy01, QCoy-04, SW-04A y SW-04) se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 20 meq/L (Figura 6.103).

En mayo 2023, los puntos de agua superficial de la laguna Coyllorcocha (LCoy01, LCoy02, LCoy03, LCoy04, LCoy05, LCoy06 y LCoy07) se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 2 meq/L (Figura 6.104).

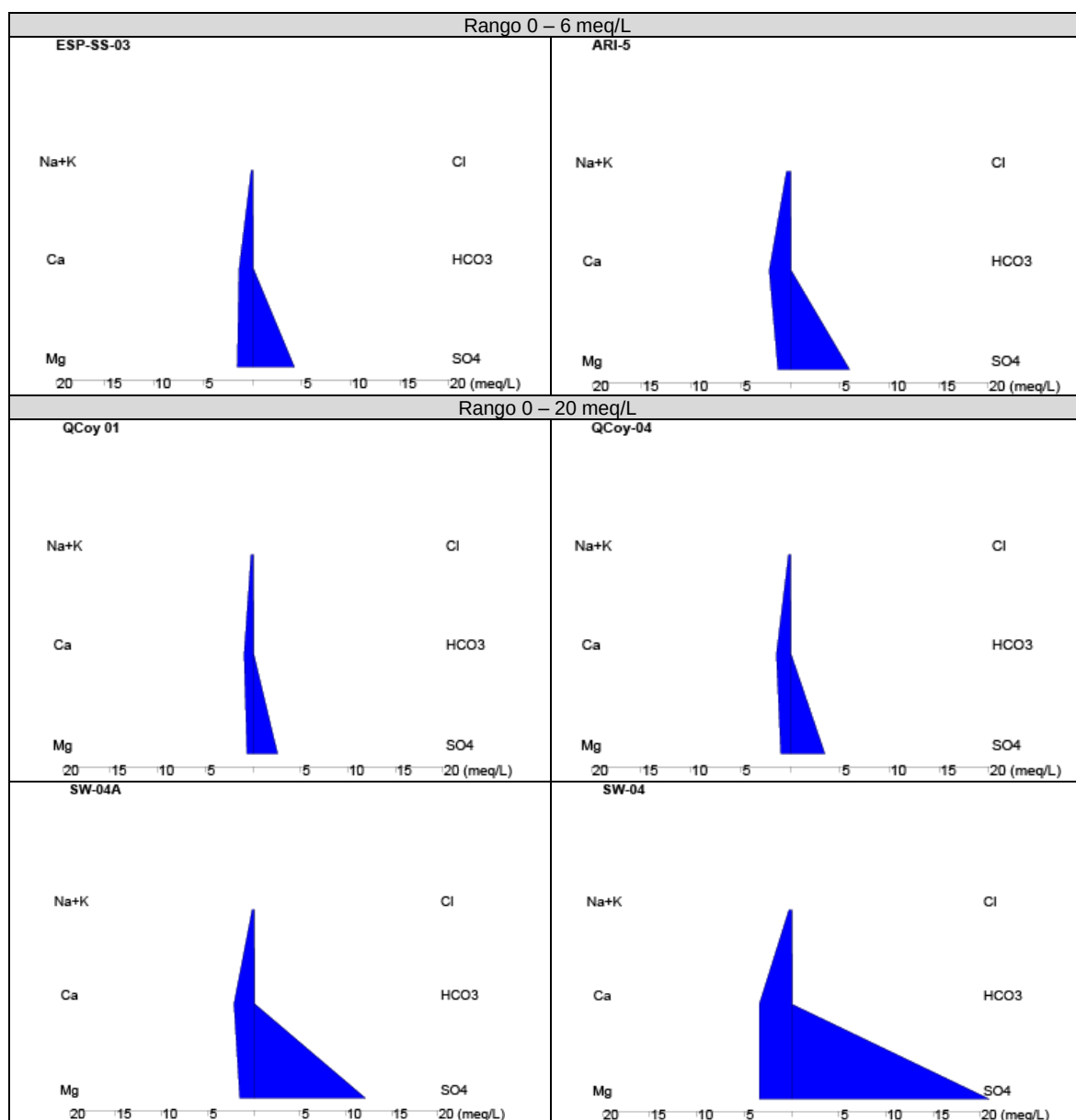


Figura 6.103. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023

Rango 0 - 2 meq/L

Formato PM0302-F05

Versión: 00

Fecha de aprobación: 29/12/2020



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

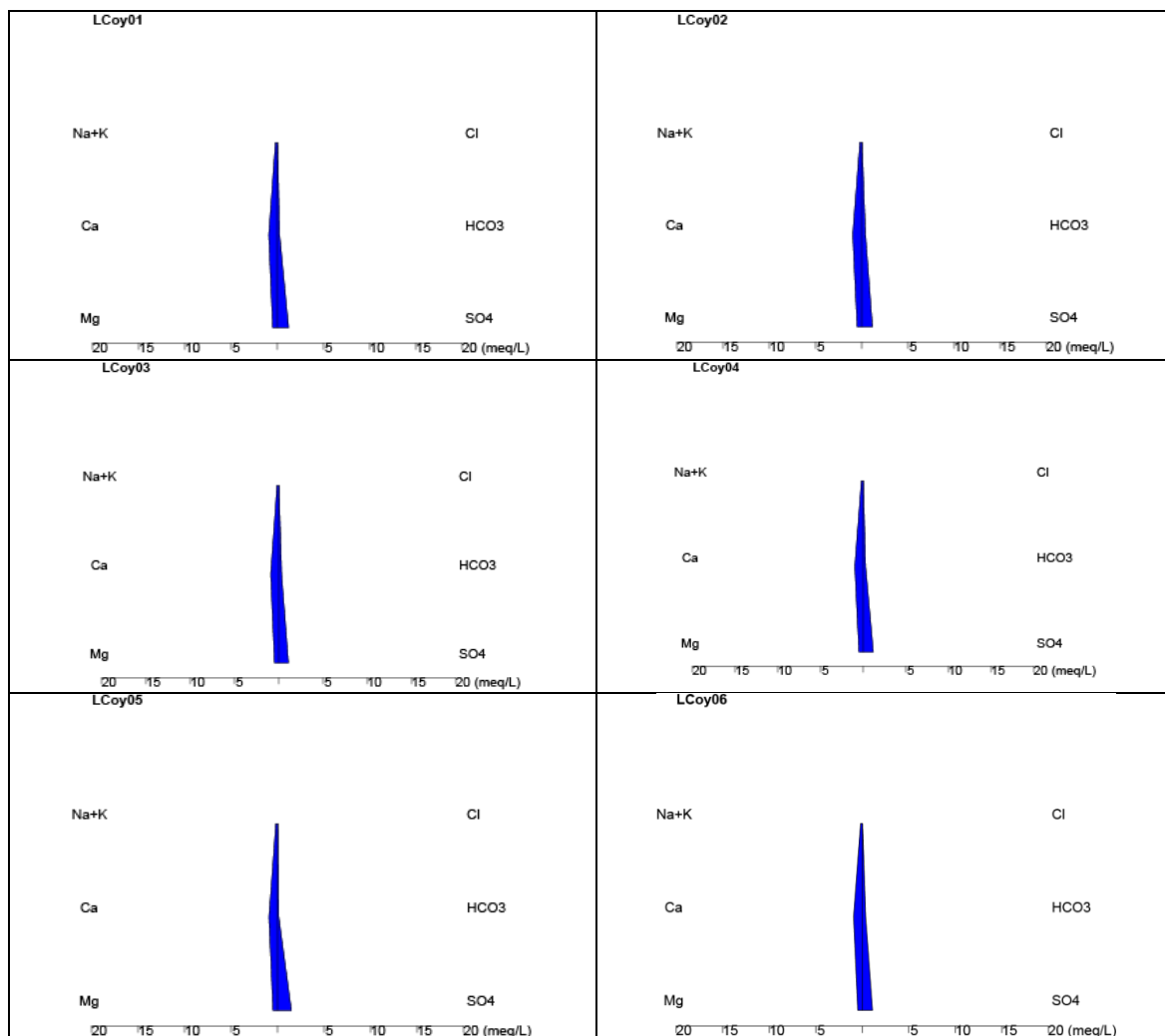


Figura 6.104. Diagramas de Stiff de los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en mayo de 2023

Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, los puntos de agua superficial ESP-SS-03 y ARI-5 se clasificaron como se clasificaron como «pH ácido» y «bajo contenido de metales» y los puntos de agua superficial en la quebrada Coyllorcocha como se clasificaron como «pH ácido» y «bajo contenido de metales» (QCoy01, QCoy-04) y como «pH altamente ácido» y «alto contenido de metales» (SW-04A y SW-04) (Figura 6.105).

En mayo 2023, los puntos de agua superficial de la laguna Coyllorcocha (LCoy01, LCoy02, LCoy03, LCoy04, LCoy05, LCoy06 y LCoy07) se clasificaron como «pH cercano a la neutralidad» y «bajo contenido de metales» (Figura 6.105).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

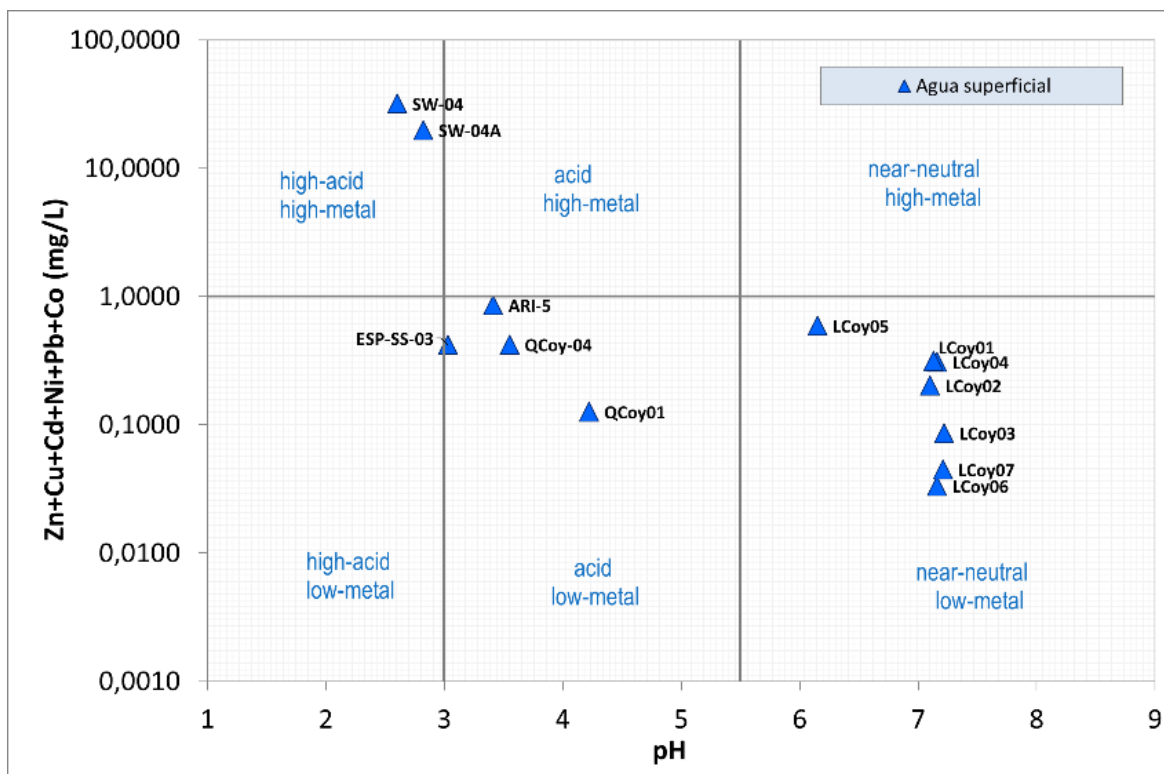


Figura 6.105. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 1) en abril y mayo de 2023

6.4.2. Agua subterránea

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de agua subterránea en abril de 2023 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3); así como su comparación con los ECA para agua 2008 y 2017.

6.4.2.1 Comparación con la norma aprobada en el IGA (ECA 2008)

En abril 2023, el piezómetro PO-07 y los manantiales AF-05 y MA-02 registraron valores de pH ácidos (2,23 unidades de pH, 2,95 unidades de pH – 3,12 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales y las concentraciones de oxígeno disuelto en dos puntos (PO-07 y AF-05) presentaron valores por debajo de los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.106).

Las concentraciones totales de aluminio y hierro en todos los puntos evaluados en abril 2023 superaron la norma mencionada. El piezómetro PO-07 presentó concentraciones totales de cobre, níquel y cadmio que superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales (Figura 6.107).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

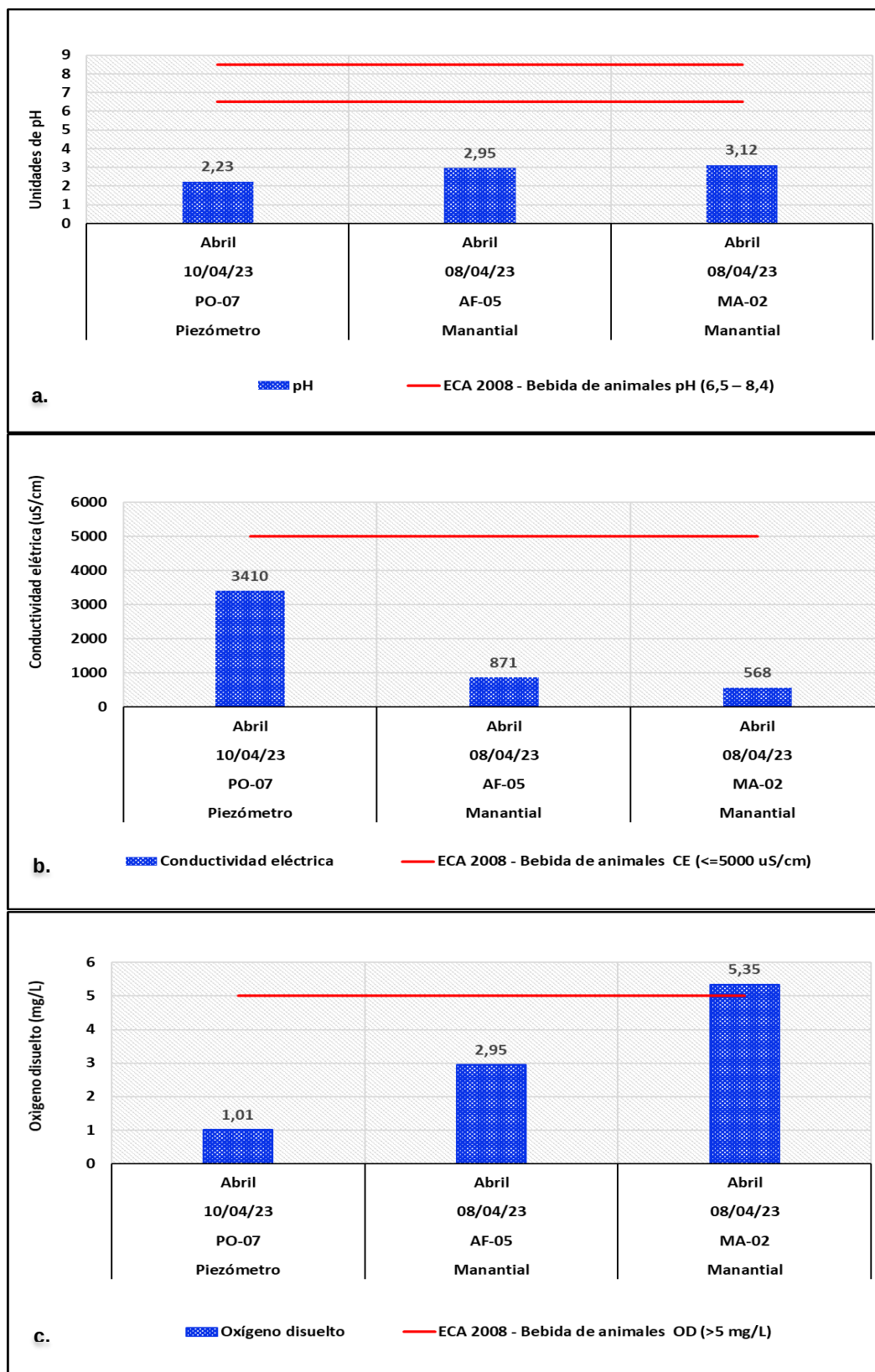


Figura 6.106. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica y **c.** oxígeno disuelto en los puntos de agua superficial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008

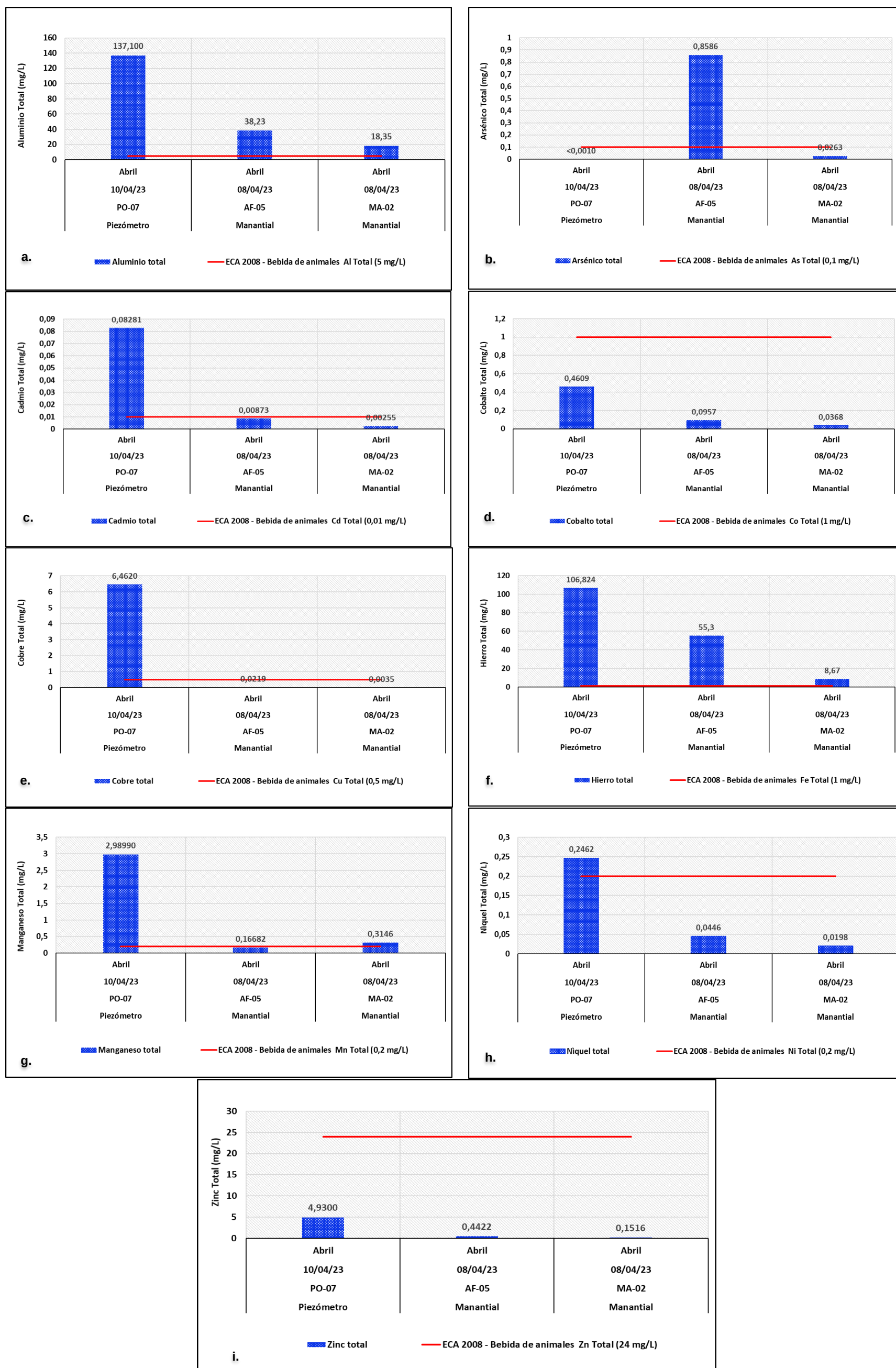


Figura 6.107. Concentraciones totales de **a.** aluminio, **b.** arsénico, **c.** cadmio, **d.** cobalto, **e.** cobre, **f.** hierro, **g.** manganeso, **h.** níquel y **i.** zinc, en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2008

Formato PM0302-F05

Versión: 00

Fecha de aprobación: 29/12/2020



6.4.2.2 Comparación con la norma vigente (ECA 2017)

En abril 2023, el piezómetro PO-07 y los manantiales AF-05 y MA-02 registraron valores de pH ácidos (2,23 unidades de pH, 2,95 unidades de pH – 3,12 unidades de pH) que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 y las concentraciones de oxígeno disuelto en dos puntos (PO-07 y AF-05) estuvieron por debajo de los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat.D2 (Figura 6.108).

Las concentraciones totales de aluminio en todos los puntos evaluados en abril 2023 superaron la norma mencionada. El piezómetro PO-07 presentó concentraciones totales de cadmio, cobre y manganeso que superaron los ECA para agua 2017 Cat. 3 Subcat. D2 (Figura 6.109).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

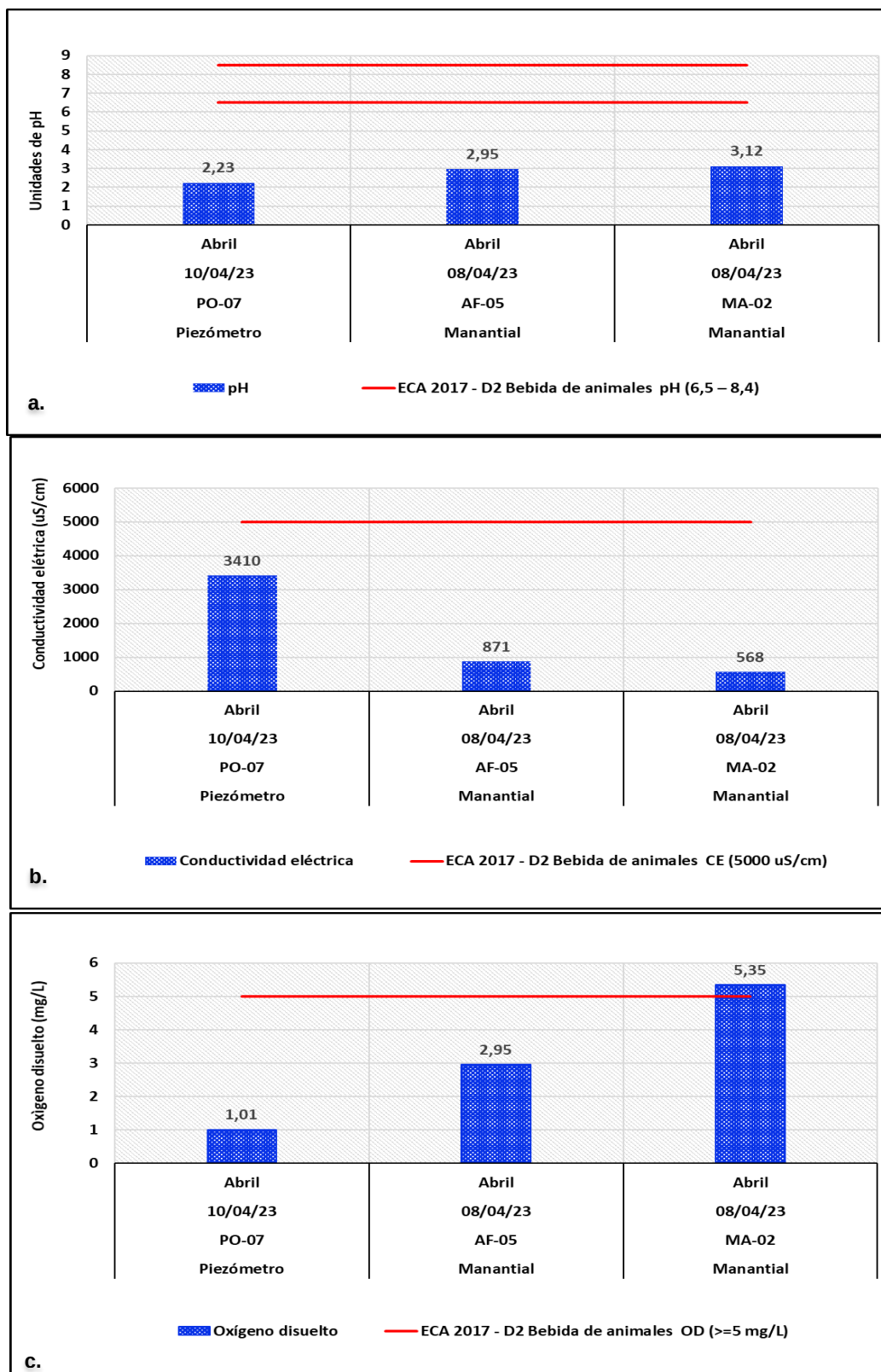


Figura 6.108. Valores de **a.** pH, **b.** conductividad eléctrica y **c.** oxígeno disuelto en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017

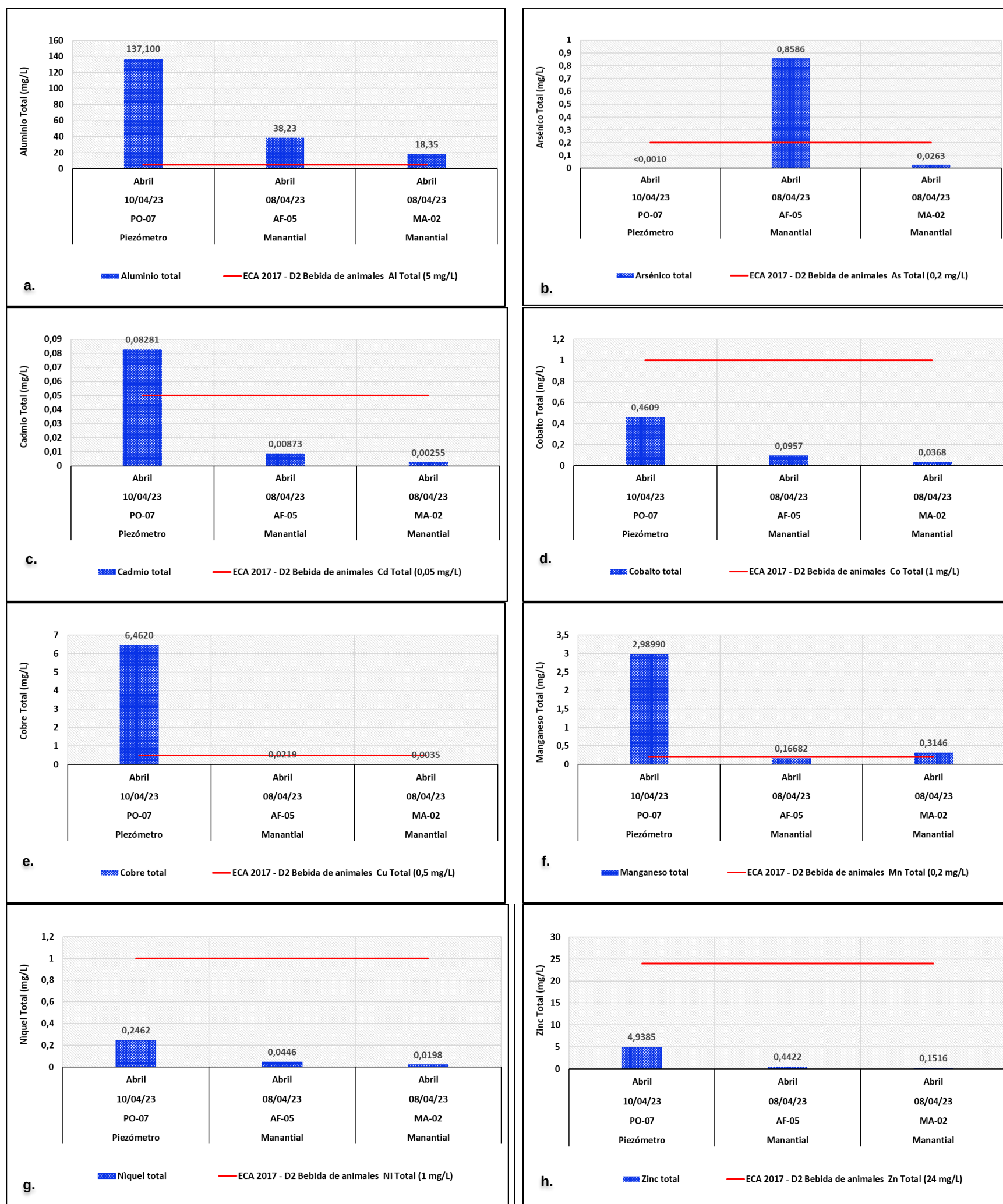


Figura 6.109. Concentraciones totales de **a.** aluminio, **b.** arsénico, **c.** cadmio, **d.** cobalto, **e.** cobre, **f.** manganeso, **g.** níquel y **h.** zinc. en los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023 comparados con los ECA para agua 2017

6.4.2.3 Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, los puntos de agua subterránea evaluados en abril 2023 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 30 meq/L (PO-07, AF-05 y MA-02) (Figura 6.110).

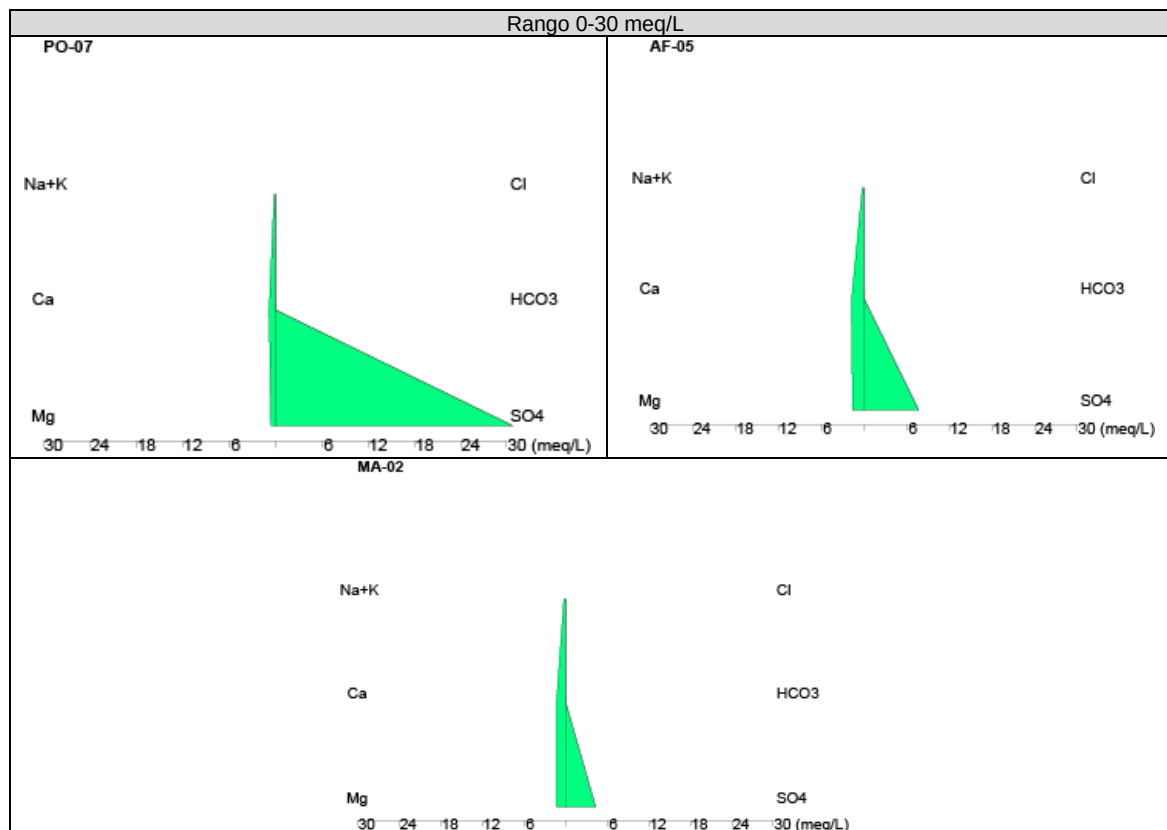


Figura 6.110. Diagramas de Stiff de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023

Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, el piezómetro PO-07 se clasificó como «pH altamente ácido» y «alto contenido de metales», el manantial AF-05 se clasificó como «pH altamente ácido» y «bajo contenido de metales» y el manantial MA-02 se clasificó como «pH ácido» y «bajo contenido de metales» (Figura 6.111).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

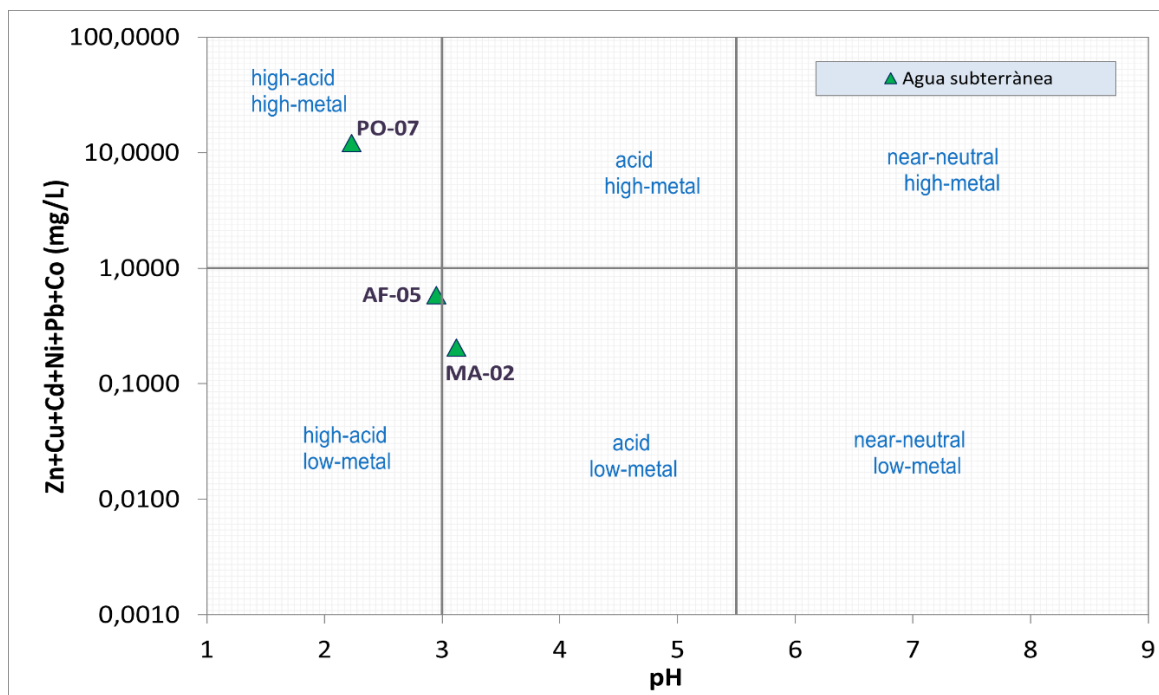


Figura 6.111. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023

Según el diagrama de Mifflin, en abril 2023, los manantiales MA-02 y AF-05 se clasificaron como «flujos de recarga local» y el piezómetro PO-07 se clasificó como «flujo intermedio» (Figura 6.112).

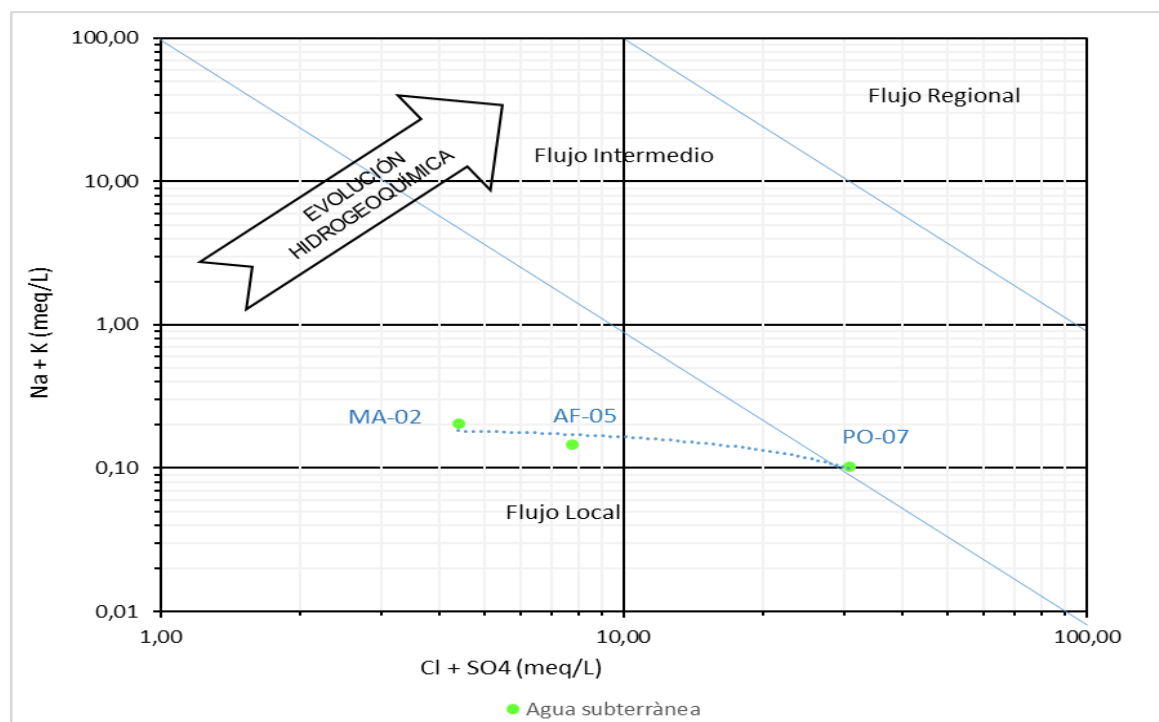


Figura 6.112. Diagrama de Mifflin de los puntos de agua subterránea en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023



6.4.3. Sedimento

Se presenta los resultados de parámetros evaluados en puntos de sedimento en abril y mayo de 2023 en la microcuenca Coyllorcocha (zona 4). Dentro de estos resultados se realiza la comparación de manera referencial, con 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*) considerados para sedimentos de agua dulce (CCME, 2012), así como en análisis de parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad y análisis granulométrico), disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier y análisis mineralógico por DRX y MEB.

6.4.3.1. Comparación referencial con los Estándares de la Guía de Calidad Ambiental de Canadá – CEQG

En la microcuenca Coyllorcocha (zona 4) se evaluaron 9 puntos de muestreo de sedimento, 2 en la quebrada Coyllorcocha (QCoy04 y SW-04) y 7 en la laguna Coyllorcocha (LCoy01, LCoy02, LCoy03, LCoy04, LCoy05, LCoy06 y LCoy07). De acuerdo con los resultados, se presentaron puntos que excedieron (al menos en un parámetro) los valores de la guía canadiense de la calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática (*Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - CSQG*) de la guía canadiense de calidad ambiental (*Canadian Environmental Quality Guidelines – CEQG*).

De acuerdo a la Figura 6.1, las concentraciones de arsénico total superaron los valores referenciales PEL de la CEQG en los 9 puntos; las concentraciones de cadmio total superaron los valores referenciales ISQG de la CEQG en 7 puntos (LCoy02, LCoy03, LCoy04, LCoy05, LCoy06 y LCoy07); las concentraciones de cromo total no superaron los valores referenciales ISQG o PEL de la CEQG en ninguno de los 9 puntos; las concentraciones de cobre total superaron los valores referenciales ISQG de la CEQG en 5 puntos (LCoy01, LCoy02, LCoy03, LCoy05 y LCoy07), y superaron los valores referenciales PEL de la CEQG en 2 puntos (LCoy04 y LCoy06); las concentraciones de mercurio total superaron los valores referenciales ISQG de la CEQG en 2 puntos (QCoy04 y SW-04), y superó el valor referencial PEL de la CEQG en LCoy01; las concentraciones de plomo total superaron los valores referenciales ISQG de la CEQG en 4 puntos (SW-04, LCoy03, LCoy05 y LCoy06), y superaron los valores referenciales PEL de la CEQG en LCoy01; finalmente, las concentraciones de zinc total superaron los valores referenciales ISQG de la CEQG en LCoy03.

6.4.3.2. Descripción de los parámetros fisicoquímicos

De acuerdo a los resultados de parámetros fisicoquímicos pH y conductividad eléctrica en sedimento, los puntos QCoy04, SW-04 y LCoy01 presentaron una relación inversa respecto a los puntos LCoy02, LCoy03, LCoy04, LCoy05, LCoy06 y LCoy07 (Figura 6.1.h y Figura 6.1.i); los tres primeros puntos se encontraron en un rango de pH de 2,95 a 3,40 unidades de pH en comparación a los siete puntos restantes que presentaron un rango de pH de 4,44 a 6,71 unidades de pH; asimismo, los tres primeros puntos se encontraron en un rango de conductividad de 0,4 a 0,83 dS/cm en comparación a los siete puntos restantes que presentaron un rango de conductividad de 0,06 a 0,18 dS/cm.

En relación al análisis granulométrico (Figura 6.1.j), se registró una predominancia de arena en seis (QCoy04, SW-04, LCoy04, LCoy05, LCoy06, LCoy07) de los siete puntos evaluados (excepto LCoy01) en un rango del 60% (SW-04) al 90% (LCoy07); por otro lado, las concentraciones de limo fueron mayores a las concentraciones de arcilla en los puntos QCoy04 (15%) y SW-04 (25%), mientras que las concentraciones de arcilla fueron mayores a las concentraciones de



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

limo en los puntos LCoy05 (10%) y LCoy06 (25%); finalmente, las concentraciones de LCoy01 y LCoy04 presentaron las mismas concentraciones de arcilla y limo, siendo 35% y 10% respectivamente.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

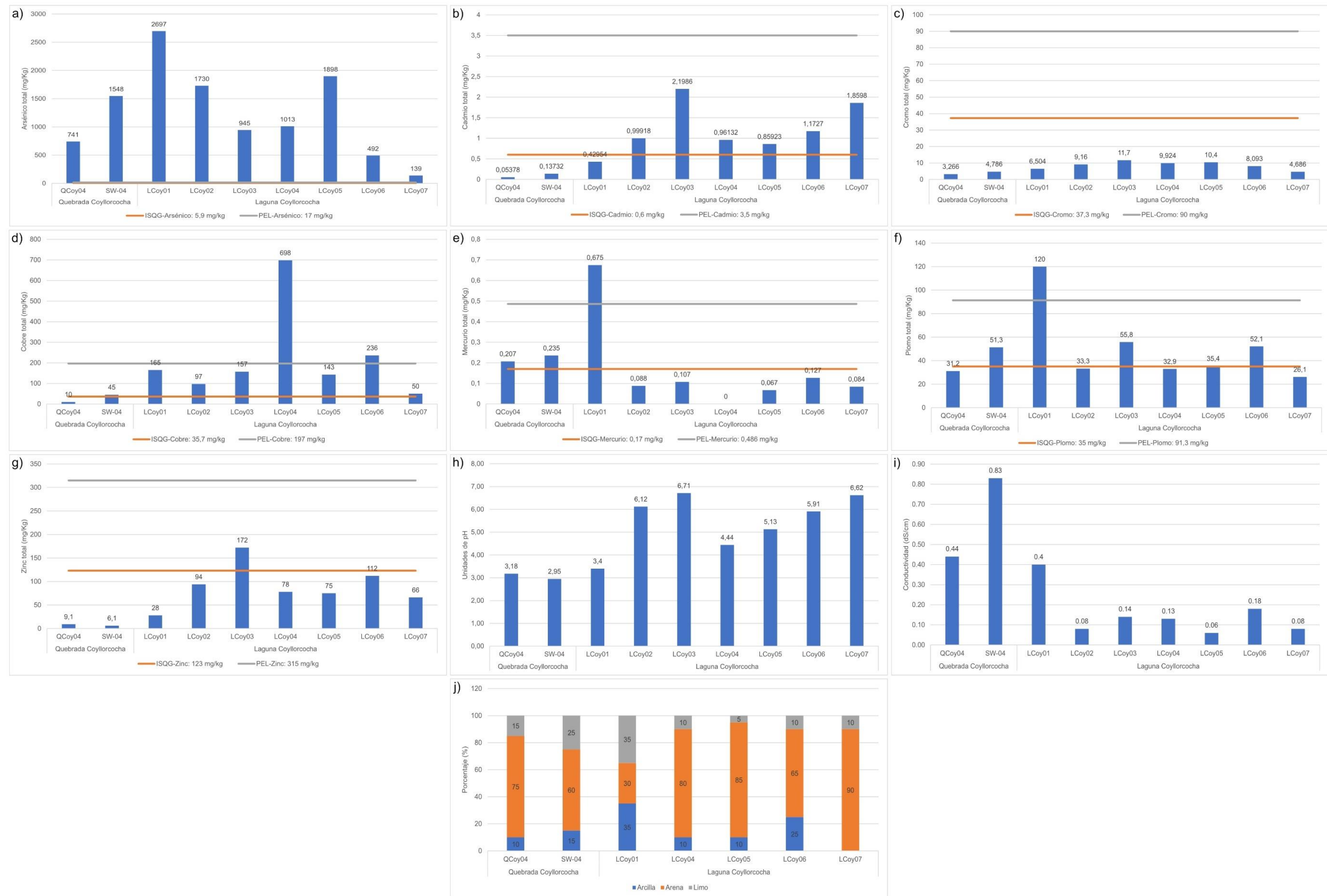


Figura 6.113. Concentraciones de metales en sedimento comparados con los valores ISQG y PEL de la guía de calidad ambiental de Canadá – CEQG en la microcuenca Chacote (zona 1): a) arsénico total, b) cadmio total, c) cromo total, d) cobre total, e) mercurio total, f) plomo total y g) zinc total. Valores de parámetros fisicoquímicos en sedimentos en la microcuenca Coyllorcocha (zona 4): h) potencial de hidrógeno, i) conductividad eléctrica y j) valores de análisis granulométrico



6.4.3.3. Disponibilidad de metales totales utilizando la extracción secuencial bajo el método de Tessier

Los resultados de las diferentes fracciones químicas, basadas en el procedimiento de extracción secuencial de metales por Tessier, considera la extracción de 5 diferentes fracciones: intercambiable (fracción 1), enlazada a carbonatos (fracción 2), unida a óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso (fracción 3), enlazada a materia orgánica (fracción 4) y enlazada a minerales primarios y secundarios (fracción 5). El contenido de metales en las diferentes fracciones varió para cada elemento en los puntos de la quebrada Coyllorcocha (QCoy04 y SW-04) y de la laguna Coyllorcocha (LCoy01, LCoy04, LCoy05, LCoy06 y LCoy07).

En la Figura 6.2.a se aprecia que la fracción 1 para los metales pesados cadmio, cobalto y cobre se encontraron en proporciones bajas (< 10 %), excepto el níquel en el punto QCoy04, el cual presentó una proporción de 13,18% (0,00315 mg/Kg). Cambios en la composición iónica del agua pueden afectar los procesos de sorción-desorción y liberar el contenido de metales obtenidos en la fracción 1, desde los sedimentos hacia la columna de agua.

De manera similar, en la fracción 2 el metal pesado cobalto se encontró en proporciones bajas (< 10 %), excepto: el cadmio en los puntos LCoy04 (19,10% equivalente a 0,0111 mg/Kg), LCoy06 (22,19% equivalente a 0,0089 mg/Kg) y LCoy07 (36,96% equivalente a 0,0153 mg/Kg); el cobre en el punto LCoy06 (11,55% equivalente a 0,3947 mg/Kg); y el níquel en los puntos QCoy04 (47,28% equivalente a 0,0113 mg/Kg), SW-04 (54,14% equivalente a 0,0193 mg/Kg) y LCoy04 (10,92% equivalente a 0,0095 mg/Kg). Los metales unidos a carbonatos (fracción 2) pueden ser susceptibles a cambios de pH en el sistema, que ocasionaría que el contenido de metales en la fracción 2, sea liberado.

Para la fracción 3, los cuatro metales pesados (cadmio, cobalto, cobre y níquel) presentaron proporciones mayores a 10%: el cadmio en los puntos LCoy04 (11,19% equivalente a 0,0065 mg/Kg), LCoy06 (15,96% equivalente a 0,0064 mg/Kg) y LCoy07 (35,02% equivalente a 0,0145 mg/Kg); el cobalto en los puntos LCoy05 (11,23% equivalente a 0,0136 mg/Kg), LCoy06 (32,90% equivalente a 0,0683 mg/Kg) y LCoy07 (53,06% equivalente a 0,1447 mg/Kg); el cobre en los puntos SW-04 (24,21% equivalente a 0,265 mg/Kg), LCoy01 (15,87% equivalente a 0,3736 mg/Kg), LCoy04 (26,13% equivalente a 2,461 mg/Kg), LCoy05 (19,21% equivalente a 0,3176 mg/Kg), LCoy06 (25,8% equivalente a 0,8841 mg/Kg) y LCoy07 (20,84% equivalente a 0,1981 mg/Kg); y el níquel en los puntos QCoy04 (13,18% equivalente a 0,00315 mg/Kg), SW-04 (19,35% equivalente a 0,0069 mg/Kg), LCoy04 (12,07% equivalente a 0,0105 mg/Kg), LCoy05 (44,51% equivalente a 0,0152 mg/Kg), LCoy06 (17,65% equivalente a 0,0268 mg/Kg) y LCoy07 (31,40% equivalente a 0,0425 mg/Kg). La generación de condiciones anóxicas en el sistema (bajo potencial óxido-reducción), puede ocasionar la liberación del contenido de metales de la fracción 3, puesto que los óxidos de hierro y manganeso son termodinámicamente inestables a estas condiciones.

En la fracción 4, el metal pesado cadmio se encontró en proporciones bajas (< 10 %), excepto: el cobalto en los puntos QCoy04 (11,19% equivalente a 0,0083 mg/Kg) y SW-04 (17,24% equivalente a 0,0145 mg/Kg); el cobre en los puntos QCoy04 (19,81% equivalente a 0,0627 mg/Kg), SW-04 (30,45% equivalente a 0,3333 mg/Kg), LCoy01 (18,86% equivalente a 0,444 mg/Kg), LCoy04 (20,73% equivalente a 1,952 mg/Kg), LCoy05 (24,25% equivalente a 0,4011 mg/Kg), LCoy06 (29,11% equivalente a 0,9946 mg/Kg) y LCoy07 (42,43% equivalente a 0,4033 mg/Kg); y el níquel en los puntos QCoy04 (13,18% equivalente a 0,00315 mg/Kg) y LCoy07 (13% equivalente a 0,0176 mg/Kg). En condiciones de oxidación, la materia orgánica puede degradarse lo que llevaría a liberar el contenido de metales de la fracción 4.



En relación a la fracción 5, los cuatro metales pesados (cadmio, cobalto, cobre, níquel) se encontraron en proporciones altas (> 50 %): el cadmio en los puntos QCoy04 (86,96% equivalente a 0,032 mg/Kg), SW-04 (75,90% equivalente a 0,0677 mg/Kg), LCoy01 (86,59% equivalente a 0,1162 mg/Kg), LCoy04 (60,59% equivalente a 0,0352 mg/Kg) y LCoy05 (83,01% equivalente a 0,0845 mg/Kg); el cobalto en los puntos QCoy04 (75,47% equivalente a 0,056 mg/Kg), SW-04 (70,99% equivalente a 0,0597 mg/Kg), LCoy01 (84,81% equivalente a 0,0737 mg/Kg), LCoy04 (80,60% equivalente a 0,1076 mg/Kg), LCoy05 (74,73% equivalente a 0,0905 mg/Kg) y LCoy06 (52,36% equivalente a 0,1087 mg/Kg); el cobre en los puntos LCoy01 (60,31% equivalente a 1,42 mg/Kg) y LCoy05 (53,50% equivalente a 0,8847 mg/Kg); y el níquel en los puntos LCoy01 (60,13% equivalente a 0,019 mg/Kg), LCoy04 (69,77% equivalente a 0,0607 mg/Kg) y LCoy06 (62,25% equivalente a 0,0945 mg/Kg). Los metales en esta fracción forman parte de la estructura cristalina de los minerales primarios y secundarios, y por lo tanto no se espera que se liberen en solución durante un período de tiempo razonable en las condiciones que normalmente se encuentran en la naturaleza.

En la Figura 6.2.b se aprecia que la fracción 1 para los metales pesados hierro, manganeso y plomo se encontraron en proporciones bajas (< 10 %), excepto el zinc en los puntos QCoy04 (13,64% equivalente a 0,07075 mg/Kg) y SW-04 (10,36% equivalente a 0,07075 mg/Kg).

De manera similar, en la fracción 2 los metales pesados hierro y plomo se encontraron en proporciones bajas (< 10 %), excepto: el manganeso en los puntos QCoy04 (14,67% equivalente a 0,142 mg/Kg), SW-04 (14,56% equivalente a 0,122 mg/Kg), LCoy06 (17,40% equivalente a 0,925 mg/Kg) y LCoy07 (14,25% equivalente a 3,39 mg/Kg); y el zinc en los puntos QCoy04 (13,64% equivalente a 0,07075 mg/Kg) y SW-04 (10,36% equivalente a 0,07075 mg/Kg).

Para la fracción 3, el metal pesado hierro se encontró en proporciones bajas (< 10 %), excepto: el manganeso en los puntos QCoy04 (18,49% equivalente a 0,179 mg/Kg), SW-04 (10,14% equivalente a 0,085 mg/Kg), LCoy04 (20,37% equivalente a 0,207 mg/Kg), LCoy05 (21,72% equivalente a 0,243 mg/Kg), LCoy06 (40,26% equivalente a 2,14 mg/Kg) y LCoy07 (68,10% equivalente a 16,2 mg/Kg); el plomo en el punto LCoy07 (10,37% equivalente a 0,0971 mg/Kg); y el zinc en los puntos QCoy04 (13,64% equivalente a 0,07075 mg/Kg), SW-04 (25,17% equivalente a 0,1719 mg/Kg), LCoy04 (13,06% equivalente a 0,2189 mg/Kg), LCoy05 (19,66% equivalente a 0,2852 mg/Kg), LCoy06 (15,98% equivalente a 0,3554 mg/Kg) y LCoy07 (18,49% equivalente a 0,272 mg/Kg).

En la fracción 4, los metales pesados hierro y manganeso se encontró en proporciones bajas (< 10 %), excepto: el plomo en los puntos LCoy05 (12,32% equivalente a 0,1739 mg/Kg), LCoy06 (13% equivalente a 0,2086 mg/Kg) y LCoy07 (21,428% equivalente a 0,1992 mg/Kg); y el zinc en los puntos QCoy04 (13,64% equivalente a 0,07075 mg/Kg) y SW-04 (10,36% equivalente a 0,07075 mg/Kg).

En relación a la fracción 5, los cuatro metales pesados (cadmio, cobalto, cobre, níquel) se encontraron en proporciones altas (> 50 %): el hierro en los puntos QCoy04 (88,40% equivalente a 861,8 mg/Kg), SW-04 (86,01% equivalente a 820,2 mg/Kg), LCoy01 (91,70% equivalente a 1216 mg/Kg), LCoy04 (89,36% equivalente a 1386 mg/Kg), LCoy05 (94,70% equivalente a > 2000 mg/Kg), LCoy06 (85,26% equivalente a 651,4 mg/Kg) y LCoy07 (80,41% equivalente a 358,7 mg/Kg); el manganeso en los puntos QCoy04 (55,37% equivalente a 0,536 mg/Kg), SW-04 (66,83% equivalente a 0,56 mg/Kg), LCoy01 (82,37% equivalente a 0,556 mg/Kg), LCoy04 (70,77% equivalente a 0,719 mg/Kg) y LCoy05 (61,22% equivalente a 0,685 mg/Kg); el plomo en los puntos QCoy04 (92,37% equivalente a 1,814 mg/Kg), SW-04 (96,81%



equivalente a 2,847 mg/Kg), LCoy01 (93,54% equivalente a 4,549 mg/Kg), LCoy04 (79,32% equivalente a 0,8839 mg/Kg), LCoy05 (81,95% equivalente a 1,157 mg/Kg), LCoy06 (74,34% equivalente a 1,193 mg/Kg) y LCoy07 (61,44% equivalente a 0,5752 mg/Kg); y el zinc en los puntos LCoy01 (70,02% equivalente a 0,661 mg/Kg), LCoy04 (74,28% equivalente a 1,245 mg/Kg), LCoy05 (65,72% equivalente a 0,9535 mg/Kg), LCoy06 (74,48% equivalente a 1,657 mg/Kg) y LCoy07 (67,08% equivalente a 0,9869 mg/Kg).

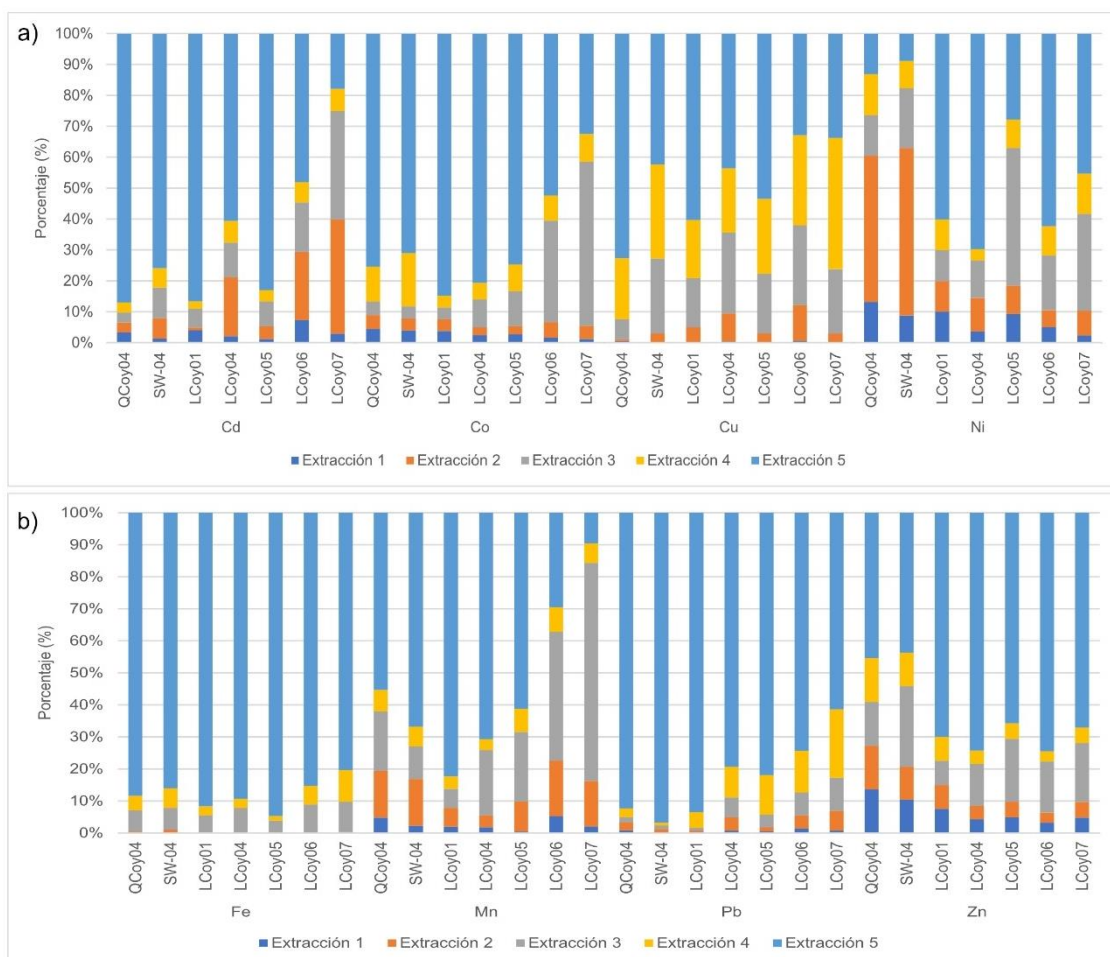


Figura 6.114. Fracciones (%) de metales obtenidos de la extracción secuencial de Tessier en sedimentos en la microcuenca Coyllorcocha (zona 4): a) Cd, Co, Cu y Ni, y b) Pb, Zn, Fe y Mn

6.4.3.4. Difracción de rayos X (DRX)

De acuerdo con el análisis mineralógico por DRX (Figura 6.3), en los nueve puntos evaluados, las mayores concentraciones de minerales (> 10%) en la muestra de sedimento correspondieron a: cuarzo (de 36% en LCoy02 y LCoy03 al 67% en QCoy04); gohetita (del 13% en LCoy01 al 36% en LCoy02); alunita (del 11% en QCoy04 al 19% en LCoy01); pagioclasa (andesina) (del 10% en LCoy03 y LCoy04 al 26% en LCoy07), arcillas y carbonatos (ambos con 14,7% y 13,5% en SW-04), entre otros.

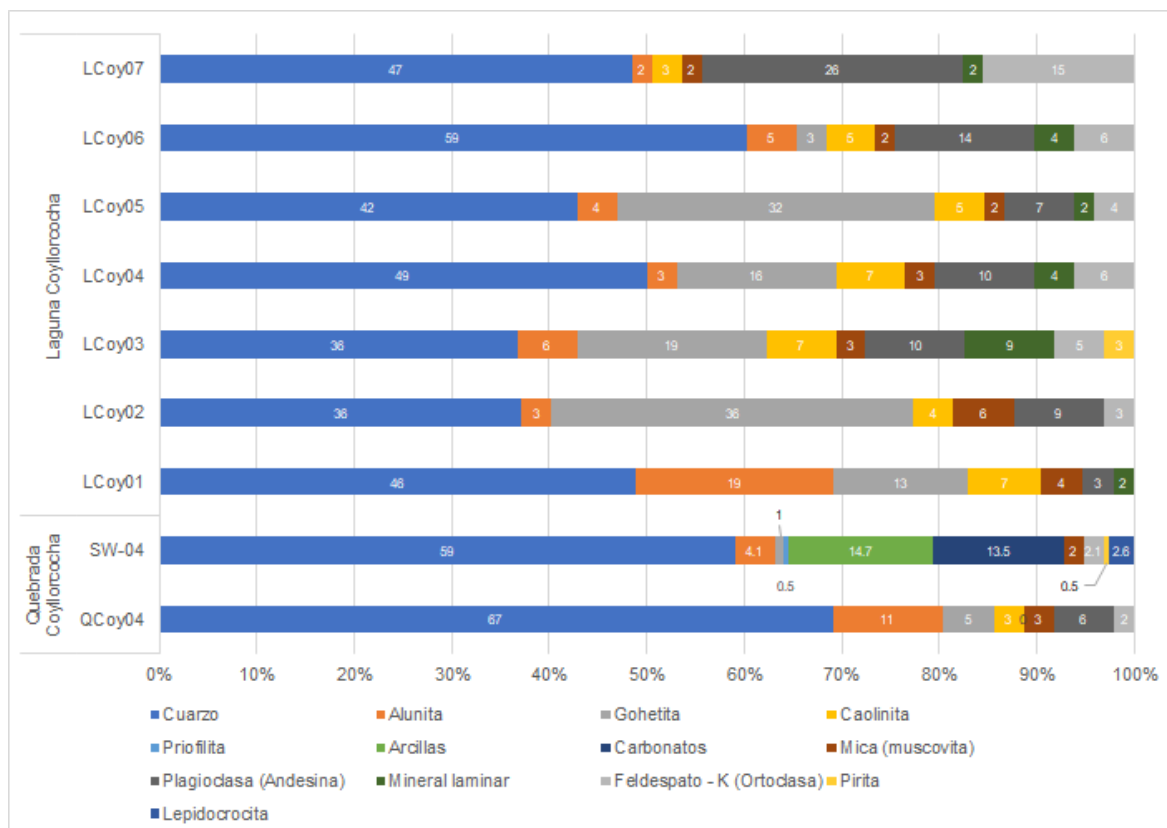


Figura 6.115. Análisis mineralógico por DRX en sedimentos en la microcuenca Coyllorcocha (zona 4)

6.4.3.5. Microscopía electrónica de barrido (MEB)

De acuerdo al análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido (Figura 6.4), en el punto SW-04 se presentaron agregados en sedimentos como hematita/magnetita (74,1%% de Fe), pirita (54% de S), esfalerita (67,04% de Zn), baritina (68.23% de Ba), Sr_baritina (69,31% de Ba), galena (85,1% de Pb), entre otros; en el punto QCoy04 se presentaron agregados en sedimentos como jordanita (70,46%% de Mn), galena (85,66% de Mn), acantita (85,33% de Ag), casiterita (78,72% de Sn), calcosita/digenita (74,65% de Cu), baritina (69,79% de Pb), rutilo (67,92% de Ti), entre otros; en el punto LCoy01 se presentaron agregados en sedimentos como Ag_galena (83,34%% de Pb), galena (85,84% de Pb), baritina (69,96% de Ba), hematita/magnetita (71,86% de Fe), Sr_baritina (66,53% de Ba), entre otros; en el punto LCoy02 se presentaron agregados en sedimentos como calcosita/digenita (74,88%% de Pb), galena (85,86% de Pb), baritina (65,01% de Ba), hematita/magnetita (73,59% de Fe), Sr_baritina (62,2% de Ba), entre otros; en el punto LCoy03 se presentaron agregados en sedimentos como calcosita/digenita (78,73% de Cu), galena (86,19% de Pb), cuarzo (64,067% de Si), hematita/magnetita (75,77% de Fe), rutilo (69,45% de Ti), entre otros; en el punto LCoy04 se presentaron agregados en sedimentos como hematita/magnetita (74% de Fe), Sb_bismutinita (76,15% de Bi), galena (86,2% de Pb), Sr_baritina (66,75% de Ba), rejalgar (66,87% de As), entre otros; en el punto LCoy05 se presentaron agregados en sedimentos como acantita (86,99% de Ag), galena (86,21% de Pb), hematita/magnetita (73,38% de Fe), cinabrio (85,4% de Hg), rutilo (67,72% de Ti), entre otros; finalmente, en el punto LCoy07 se presentaron agregados en sedimentos como galena (85,88% de Pb), hematita/magnetita



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

(73,37% de Fe), cinabrio (85,11% de Hg), Sr_baritina (63,88% de Ba), esfalerita <5% Fe (59,89% de Zn), entre otros.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

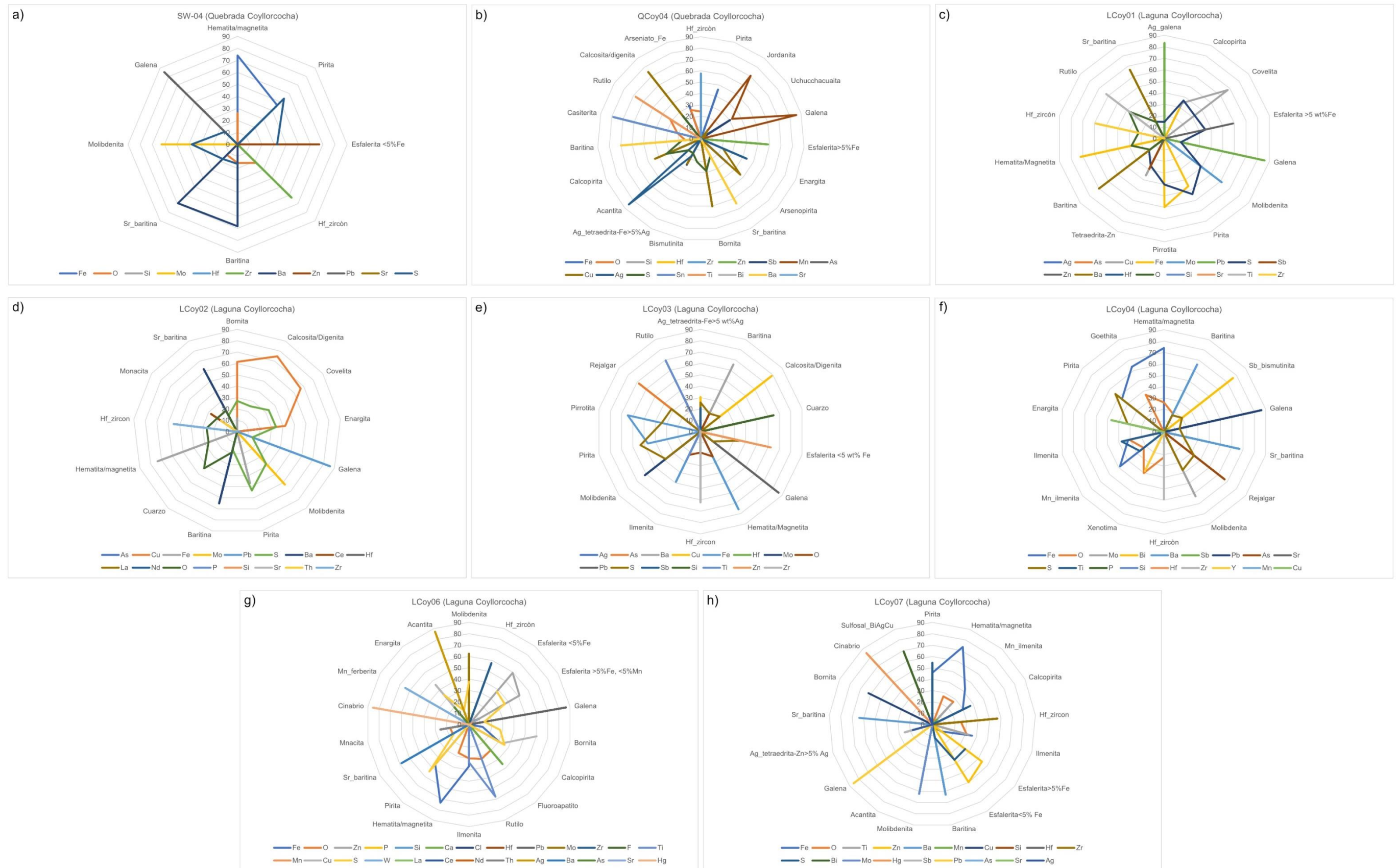


Figura 6.116. Análisis mineralógico por MEB en sedimentos en la microcuenca Chacote (zona 1)

**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección
Técnica CientíficaDecenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

6.4.4. Agua residual industrial

6.4.4.1. Descripción de los resultados de agua residual industrial

Los puntos de agua residual industrial registraron pH ácido (2,06 unidades de pH – 2,72 unidades de pH), valores altos de conductividades eléctricas (1934 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 15650 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sulfatos (1007 mg/L – 10552,8 mg/L); además de concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc y concentraciones de hierro disuelto mientras que las concentraciones totales de mercurio estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método de análisis del laboratorio. (Tabla 6.4).

Tabla 6. 43. Valores de parámetros evaluados en los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023

Código del laboratorio		M-23-18691	M-23-18102	M-23-18694	M-23-18692	M-23-18695	M-23-18109	M-23-18100	M-23-18108	M-23-18099
Cuerpo de agua		Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua	Flujo de agua
Código del punto de muestreo		ESP-TD-03	ESP-SS-02	ARI-2	ESP-TD-01	ESP-TD-02	ARI-3	ESP-SS-05	ARI-4	ESP-SS-04
Fecha de muestreo		11/04/23	08/04/23	10/04/23	10/04/23	11/04/23	08/04/23	07/04/23	07/04/23	07/04/23
Hora de muestreo		Abril	Abril	Abril	Abril	Abril	Abril	Abril	Abril	Abril
N.º de informe de ensayo		14:45	15:00	14:30	15:40	12:05	11:40	14:40	15:05	12:35
Parámetro	Unidad	IE-23-6654	IE-23-6342	IE-23-6656	IE-23-6654	IE-23-6656	IE-23-6344	IE-23-6342	IE-23-6344	IE-23-6342
pH	Unidad de pH	2,31	2,72	2,49	--	2,48	2,53	2,57	2,06	2,27
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	3670	1934	3800	15650	2310	2610	2570	5530	4270
Sulfatos	mg/L	1691,3	1007,00	2605,8	10552,8	1164,4	1017,00	1019,00	1505,00	1307,00
Arsénico total	mg/L	39,4248	10,8551	12,7067	32,9033	0,2615	11,2079	10,3289	26,3827	21,6766
Cadmio total	mg/L	1,09800	0,68073	0,97500	1,42190	0,11030	0,75157	0,70960	0,68102	0,69367
Cobre total	mg/L	109,0260	15,2051	102,7600	36,9703	8,4377	38,3881	46,5533	84,9522	77,4479
Mercurio total	mg/L	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Plomo total	mg/L	0,4798	0,6677	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,4937	0,4233	0,5268	0,4880
Zinc total	mg/L	19,4723	12,7832	25,1785	35,9964	2,9472	19,8252	19,5718	18,1545	18,4793
Hierro disuelto	mg/L	261,694	241,385	360,104	1606,582	152,688	310,186	300,651	488,346	415,780

(--) Fuera de rango de medida del equipo, que es de 0,00 a 14,00 unidades de pH

6.4.4.2. Hidroquímica

Según el diagrama de Stiff, los puntos de agua residual industrial evaluados en abril 2023 se clasificaron como sulfatada cálcica con concentraciones de los iones mayoritarios de 0 a 55 meq/L (ARI-2, ARI-3, ARI-4, ESP-TD-03, ESP-SS-02, ESP-TD-02, ESP-SS-05, ESP-SS-04) y de 0 a 200 meq/L (ESP-TD-01) (Figura 6.41).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

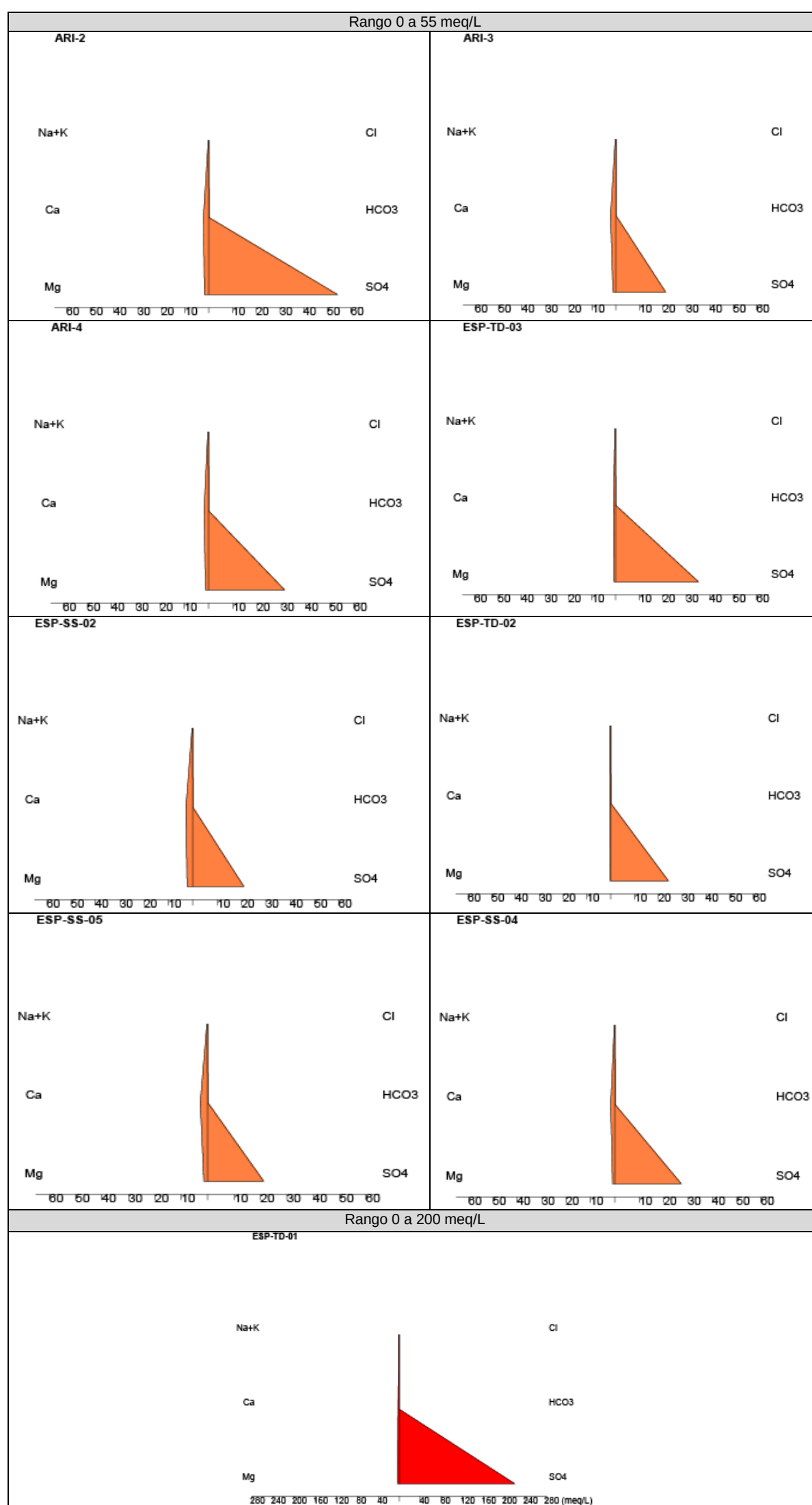


Figura 6.117. Diagramas de Stiff de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023



Según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, los puntos de agua residual industrial ESP-SS-04, ARI-3, ESP-SS-05, ESP-SS-02 y ESP-TD-02 se clasificaron como «pH altamente ácido» y «alto contenido de metales» mientras que los puntos de agua residual industrial ARI-4, ESP-TD-03 y ARI-2 se clasificaron como «pH altamente ácido» y «extremo contenido de metales» (Figura 6.45).

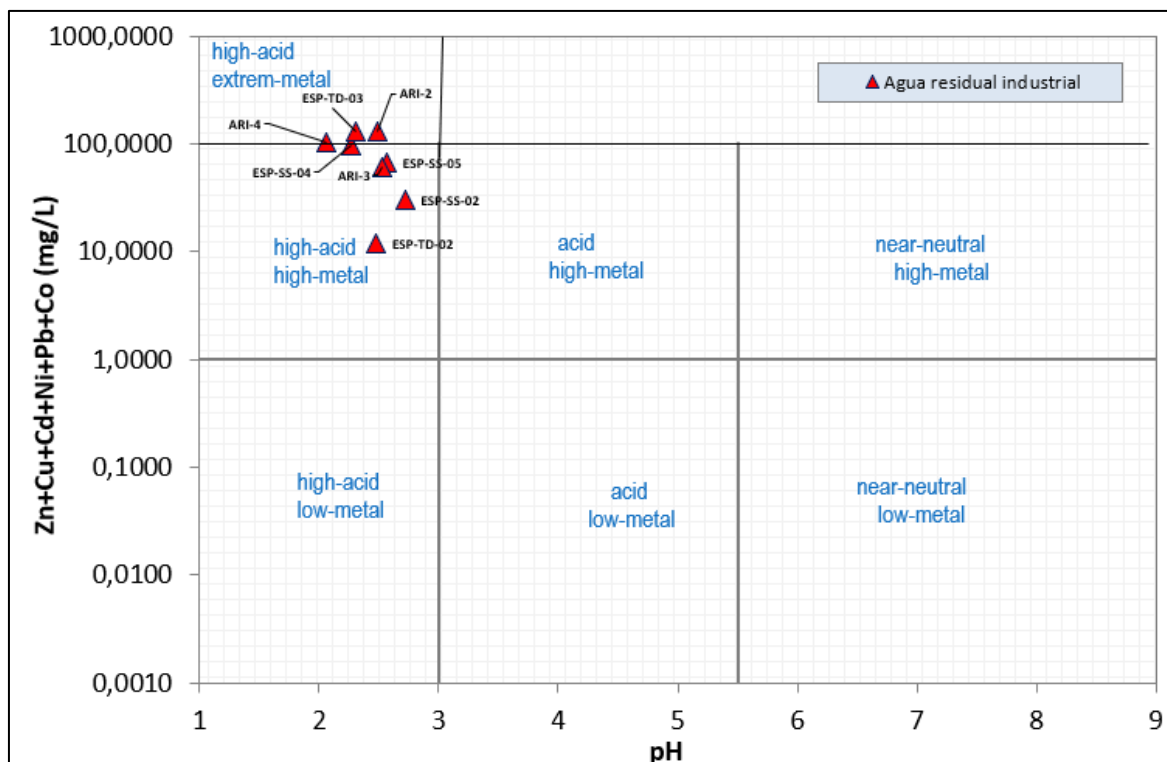


Figura 6.118. Diagrama de Ficklin de los puntos de agua residual industrial en la microcuenca Coyllorcocha (zona 3) en abril de 2023

6.4.5. Comunidades hidrobiológicas

En esta zona, se evaluaron 3 puntos distribuidos en la quebrada Coyllorcocha y 6 puntos distribuidos en la laguna Coyllorcocha, colectándose un total de 3 puntos de perifiton y 9 puntos de macroinvertebrados bentónicos. A continuación, se describen los resultados de cada comunidad evaluada en esta zona:

6.4.5.1. Perifiton

El perifiton en esta zona estuvo conformado por 11 taxones, donde el 100 % corresponde a las microalgas. El detalle de estos resultados se muestra en el reporte de resultados RR-015-2022-STEAC (Anexo 3). De esta manera, los resultados y las estadísticas descritas a continuación se centraron al análisis de las microalgas.

Microalgas

a. Composición, densidad y riqueza

Las microalgas estuvieron representadas por 11 taxones agrupados en 3 phylum, donde se destaca la mayor riqueza del phylum Bacillariophyta con 7 taxones. El detalle se encuentra en el Anexo 3.



En la Figura 6.43, se observa que en el recorrido de la quebrada Coyllorcocha del punto QCoy-01 al QCoy-04 se registró el aumento de la densidad acumulada (6400 a 11250 organismos/cm²), lo que se relaciona con el aumento de los géneros *Eunotia*, *Frustulia* y *Pinnularia* del phylum Bacillariophyta. Enseguida del punto QCoy-04 al SW-04 se registró la disminución de la densidad acumulada (11250 a 2820 organismos/cm²), donde se observa que desaparecen los taxones del phylum Bacillariophyta pero aparece y prevalece el género *Leptolyngbya*. Por otro lado, el comportamiento de la riqueza del punto QCoy-01 al SW-04 registró una disminución progresiva de 10 a 2 taxones.

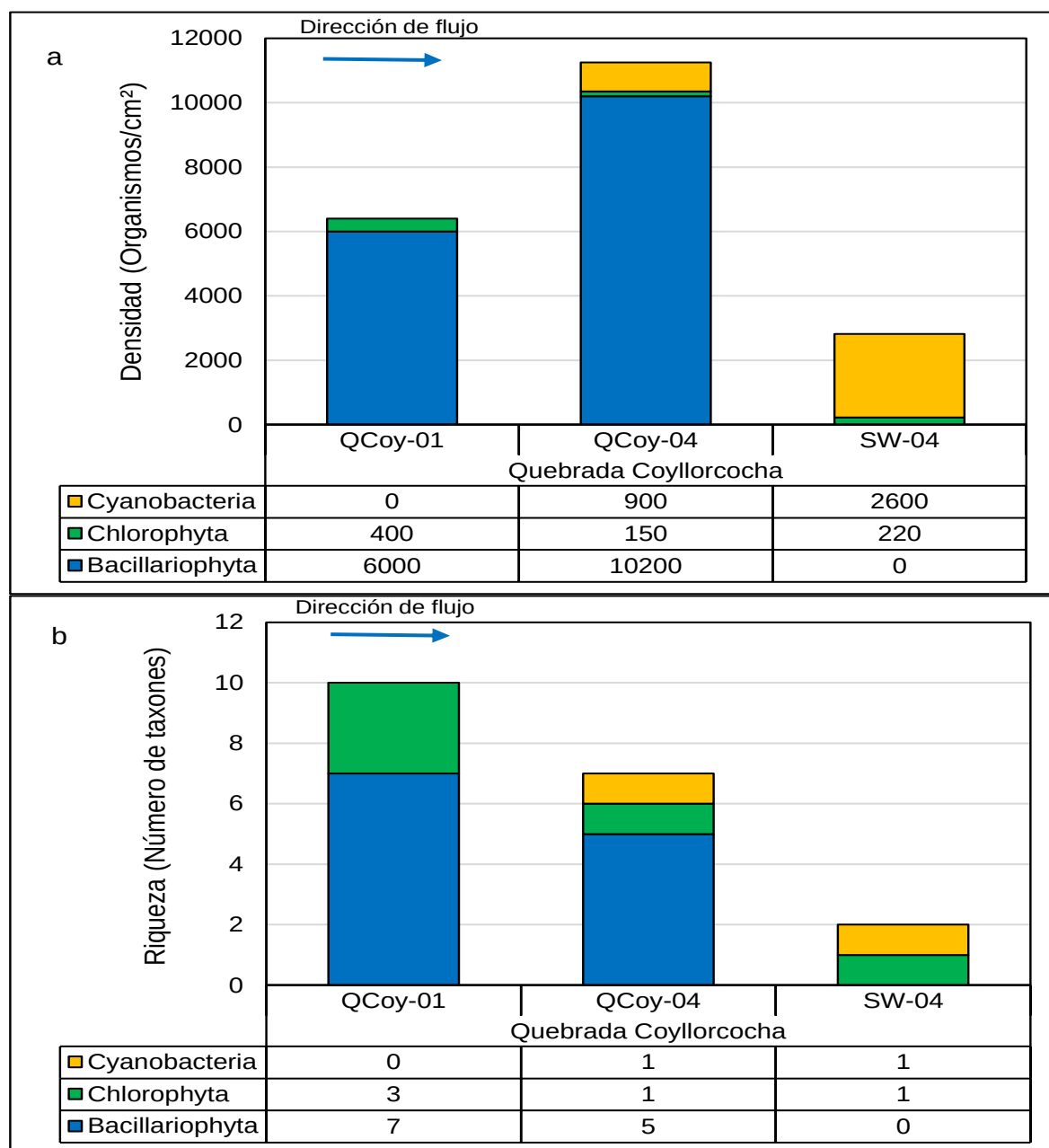


Figura 6.119. a) Densidad y b) Riqueza de las microalgas a nivel de phylum taxonómico.

**b. Índices de diversidad alfa**

En la Tabla 6.5, se presentan los resultados de los índices de diversidad alfa: diversidad verdadera $N1$, dominancia de Simpson (λ) y equidad de Pielou (J'), por punto de muestreo.

Se observa que en el recorrido de la quebrada Coyllorcocha del punto QCoy-01 al QCoy-04 se registró la disminución de la diversidad verdadera ($N1$: 4,93 a 1,32 especies efectivas); esto se refleja con la disminución de los valores de equidad de Pielou (J : 0,69 a 0,39) y el aumento de los valores de dominancia de Simpson (λ : 0,34 a 0,86), lo que indica que en el recorrido de la quebrada está ocurriendo una disminución de la distribución del ensamble y con el aumento del dominio de ciertos taxones.

Tabla 6.5. Índices de diversidad alfa de las microalgas

Cuerpo de agua	Quebrada Coyllorcocha		
Punto de muestreo	QCoy-01	QCoy-04	SW-04
Equidad de Pielou (J')	0,69	0,71	0,39
Dominancia de Simpson (λ)	0,34	0,33	0,86
Diversidad Verdadera ($N1$)	4,93	3,97	1,32

Microorganismos

No se registraron microorganismos.

6.4.5.2. Macroinvertebrados bentónicos

Para el análisis de macroinvertebrados bentónicos del muestreo cuantitativo y cualitativo se realizó la descripción por separado, debido a que la zona de estudio involucra dos tipos de ecosistemas distintos (Quebrada y Laguna Coyllorcocha) y dos áreas de muestreo distinto; sin embargo, ambos ecosistemas están conectados. Cabe precisar que solo en la Laguna Coyllorcocha se realizó los dos tipos de muestreo, lo cual a continuación se detalla la dinámica y distribución de los macroinvertebrados bentónicos.

a. Composición, densidad y riqueza

La comunidad de macroinvertebrados bentónicos de los dos ecosistemas (Quebrada y Laguna Coyllorcocha) de los muestreos cuantitativo y cualitativo estuvo conformada por 26 taxones, representados por 2 phyla, 7 clases, 12 órdenes y 18 familias. El detalle de los resultados se encuentra en el Anexo 3.

En el recorrido de la quebrada Coyllorcocha del punto QCoy-01 al QCoy-04 se registró un aumento de la densidad acumulada (83 a 273 Individuos/0,27m²), relacionado con el aumento de la densidad de la familia Chironomidae dominando los taxones *Podonomus* sp. y *Cricotopus* sp. del orden Díptera; sin embargo, del punto QCoy-04 al SW-04 se registró la disminución de la densidad acumulada (273 a 17 Individuos/0,27m²), prevaleciendo la familia Chironomidae del orden Díptera. Asimismo, no se registró una variabilidad notoria en la distribución de la riqueza registrando de 8 a 10 taxones.

Con respecto al comportamiento de la distribución de macroinvertebrados bentónicos en la laguna Coyllorcocha es importante saber que se realizó dos tipos de muestreo: 1) El muestreo cuantitativo que se colectó en el fondo sedimentario con la draga de área de muestreo de



0,05m² (Sumando las réplicas es 0,15m²) y 2) El muestreo cualitativo que se colectó en zona de ribera u orilla con la red Dnet en un tramo de 3 metros; por lo cual a continuación se describe la dinámica de los macroinvertebrados bentónicos:

En el muestreo cuantitativo se registró que los puntos LCoy-02 y LCoy-03 registraron mayores densidades acumuladas (43 y 32 Individuos/0,15m²) con respecto a los demás puntos de muestreo, siendo representado por el dominio del taxón Lumbriculidae ND del orden Lumbriculida, cabe indicar que estos puntos de muestreo se encuentran ubicado lejos de la orilla de la Laguna con aproximadamente 3 metros de profundidad; asimismo, los puntos LCoy-01, LCoy-04 y LCoy-06 que se encuentran cerca a la orilla registraron menores densidades acumuladas (8 y 0 Individuos/0,15m²) con respecto al punto LCoy-07 que se encuentra lejos de la desembocadura de la quebrada Coyllorcocha. Es importante mencionar que de los puntos donde se registraron individuos no presentaron una variabilidad notoria de la riqueza (3 a taxones), sin embargo, los únicos puntos que no registraron ningún taxón fueron lo puntos LCoy-04 y LCoy-06.

Por otro lado, en el muestreo cualitativo se observa que el punto LCoy-07 que se encuentra lejos de la descarga de la quebrada Coyllorcocha se registró mayor densidad acumulada (275 Individuos/muestra) y riqueza acumulada (11 taxones) con respecto a los puntos LCoy-06 y LCoy-04, siendo representado por el dominio del taxón Lumbriculidae ND del orden Lumbriculida. Es importante mencionar que los puntos LCoy-04 y LCoy-06 registraron 15 y 78 Individuos/muestra representado por los taxones Naididae ND y Enchytraeidae ND respectivamente.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

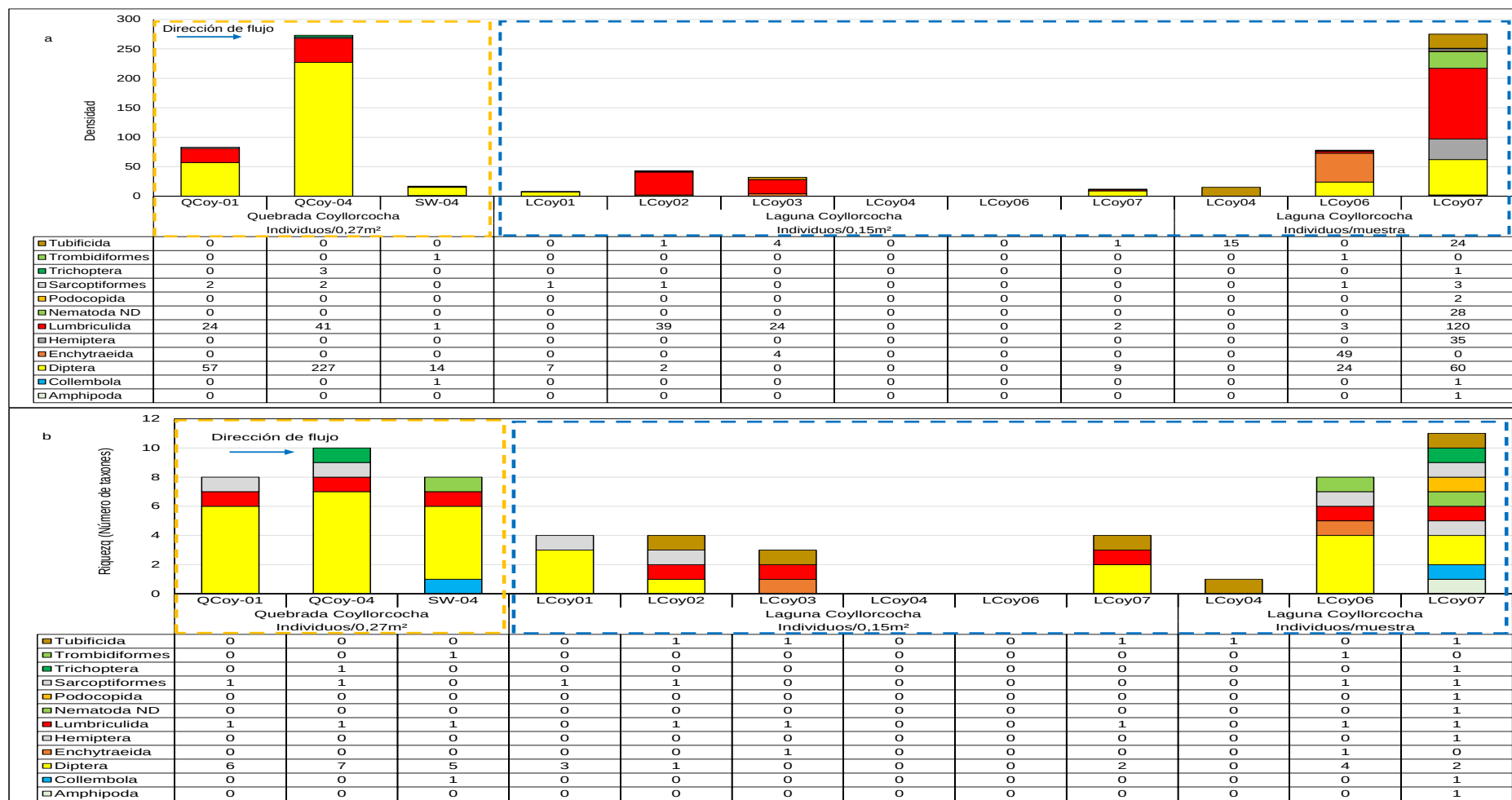


Figura 6.120. a) Densidad y b) Riqueza de macroinvertebrados bentónico a nivel de orden taxonómico.

Formato PM0302-F05

Versión: 00

Fecha de aprobación: 29/12/2020

**b. Índices de diversidad alfa**

En la Tabla 6.6, se presentan los resultados por punto de muestreo de los índices de diversidad alfa: diversidad verdadera N1, dominancia de Simpson (λ) y equidad de Pielou (J').

En el recorrido de la quebrada Coyllorcocha se observa una ligera variabilidad de la diversidad verdadera (N1: 3,36 a 5,26 especies efectivas), esto se vio reflejado con valores moderado y alto de equidad de Pielou (J' : 0,53 a 0,79) y valores medios y bajos de dominancia de Simpson (λ : 0,45 a 0,27), lo que indica una moderada y alta distribución en el ensamble con moderado y bajo dominio de ciertos grupos de taxones.

Por otro lado, en la laguna Coyllorcocha del muestreo cuantitativo se registró que los puntos LCoy-01 y LCoy-07 presentaron los mayores valores de diversidad verdadera (N1: 3,36 y 2,67 especies efectivas), reflejándose con alto valor de equidad de Pielou (J' : 0,88 y 0,71) y valores bajos – moderado valor de dominancia de Simpson (λ : 0,34 y 0,49), lo que indica elevada distribución del ensamble y baja – moderada dominancia de ciertos taxones en su distribución.

Asimismo, en el muestreo cualitativo en la laguna Coyllorcocha se registró que el punto LCoy-07 presentó mayor valor de diversidad verdadera (N1: 4,91 especies efectivas) con respecto a los puntos LCoy-04 y LCoy-06 (N1: 1 y 3,03 especies efectivas), reflejándose con un moderado valor de equidad de Pielou (J' : 0,66) y bajo valor de dominancia de Simpson (λ : 0,27), lo que indica una moderada distribución del ensamble con baja dominancia de ciertos taxones en su distribución.

Tabla 6.6. Índices de diversidad alfa de los macroinvertebrados bentónicos

Tipo de muestreo	Cuantitativo									Cualitativo		
Cuerpo de agua	Quebrada Coyllorcocha			Laguna Coyllorcocha								
Punto de muestreo	QCoy-01	QCoy-04	SW-04	LCoy01	LCoy02	LCoy03	LCoy04	LCoy06	LCoy07	LCoy04	LCoy06	LCoy07
Equidad de Pielou (J')	0,73	0,53	0,79	0,88	0,29	0,67	0	0	0,71	0	0,53	0,66
Dominancia de Simpson (λ)	0,28	0,45	0,27	0,34	0,83	0,59	0	0	0,49	1	0,46	0,27
Diversidad verdadera (N1)	4,55	3,36	5,26	3,36	1,5	2,08	0	0	2,67	1	3,03	4,91

c. Resultados del protocolo CERA-S modificado

En la Tabla 6.7, se observan los resultados obtenidos del análisis de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado usado referencialmente para la obtención de la calidad ecológica, según el cual se obtuvo lo siguiente:

Antes describir los resultados es importante aclarar que el estado ecológico solo se calculó para los puntos ubicados en la quebrada Coyllorcocha, debido a que este índice es para ambientes lóticos.

Se obtuvo moderada calidad hidromorfológica en el 100 % de los puntos de muestreo. Esta evaluación es importante porque permite medir el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacente.

En la calidad biológica (ABI), se obtuvo mala calidad en el 66 % y moderada calidad en el 33 % de los puntos de muestreo. Esta evaluación nos permite medir el grado de impacto en el cuerpo de agua mediante la tolerancia o sensibilidad de taxones de macroinvertebrados.

Finalmente, la calidad ecológica, obtenida mediante una recombinación de la calidad hidromorfológica y la calidad biológica, registró mala calidad en el 66 % y moderada calidad en



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

el 33 % de los puntos de muestreo. Esta evaluación es importante porque permite hacer una medición integral del estado en el que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del cuerpo de agua como del ambiente acuático.

Tabla 6.7. Resultados de la calidad ecológica según el protocolo CERA-S modificado

Cuerpo de agua	Punto de muestreo	Calidad biológica (ABI)	Calidad hidromorfológica	Estado ecológico
Quebrada Coyllorcocha	QCoy-01	17 (Mala)	20 (Moderada)	Mala
	QCoy-04	29 (Moderada)	21 (Moderada)	Moderado
	SW-04	15 (Mala)	22 (Moderada)	Mala

6.4.6. Componentes mineros y otros materiales

En la subzona 4 se identificó depósitos antropogénicos que consisten en residuos de mina ubicados en el lado noroeste del tajío Scree Slope (CM-SS01 y CM-SS2) y sureste del tajío Diana (CM-DT01 y CM-DT02) que consisten en acumulaciones de desmonte rocoso compuesto por bloques silicificados, argilizados con óxidos y sulfuros, además, se observaron materiales de topsoil en zonas puntuales (Figura 6.121).

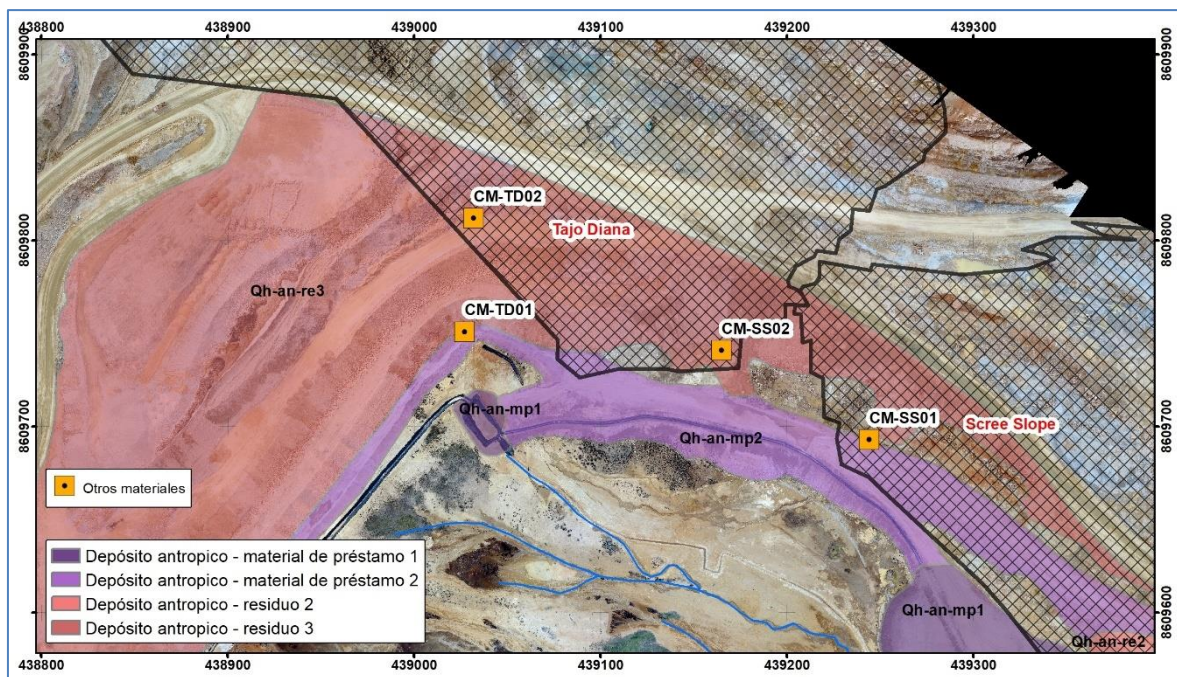


Figura 6.121. Depósitos antropogénicos identificados en la subzona 4, y puntos de muestreo realizados para la caracterización geoquímica.

Los residuos de mina (CM-SS01, CM-DT01 y CM-DT02) presentaron elevadas concentraciones de hierro, respecto al resto de elementos mayores; en cuanto a los elementos trazas, resaltan las altas concentraciones de arsénico y plomo, seguido de boro, cadmio, cobre, mercurio, molibdeno, selenio, talio y zinc, que incluso superaron referencialmente los valores de corteza, usado para comparar los resultados de afloramientos rocosos sin perturbación o remoción (Figura 6.122).

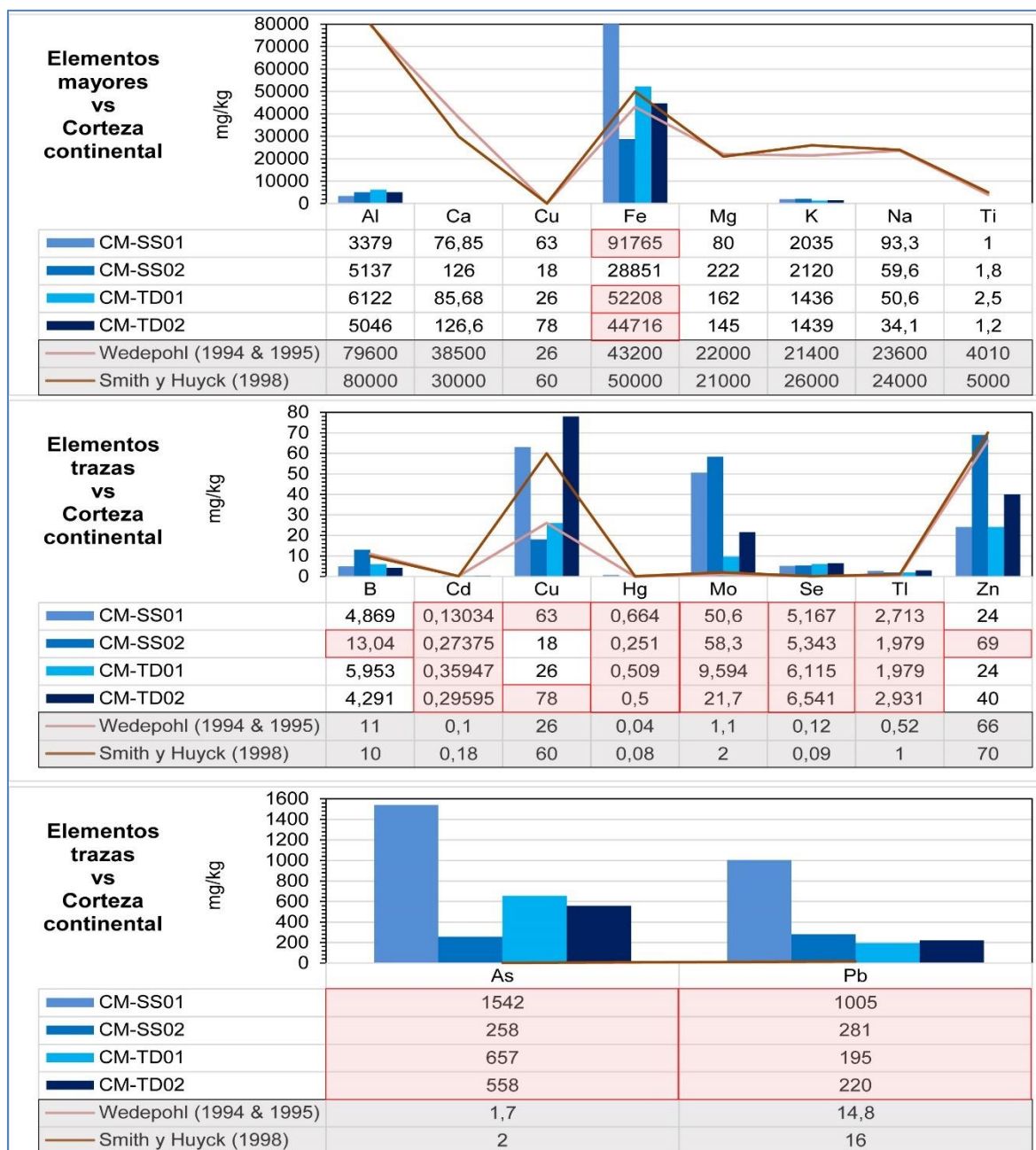


Figura 6.122. Concentración de elementos mayores y trazas del material de residuo de mina (CM-SS01, CM-DT01 y CM-DT02) ubicado en la subzona 4, comparados referencialmente con los valores de corteza continental.

La composición mineralógica de estos materiales consiste principalmente en cuarzo, arcillas, alunita y micas, y en menor porcentaje por feldespatos potásicos, plagioclasas, pirita, óxidos de hierro (jarosita, hematita y goetita), lepidocrocita y pirolita (Figura 6.123); lo que concuerda con la litología de los bloques de rocas volcánicas silicificadas con textura oquerosa y alteración argílica avanzada, además de zonas con óxidos de hierro.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

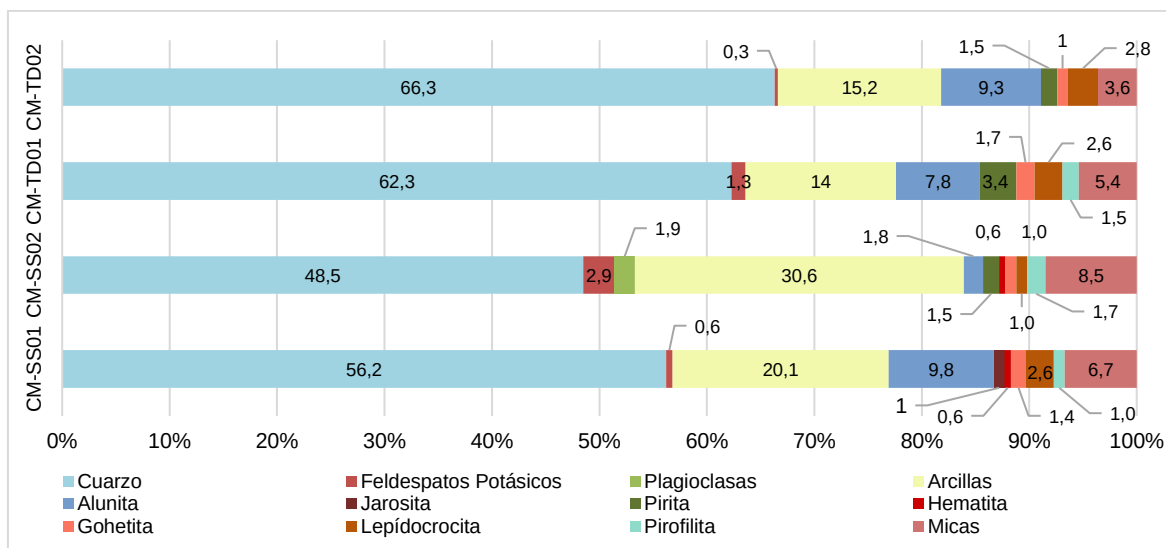


Figura 6.123. Composición mineralógica por difracción de rayos X del material de residuo de mina (CM-SS01, CM-SS02, CM-TD01 y CM-TD02) de la subzona 4.

Según la prueba estática de balance ácido-base ABA, los materiales de residuo de mina (CM-SS01, CM-SS02, CM-TD01 y CM-TD02) presentaron alto porcentaje de azufre total (1,76 % a 3,75 %), principalmente como sulfuro, por el contenido de sulfuros como la pirita, y pH en pasta ácido (2,1 a 3,2 unidades de pH). Según los criterios 1 (PNN) y 2 (RPN) fueron clasificados como «potenciales generadores de ácido - PGA» debido al alto potencial de acidez máximo (40 a 107 kg CaCO₃/Ton) respecto al potencial de neutralización que fue de 0,01 kg CaCO₃/Ton en todos los puntos (Tabla XX).

Tabla 6.8. Resultados del Balance ácido-base del material de residuo de mina (CM-CAY01, CM-P4A y CM-MAT1) de la subzona 4.

Parámetro	Unidad	CM-SS01	CM-SS02	CM-TD01	CM-TD02
Azufre Total	%	1,76	2,37	3,75	3,32
Sulfuro total	%	1,28	1,94	3,41	2,84
Sulfato total	%	0,48	0,43	0,34	0,48
pH en Pasta	Unidades pH	2,77	2,10	3,20	3,00
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	40,0	60,6	107	88,8
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	0,01	0,01	0,01	0,01
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	-40,0	-60,6	-107	-88,8
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0	0	0	0
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		PGA	PGA	PGA	PGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA	PGA	PGA	PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-0XX-2023-STEC.

Respecto a los elementos lixiviables, por la prueba *shake flask*, los analitos móviles del material de residuo de mina (CM-SS01, CM-SS02, CM-TD01 y CM-TD02) principalmente son aluminio, arsénico, cadmio, cobr, hierro, manganeso, plomo y zinc, de los cuales, el arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc presentaron concentraciones superiores a los valores de los LMP (2010) - Límite en cualquier momento (Figura 6.124).

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

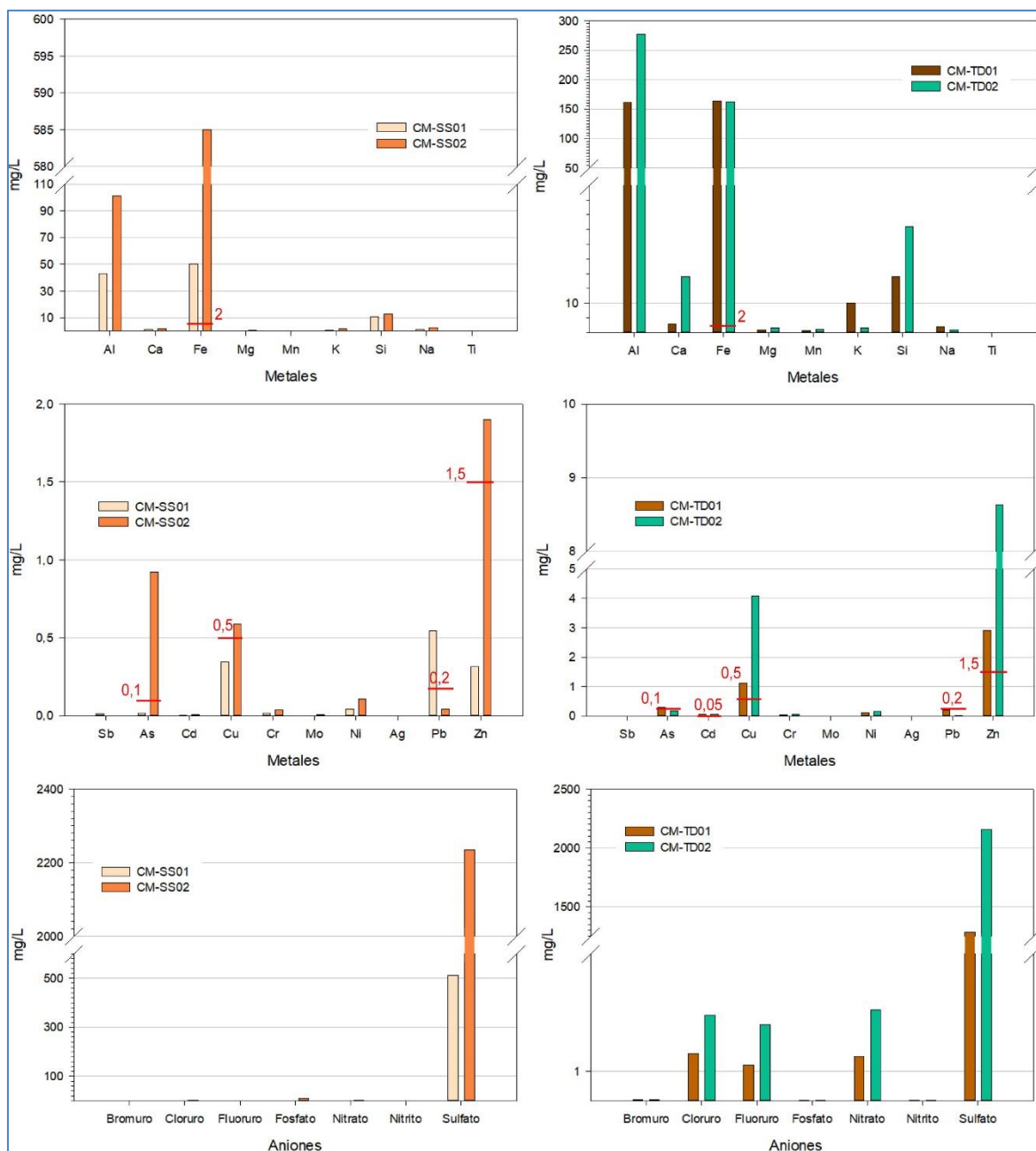


Figura 6.124. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* del material de residuo de mina (CM-SS01, CM-SS02, CM-TD01 y CM-TD02) de la subzona 4.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

6.4.7. Litogeoquímica

En esta subzona afloran mayormente rocas volcánicas de la Formación Astobamba (lavas andesíticas, tobas de cristales, flujos piroclásticos y dacitas subvolcánicas) los cuales albergan la mineralización en los tajos Susan y Diana; sobre estas rocas, se observan depósitos cuaternarios de tipo químico – ferricretas (fragmentos volcánicos con cemento de óxidos de hierro), coluvial-deluvial (bloques y gravas subangulosas), aluvial-fluvial (bloques, guijarros y gravas subredondeadas), aluvial (gravas heterométricas subredondeadas con niveles de arenas) y biogénicos (limos, arcillas y materia orgánica); asimismo, se identificó depósitos antropogénicos asociados a las actividades de explotación de Minera IRL SAC (Figura 6.125).

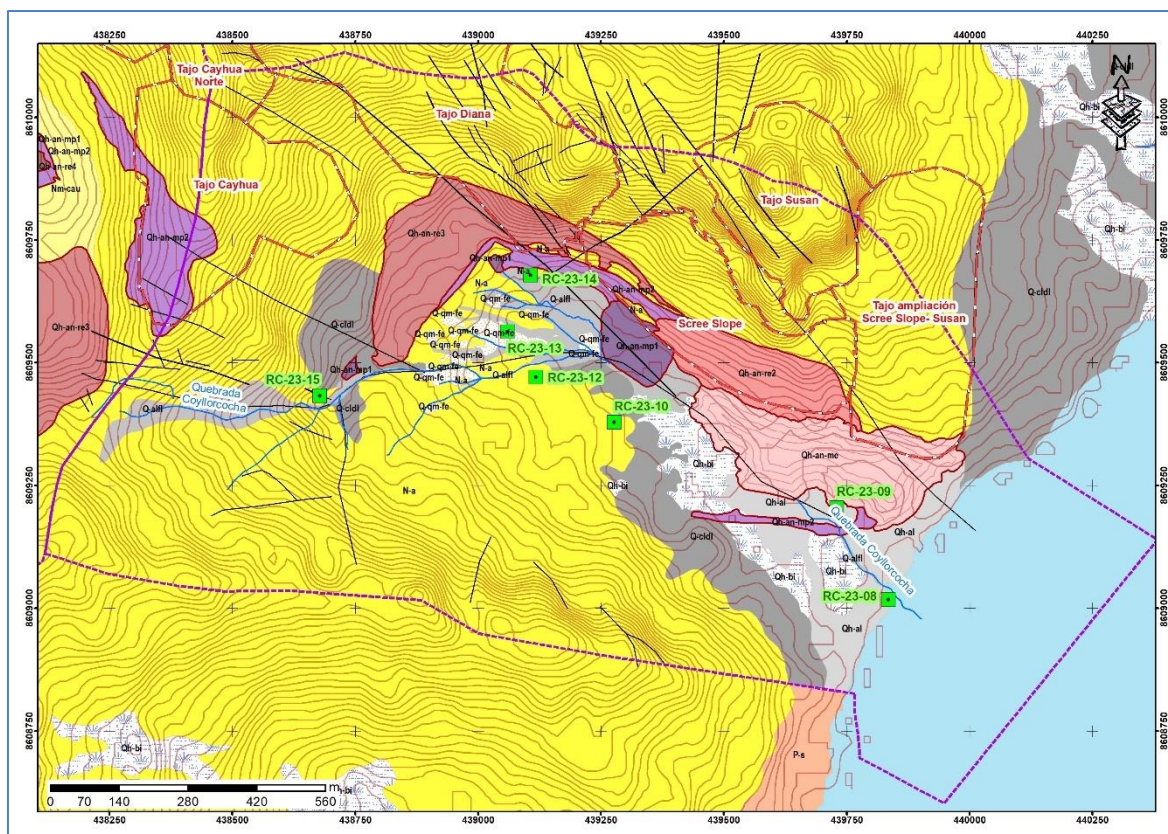


Figura 6.125. Unidades geológicas y puntos de muestreo de roca de la subzona 4.

En la Tabla 6.2 se presentan los puntos de caracterización principales unidades geológicas identificadas la subzona 4.

Tabla 6.9. Litología y análisis realizados en las unidades geológicas de la subzona 4.

N.º	Ubicación del afloramiento o depósito	Unidad geológica	Código de punto	Litología	Parámetros evaluados					
					Metales totales y Hg	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	DRX	Microscopía óptica
1	Margen derecha de la quebrada Coyllorcocha	Formación Astobamba	RC-23-10	Brecha volcánica	1	---	---	---	---	---
2			RC-23-12	Dacita porfirítica	1	---	---	---	---	---
3	Margen izquierda de la		RC-23-14	Brecha volcánica	1	1	1	1	---	1
4			RC-23-15	Dacita porfirítica	1	---	---	---	---	---



N.º	Ubicación del afloramiento o depósito	Unidad geológica	Código de punto	Litología	Parámetros evaluados					
					Metales totales y Hg	ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	DRX	Microscopía óptica
5	quebrada Coyllorcocha	Depósito químico - ferricreta	RC-23-13	Fragmentos volcánicos, con cemento de goethita	1	---	---	---	---	---
6	Aledaño a la desembocadura de la quebrada Coyllorcocha a la laguna Coyllorcocha	Depósito aluvial	RC-23-08	Fragmentos subredondeados de volcánicos, arenas y gravas	1	---	---	---	1	---
7			RC-23-09	Fragmentos subredondeados de volcánicos, arenas y gravas	1	---	---	---	1	---

Fuente: Reportes de campo RC-024-2023-STEC.
(--): Parámetro no considerado para este punto.

A continuación, se describen las características litológicas y geoquímicas de las unidades geológicas identificadas en la subzona 4.

6.4.7.1. Formación Astobamba

Esta unidad fue descrita por primera vez por Salazar H. y Landa C. (1993) como un conjunto de derrames andesíticos brechas y flujos basálticos con ocasionales horizontes Tobáceos y piroclásticos, relacionados a centros volcánicos de tipo estrato volcán y explosivos, dado por su ocurrencia periclinal (Salazar, 1993), con localidad típica en los alrededores de Astobamba, Huancavelica. Sobreyace en discordancia angular a unidades volcanosedimentarias y su techo se encuentra descubierto debido a que está asociadas a magmatismo de centros volcánicos recientes (Salazar, 1993).

Los afloramientos de esta unidad en la subzona 4 se encuentran en ambas márgenes de la quebrada Coyllorcocha y constituye la unidad hospedante de las zonas mineralizadas de los tajos Susan, Diana y ampliaciones. En la margen derecha de la quebrada Coyllorcocha consisten en brechas volcánicas silicificadas con textura Oquerosa con óxidos de hierro en fracturas (RC-23-10) y dacita porfírica con alteración argílica, y zonas brechadas compuesto por fragmentos de flujos piroclásticos (craquel) con óxidos de hierro (RC-23-12). Al noroeste de la poza ST-01 afloran dacitas de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa reemplazados por alunita, se encuentra ligeramente silicificado y presenta baja oxidación (RC-23-15). Y en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha, en el lado suroeste del tajo Diana, afloran brechas volcánicas silicificadas con textura oquerosa, englobado en óxidos de hierro (hematita) y limonitas en fracturas (RC-23-14) (Figura 6.126).

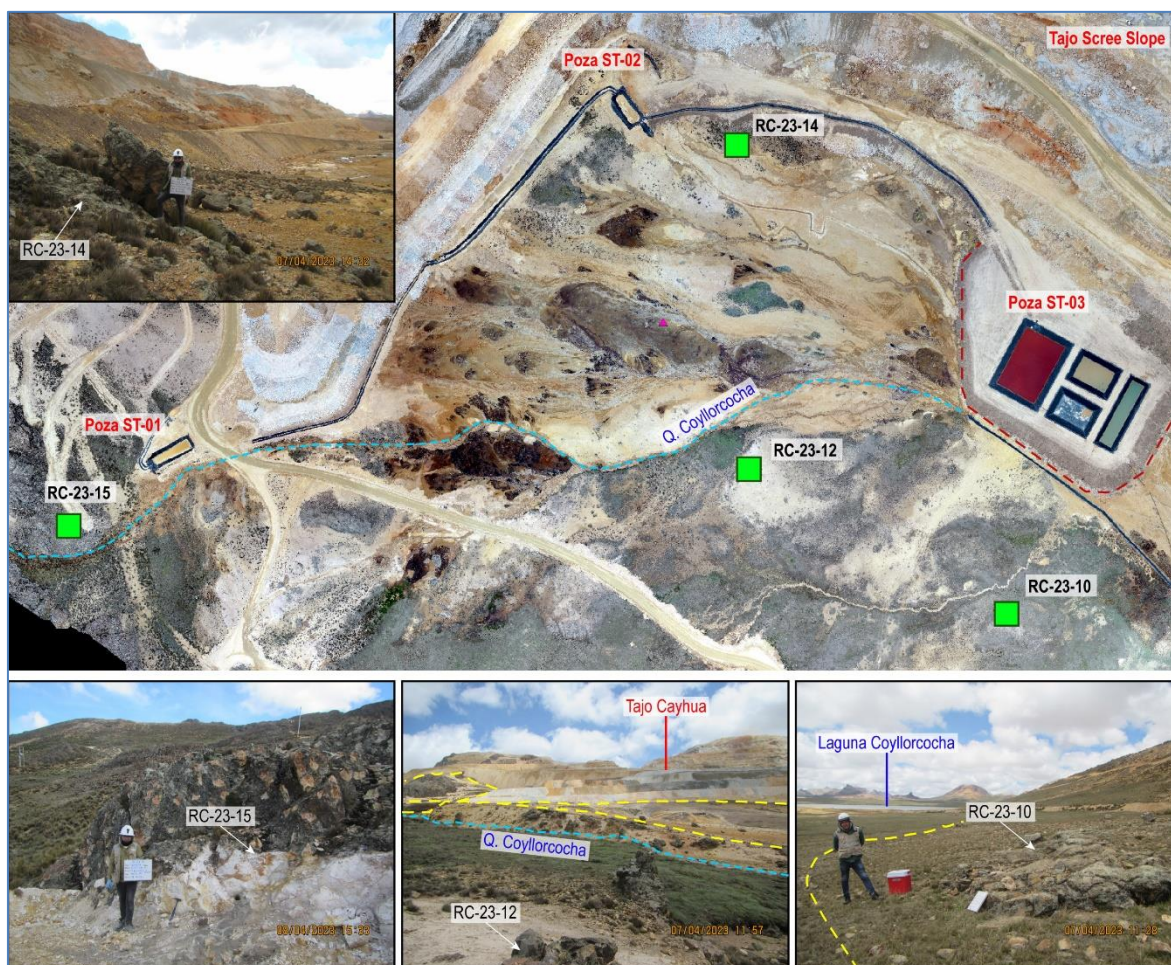


Figura 6.126. Afloramientos y puntos de muestreo de las rocas volcánicas de la Formación Astobamba de la subzona 4.

Las concentraciones de metales de las rocas volcánicas de la Formación Astobamba (RC-23-10, RC-23-12, RC-23-14 y RC-23-15) presentaron concentraciones de elementos mayores inferiores a los valores de corteza continental, resaltando la concentración mayor de hierro en la dacita porfirítica (RC-23-12), respecto al resto. En cuanto a los elementos trazas, el antimonio, mercurio, molibdeno, selenio, arsénico y plomo presentaron concentraciones mayores a los valores de corteza (Figura 6.127).

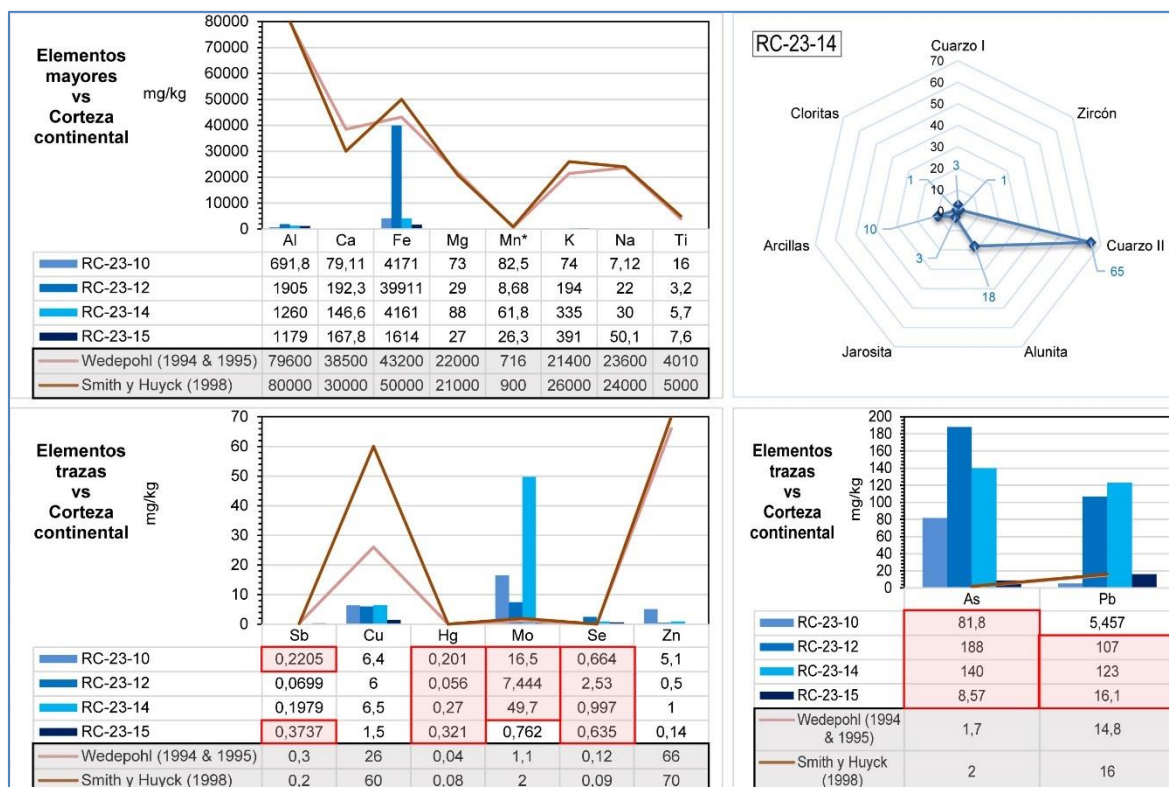
**PERÚ**Ministerio del
AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección Técnica
Científica«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Figura 6.127. Composición mineralógica por microscopía óptica (RC-23-14) y concentraciones de elementos mayores y trazas de las rocas volcánicas de la Formación Astobamba de la subzona 4.

(*) El manganeso se graficó junto con los elementos mayores para mejor visualización, no obstante, se precisa que es un elemento traza debido a su menor abundancia (900 ppm) en la corteza continental.

Según el análisis mineralógico, la muestra RC-23-14 fue clasificado como «brecha volcánica de composición dacítica» donde los litoclastos consisten en fenocristales de feldespatos reemplazados por cuarzo I (baja cristalinidad e irregulares) con cristales accesorios de circón. Los minerales secundarios corresponden a la matriz microcristalina de Cuarzo II, además, presenta minerales fibrosos de alunita. Los espacios abiertos y vetillas están rellenas por jarosita, acompañados con limonitas (Figura 6.128).

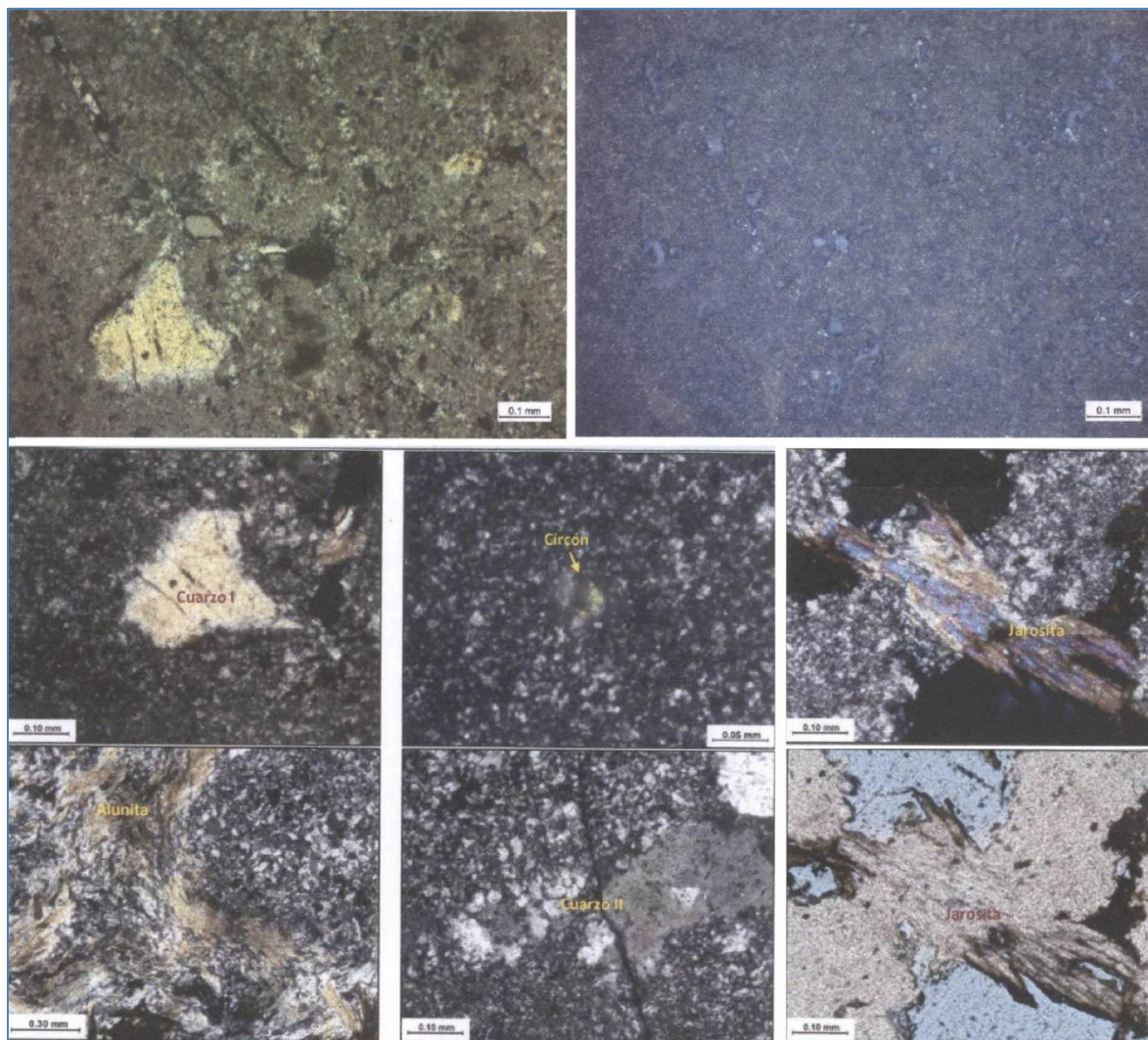


Figura 6.128. Microfotografías de los minerales de la brecha volcánica (RC-23-14) de Formación Astobamba de la subzona 4.

Según la prueba estática de balance ácido-base (ABA), la brecha volcánica (RC-23-14) de la Formación Astobamba presentó moderado azufre total (1,29 %) principalmente como sulfuro (1,12 %) y pH en pasta ácido (4,72 unidades de pH). Según el criterio 1 (PNN) y 2 (RPN) fue clasificado como potencial generador para generar drenaje ácido de roca (Tabla 6.3).

Tabla 6.10. Balance ácido-base de la brecha volcánica (RC-23-14) de la Formación Astobamba de la subzona 4.

Parámetro	Unidad	RC-23-14 Brecha volcánica
Azufre Total	%	1,29
Sulfuro total	%	1,12
Sulfato total	%	0,17
pH en Pasta	Unidades pH	4,72
Potencial de Acidez Máximo (MPA)	kg CaCO ₃ /Ton	35,0
Potencial de Neutralización	kg CaCO ₃ /Ton	0,36
Potencial de Neutralización Neto (PNN)	kg CaCO ₃ /Ton	-34,6
Ratio Potencial de Neutralización (RPN)	-	0,010
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA)		PGA



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Parámetro	Unidad	RC-23-14 Brecha volcánica
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA)		PGA

PGA: Potencial generador de ácido.

Fuente: Reportes de resultados RR-016-2023-STEC.

Según la prueba *Shake Flask Extraction*³⁴, los analitos móviles o lixiviables de la brecha volcánica (RC-23-14) de la Formación Astobamba fueron potasio, hierro, manganeso, calcio, sodio, sulfatos y otros elementos trazas, de los cuales, el hierro y manganeso superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (2008) Cat.3 – bebida de animales (Figura 6.129).

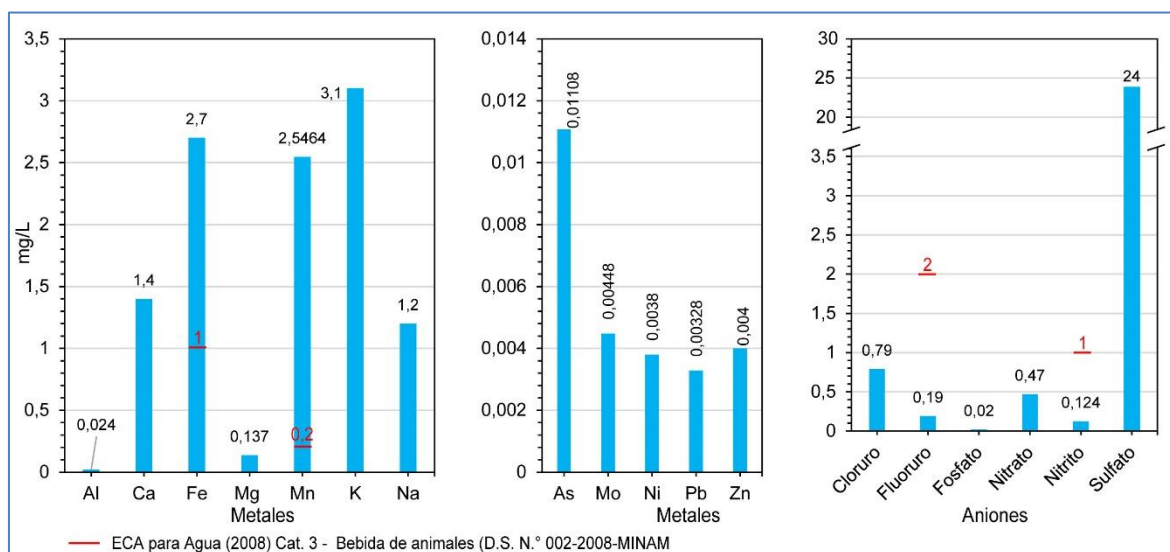


Figura 6.129. Concentraciones de metales (mayores y trazas) y aniones lixiviables según la prueba *shake flask extraction* de la brecha volcánica (RC-23-14) de la Formación Astobamba de la subzona 4.

6.4.7.2. Depósito químico - ferricreta

Este depósito se observa principalmente en la parte media de la microcuenca de la quebrada Coyllorcocha, al oeste de la poza ST-03, como capas endurecidas de color rojo-marrón asociados a afloramientos de agua subterránea con pH ácido. Consisten en depósitos de ferricretas compuesto por fragmentos silicificados, brecha volcánica y sílice amorfa, englobado en cemento de goethita; las capas presentan buzamiento de bajo ángulo. La muestra de ferricreta RC-23-13 presentó concentraciones de hierro, arsénico, fósforo, vanadio, plomo, molibdeno, selenio, talio, antimonio y mercurio superiores a los valores de corteza continental.

³⁴

La prueba *Shake Flask Extraction* en laboratorio está diseñada para simular y medir los componentes solubles de la muestra (metales y aniones en mg/L), que son liberados por interacción del material con aguas de precipitación u otras formas de saturación.

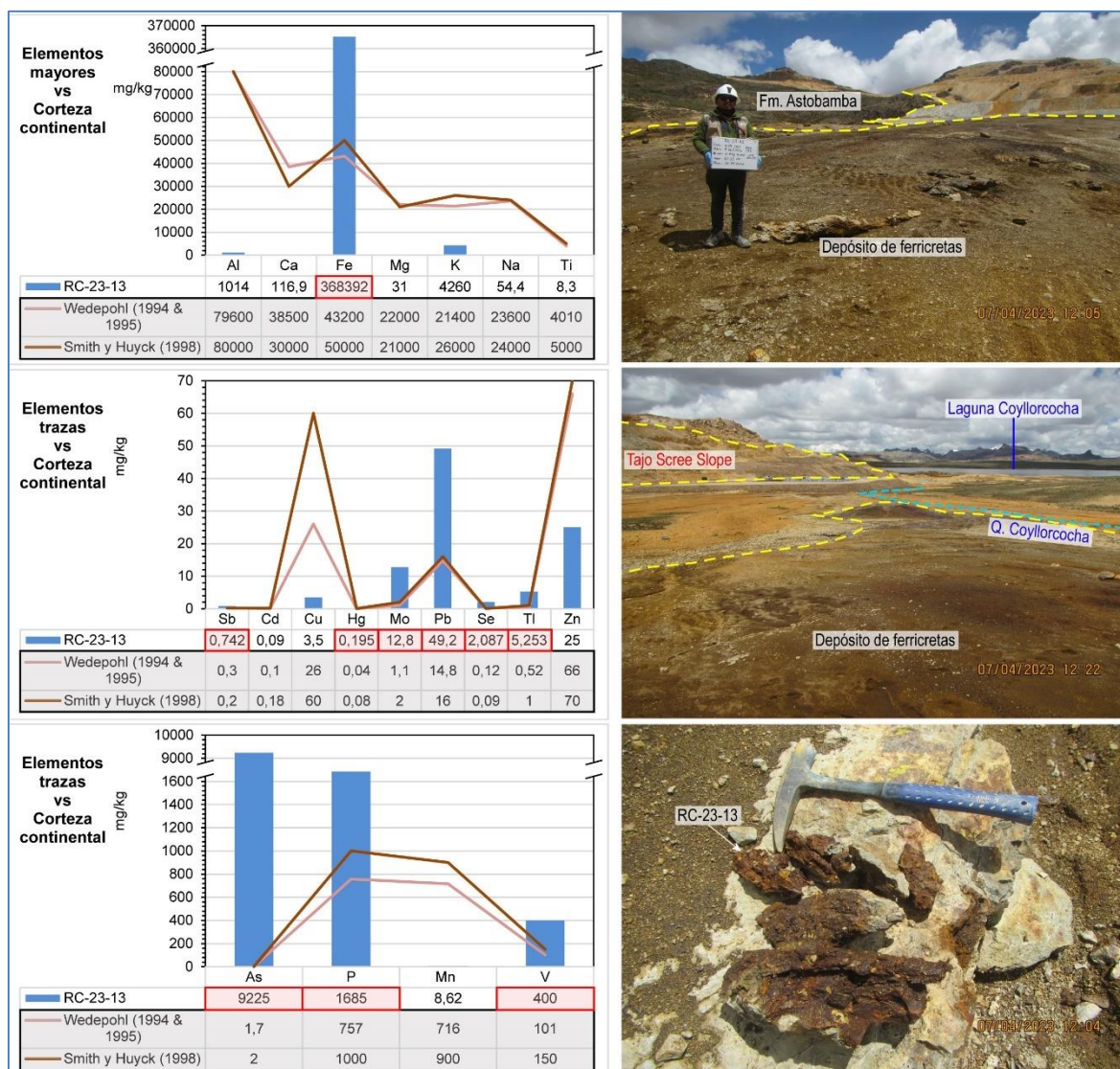


Figura 6.130. Distribución de ferricretas y concentraciones de elementos mayores y trazas del depósito químico de ferricretas (RC-23-13) de la Formación Astobamba de la subzona 4.

6.4.7.3. Depósito aluvial

Este depósito consiste en fragmentos heterométricos y heterogéneos e litología, de formas subredondeadas, que fueron transportados por la corriente de los ríos y depositados en terrazas y conos aluviales.

En la subzona 4 se depositó en el fondo del valle de la quebrada Coyllorcocha, cerca de la desembocadura de la laguna Coyllorcocha. Aledaño a la poza PT-05, el depósito se compone por fragmentos subredondeados de rocas volcánicas silicificadas y argilizadas, y pirita diseminada; englobados en matriz de gravas y arenas (RC-23-09); y aledaño al punto SW-04 (desembocadura) presenta fragmentos subredondeados de rocas argilizadas, brecha volcánica y silicificadas, y pirita diseminada; englobado en matriz de arena y gravas, siendo también cubierto por nivel de material biogénico (1,5 m de espesor) compuesto por limos y arenas grises y marrones, con pirolusita en los planos de sedimentación (*facies*) (Figura 6.131).

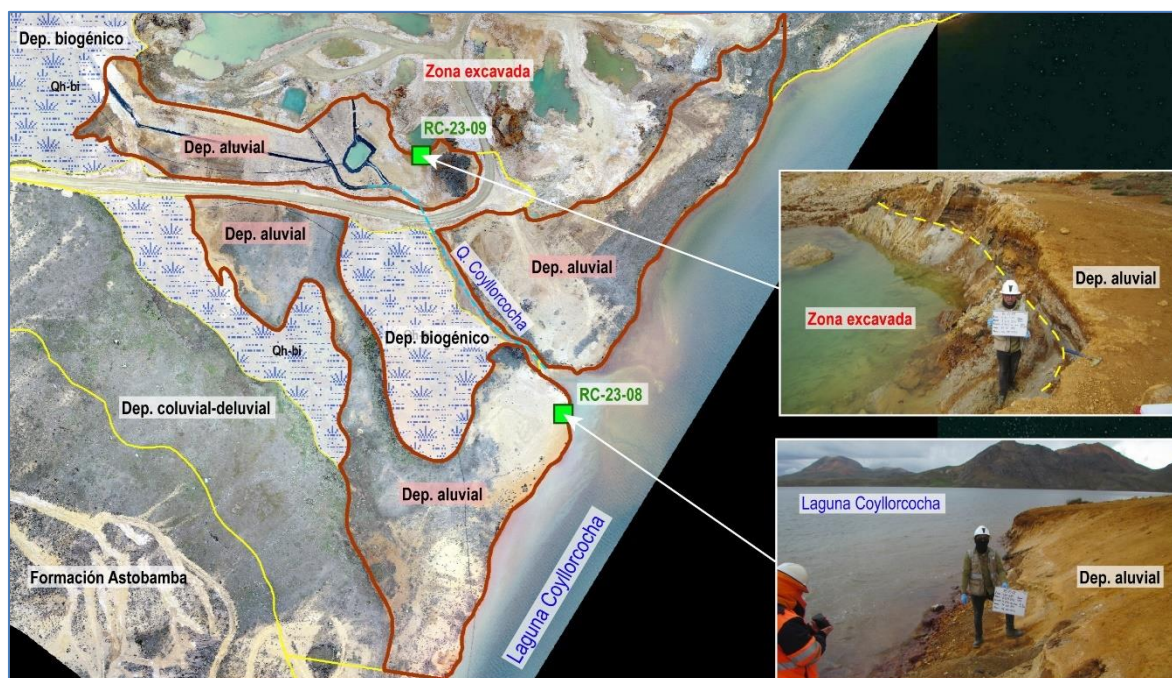


Figura 6.131. Distribución y puntos de muestreo del depósito aluvial en la subzona 4.

Las características morfológicas de clastos y facies reconocidas en el mapeo geológico indican que la quebrada Coyllorcocha alberga un cono o abanico aluvial, con el ápice (cabecera) ubicado en la parte media de la microcuenca donde se observaron bloques subangulosos y subredondeados clastosoportado; el cuerpo se encuentra en la parte baja de la quebrada donde se identificó clastos subredondeados a redondeados, arenas y limos interestratificados con estructuras sedimentarias de canal; y el pie probablemente se encuentra sumergido en el fondo de la laguna Coyllorcocha con predominio de sedimentos de menor tamaño (Figura 6.132).

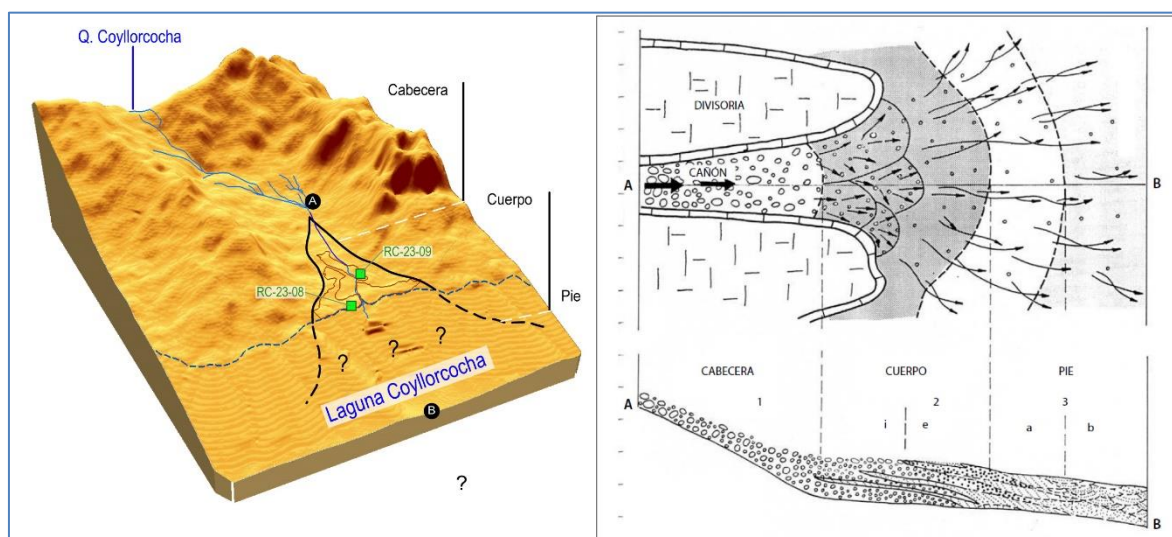


Figura 6.132. Modelo conceptual de la geometría del depósito aluvial de la quebrada Coyllorcocha.

Las concentraciones de elementos mayores en ambos depósitos fueron inferiores a los valores de corteza continental, en cuanto a los elementos trazas el arsénico, molibdeno, plomo, cadmio, mercurio, selenio y talio superaron los valores de referencia; siendo estos mayores en el punto RC-23-09 debido al aporte de sedimentos recibido de la margen izquierda de la quebrada



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Coyllorcocha donde se ubican las zonas mineralizadas Susan, Diana y Scree Slope, el mismo que presentó pirita y hematita a diferencia de la muestra RC-23-08 (Figura 6.133).

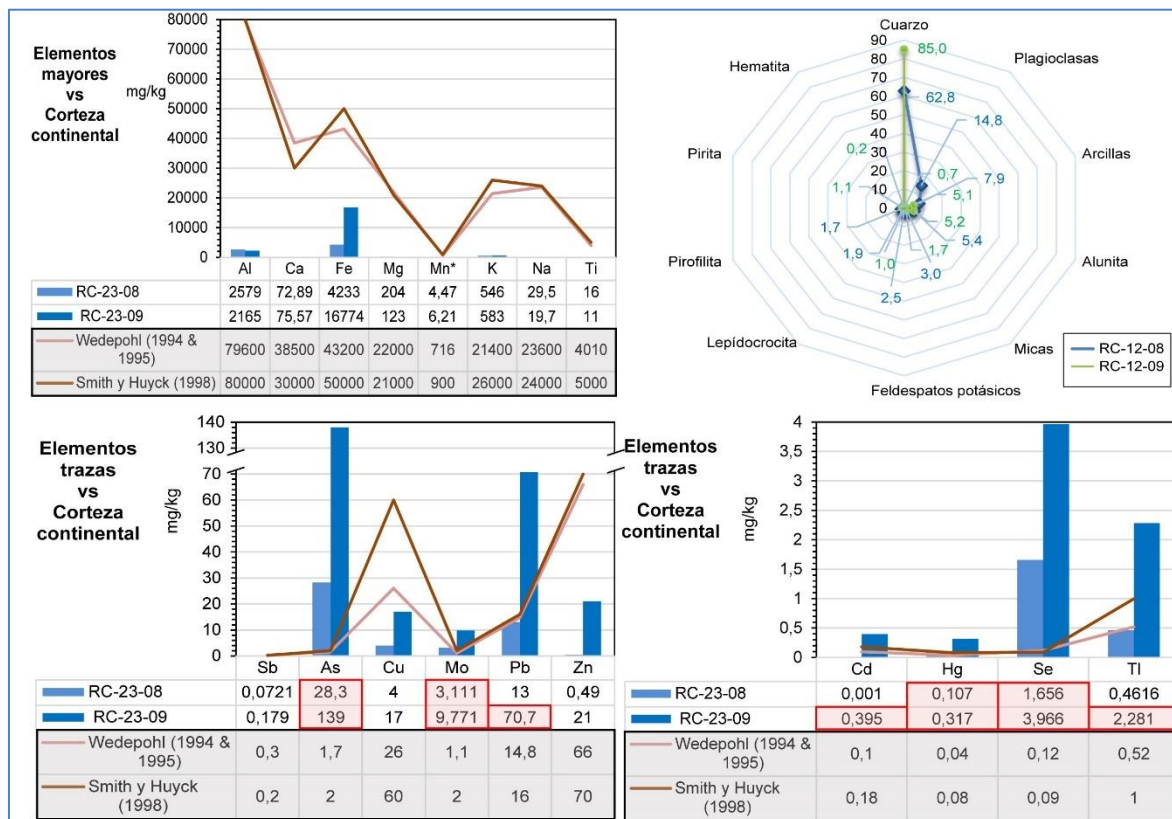


Figura 6.133. Concentraciones de elementos mayores y trazas y composición mineralógica por Difracción de Rayos X del depósito aluvial (RC-23-08 y RC-23-09) de la subzona 4.

(*) El manganeso se graficó junto con los elementos mayores para mejor visualización, no obstante, se precisa que es un elemento traza debido a su menor abundancia (900 ppm) en la corteza continental.

6.4.8. Prospección geofísica

En la subzona 4 del tajo Diana y del Scree slope se realizaron 7 líneas de tomografía de resistividad eléctrica 2D, distribuidos en el tajo Diana (3 líneas) y tajo scree slope (4 líneas).

Tomografía de resistividad eléctrica (ERT)

La línea TE-TD-01 se ubica en la parte alta del material de desmonte del Tajo Diana, la línea TE-TD-02 se ubica en la parte media del material de desmonte y el TE-TD-03 se ubica en la base del material de desmonte y sobre las rocas volcánicas de la Formación Astobamba con cobertura cuaternaria de bajo espesor.

Las líneas TE-TSS-01 y TE-TSS-02 se ubica en la base del material de préstamo semicompactado del tajo scree slope utilizado para relleno de vías, la línea TE-TSS-03 se ubica de manera transversal a las líneas TE-TSS-01 y TE-TSS-02 sobre material de préstamo semicompactado y depósito coluvial –deluvial, la línea TE-TSS-04 sobre material cuaternario con una cobertura de material de relleno de suelo oscuro y material de relleno.



A continuación, se presenta la interpretación de las resistividades obtenidas de las secciones de las 7 líneas de ERT.

6.4.8.1. Sector 1: Subdrenaje del lado suroeste del tajo Diana

La interpretación de las secciones de tomografía eléctrica consistió en diferenciar las zonas (A, B y C) en función a valores de resistividades. Las características y resultados se presentan en la Tabla 6.5

Tabla 6.5. Características de las líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el sector

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
TE-TD-01	115	25	Zona A	3.1 -25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas.
				26-100	Material de desmonte (residuo minero), material cuaternario y roca volcánica (Fm. Astobamba) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos .
			Zona B	101-250	Material de desmonte (residuo minero) y rocas volcánicas (Fm. Astobamba) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-640	Material de desmonte (residuo minero) bien compactado, con bajo grado de fracturamiento.
TE-TD-02	115	25	Zona A	11.4-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas
				26-100	Material de desmonte (residuo minero), material cuaternario (aluvial-fluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos .
			Zona B	101-250	Material de desmonte (residuo minero), y rocas volcánicas (Fm. Astobamba) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-1607	Material de desmonte (residuo minero) y material cuaternario (coluvial-deluvial) bien compactado, con bajo grado de fracturamiento.
TE-TD-03	115	25	Zona A	19.4-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas
				26-100	Material de desmonte (residuo minero), material cuaternario (aluvial-fluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material de desmonte (residuo minero), y rocas volcánicas (Fm. Astobamba) argilizadas en condiciones húmedas.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
			Zona C	251-941	Material de desmorte (residuo minero) y material cuaternario (coluvial-deluvial) y rocas volcánicas (Fm. Astobamba) bien compactado, con bajo grado de fracturamiento.

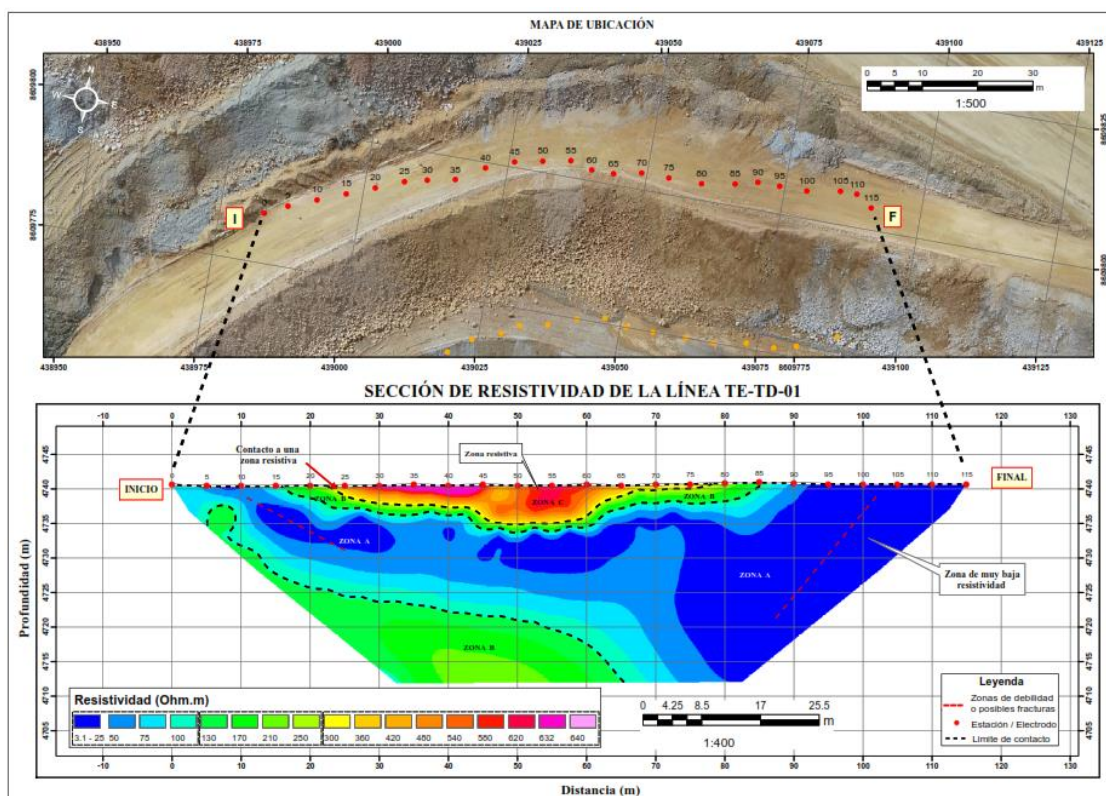


Figura 6.134. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TD-01

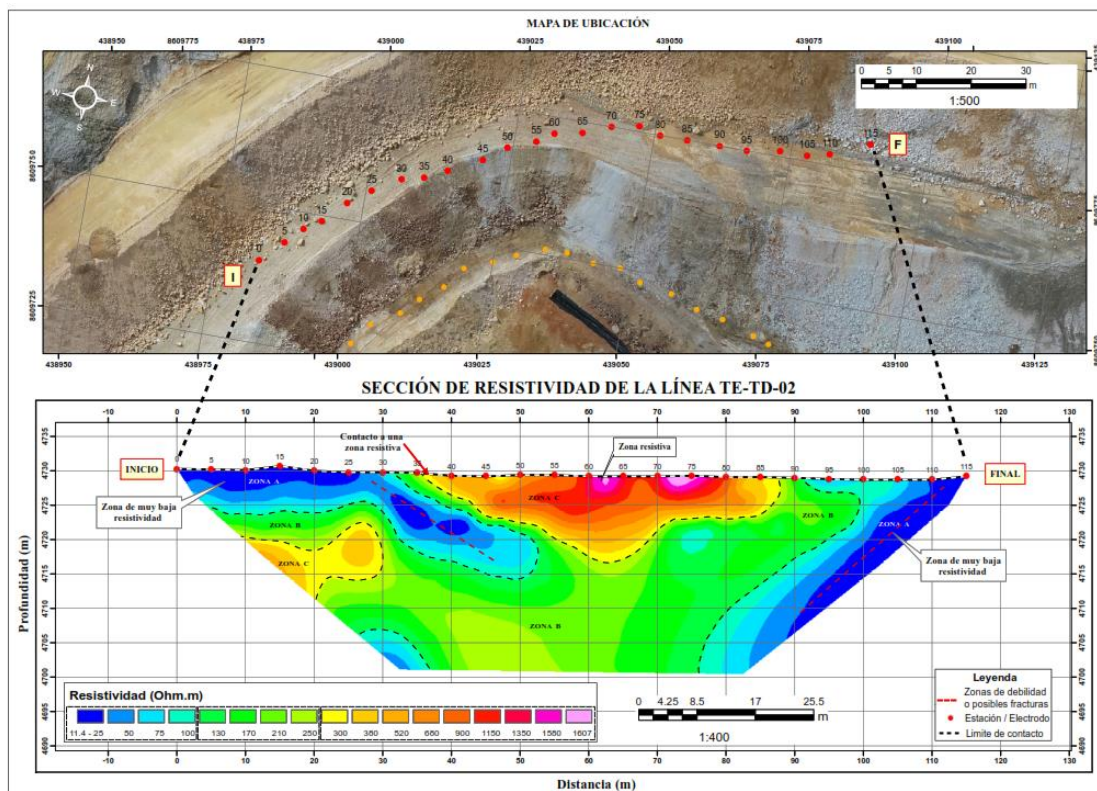


Figura 6.135. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TD-02

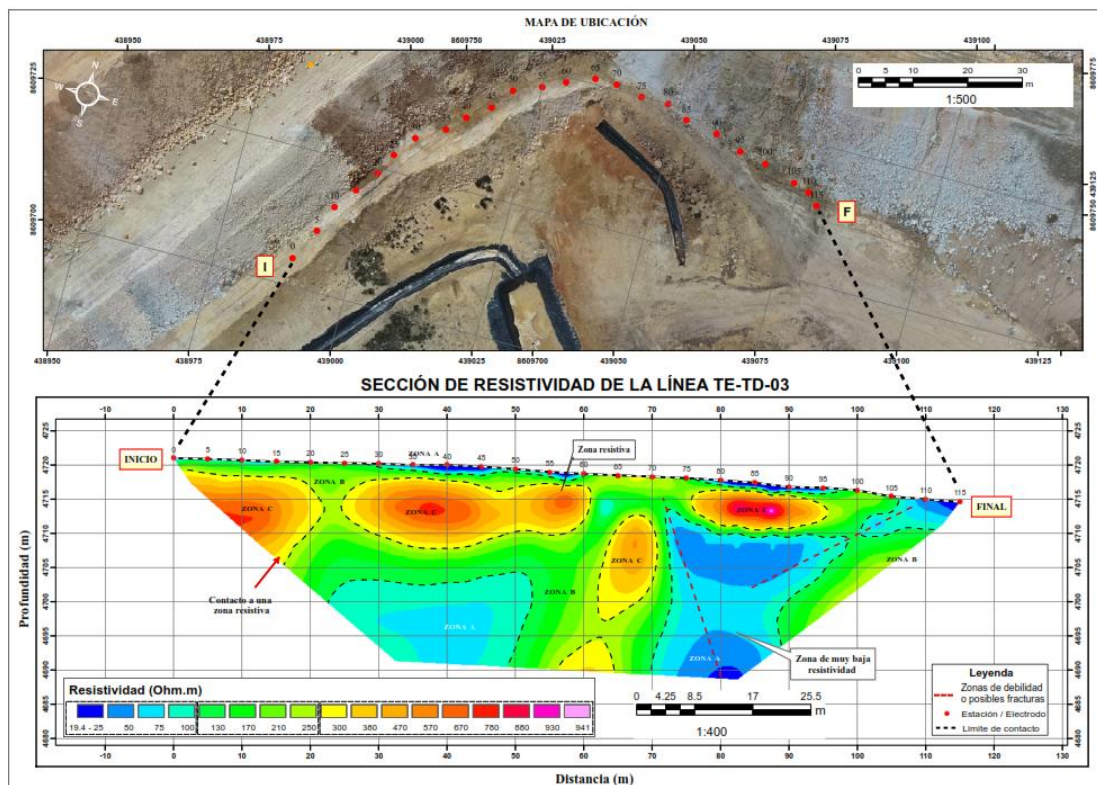


Figura 6.136. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TD-03

**6.4.8.2. Sector 2: subdrenaje del lado noroeste del tajo Scree Slope**

La interpretación de las secciones de tomografía eléctrica consistió en diferenciar las zonas (A, B y C) en función a valores de resistividades. Las características y resultados se presentan en la Tabla 6.5

Tabla 6.11. Características de las líneas de tomografía eléctrica ejecutadas en el sector

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
TE-TSS-01	115	25	Zona A	---	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas.
				34-100	Material de préstamo semicompactado lodo acumulado y roca volcánica (Fm. Astobamba) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material de préstamo semicompactado lodo acumulado y roca volcánica (Fm. Astobamba) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-730	Material de préstamo semicompactado y roca volcánica (Fm. Astobamba), con bajo grado de fracturamiento.
TE-TSS-02	115	25	Zona A	20.4-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas
				34-100	Material de préstamo semicompactado lodo acumulado y roca volcánica (Fm. Astobamba) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material de préstamo semicompactado y roca volcánica (Fm. Astobamba) argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-730	Material de préstamo semicompactado, material cuaternario (aluvial-fluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba), con bajo grado de fracturamiento.
TE-TSS-03	115	25	Zona A	7-25	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas
				26-100	Material de préstamo semicompactado, material cuaternario (coluvial-deluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos.
			Zona B	101-250	Material de préstamo semicompactado, material cuaternario (coluvial-deluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba) argilizadas en condiciones húmedas.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Línea de tomografía	Longitud (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Zona	Rango de resistividades (Ohm.m)	Interpretación
			Zona C	251-776	Material de préstamo semicompactado, material cuaternario (coluvial-deluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba), con bajo grado de fracturamiento.
TE-TSS-04	115	25	Zona A	---	Zona saturada de muy baja resistividad con alto contenido de sales y/o presencia de arcillas
				29.4-100	Material de relleno, material cuaternario (aluvial-fluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba) en estado saturado, influenciados en algunas zonas por factores geológicos
			Zona B	101-250	Material de relleno, material cuaternario (aluvial-fluvial) y roca volcánica (Fm. Astobamba) fracturadas y argilizadas en condiciones húmedas.
			Zona C	251-530	Material cuaternario (aluvial-fluvial) y Roca volcánica (Fm. Astobamba), con bajo grado de fracturamiento.

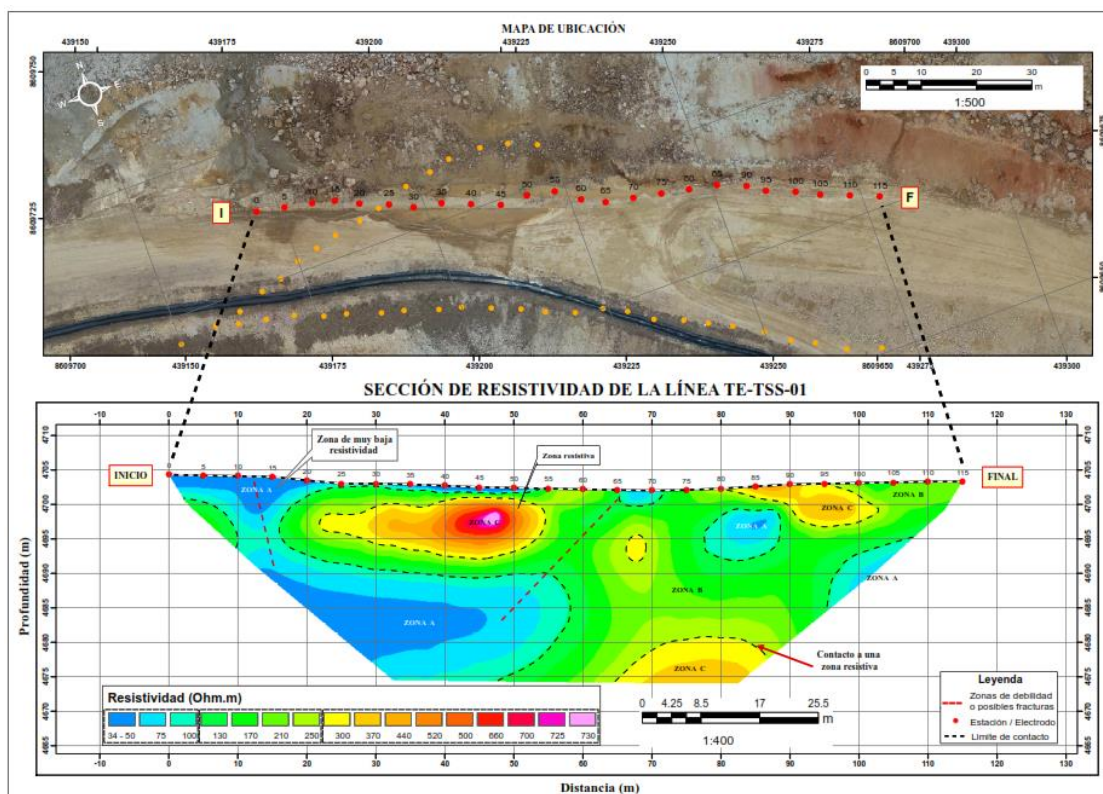


Figura 6.137. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-01

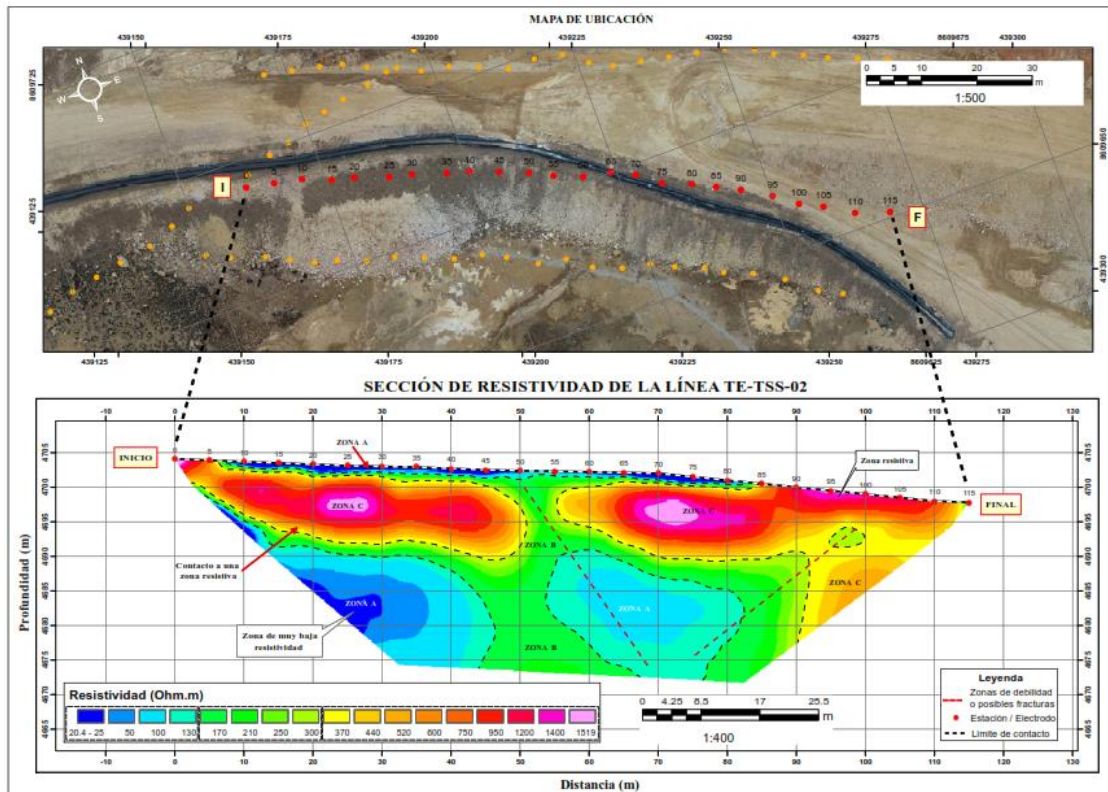


Figura 6.138. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-02

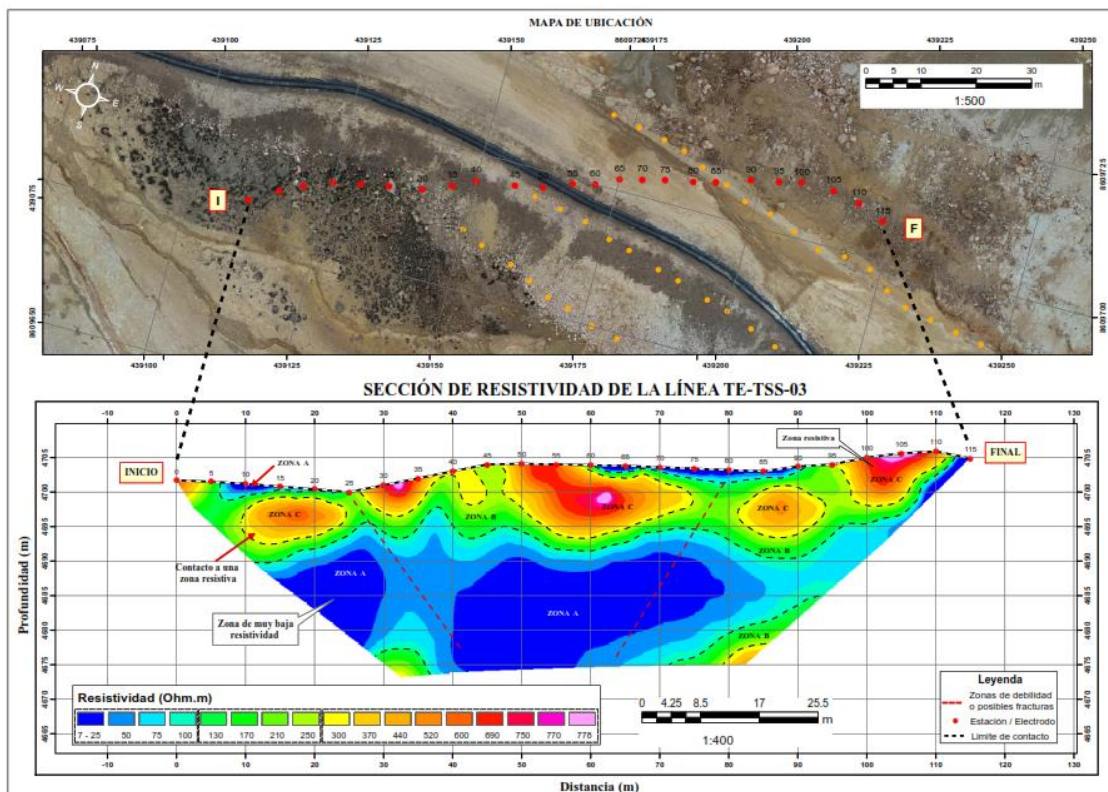


Figura 6.139. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-03

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

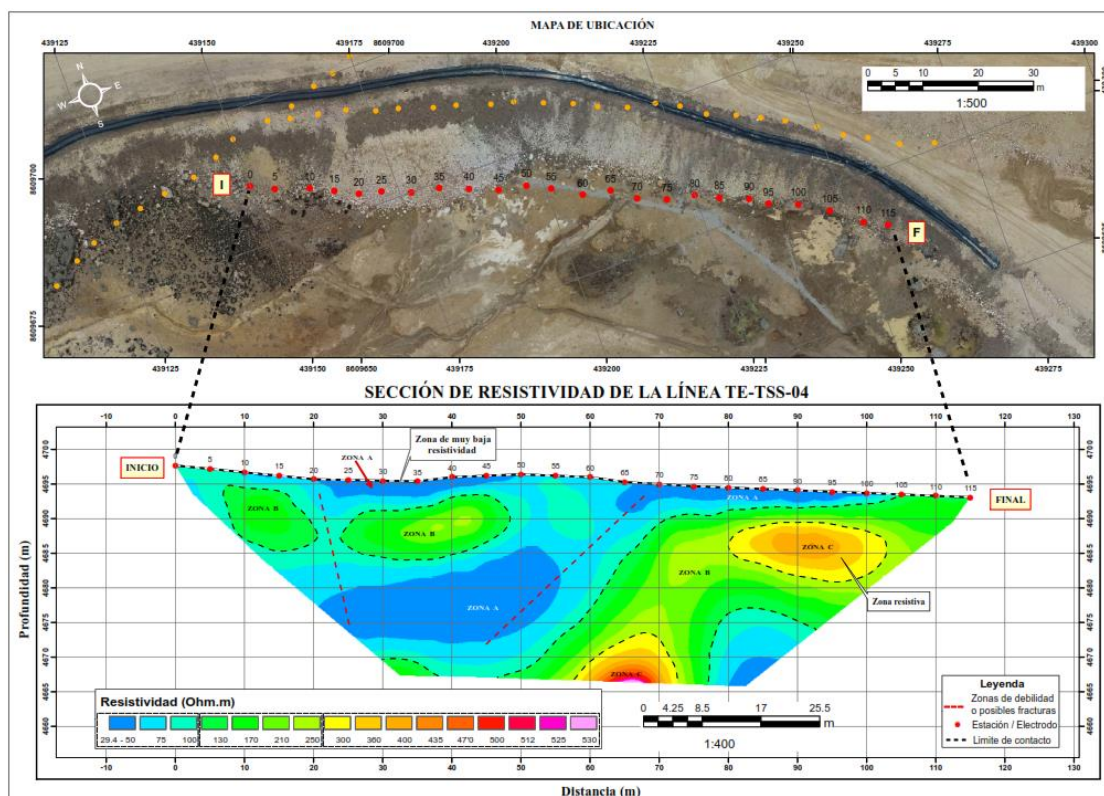


Figura 6.140. Sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica TE-TSS-04

7. DISCUSIONES

La discusión de los resultados de las matrices evaluadas en las zonas 1 (microcuenca del río Chacote) y 3 (microcuenca de la quebrada Coyllorcocha) se basó en los objetivos planteados y se dividió en las siguientes subzonas:

- Subzona 1: Ampliación BMI, pozas de tratamiento de aguas de contacto y efluente EBMI
- Subzona 2: Sistema de tratamiento de aguas de contacto del sistema SP-03
- Subzona 3: Tajo Cayhua y bodefal Para
- Subzona 4: Tajos Scree Slope y Diana, quebrada y laguna Coyllorcocha

En la Figura 7.1 se observa el modelo conceptual de los criterios mencionados



Figura 7.1. Modelo conceptual de las subzonas y aspectos analizados en las discusiones de resultados de la EAC de la UM Corihuarmi.

7.1. Zona 1: microcuenca Chacote

7.1.1. Subzona 1: Ampliación BMI, pozas de tratamiento de aguas de contacto y efluente EBMI

El análisis de resultados en esta subzona se realizó en base a dos aspectos:

- Aspecto 1: Análisis del origen de los afloramientos de aguas ácidas identificados en la ladera oeste y suroeste de la Ampliación del BMI y el impacto en el agua subterránea.
- Aspecto 2: Análisis de la influencia de las descargas del efluente EBMI y quebrada sin nombre (QSN-03: proveniente del ESP-BMI-08) sobre la calidad del río Chacote

Para ello, el análisis consideró la caracterización geoquímica del material de la Ampliación BMI (CM-BMI-01, CM-BMI-02 y CM-BMI-03), caracterización de aguas de contacto (ARI-BMI-01 y ARI-BMI-02), efluente EBMI, afloramiento ESP-EBMI-08, aguas subterráneas (I-06), y el estado de las aguas superficiales, sedimento y comunidades hidrobiológicas del río Chacote (SW-10, RCha-01 y SW-20) y quebrada aportante QSN-03. El análisis fue complementado con el análisis de resistividades de 8 secciones geofísicas, caracterización geológica y geoquímica de las rocas y depósitos cuaternarios, y el análisis hidrogeológico del acuífero superficial con referencia -blanco- del punto MA-06 (Figura 7.2).



Figura 7.2. Matrices y puntos analizados en la discusión de la subzona 1.

La Ampliación BMI se ubica en el lado oeste del BMI y almacenó material proveniente de la excavación de la construcción de la fase 4 del PAD de lixiviación. El material de la ampliación BMI consiste en bloques subangulosos de rocas volcánicas silicificadas y argilizadas con presencia de sílice, sulfuros, arcillas y óxidos de hierro, constituidos por altos porcentajes (>1 %) de cuarzo, alunita, micas, pirita, pirofilita, acompañado de jarosita, feldespato potásico, yeso y calcita; los altos porcentajes de pirita, alunita, pirofilita y arcillas clasifican a este material como «potencial generador de acidez» debido alto contenido de azufre como sulfuro y bajo pH en pasta, en contraste con los minerales carbonatados o neutralizantes que fueron nulos o bajos. Además, presenta altas concentraciones de **hierro**, plomo, **zinc**, molibdeno, **cobre**, **arsénico**, **cadmio** y mercurio; con analitos móviles como el **sulfato**, aluminio, **hierro**, manganeso, arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo, zinc, fluoruro (solo CM-BMI-01) y sulfatos; de los cuales, el hierro, arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc presentaron concentraciones superiores a los valores de los LMP 2010 - Límite en cualquier momento.

El perímetro de este componente cuenta con un canal perimetral de mampostería (forma trapezoidal) para recolectar aguas de contactos superficiales, y una berma de seguridad (dique de contención) de 1,5 m altura para prevenir afectación al suelo orgánico no perturbado de la ladera exterior al componente; las aguas de infiltración del material son captados en un sistema de subdrenaje (tuberías HDPE perforadas principales y secundarias en esquema de «sistema de pescado»)³⁵. Ambos flujos – superficiales y de subdrenaje- son conducidos a las pozas de

³⁵ Anexo 45.B Memoria Descriptiva del manejo de agua de contacto del Levantamiento de Observaciones del MINEM de la 2da MEIA 2014.

tratamiento (P-3 y P-2) y clarificación (P-1)³⁶, siendo la sobrenadante de la última poza -por rebose-, el agua de vertimiento de punto EBMI.

En la supervisión del 28 de febrero de 2023 (Figura 7.3) se verificó que el canal perimetral de mampostería presentó deterioro del concreto y los fragmentos de roca caliza, con infiltración de aguas ácidas (ESP-BMI-06³⁷: pH menor a 2 unidades y conductividad eléctrica de 15420 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que migraron hacia el subsuelo; además, en el lado oeste de este componente se identificaron dos afloramientos de aguas ácidas aledaño a la poza de subdren BMI (ESP-BMI-01 y ESP-BMI-03), dos afloramientos en el lado norte del depósito Topsoil (ESP-BMI-04, ESP-BMI-05) y dos afloramientos aledaños a las pozas de tratamiento de aguas de contacto (ESP-BMI-07 y ESP-BMI-08).

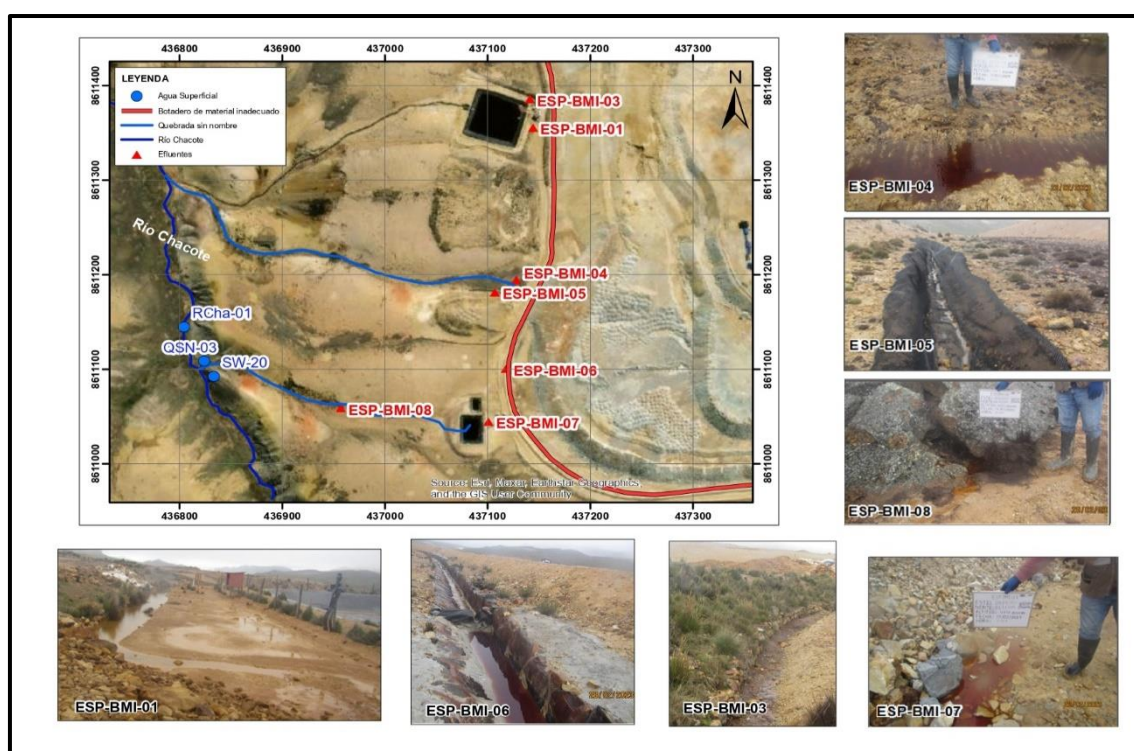


Figura 7.3. Canal perimetral con deterioro en un punto y afloramientos de aguas ácidas identificados en el lado oeste del BMI y Ampliación BMI, en febrero de 2023.

Los afloramientos identificados en el lado oeste del BMI y Ampliación BMI presentaron pH ácido menor a 3,14 unidades y conductividad eléctrica entre 2310 y 16010 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Además, aledaño a la poza de manantiales provenientes del PAD de lixiviación (200 m al sur de la ampliación BMI) se reconoció 3 afloramientos de aguas subterráneas (MA-06, AF-04 y AF-03 BMI) con características de pH ácido (2,66 a 3,28 unidades) y conductividad eléctrica entre 803 y 1624 $\mu\text{S}/\text{cm}$, considerados como referencia de comparación respecto al afloramiento de aguas ácidas (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. Parámetros fisicoquímicos del agua de contacto del canal de mampostería del BMI, afloramientos de aguas ácidas y afloramientos de agua subterránea identificados en la supervisión de febrero de 2023.

³⁶ Plano detallado de subdrenaje del botadero de material inadecuado (BMI) – Plano MIRL-BMISUB-0001 (Registro N.º 2023-E01-465854)

³⁷ Coordenadas E437118; N 8611101/ E437161; N8611243.



Ubicación	Código	Fecha	Unidades de pH	Conductividad eléctrica (μS/cm)
Canal de mampostería del BMI	ESP-BMI-06	28/02/2023	--	15420
Aledaño a la poza de subdren BMI	ESP-BMI-01	28/02/2023	3,14	2330
	ESP-BMI-03	28/02/2023	2,87	2310
Lado norte del depósito Topsoil	ESP-BMI-04	28/02/2023	2,08	7020
	ESP-BMI-05	28/02/2023	2,37	4360
Aledaño a las pozas de tratamiento de aguas de contacto	ESP-BMI-07	28/02/2023	--	16010
	ESP-BMI-08	28/02/2023	2,14	7560
Aledaño a la poza de manantiales del PAD de lixiviación	MA-06	28/02/2023	2,74	1421
	AF-04	28/02/2023	2,66	1624
	AF-03 BMI	28/02/2023	3,28	803

Fuente: Acta de cierre de la supervisión de febrero 2023

(--): Fuera de rango de mínimo (<2 unidad de pH) medición del equipo multiparámetro

En concordancia con los resultados de las pruebas geoquímicas –estáticas– del material del BMI, las aguas de contacto muestreadas en abril de 2023 del canal perimetral de mampostería (ESP-BMI-01) fueron ácidas (< 2 unidades de pH) con elevados valores de conductividad eléctrica (18340 μS/cm) y altas concentraciones de sulfatos (13699,5 mg/kg), arsénico (30,2017 mg/kg), cadmio (2,64420 mg/kg), cobre (163,8623 mg/kg), zinc (60,3676 mg/kg) y hierro disuelto (2118,644 mg/kg); de forma similar, el subdren PSUB (ESP-BMI-02) presentó aguas ácidas (2,33 unidades) y conductividad eléctrica de 4007 μS/cm, con valores elevados de los parámetros (iones) mencionados. Hidroquímicamente, estas aguas (ESP-BMI-01 y ESP-BMI-02) son de tipo sulfatada cálcica-magnésica con concentración de iones mayoritarios de 50 meq/L y 280 meq/L, y según Ficklin³⁸ fueron clasificados como aguas muy ácidas con extrema carga de metales en el punto ESP-BMI-01 y alto contenido de metales en el punto ESP-BMI-02.

Aledaño al BMI y Ampliación BMI el substrato consiste en un basamento de rocas volcánicas de la Formación Caudalosa compuesto por ignimbritas, brechas argilizadas y silicificadas con textura oquerosa, que yacen en discordancia sobre las rocas sedimentarias (areniscas y lutitas) de la Formación Castrovirreyna. Sobre estas rocas se sedimentaron depósitos coluvial-deluvial de bajo espesor y zonas endurecidas de ferricretas (Figura 7.4). En este contexto geológico, las aguas subterráneas subsuperficiales (acuífero libre) transitan por los niveles permeables de los depósitos coluvio-deluvial y residuales (gravas arcillo arenosas producto de la alteración y erosión de afloramientos rocosos), y se encuentran aproximadamente entre 6 m³⁹ a 2 m⁴⁰ de profundidad con variaciones del nivel freático de forma estacional (se eleva en época de precipitaciones entre enero y abril, y disminuye en la época de menor precipitación) controlado por la cantidad de recarga recibida en las zonas altas de la microcuenca; la descarga de estas aguas se ubican en las laderas bajas de la margen derecha del río Chacote, controlados por el contacto geológico discordante de los niveles volcánicos de la Formación Caudalosa con las secuencias sedimentarias de la Formación Castrovirreyna. Las descargas de estas aguas se asocian a áreas de depósitos químicos de ferricretas producto de la precipitación de hidróxidos de hierro (residual) de la lixiviación de sulfuros; estas aguas –con referencia del manantial MA-06– presentan pH ácido (2,79 unidades de pH), conductividad eléctrica de 1025 μS/cm, y concentraciones de aluminio, hierro, manganeso y arsénico superior a los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Bebida de animales, con facie hidroquímica sulfatada cálcica con 9 meq/L (para sulfato) de concentraciones máximas de iones mayoritarios, lo cual es una condición natural de

³⁸ El diagrama de Ficklin y se utiliza para clasificar las aguas de acuerdo con su nivel de contaminación por ARD o AMD, y se basa en las concentraciones totales sumadas de Zn, Cu, Pb, Cd, Co y Ni en función del pH (Plumlee et al., 1999).

³⁹ Profundidad medida por JGP Consultoría Perú S.A.C. en 2013 en el piezómetro P-6 ubicado al oeste del BMI en (coordenadas WGS84 E437163; N8611343).

⁴⁰ Profundidad medida por el OEFA en 2023 en el piezómetro I-06 ubicado al oeste de la Ampliación BMI (coordenadas WGS84 E 437148; N 8611222).

afloramientos de agua subterránea en ambientes asociados a secuencias volcánicas afectadas por procesos epitermales de alta sulfuración (Figura 7.4).

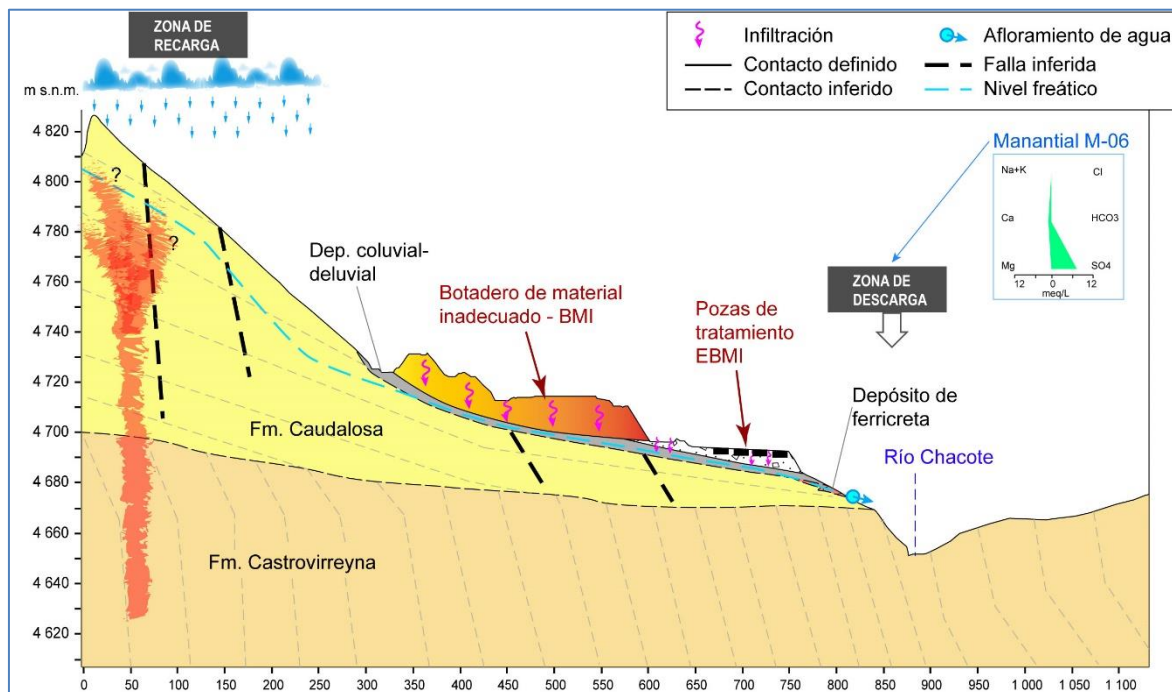


Figura 7.4. Modelo conceptual geológico e hidrogeoquímico del substrato del BMI y Ampliación BMI.

Según la caracterización geoquímica, las rocas volcánicas de la Formación Caudalosa y depósitos cuaternarios (coluvial-deluvial y ferricretas) fueron clasificados como probables generadores de drenaje ácido (sólo según el criterio 2 de la prueba ABA) por la presencia de minerales como piritita, alunita, pirofilita y otras arcillas que componen los fragmentos de ignimbritas y brechas argilizadas y silicificadas, característicos de ambientes epitermales de alta sulfuración; no obstante, el potencial de generar drenaje ácido del material de la Ampliación BMI (según los criterios 1 y 2 de la prueba ABA) es mucho mayor debido al alto porcentaje de sulfuros y arcillas de los fragmentos que se depositaron en el botadero, asimismo, presentó mayores concentraciones de cadmio, calcio, cobre, magnesio, molibdeno, manganeso y zinc respecto a las rocas volcánicas y depósitos cuaternarios, a excepción del aluminio y hierro en ferricretas, y arsénico en rocas volcánicas y ferricretas; sin embargo, todos los analitos mencionados –y el sulfato– presentaron mayores concentraciones lixiviables en el material de la Ampliación BMI. Se precisa que la formación Castrovirreyna fue clasificada como no generadora de drenaje ácido, presentó bajas concentraciones de metales totales y lixiviables en comparación a las unidades recientes (Formación Caudalosa y depósitos cuaternarios), a excepción del calcio, magnesio contenido en los clastos de rocas carbonatadas de las secuencias sedimentarias detríticas (Figura 7.5).

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

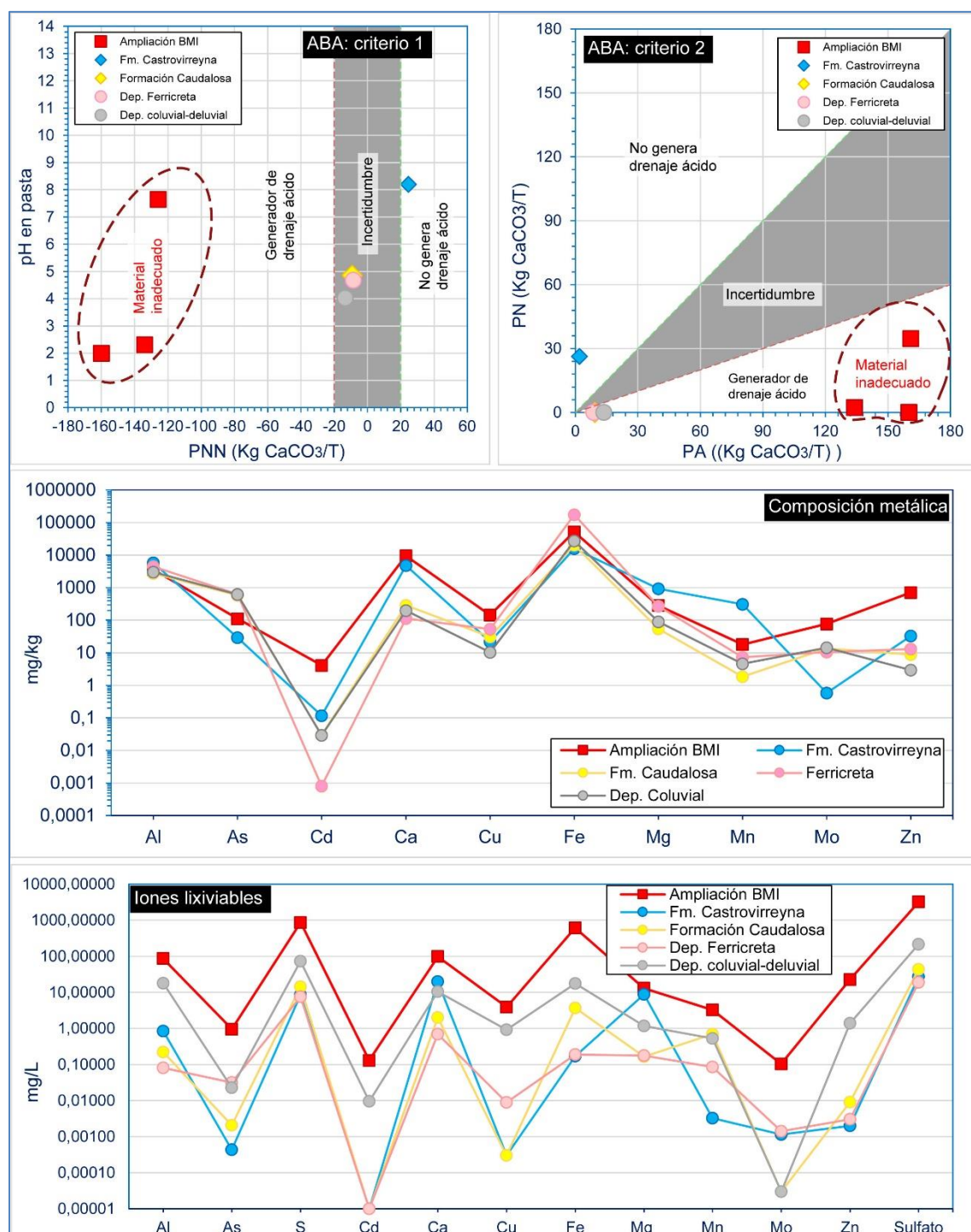


Figura 7.5. Comparación de potencial de generación de drenaje ácido (Criterio ABA), composición metálica e iones lixiviables entre el material de la Ampliación BMI y las unidades geológicas identificadas en la subzona 1.

A continuación, se desarrolla el análisis del origen de los afloramientos de aguas ácidas y a influencia de estos flujos en la calidad del río Chacote.

Aspecto 1: Análisis del origen de los afloramientos de aguas ácidas identificados en la ladera oeste y suroeste de la Ampliación del BMI, los efectos en las aguas subterráneas

En la supervisión de abril de 2023, los afloramientos de aguas ácidas fueron evaluados en dos sectores: el primero, referido a los afloramientos ESP-BMI-04 y ESP-BMI-05 ubicados en el lado noreste del depósito de Topsoil; y el segundo, relacionado a los afloramientos ESP-BMI-07 y ESP-BMI-08 ubicados aledaños a las pozas de tratamiento de agua de contacto BMI.

Sector 1: lado norte del depósito de Topsoil

En abril de 2023, los afloramientos ESP-BMI-04 y ESP-BMI-05 presentaron menor caudal que en febrero de 2023, por lo que no fueron muestreados, sin embargo, el análisis de causalidad se realizó en el piezómetro I-06 en la parte externa la berma de seguridad del BMI, debido a que corresponde a flujos del acuífero subsuperficial (nivel piezométrico a 1,67 m de profundidad) en terreno no disturbado.

La prospección geofísica evidenció zonas de muy baja resistividad (menores a 25 ohm.m) en las secciones de las 3 líneas de TRE (TE-BMI-01, TE-BMI-02 y TE-BMI-03) establecidas entre el canal de mampostería de la Ampliación BMI y el piezómetro I-06, lo que indica zonas saturadas con alto contenido de sales, que migran desde el material de desmonte, hacia el material de préstamo de la vía de acceso circundante al BMI y al subsuelo aledaño al piezómetro I-06; alcanzando hasta 25 m de profundidad (Figura 7.6).

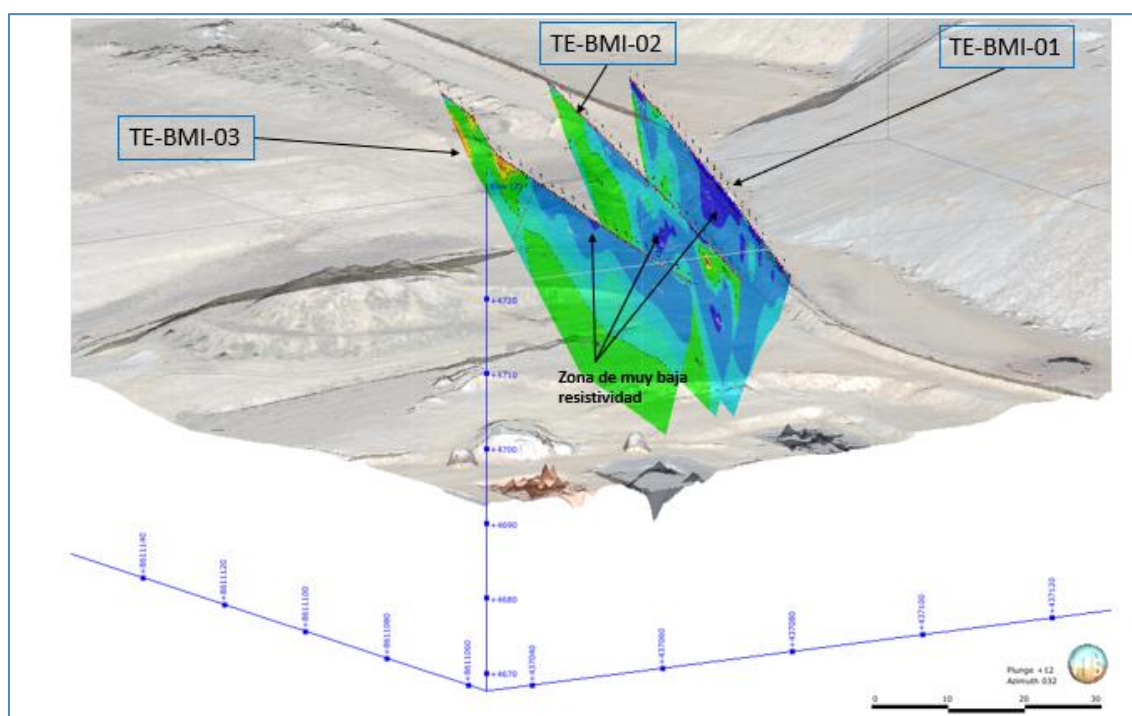


Figura 7.6. Modelo 3D de las secciones geofísicas de las líneas TE-BMI-01, TE-BMI-02 y TE-BMI-03 ubicados en el sector 1: lado norte del depósito de Topsoil.

El agua del piezómetro I-06 presentó pH ácido (2,55 unidades de pH), con valores de conductividad eléctrica (2540 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y concentración de iones como sulfatos, aluminio, hierro, manganeso, cadmio, cobalto, cobre y zinc mayores a las condiciones naturales establecidas para aguas subterráneas subsuperficiales de esta zona (MA-06), y que, fueron superiores a los ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. - Bebida de animales (Figura 7.7).

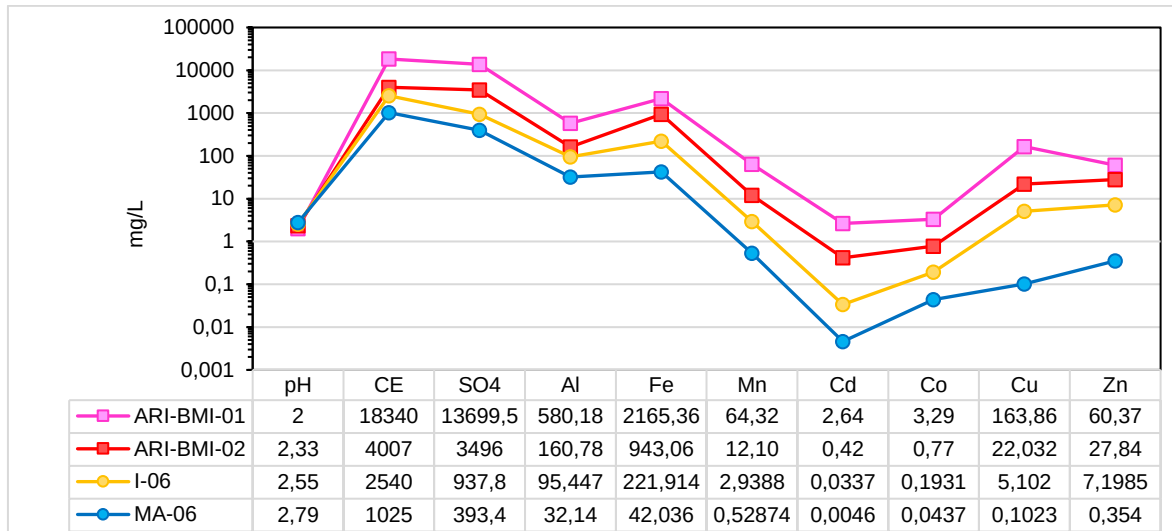


Figura 7.7. Comparación de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos del agua del piezómetro I-06 con respecto al afloramiento de agua subterránea de referencia (MA-06).

Las características hidroquímicas del agua del piezómetro I-06 indican aporte y mezcla de iones provenientes de la lixiviación del material de la ampliación BMI, ya que presentó facies sulfatadas cálcicas con iones mayoritarios que alcanzaron 18 meq/L de sulfatos, agrupándose en el diagrama de Piper con las aguas de contacto ARI-BMI-01 y ARI-BMI-02, de características sulfatadas cálcicas magnésicas (Figura 7.8). Asimismo, la influencia de las aguas ácidas de la Ampliación BMI sobre el agua del piezómetro I-06 se aprecia en el diagrama de Flicklin (Plumlee et al., 1999), donde fueron clasificados con alto contenido de ácido, con alto a extremo contenido metálico disuelto de Zn+Cu+Cd+Ni+Pb+Co, a diferencia del afloramiento de agua subterránea MA-06 que presenta mayores valores de pH y menor contenido de los metales disueltos mencionados (Figura 7.9).

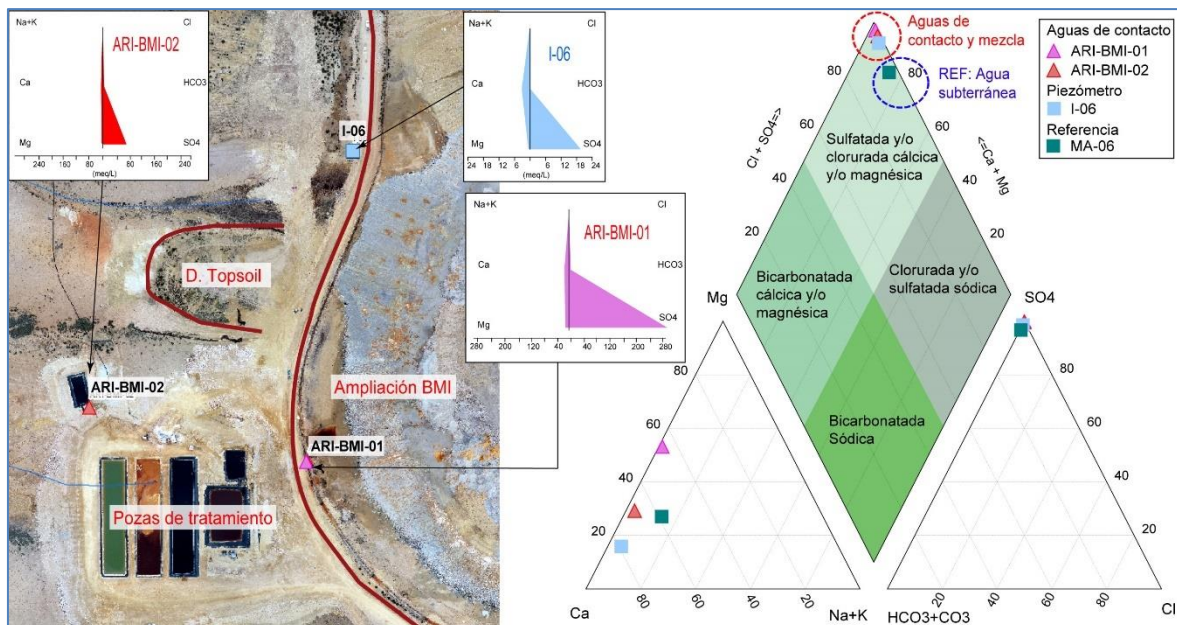


Figura 7.8. Comparación de facies hidroquímicas del agua del piezómetro I-06 con respecto a las aguas de contacto de la Ampliación BMI y al afloramiento de agua subterránea de referencia (MA-06).

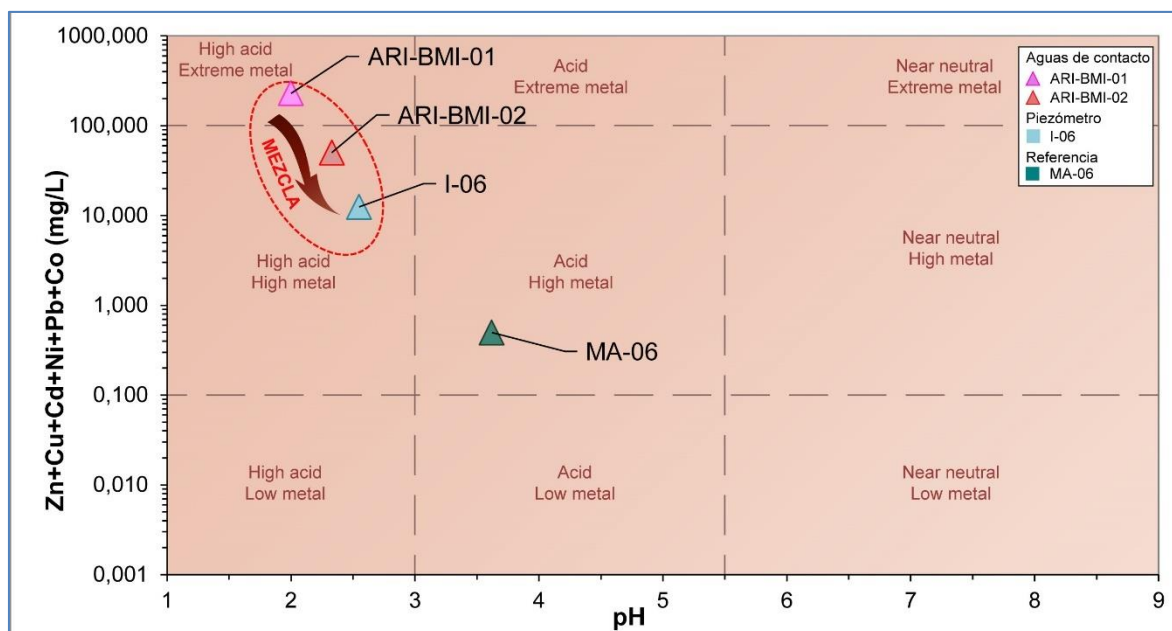


Figura 7.9. Clasificación según Ficklin del agua del piezómetro I-06 con respecto a las aguas de contacto de la Ampliación BMI y al afloramiento de agua subterránea de referencia (MA-06).

Sector 2: aledaños a las pozas de tratamiento de agua de contacto BMI

En abril de 2023, el afloramiento ESP-BMI-07 ubicado al este de la poza de agua de contacto BMI presentó menor caudal que en febrero de 2023, por lo que no fue muestreado. En cambio, el afloramiento ESP-EBMI-08 ubicado en terreno no disturbado del lado oeste de la poza de clarificación (P-1), presentó caudal constante de 0,04 L/s de agua ácida (2,15 unidades de pH) con alta conductividad eléctrica (6870 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La prospección geofísica muestra valores bajos de resistividad (menores a 25 Ohm.m) en las secciones de las 6 líneas de TRE (TE-BMI-04, TE-BMI-05, TE-BMI-06, TE-BMI-07 y TE-BMI-08, establecidas entre la berma de seguridad de la Ampliación BMI y el afloramiento ESP-EBMI-08), lo que indica zonas saturadas con alto contenido de sales, que migran desde el material de desmonte hacia el material de la parte inferior de las pozas de tratamiento BMI y al subsuelo del lado oeste de la poza de clarificación P-1; infiltrando hasta 25 m de profundidad (Figura 7.10).

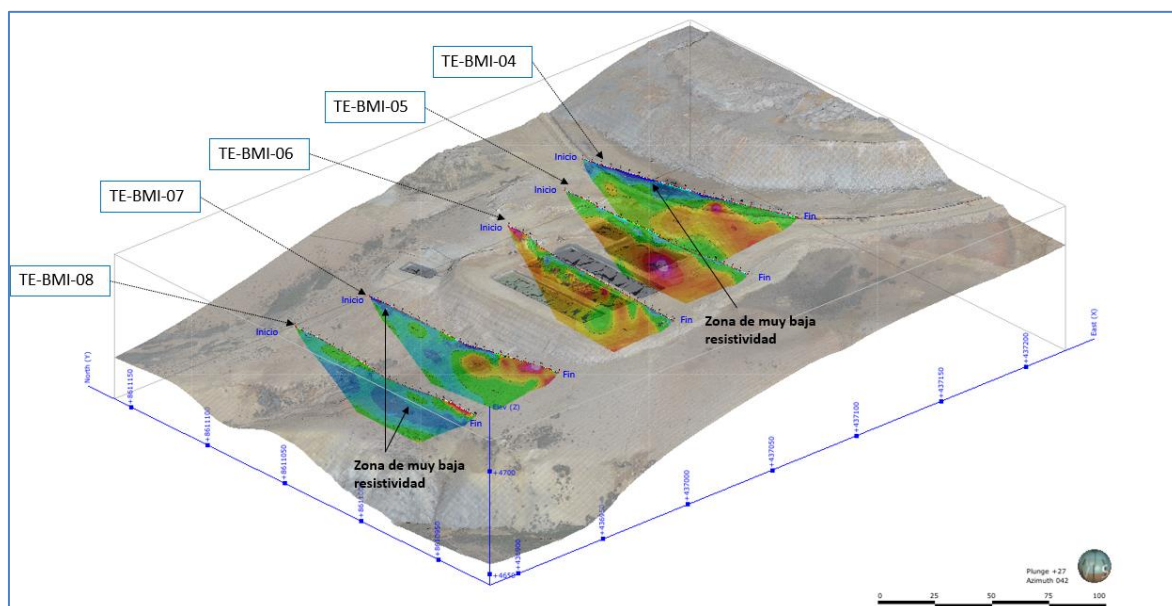


Figura 7.10. Modelo 3D de las secciones geofísicas de las líneas TE-BMI-04, TE-BMI-05, TE-BMI-06, TE-BMI-07 y TE-BMI-08 ubicados en el sector 2: alrededores a las pozas de tratamiento de agua de contacto BMI.

Las características fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, sulfatos) e inorgánicas (aluminio, hierro, manganeso, cadmio, cobalto, cobre y zinc) del afloramiento ESP-EBMI-08 guardan similitud con las aguas de contacto de la Ampliación BMI (ARI-BMI-01) y del subdren BMI (ARI-BMI-02), y son superiores a los valores reportados en el manantial de referencia MA-06 (Figura 7.11). Además, se precisa que los valores de pH, y concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, zinc y hierro disuelto del afloramiento ESP-EBMI-08 estuvieron fuera del rango y/o superaron los valores de los LMP 2010 – en cualquier momento.

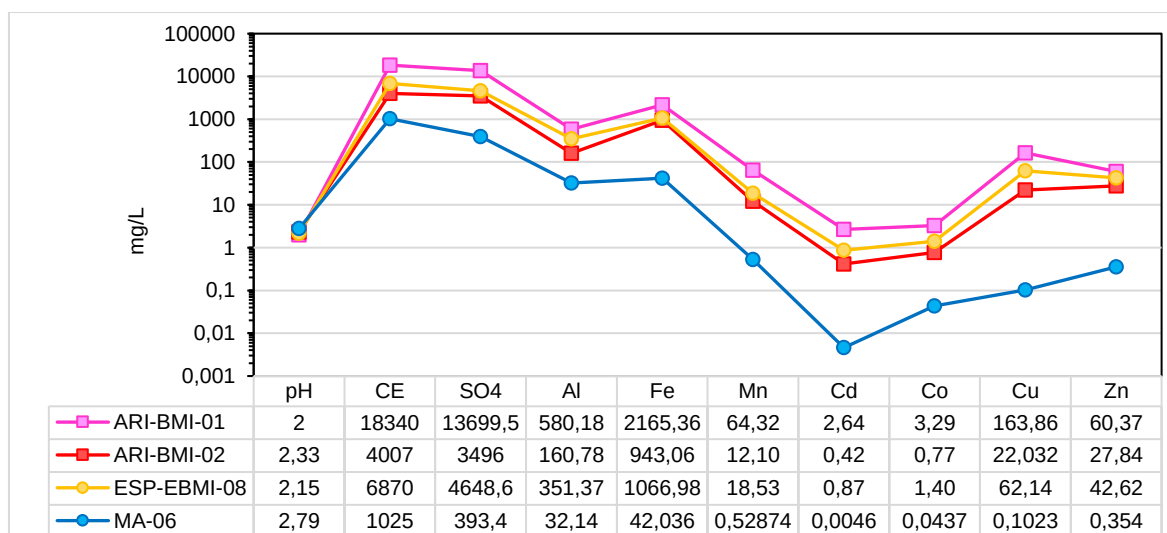


Figura 7.11. Comparación de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de las aguas de contacto (ARI-BMI-01 y ARI-BMI-02), afloramiento de agua ácida ESP-EBMI-08 y afloramiento de agua subterránea de referencia (MA-06).

Otro aspecto que confirma la mezcla de aguas de contacto del BMI con el afloramiento ESP-BMI-08 es la similitud de las facies sulfatadas cálcicas magnésicas y la concentración de iones

mayoritarios que alcanzaron hasta 90 meq/L para sulfato, que incluso es superior a la concentración alcanzada en el subdren ARI-BMI-02 (Figura 7.12).

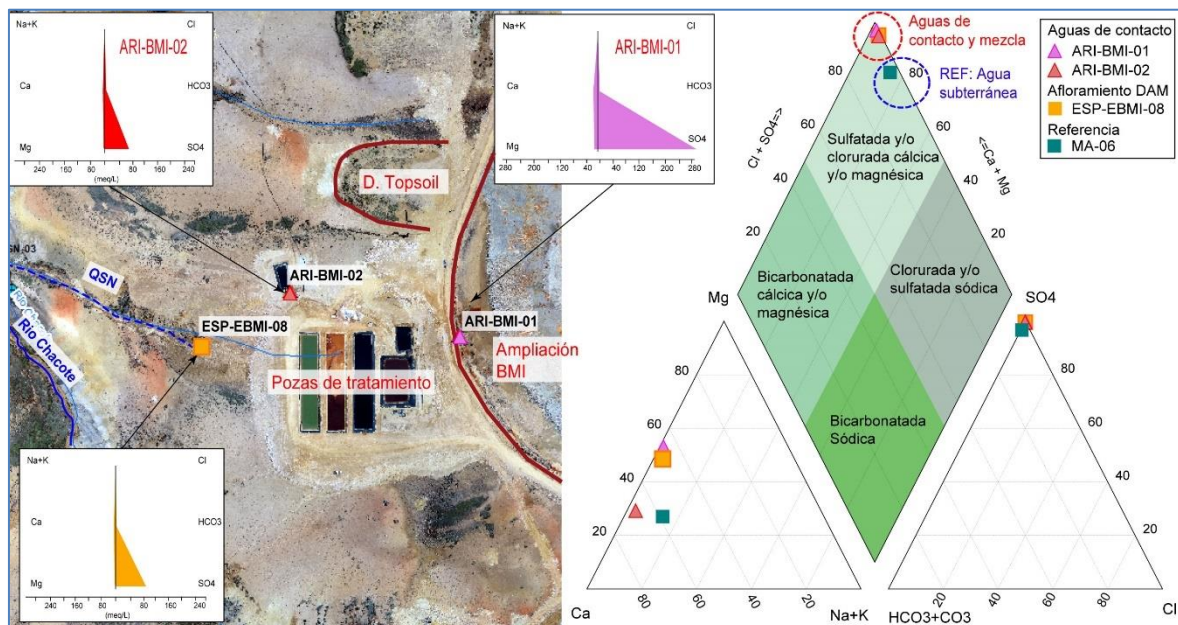


Figura 7.12. Comparación de facies hidroquímicas del agua del afloramiento ESP-EBMI-08 con respecto a las aguas de contacto de la Ampliación BMI y al afloramiento de agua subterránea de referencia (MA-06).

Según el diagrama de Ficklin, el afloramiento ESP-EBMI-08 se ubica en la misma clasificación del punto ARI-BMI-01 como alto contenido de acidez con extrema concentración de metales, cuyo contenido metálico disuelto de $Zn+Cu+Cd+Ni+Pb+Co$ del afloramiento fue de 106,22 mg/L, superando la concentración del punto ARI-BMI-02 (subdren) que fue clasificado con alto contenido de metales disueltos (Figura 7.13).

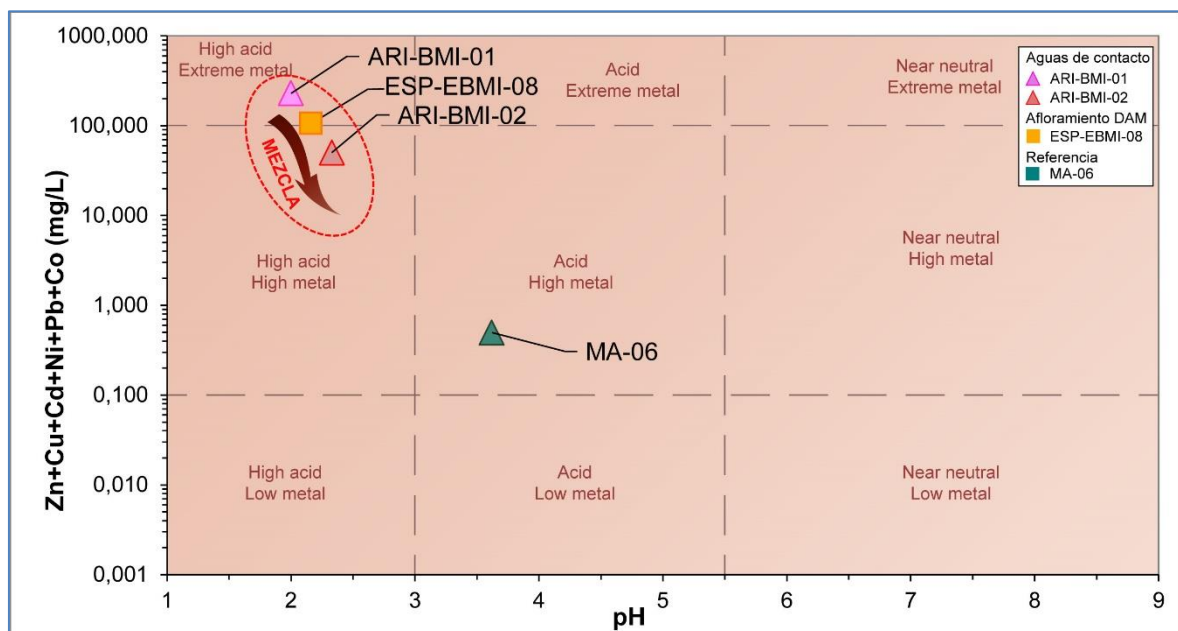


Figura 7.13. Clasificación según Ficklin del agua del afloramiento ESP-EBMI-08 con respecto a las aguas de contacto de la Ampliación BMI y al afloramiento de agua subterránea de referencia (MA-06).

Las facies hidroquímicas, concentraciones de iones mayoritarios de sulfatos y contenido total de metales disueltos de Zn+Cu+Cd+Ni+Pb+Co del afloramiento de aguas ácidas ESP-BMI-08 indican que el agua subterránea de flujo subsuperficial se encuentra influenciado –por mezcla– principalmente por las aguas de contacto que infiltran en el canal de mampostería de la Ampliación BMI.

Por otra parte, los flujos de agua ácida del afloramiento ESP-EBMI-08 discurren por la quebrada sin nombre (QSN-03) por un tramo de 45 m y luego confluyen con el río Chacote; la descarga de las aguas de contacto de esta quebrada (QSN-03) al río Chacote presentan características ácidas (2,36 unidades) con conductividad eléctrica de 4640 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y elevadas concentraciones de sulfatos, aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro manganeso, níquel y zinc (Figura 7.14). La evidencia de campo del aporte de flujos del ESP-EBMI-08 a la quebrada sin nombre (QSN3) y la similitud de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos indican que las aguas de la quebrada sin nombre **corresponden a aguas residual de mezcla**, por lo que fueron comparados con los LMP 2010 - Límite en cualquier momento, donde los valores de **pH y concentraciones de cadmio, cobre, zinc, arsénico y hierro disuelto** estuvieron fuera del rango y/o superaron los límites establecidos.

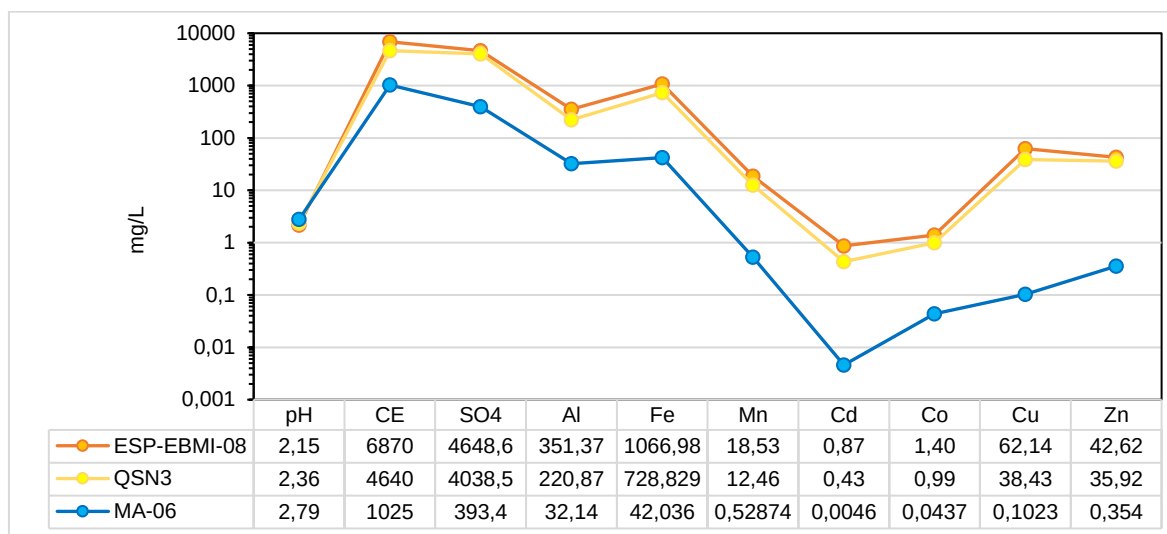


Figura 7.14. Comparación de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos del agua del afloramiento ESP-EBMI-08 y flujo de la quebrada sin nombre (QSN3), con referencia del manantial MA-06.

Aspecto 2: Análisis de la influencia de las descargas del efluente EBMI y quebrada sin nombre (QSN-03: proveniente del ESP-BMI-08) sobre la calidad del río Chacote

El análisis de la influencia del punto de vertimiento EBMI y flujos de aguas ácidas QNS-03 sobre río Chacote se realizó en el tramo comprendido entre los puntos SW-10⁴¹ (aguas abajo del efluente EBMI) al SW-20⁴² (aguas arriba de la quebrada sin nombre).

⁴¹ Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de explotación y beneficio Corihuarmi, aprobado con Resolución Directoral N.º 117-2007-MEM/AAM

⁴² Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del PAD de lixiviación Fase 4 y Tajos en la unidad minera Corihuarmi, aprobado con Resolución Directoral N.º 617-2014-EM/DGAAM, el 23 de diciembre de 2014 -página 222 y 241



El sistema de tratamiento de las aguas de contacto del BMI y Ampliación BMI⁴³ consideró el vertimiento de las aguas que rebosan de la poza de clarificación P-1 en el punto EBMI ubicado en la margen derecha del río Chacote. Según el manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, las aguas de la poza de clarificación P-1 son conducidos por rebose mediante una tubería HDPE de 8 pulgadas por una distancia de 286,4 m hacia el canal de geomembrana (coordenadas E436911: N8611313), que luego transporta estos flujos hacia el punto de vertimiento autorizado EBMI. Sin embargo, el 11 de abril de 2023 a las 16:45 h se verificó que la tubería de HDPE de 8" no empalmaba adecuadamente con el canal de geomembrana debido a la falta de extensión de la tubería (10 cm de distancia aproximadamente), además, la tubería de HDPE de 8" descargó un flujo de 0,058 L/s que discurría en su totalidad al suelo de la quebrada sin nombre, por lo que el punto de vertimiento aprobado se encontraba sin flujo (Figura 7.15).

⁴³

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento EBMI detalla lo siguiente:

Poza de tratamiento I (P-3)

En esta poza inicia el tratamiento de las aguas de contacto de todo el componente BMI, esta poza recibe las aguas de la poza subdrenes ampliación BMI y poza de agua de contacto BMI. El tratamiento se realiza con adición de lechada de Cal la cual es preparada en 2 tanques agitadores de 5 m³, el agua de contacto junto con la lechada de cal es agitada en la poza de tratamiento I (P-3) mediante bomba de remoción, luego se realiza la aplicación de floculante el cual es preparado en 2 tanques agitadores de 1 m³; el agua de la poza queda en reposo de 12 a 24 horas donde se separa en dos fases, agua clarificada y lodos. (...)

Poza de tratamiento II (P-2)

La poza de tratamiento II (P-2) cumple la misma función que la poza de tratamiento I (P-3) y funciona como segunda poza de tratamiento de las aguas de contacto BMI. El tratamiento se realiza con adición de lechada de Cal la cual es preparada en 2 tanques agitadores de 5 m³, el agua de contacto junto con la lechada de cal es agitada en la poza de tratamiento II (P-2) mediante bomba de remoción, luego se realiza la aplicación de floculante el cual es preparado en 2 tanques agitadores de 1 m³; el agua de la poza queda en reposo de 12 a 24 horas donde se separa en dos fases, agua clarificada y lodos.

Poza de clarificación P-1

La poza de clarificación P-1 recibe las aguas tratadas de las pozas de tratamiento I (P-3) y II (P-2), luego reposan y se monitorean los parámetros de campo para evaluar su viabilidad para vertimiento, si cumple con los LMP para efluentes minero-metalúrgico se realiza el vertimiento por el punto EBMI, si no cumple con los LMP el agua es regresada a la poza de tratamiento para realizar el retratamiento de las aguas.

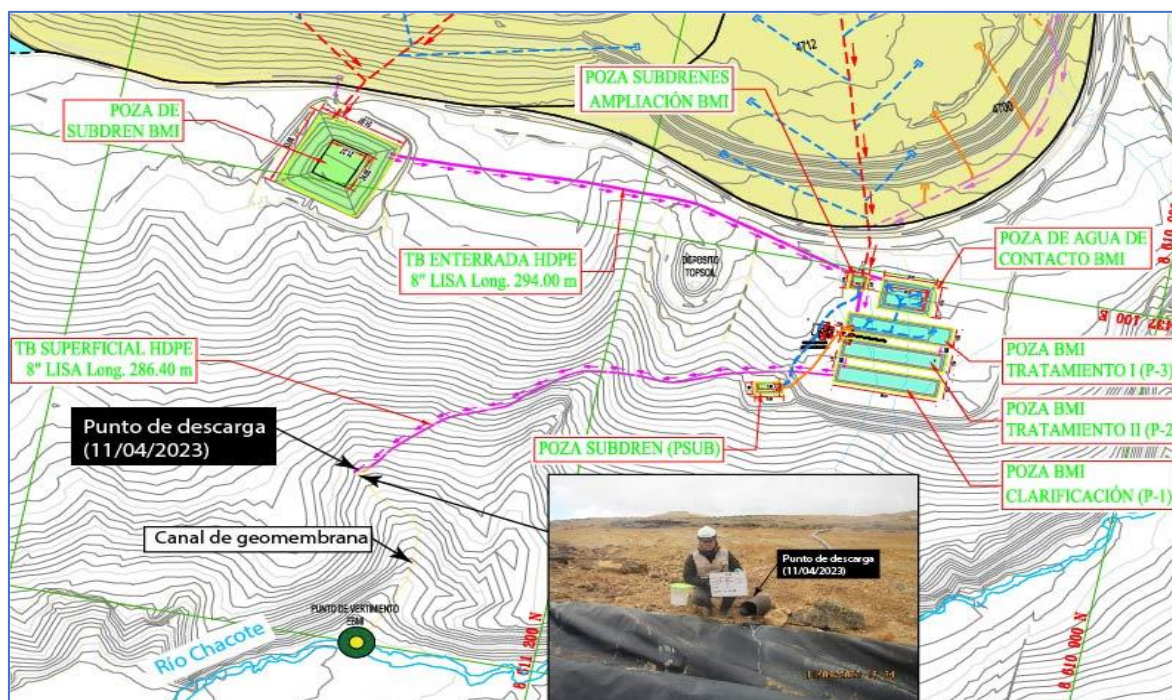


Figura 7.15. Punto de descarga no autorizada de aguas provenientes de la poza de clarificación del BMI, a través de la tubería de HDPE de 8"

Se precisa que no se aplicó el Protocolo de Respuestas a Emergencias⁴⁴ ya que la descarga se realizó durante 1 h y 15 min (entre las 16:30 h y 17:45 h)⁴⁵, tiempo en el cual la tubería de desfogue de la poza de clarificación P-1 estuvo sumergido aproximadamente a 20 cm del nivel máximo del agua acumulada; lo que indica que el **sellado de la tubería de desfogue** no fue realizado correctamente por el personal de Minera IRL SAC. Asimismo, se indica que el administrado no realizó el reporte de emergencia ambiental⁴⁶ que constituye una obligación ambiental fiscalizable. En este contexto se procedió la toma de muestra EBMI en el punto de descarga de la tubería de 8" hacia la quebrada sin nombre (Figura 7.16).

⁴⁴ 6.4. Control de Incidentes con Materiales y/o Residuos Peligrosos (...) En caso de incidentes que involucra efluentes minero-metalúrgicos

Cuando ocurre o realiza una desviación del procedimiento de tratamiento de aguas de la Unidad Minera Corihuarmi (...) y/o por error humano en la remoción y descarga de aguas, estas pueden no ser tratadas adecuadamente y ser vertidas al cuerpo receptor en condiciones fuera del rango óptimo. En ese sentido:

✓ Cerrar inmediatamente la salida de agua hacia el cuerpo receptor. ✓ (...)

⁴⁵ Anexo N° 03 del Descargo de Minera IRL con registro N° 2020-E01-012203 mencionado en el Informe de Supervisión N° 0512-2020-OEFA/DSEM-CMIN

⁴⁶ Establecido en el Artículo 5° del Reglamento de Reporte de Emergencias Ambientales, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N°018-2013- OEFA, y modificado mediante Resolución de Consejo Directivo N°028-2019- OEFA que exige que el titular de la actividad supervisada presente al OEFA un Reporte Preliminar de cualquier emergencia ambiental dentro de las doce (12) horas de su ocurrencia y un Reporte Final de la emergencia ambiental dentro de los diez (10) días hábiles de ocurrido el hecho.

El Artículo 9 - Incumplimiento de la Obligación de Reportar La presentación de los reportes de emergencias ambientales en la forma, oportunidad y modo indicados en el presente Reglamento constituye una obligación ambiental fiscalizable, cuyo incumplimiento amerita el inicio de un procedimiento administrativo sancionador, sin perjuicio de las acciones civiles o penales a que hubiere lugar.

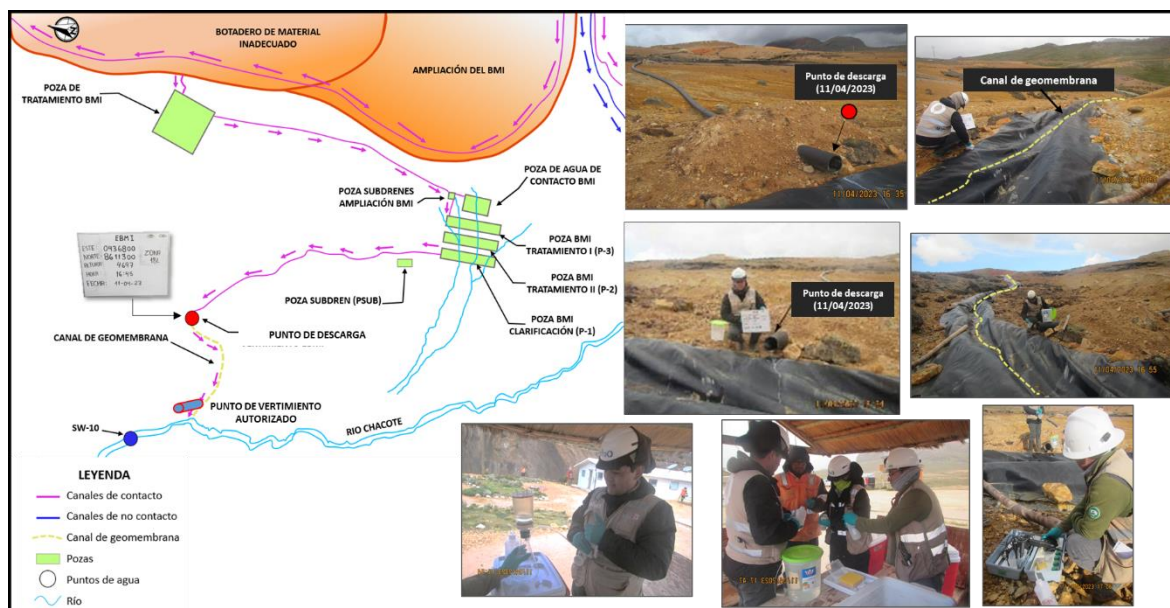


Figura 7.16. Muestreo del flujo de agua de la tubería de HDPE de 8" que descarga hacia el suelo de la quebrada sin nombre, codificado como EBMI.

Fuente: Modificado del plano detallado del subdrenaje del botadero de material inadecuado (BMI) plano MIRL-BMISUB-001

Este flujo fue considerado como agua residual industrial de acuerdo con el Artículo 16° del Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero (en adelante, RPGAAE)⁴⁷, por lo que comparados con los LMP 2010 – Límite en cualquier momento, presentó menor pH (4,62 unidades) que el rango establecido, y concentraciones de cadmio (0,34350 mg/L), cobre (13,0489 mg/L), zinc (30,7502 mg/L) y hierro disuelto (64,787 mg/L) superiores a los límites permitidos; la conductividad registrada fue de 3380 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La quebrada sin nombre (QSN-02) que recibió la descarga de las aguas de la tubería HDPE de 8", presentó aguas con pH ácido (2,84 unidades) y concentraciones de sulfatos, aluminio, hierro, manganeso, cadmio, cobalto y cobre que superaron los valores del ECA para agua 2008 Cat. 3 Subcat. Riego de vegetales y Bebida de animales; y registró conductividad eléctrica de 1508 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Las quebradas sin nombre que aportan flujos de aguas de contacto (QSN-03) y aguas superficiales (QSN-02) hacia el río Chacote, presentaron aguas ácidas similares al manantial MA-06, sin embargo, los valores de conductividad y concentraciones de elementos inorgánicos del punto QSN-03 fueron superiores al punto QSN-02 y al manantial de referencia; se precisa que las concentraciones de hierro total y disuelto fueron similares entre los puntos QSN-02 y el manantial MA-06, y que las concentraciones de arsénico en el punto QSN-02 fueron menores al límite de detección del método e análisis (Figura 7.17).

⁴⁷

Aprobado por Decreto Supremo N.º 040-2014-EM, el titular de la actividad minera es responsable de las emisiones, efluentes, vertimientos, residuos sólidos, ruido, vibraciones y cualquier otro aspecto de sus operaciones, así como de los impactos ambientales que pudieran generarse durante todas las etapas de desarrollo del proyecto, en particular de aquellos impactos y riesgos que excedan los límites máximos permisibles (LMP) y afecten los estándares de calidad ambiental (ECA), que les sean aplicables o afecten al ambiente y la salud de las personas

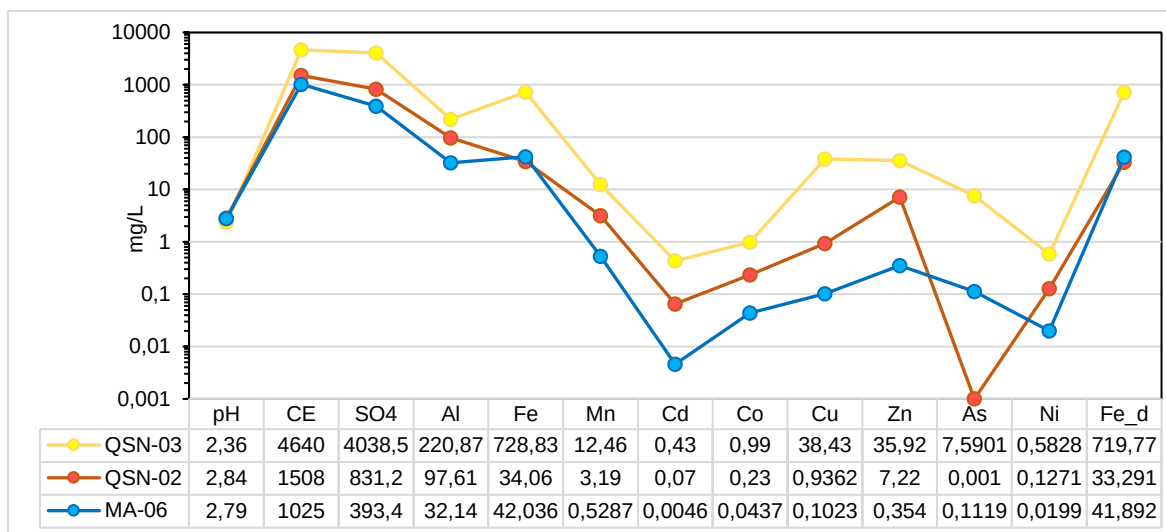


Figura 7.17. Comparación de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos de las quebradas sin nombre QSN-02 y QSN-03 que confluyen al río Chacote.

El aporte de las quebradas mencionadas hacia el río Chacote, influyó en la disminución de **pH** e incrementos progresivos de los valores de **conductividad eléctrica** y de las concentraciones de **sulfatos**, aluminio, **cadmio**, cobalto, **cobre**, hierro, níquel y **zinc** entre los puntos SW-20 (aguas arriba), RCha-01 (posterior al QSN-03) y el punto SW-10 (aguas abajo); registrándose en todos los puntos valores de pH y concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro y manganeso que estuvieron fuera del rango y/o superaron los ECA para agua 2008 Cat. 3 – Bebida de animales (ver sección de resultados 6.1.1.1).

Los valores de pH y concentraciones iónicas registradas en el río Chacote (SW-10) en la supervisión de abril de 2023, fueron superiores a los valores de línea de base ambiental⁴⁸ donde solamente el pH, nitratos y níquel eran superiores a los valores establecidos en la Ley General de Aguas 1969 - Clase III: riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales. Según el registro histórico del periodo 2006 al 2023, las mayores variaciones se dieron en los años 2010, 2018 y 2020-2021 donde se observa mayor acidificación de las aguas e incremento de concentración de iones (Figura 7.18).

⁴⁸

Según la línea de base ambiental, en enero de 2006 el punto SW-10 presentó pH ácido (3,85 unidades) y valores de conductividad eléctrica de 148 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y concentración iónica característicos de ambientes con mineralización de tipo epitermal de alta sulfuración formado en rocas volcánicas intruidas por dacitas y latitas subvolcánicas. La parte central del yacimiento epitermal (zona de tajos) se manifestó como una gran zona de alteración argílica avanzada con ensambles de sílice, alunita, azufre nativo; y en las zonas periféricas presenta alteración argílica con alto contenido de pirita, responsables de los manantiales ácidos asociados a ferricretas que aportan flujos de agua al río Chacote. Tomado del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de explotación y beneficio Corihuarmi, aprobado con Resolución Directoral N.º 117-2007-MEM/AAM.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

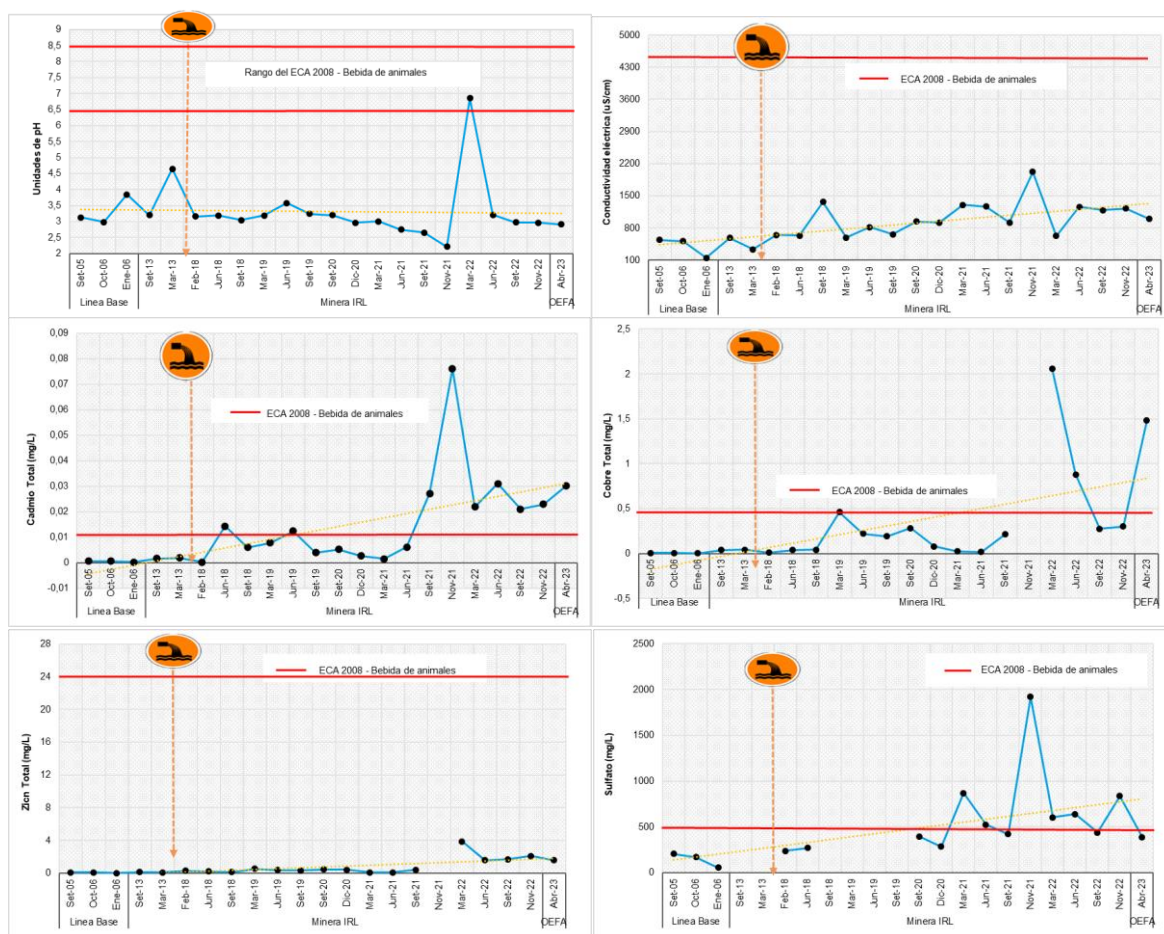


Figura 7.18. Registro histórico, del periodo 2018 – 2022, de valores de pH y conductividad eléctrica, y concentraciones de sulfatos, cadmio, cobre y zinc del punto SW-10 ubicado en el río Chacote, reportados por Minera IRL, y comparados con el registro de OEFA 2023.

Si bien anteriormente se mencionó que el punto SW-10 presentó influencia –por incrementos progresivos de las concentraciones de iones– de las quebradas sin nombre (QSN-02 y QSN-03) respecto al punto SW-20 (aguas arriba), se precisa que las concentraciones de los puntos RCha-01 y SW-20 también difieren de las características naturales del agua establecidas para este tramo, con base a la referencia del punto SW-10 de la línea de base (Figura 7.19), lo que indica que las concentraciones alcanzadas en abril de 2023 ya presentan influencia de las actividades realizadas por Minera IRL desde la parte superior de la cuenca.

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

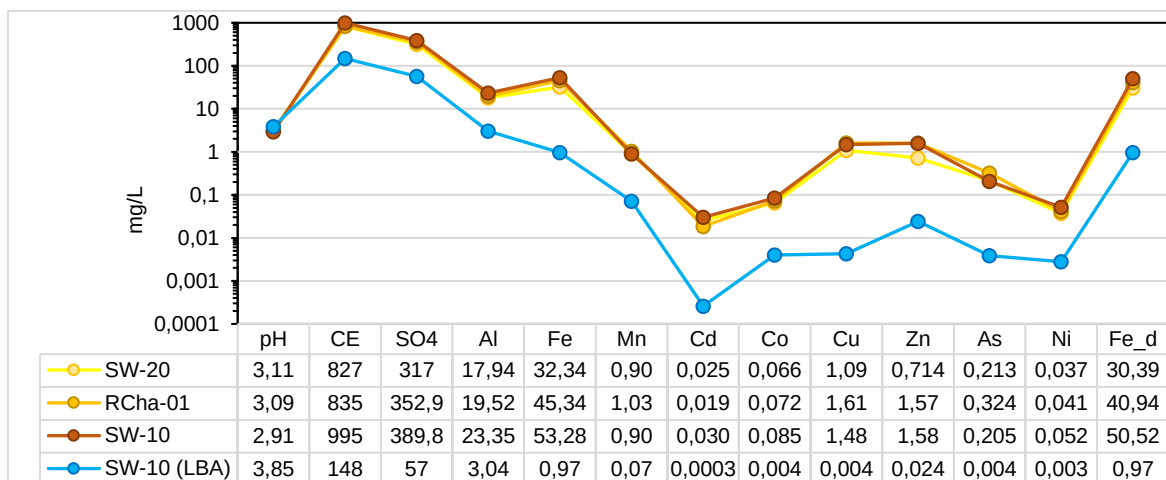


Figura 7.19. Comparación de parámetros fisicoquímicos e inorgánicos los puntos SW-20, RCha-01 y SW-10 muestreados en la supervisión de abril de 2023, respecto a los valores de línea de base ambiental.

En el lecho del río Chacote, en los puntos SW-20 y SW-10, se observó poca acumulación de material fino, así como una disminución en los valores de pH (de 3,07 a 1,92 unidades de pH); y un aumento en las concentraciones de metales como cadmio (de 0,16109 a 0,16672 mg/kg) y cromo (de 4,156 a 4,929 mg/kg). Además, el cobre (de 95 a 111 mg/kg) superó el valor ISQG de la norma canadiense ISQG de la guía canadiense; y se observó un incremento en las concentraciones de arsénico (de 854 a 1273 mg/kg) y mercurio (de 1,28 a 1,53 mg/kg) que superaron los valores ISQG y PEL de la guía canadiense (Figura 7.20).

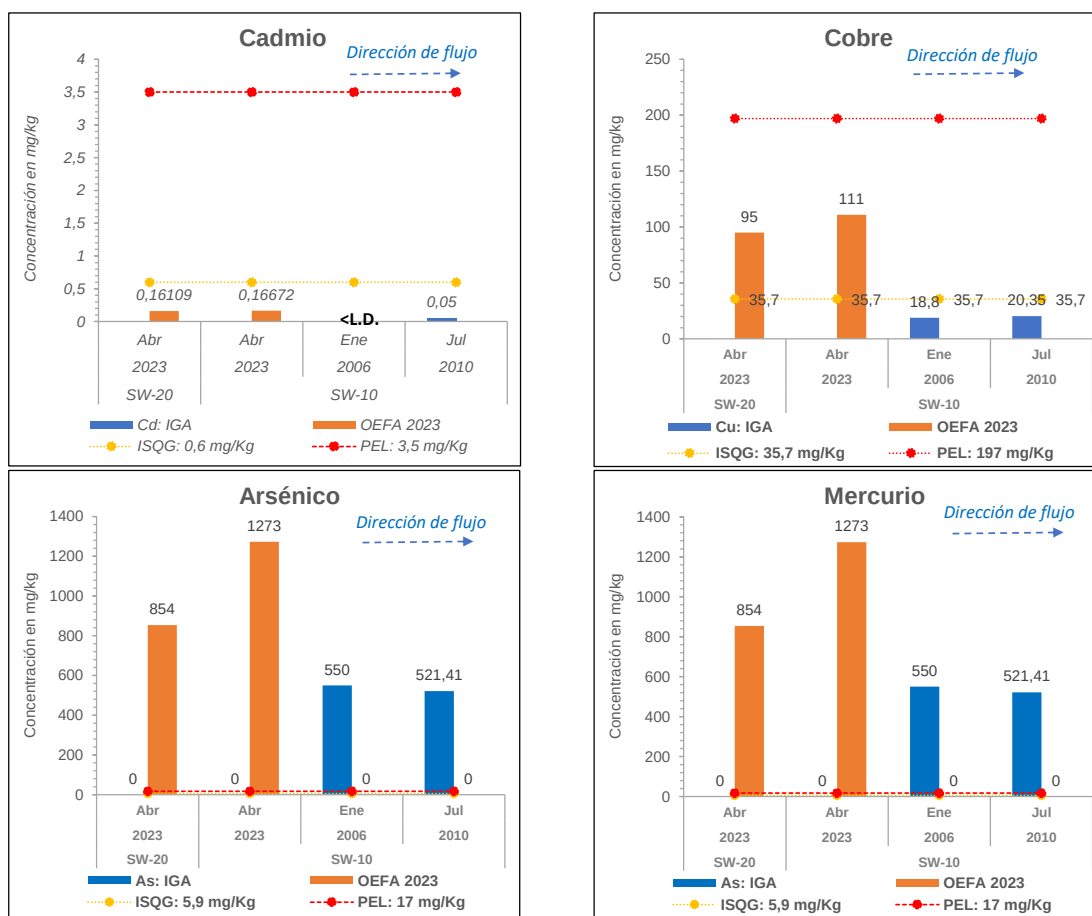


Figura 7.20. Comparación de las concentraciones de metales en sedimento de los puntos SW-20, SW-10 y SW-20 muestreados en la supervisión de abril de 2023, respecto a los valores de línea de base ambiental.

Con respecto a las comunidades hidrobiológicas, antes de discutir los resultados se mencionará algunos aspectos: 1. La hipótesis planteada fue, si el efluente EDM1 y el flujo (considerado drenaje ácido de minas - DAM) que discurre por la quebrada sin nombre 3 y 2 (QSN-03, QSN-02) que proviene de las pozas de sedimentación del botadero de material inadecuado (Causas) (Discutido en la sección de prospección geofísica) influyen en el comportamiento de los macroinvertebrados bentónicos y perifiton (Efecto) en el río Chacote, 2. Para tener un mejor entendimiento de los procesos causa y efecto en los ecosistemas acuáticos se realizó dos zonificaciones, zona control (QYan-1) y zona alterada (SW-20, QSN-03, RCha-01, QSN-02, SW-10), 3. Ambas zonas están geológicamente dentro de una formación epitermal sufurosa con rocas volcánicas sedimentarias, lo que genera que sus flujos de agua sean ácidos, lo que permitió comparar ambas zonas con un mismo tipo de ambiente y que los factores determinantes que contribuyen en la variabilidad en la dinámica de las comunidades hidrobiológicas fueron los parámetros fisicoquímicos y metales del agua superficial y del sedimentos, además de la calidad hidromorfológica vinculados a los componentes mineros.

Es importante conocer que existen dos principales procesos fisiológicos de las comunidades hidrobiológicas por el cual puede acumular cierto agente estresante (Quispe C, 2023): 1. La absorción que es el proceso de absorber a través de sus branquias, piel o membrana celular y 2. La Ingesta de partículas de alimentos en suspensión en el flujo de agua o adheridos a los sedimentos. Estos agentes estresores como los metales totales forman un complejo estructural, donde hay dos grupos principales: los metales pesados (Al, As, Cu, Hg, Pb, Zn) y los



micronutrientes (P, Mg, K) que influyen en el comportamiento de las comunidades hidrobiológicas.

Debido a que estamos en un contexto de influencia minera es fundamental conocer los procesos fisiológicos de respuesta que realizan las comunidades hidrobiológicas para hacer frente al estrés causado por los metales pesados (Quispe C, 2023): 1. Eliminan metales pesados a través de la excreción activa de iones metálicos o formación de complejos con sustancias orgánicas, 2. Acumulan metales pesados en sus tejidos como las branquias o exoesqueleto, 3. Producen enzimas antioxidantes como superóxido dismutasa y la catalasa para detoxificar los metales y minimizar el daño oxidativo y 4. Producen proteínas de unión a metales como metalotioneína, que se unen a los metales para formar complejos estables y reducir su toxicidad.

El otro aspecto importante es conocer los procesos fisiológicos de respuesta que realizan los organismos para hacer frente a los pH ácidos (Quispe C, 2023): 1. Regula el pH interno del organismo a través de mecanismos de secreción de iones de bicarbonato o la eliminación de ácidos a través de células epidérmicas, 2. Adaptan o modifican la forma de respirar para mantener el equilibrio ácido-base, 3. Ajustan su metabolismo para conservar su energía y minimizar la producción de ácido láctico y 4. Excretan metabolitos ácidos a través de órganos especializados.

Estos mecanismos fisiológicos varían con la excesiva disminución de pH y la elevada concentración de metales pesados, generando una determinada capacidad adaptativa y de resiliencia de respuesta de los organismos, prevaleciendo y dominando los organismos tolerantes hasta cierto umbral de concentración de estresores. Si sobrepasa los umbrales críticos de concentración de los estresores, esto causa un declive o desaparición de organismos.

Para entender mejor la comparación de la dinámica de las comunidades hidrobiológicas es importante describir las características fisicoquímicas e hidromorfológicas de la zona de control (QYan-1). De forma general se pudo evidenciar que la quebrada Yanacocha (QYan-1) según el diagrama Fickling se caracteriza por presentar pH ácidos y bajas concentraciones de metales totales con respecto a la zona alterada, además, se registró una buena calidad hidromorfológica, mientras la zona alterada presentó una moderada calidad hidromorfológica según el protocolo CERA-S. Esto nos indica que la zona control presenta características de drenaje ácido de roca - DAR (Warren, 2011; Nordstrom & Alpers, 1999; Bond *et al.*, 2000).

A continuación se detalla el dinamismo de los macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.21): 1) En el recorrido del río Chacote del punto SW-20 al SW-10 (zona alterada) presentó baja variabilidad de la riqueza y densidad de taxones en función de los grupos de tolerancia, registrando la prevalencia y dominio del taxón *Cricotopus* sp. que es tolerante a metales pesados y a pH ácidos (Janssens de Bisthoven *et al.*, 2005; Winner *et al.*, 1980) y al ser comparado con la zona control (QYan-1) este registró mayor riqueza y densidad de taxones tolerantes y facultativos, 2) Según el análisis cluster los puntos del río Chacote presentaron una moderada similitud de 55% a 65% de la composición de taxones, corroborado con el análisis permanova, donde indica que no hay diferencias significativas ($p > 0,05$), sin embargo al ser comparados con la zona control, este registró baja similitud (30%) y diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la composición de taxones, 3) En el recorrido del río Chacote no hubo diferencia en la calidad biológica, registrando pésima calidad, mientras que la zona control registró una moderada calidad biológica según el índice biótico andino (ABI).

De las premisas y dinamismo mencionado se induce que en la presente evaluación en el río Chacote no se encontró un patrón de reducción poblacional aguas abajo del aporte de la quebrada sin nombre 2, quebrada sin nombre 3 (proveniente del Drenaje ácido de minas) y el



flujo intermitente del vertimiento EDMI que registraron mayores concentraciones de metales (aluminio, arsénico, cobre y zinc) y parámetros fisicoquímicos (sulfatos), sin embargo, estos aportes está impidiendo que el ensamble de macroinvertebrados se pueda recuperar, manteniendo una pésima calidad biológica en el tramo evaluado, además, se observa que en el punto SW-20 antes de la confluencia con la quebrada sin nombre 3 (QSN-03) se registró una baja densidad y riqueza de taxones tolerantes con respecto a la zona control, lo que indica que la condición fisicoquímica del agua y sedimentos del río Chacote ya está siendo alterada aguas arriba de la zona de discusión.

Por otro lado, a continuación, se detalla el comportamiento del perifiton (microalgas) (Figura 7.22): 1) En el recorrido del río Chacote del punto SW-20 al SW-10 se registró la disminución de la densidad acumulada de 3000 a 360 Organismos/cm², reduciendo el género *Pinnularia* y el taxón *Eunotia* cf. *Exigua* que son tolerantes a metales pesados y pH ácidos (Urrea-Clos y Sabater, 2009; Smith y Manoylov en 2007), 2) Los puntos del río Chacote (zona alterada) registraron menor riqueza y densidad del ensamble del perifiton en comparación con la zona control (QYan-1), 3) Los puntos QSN-02 y QSN-03 (zona alterada por donde discurre la fuente contaminante) registraron mayores densidades con respecto a la zona control (QYan-1) con dominio y prevalencia de los taxones *Eunotia* cf. *Exigua* y *Pleurocapsa* sp., que también son tolerantes a metales pesados y pH ácidos (Urrea-Clos y Sabater, 2009;), esto es porque no solo en esos puntos hay mayores concentraciones de metales pesados sino también hay mayores concentraciones de micronutrientes (K, Mg y P), lo que genera su mayor disponibilidad para su desarrollo, 4) Según el análisis cluster se evidenció que existe una baja similaridad (5 a 40%) entre los puntos de la zona alterada y la zona control, mostrando su diferenciación en la composición de taxones.

De las premisas y dinamismo mencionado se induce que en el río Chacote del punto SW-20 al SW-10 está ocurriendo una disminución del ensamble del perifiton (microalgas) a causa de los aportes de la quebrada sin nombre 2 y 3 que sus aguas provienen de las infiltraciones de botadero de material inadecuado. Sin embargo, igual que el comportamiento de los macroinvertebrados bentónicos, antes del punto SW-20 en el río Chacote ya se está evidenciando una baja densidad y riqueza del ensamble de perifiton con presencia de microalgas tolerantes a metales pesados y pH ácidos tal como el taxón *Eunotia* cf. *exigua*, debido a la alteración de la calidad del agua superficial y del sedimento que está proviniendo aguas arriba del punto SW-20.

Lo discutido anteriormente nos permite hacer un análisis temporal, donde inicios de la actividad minera, se había registrado el dominio de estos taxones tolerantes de forma natural en el río Chacote (SW-10), tal como se menciona en el informe de monitoreo hidrobiológico de la UM Corihuarmi de diciembre 2011 (época húmeda), sin embargo, al compararlos con lo registrado en la presente evaluación, se ha registrado la disminución de la densidad de taxones tolerantes en un 98% y la desaparición de individuos facultativos, debido al incremento de los parámetros fisicoquímicos y metales del agua superficial y sedimento del río Chacote a causa de los tributarios que provienen del Depósito de material inadecuado y las actividades que se han realizado aguas arriba del punto SW-20.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

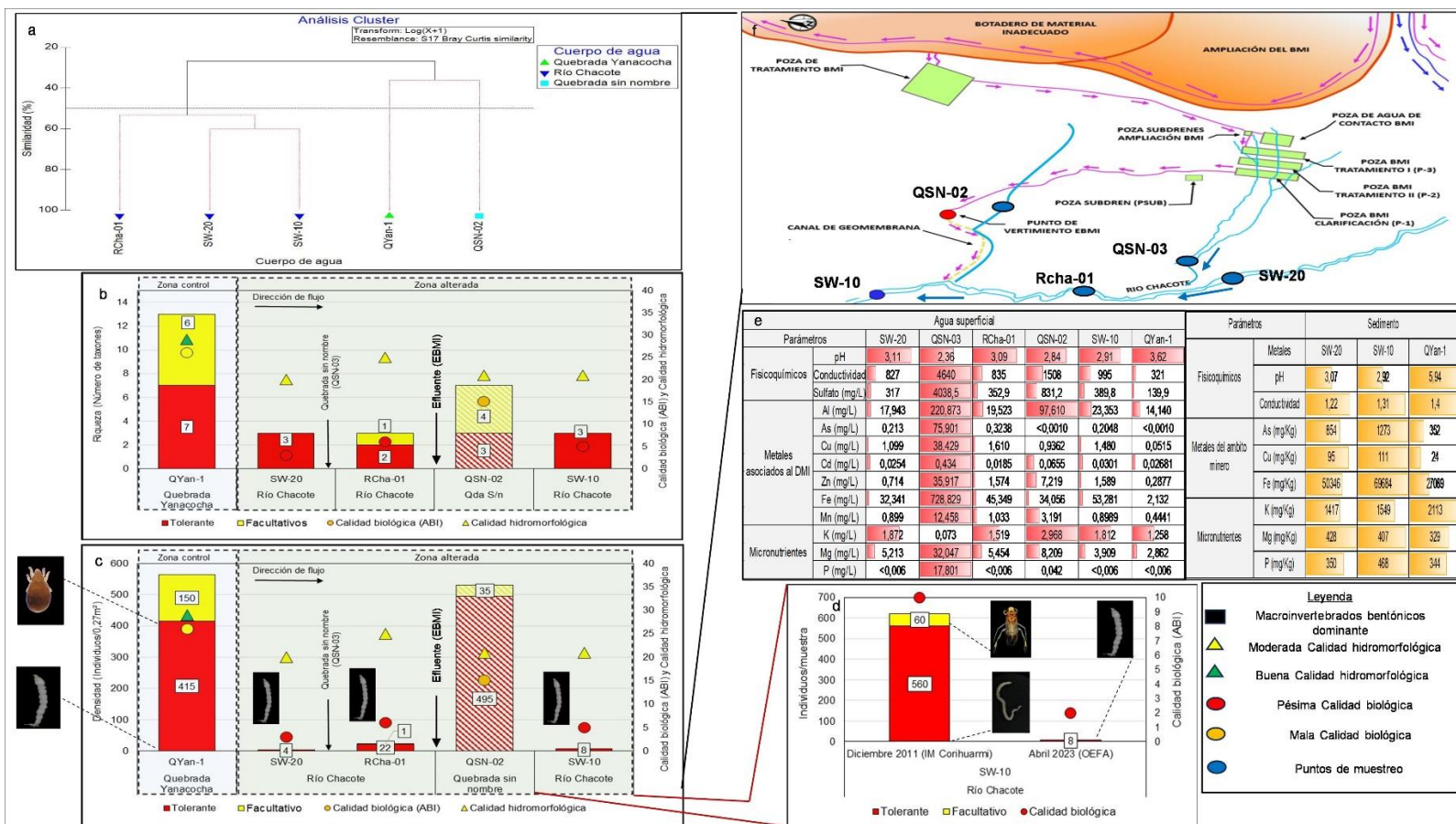


Figura 7.21. Dinámica de los macroinvertebrados bentónicos asociados al comportamiento del agua superficial y sedimentos influenciados por la actividad minera. a) Análisis clúster, b) Dinámica de la riqueza y c) Densidad en función a sus grupos de tolerancia relacionado con el índice biótico andino (ABI) y la calidad hidromorfológica, d) Dinámica temporal de la densidad de taxones en función a el grupo de tolerancia del informe de OEFA 2023 y el informe de monitoreo hidrobiológico de diciembre de 2011 de la UM Corihuarmi, e) Dinámica de la fisicoquímica y metales del agua superficial y sedimentos, f) Esquema de la distribución de la red hídrica asociado a los componentes mineros.

Formato PM0302-F05

Versión: 00

Fecha de aprobación: 29/12/2020



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

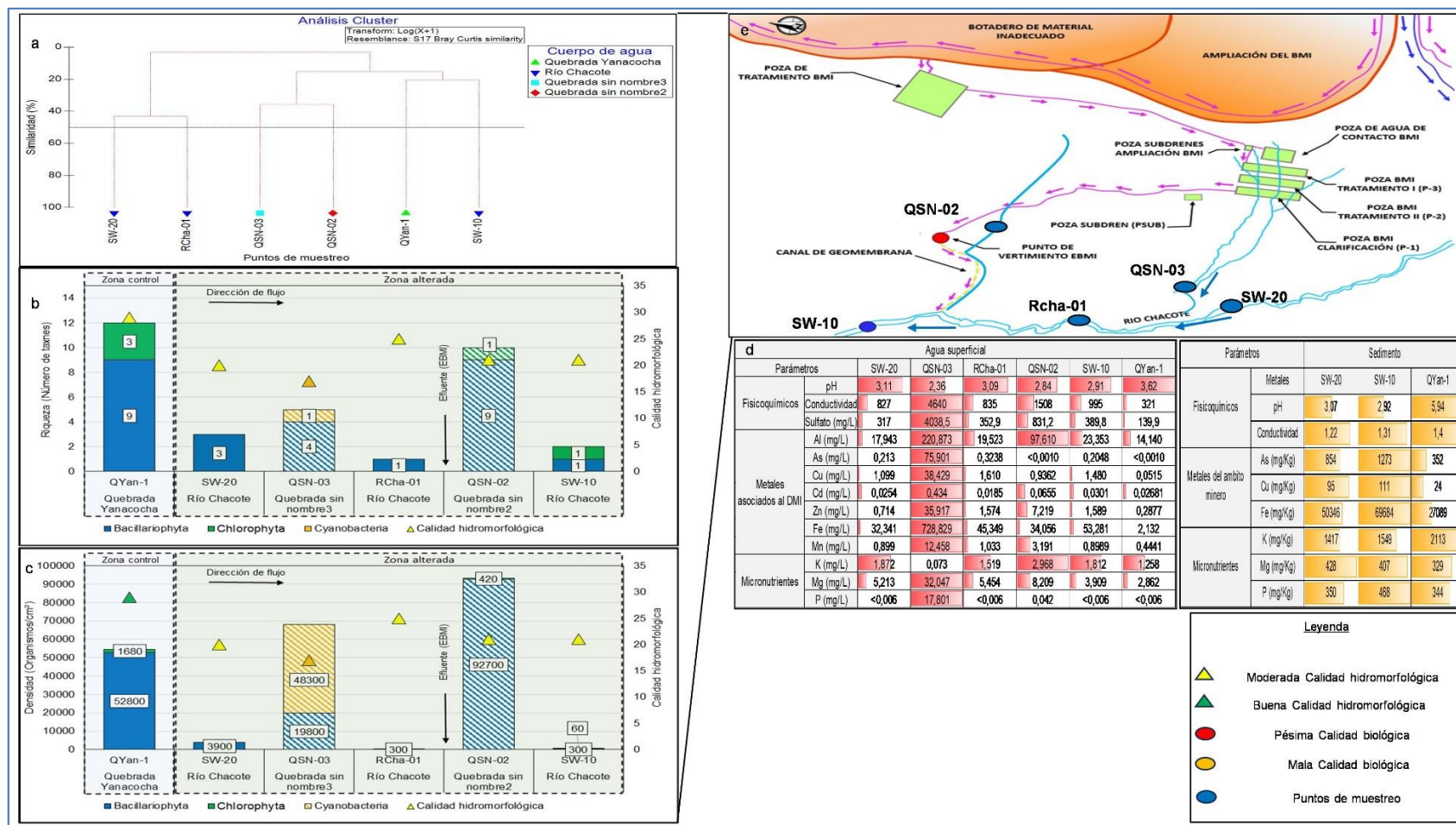


Figura 7.22. Dinámica del perifiton (microalgas) asociados al comportamiento del agua superficial y sedimentos influenciados por la actividad minera. a) Análisis clúster, b) Dinámica de la riqueza y c) Densidad en función al phylum relacionado con la calidad hidromorfológica, e) Dinámica de la fisicoquímica y metales del agua superficial y sedimentos, e) Esquema de la distribución de la red hídrica asociado a los componentes mineros.



7.1.2. Subzona 2: Efluentes del sistema de tratamiento de aguas de contacto del PAD de lixiviación

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03⁴⁹, indica lo siguiente:

«2. OPERACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SP-03

El sistema SP-03 corresponde al sistema de tratamiento para el manejo de aguas de escorrentía provenientes del tajo Cayhua, Haul Road, Taller de equipos, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo; que previamente cuenta con un sistema de canales perimetrales, trampas de grasa y pozas de sedimentación.

2.1. Canales para aguas de contacto

El sistema de canales del SP-03 abarcan las vías de tajo Cayhua, Haul Rodal, taller de equipos, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo, todas estas aguas son derivadas a través del sistema de manejo de aguas donde ingresan a la poza SP-00 para iniciar el tratamiento de las aguas de contacto.»

Al respecto, durante la supervisión del 14 de abril de 2023 se verificó el sistema de tratamiento SP-03 ubicado en la margen derecha de la quebrada Para Para y se constató:

Descarga de aguas de contacto en dos puntos: la primera, en las coordenadas E437436; N8609982 (ARI-9), por trasvase de aguas de contacto proveniente de la poza de SP-02-3, desde el canal de geomembrana hacia el cauce de la quebrada Para Para; y la segunda, en las coordenadas E437427; N8609994 (ARI-10), por desviación -en la geomembrana- de aguas de contacto provenientes de la poza SP-02-1A (tubería de HDPE corrugada), hacia el cauce de la quebrada Para Para (Figura 7.11).

49

Información remitida por Minera IRL mediante HT 2023-E01-465854

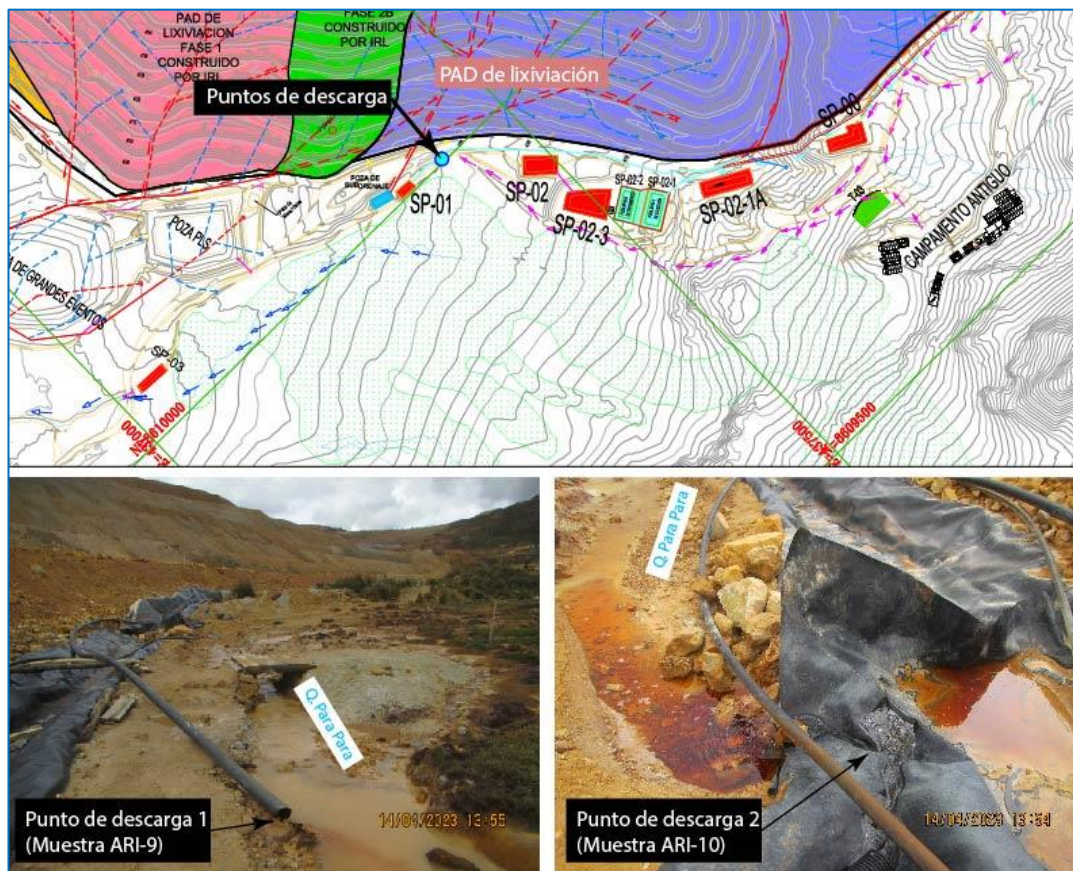


Figura 7.11 Punto de descarga no autorizada de aguas de contacto del sistema de tratamiento SP-03 (ARI-9 y ARI-10) hacia la quebrada Para Para

Fuente: Modificado del plano detallado sistema de subdrenaje PAD de lixiviación MIRL-SUBDF3Y4-001 / Fotografías extraídas del Acta de supervisión de abril 2023

Del hecho constatado el 14 de abril de 2023, Minera IRL, en el informe de descargo remitido mediante HT 2023-E01-465854⁵⁰ indicó lo siguiente sobre las descargas ARI-9 y ARI-10:

«2. ARI-9

(...)

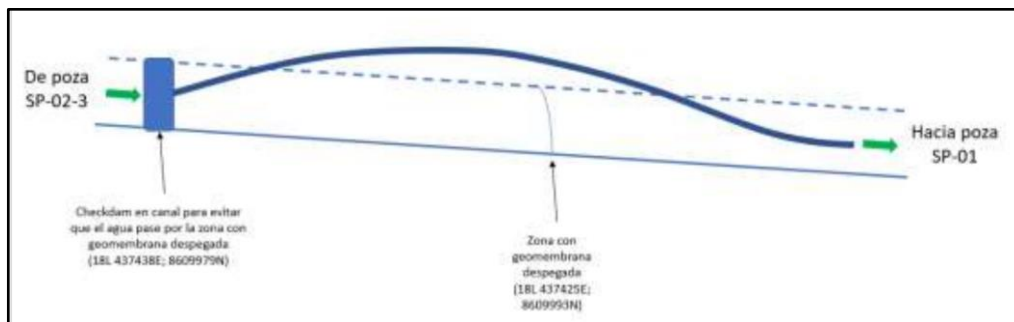
En el canal de geomembrana que conduce las aguas de la poza SP-02-3 hacia la poza SP-01, se encuentra un punto en el que la geomembrana esta despegada (18L 437425 E, 8609993N). Los trabajos de mantenimiento de canales y pozas se realizan únicamente en temporada seca dado que es necesario que no exista tránsito de agua para realizar los trabajos (Véase Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de pozas del sistema de tratamiento de agua).

Para evitar modificaciones no autorizadas en el punto vulnerable del canal, es que se ha realizado un checkdam con sacos de arena en el punto 18L 437438E, 8609979N, y en la base del checkdam se ha colocado una tubería de 4 pulgadas cuya función es captar las aguas del canal y conducir las hacia el mismo canal pasando por encima del punto 18L 437425 E, 8609993N; de esta forma se asegura que cualquier acción malintencionada en esta zona afecte el flujo del agua; de acuerdo con el siguiente esquema:

50

Información remitida por Minera IRL mediante HT 2023-E01-465854 – Requerimiento 9

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»



En la mañana del 14/04/2023 se evidencio que la tubería había sido movida fuera del canal por algún desconocido. Ante tal evidencia se procedió con colocar nuevamente la tubería en el canal que va desde SP-02 hacia SP-01 y al retiro del checkdam para evitar cualquier malinterpretación.

(...)

«3. ARI-10

(...)

Centímetros antes del punto de geomembrana despegada se encuentra la salida de una tubería corrugada la cual corresponde a la tubería de captación del agua de infiltración natural que va por la margen izquierda del canal que une al SP-02-3 con SP-01, que dado sus características acidas se ha canalizado para que ingresen al sistema SP-03 y no discurren naturalmente por el bofedal Para-Para; en esta zona de confluencia de la tubería corrugada al canal SP-02-3 – SP-01 el día 14/04/2023 se ha encontrado roca dentro del canal y por debajo de la geomembrana lo que genero que el agua de infiltración no pudiera continuar con su curso por el canal hacia la poza SP-01 para su control. Al identificarse esto, y en presencia de representantes del OEFA se retiro la roca del canal y el agua de infiltración volvió a ingresar al canal de geomembrana. Al cese completo de las lluvias de la temporada 2022-2023 se realizará el pegado de la geomembrana para evitar que personas con malas intenciones manipulen y desvíen aguas que deben ingresar al tratamiento»

Al respecto, el Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03⁵¹ menciona lo siguiente sobre el mantenimiento:

«3. MANTENIMIENTO SOBRE EL SISTEMA DE TRATAMIENTO SP-03

Inspección

La etapa de inspección consiste en realizar una revisión periódica del sistema de tratamiento de aguas ácidas para detectar posibles fallos, fugas, obstrucciones o cualquier otra situación que pueda afectar su funcionamiento. Durante esta etapa, se lleva a cabo una evaluación completa de las pozas y canales que componen el sistema, para asegurar que estén en buen estado y operando correctamente. La inspección se realiza durante todo el año, de acuerdo con el Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de Pozas del Sistema de Tratamiento de Agua (VER ANEXO 2).

Limpieza

La etapa de limpieza tiene como objetivo remover los sólidos y otros materiales acumulados en el sistema de tratamiento de aguas ácidas durante la temporada de lluvias. Este tipo de acumulaciones reduce la capacidad efectiva de los canales para conducir agua y de las pozas para almacenar y tratar agua, lo que puede reducir la eficiencia del sistema. Durante la limpieza, se utilizan bombas de lodo y cisterna para remover estos materiales de las

⁵¹ Información remitida por Minera IRL mediante registro 2023-E01-465854 en atención al requerimiento de información correspondiente al Acta de supervisión abril 2023



pozas, y personal para retirar el sedimento acumulado en los canales, y así garantizar que el sistema pueda operar de manera adecuada. La limpieza se realiza únicamente durante la temporada seca, de acuerdo con el Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de Pozas del Sistema de Tratamiento de Agua (VER ANEXO 2).

Mantenimiento

La etapa de mantenimiento se enfoca en realizar las acciones necesarias para asegurar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas ácidas a largo plazo. Esto incluye la revisión y reemplazo periódico de los componentes que se desgastan con el tiempo, la calibración de los equipos de medición y control (bomba de agua, bomba de lodos, tableros eléctricos, grupo electrógeno) y reparación o cambio de geomembrana según se requiera. El mantenimiento se realiza durante el año en conformidad con lo recomendado por el área de mantenimiento de equipos, donde el mantenimiento de equipos se realiza 2 veces al año y el mantenimiento de geomembrana se realiza 2 veces al año. La frecuencia de mantenimiento del sistema se encuentra en el Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de Pozas del Sistema de Tratamiento de Agua (VER ANEXO 2).

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03 no menciona en sus ítems inspección, limpieza y mantenimiento el uso de checkdams con sacos de arena ni de tuberías con la finalidad de captar aguas del canal de geomembrana que unen las diferentes pozas que si forman parte del sistema de tratamiento descrito en el documento en mención; asimismo, dicho documento menciona que el mantenimiento incluye la revisión y reemplazo periódico de los componentes que se desgastan con el tiempo y reparación o cambio de geomembrana según se requiera; sin embargo, Minera IRL en el documento de descargo indicó que hubo geomembrana despegada y la presencia de una roca dentro de canal, lo cual evidencia que no se realizó las acciones necesarias de limpieza ni mantenimiento.

Así también, el programa de inspección, limpieza y mantenimiento de pozas del sistema de tratamiento de agua que forma parte del Anexo del Manual de Operación y Mantenimiento de Minera IRL precisa que los meses de limpieza de canales, lodos y pozas son en julio, setiembre y noviembre y los meses de mantenimiento de equipos, canales y geomembrana son en agosto y noviembre (Tabla 7.3). Cabe indicar que el programa es muy general y no especifica la limpieza ni el mantenimiento de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A que también forman parte del sistema de tratamiento SP-03; asimismo en el Anexo 7 del Requerimiento de información remitida por Minera IRL⁵² tampoco se adjuntan las evidencias fotográficas de la limpieza de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A.

Tabla 7.3. Programa de limpieza y mantenimiento del sistema de tratamiento SP-03 en el 2022

Actividad		Meses				
		Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Limpieza	Canales	2da y 3era semana	----	2da y 3era semana	----	----
	Limpieza de lodos					
	Poza					
Mantenimiento	Equipos	----	3era semana	----	-----	3era semana
	Canales					
	Geomembrana					

Fuente: Adaptado del Anexo 7 – Requerimiento de información – HT 2023-E01-465854



Por otro lado, el Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03⁵³ menciona que el tratamiento del agua en las pozas SP-02-3 y SP-02-1A es de la siguiente manera:

«Pozza SP-02-1

Es una poza proyectada la cual servirá para el tratamiento de las aguas provenientes de la poza SP-02-1A, el tratamiento se realizará mediante adición de lechada de cal y floculante; la lechada de cal se preparará en un tanque agitador de 5 m³ y el floculante se preparará en un tanque agitador de 1 m³

(...)

Pozza SP-02-3

La poza SP-02-3 se emplea actualmente como poza de tratamiento del sistema SP-03 y recibe las aguas provenientes de la poza SP-02-1A, el tratamiento se realiza mediante adición de lechada de cal y floculante; la lechada de cal se preparará en un tanque agitador de 5 m³ y el floculante se preparará en un tanque agitador de 1 m³»

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03 menciona que el tratamiento del agua ácida se realiza con adición de lechada de cal, por lo que se esperaría que el pH del efluente SP-03, que es la última poza del sistema de tratamiento, fuera cercano a la neutralidad y presente conductividad eléctrica baja, ello es concordante con lo reportado por Minera IRL en enero y febrero 2023 (Tabla 7.4). Sin embargo, en la supervisión del 1 marzo de 2023, se constató que este efluente de 0,406 L/s con 2,23 unidades de pH, y con concentraciones totales de arsénico, cobre, zinc y hierro disuelto que incumplieron los LMP 2010; además presentó una conductividad eléctrica de 4810 µS/cm y discurría con un caudal de 0,406 L/s hacia la quebrada Para Para (cabecera del río Chacote), el detalle de dicho incumplimiento se describió en el Informe N.º145-2023-OEFA-DEAM-STEC remitido mediante Memorando N.º397-2023-OEFA/DEAM a la DSEM-CMIN el 12 de junio de 2023.

Los valores registrados en la supervisión del 1 de marzo 2023, en el efluente SP-03, fueron similares a los valores reportados por Minera IRL el 28 de febrero de 2023 y también a los valores registrados en los flujos ARI-9 y ARI-10 el 14 de abril de 2023 a las 14:45 h y 15:10 h provenientes de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A respectivamente y que forman parte del sistema de tratamiento SP-03 (Tabla 7.1).

Tabla 7.4. Parámetros de campo registrados en el efluente SP-03 y en las descargas ARI-9 y ARI-10 en el 2023

Responsable	Código	Fecha	Unidades de pH	Conductividad eléctrica (µS/cm)
Minera IRL	SP-03	10/01/2023	6,99	800
		15/01/2023	7,03	748
		19/01/2023	7,40	800
		21/01/2023	6,56	953
		22/01/2023	7,89	653
		30/01/2023	6,59	1023
		5/02/2023	6,50	1042
		10/02/2023	7,01	946
	SP-03	28/02/2023	2,35	5150
OEFA	SP-03	01/03/2023	2,23	4810
	ARI-9	14/04/2023	2,11	6040
	ARI-10	14/04/2023	2,05	8000

Fuente:

⁵³ Información remitida por Minera IRL mediante registro 2023-E01-465854 en atención al requerimiento de información correspondiente al Acta de supervisión abril 2023



Los resultados de campo y laboratorio de los flujos ARI-9 y ARI-10 fueron comparados con los LMP 2010, y según lo establecido en su compromiso ambiental en la Segunda MEIA 2014, se desprende lo siguiente:

- (i) Los flujos ARI-9 y ARI-10 presentaron 2,11 y 2,05 unidades de pH respectivamente, valores inferiores al valor establecido en los LMP-2010, los cuales representan un alto grado de acidez.
- (ii) Las conductividades eléctricas fueron de 6040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, lo que indica que existe alta concentración de iones en solución, sin embargo, los LMP 2010 no establecen un valor para este parámetro.
- (iii) Las concentraciones totales de arsénico (7,0630 mg/L y 8,9291 mg/L), cadmio (0,50030 mg/L y 0,83090 mg/L), cobre (43,6976 mg/L y 65,4759 mg/L) y zinc (17,2944 mg/L y 23,3846 mg/L), así como las concentraciones disueltas de hierro (1065,774 mg/L y 1347,514 mg/L) excedieron los valores establecidos en los LMP 2010.

Por otro lado, la evaluación hidroquímica mostró que los flujos ARI-9 y ARI-10 fueron de tipo sulfatada cálcica con concentración de iones mayoritarios $< 120 \text{ meq/L}$ con pH altamente ácido y alto contenido de metales disueltos, presentando diferencia con los manantiales AF-05, MA-02 y MA-06 con concentraciones de iones mayoritarios $< 10 \text{ meq/L}$ que también fueron de tipo sulfatada cálcica con pH ácido y bajo contenido de metales (Figura 7.12 y Figura 7.13) por encontrarse en un contexto geológico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración; por lo tanto, se descarta que el flujo ARI-10 corresponda al agua de infiltración natural como indica Minera IRL en su documento de descargo.

Figura 7.12. Diagramas de Piper de los flujos ARI-9 y ARI-10 y de los manantiales evaluados en abril de 2023

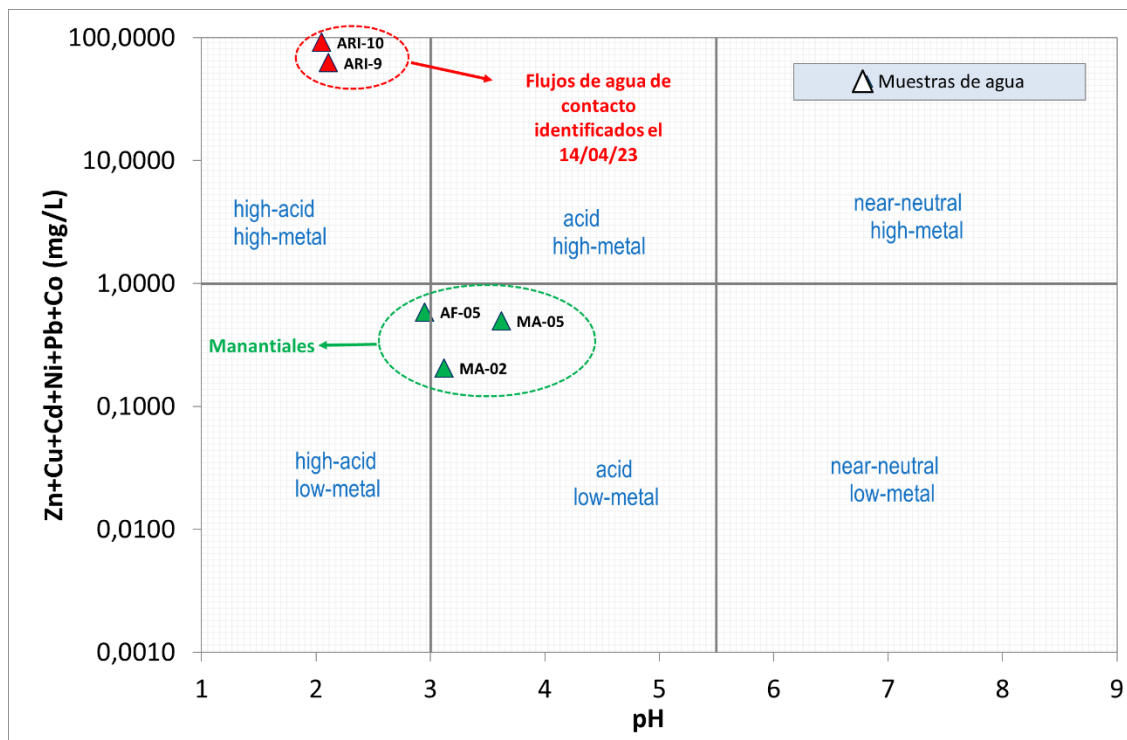


Figura 7.13. Diagrama de Ficklin de los flujos ARI-9 y ARI-10 y de los manantiales evaluados en abril de 2023

Además, el 29 de abril de 2023, se constató otro hecho similar (Figura 7.14), en el que un flujo de agua (Filtración1: coordenadas E437426; N8609996) proveniente del canal de contacto de la poza de tratamiento SP-02, descargó un flujo laminar de poco caudal hacia el suelo del bofedal Para Para, en donde solo se pudo medir datos de campo, registrando un valor de pH 2,18 unidades y conductividad eléctrica de 6350 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 7.14. a) Vista panorámica de la filtración 1 y b) Ubicación de la filtración 1 proveniente del empalme entre geomembranas canal de contacto de la poza de tratamiento SP-02

Fuente: Acta de supervisión de mayo 2023

La Segunda MEIA 2014, muestra los registros de precipitación en la UM Corihuarmi y se observa que los periodos de mayor precipitación se presentan entre los meses de diciembre a marzo, mientras que los meses de abril, setiembre, octubre y noviembre

aparecen como meses intermedios o transicionales, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.2.1.b

Precipitación total mensual en las estaciones consideradas

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Promedio Anual
Cosmos	99.4	95.2	92.5	47.7	23.1	4.7	8.2	15.2	33.0	49.9	52.8	95.5	617.2
Yauricocha	171.3	169.4	168.3	92.8	20.7	9.4	10.5	20.8	37.3	88.0	82.4	137.5	1008.4
Telepacha	124.2	141.0	105.9	35.9	10.8	4.4	5.7	15.7	21.7	40.1	53.9	66.3	625.6
Corihuarmi	157.0	140.2	116.3	70.6	14.9	3.4	1.6	10.3	25.5	63.1	90.5	127.3	820.6
Huichicocha	124.1	139.4	135.6	72.9	25.7	10.3	8.7	15.5	40.8	63.9	66.7	97.9	801.5
Cercapuquio	132.0	154.4	122.3	66.4	25.0	6.4	8.0	12.9	31.5	68.2	64.0	121.2	812.3

Fuente: Minera IRL S.A. Electro Perú S.A. y SENAMHI.

Elaboración: JGP Consultoría Perú SAC, 2012.

La identificación de los flujos ARI-9, ARI-10 (supervisión del 14 abril 2023) y filtración 1 (supervisión del 29 abril 2023), se realizó en época de transición, por lo que, ante un evento similar en época de lluvias, como es en los meses de diciembre a marzo, estos flujos sin tratamiento adecuado que provienen de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A respectivamente infiltrarían al suelo y a la quebrada Para Para (Figura 7.11 y Figura 7.14).

En ese sentido, se sugiere realizar acciones preventivas y correctivas, a fin de no repetir los hechos constatados, y no esperar al cese de las lluvias de la temporada 2022-2023 como indicó Minera IRL en su documento de descargo.

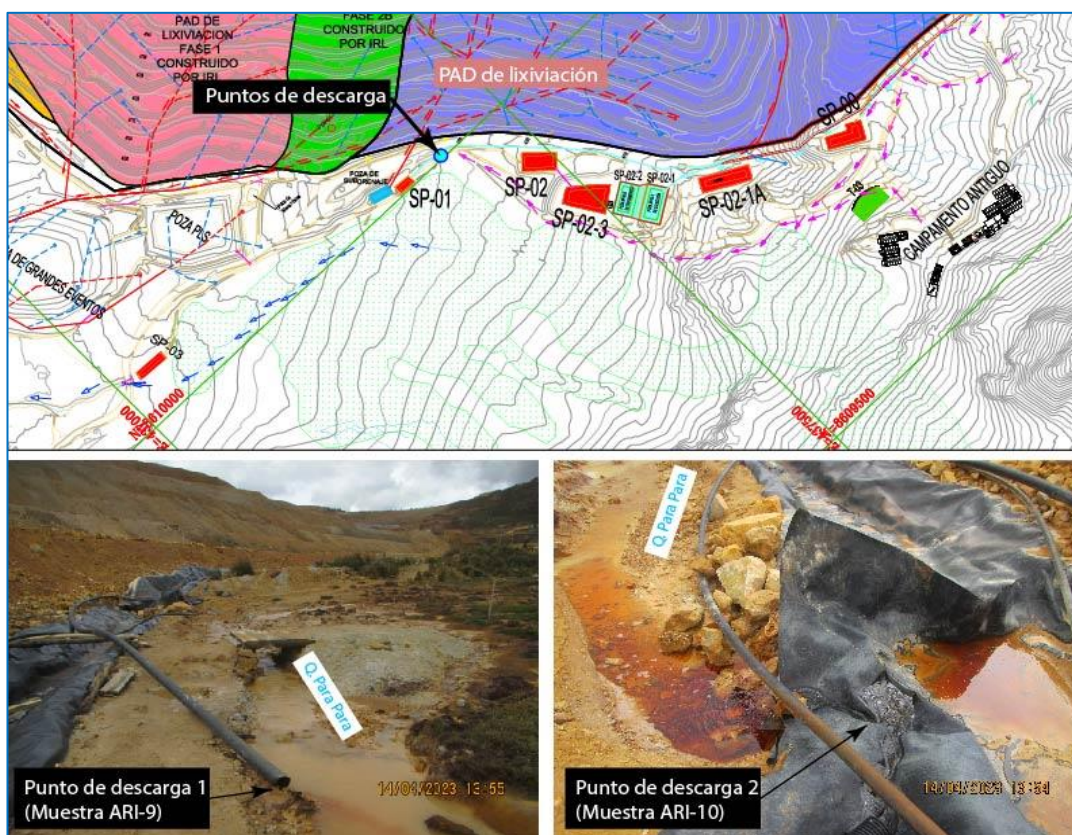


Figura 7.11 Punto de descarga no autorizada de aguas de contacto del sistema de tratamiento SP-03, hacia la quebrada Para Para

Fuente: Modificado del plano detallado sistema de subdrenaje PAD de lixiviación MIRL-SUBDF3Y4-001

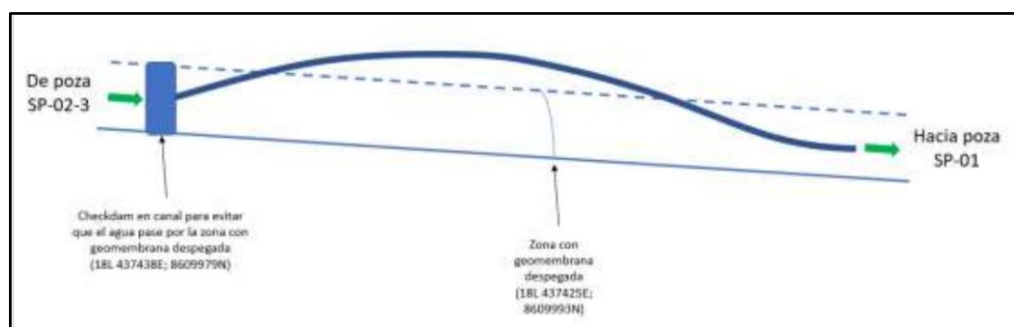
Del hecho constatado el 14 de abril de 2023, Minera IRL, en el informe de descargo remitido mediante HT 2023-E01-465854⁵⁴ indicó lo siguiente sobre las descargas ARI-9 y ARI-10:

«2. ARI-9

(...)

En el canal de geomembrana que conduce las aguas de la poza SP-02-3 hacia la poza SP-01, se encuentra un punto en el que la geomembrana esta despegada (18L 437425 E, 8609993N). Los trabajos de mantenimiento de canales y pozas se realizan únicamente en temporada seca dado que es necesario que no exista tránsito de agua para realizar los trabajos (Véase Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de pozas del sistema de tratamiento de agua).

Para evitar modificaciones no autorizadas en el punto vulnerable del canal, es que se ha realizado un checkdam con sacos de arena en el punto 18L 437438E, 8609979N, y en la base del checkdam se ha colocado una tubería de 4 pulgadas cuya función es captar las aguas del canal y conducir las hacia el mismo canal pasando por encima del punto 18L 437425 E, 8609993N; de esta forma se asegura que cualquier acción malintencionada en esta zona afecte el flujo del agua; de acuerdo con el siguiente esquema:



En la mañana del 14/04/2023 se evidencio que la tubería había sido movida fuera del canal por algún desconocido. Ante tal evidencia se procedió con colocar nuevamente la tubería en el canal que va desde SP-02 hacia SP-01 y al retiro del checkdam para evitar cualquier malinterpretación.

(...)

«3. ARI-10

(...)

Centímetros antes del punto de geomembrana despegada se encuentra la salida de una tubería corrugada la cual corresponde a la tubería de captación del agua de infiltración natural que va por la margen izquierda del canal que une al SP-02-3 con SP-01, que dado sus características acidas se ha canalizado para que ingresen al sistema SP-03 y no discurran naturalmente por el bofedal Para-Para; en esta zona de confluencia de la tubería corrugada al canal SP-02-3 – SP-01 el día 14/04/2023 se ha encontrado roca dentro del canal y por debajo de la geomembrana lo que genero que el agua de infiltración no pudiera continuar con su curso por el canal hacia la poza SP-01 para su control. Al identificarse esto, y en presencia de representantes del OEFA se retiro la roca del canal y el agua de infiltración volvió a ingresar al canal de geomembrana. Al cese completo de las lluvias de la



temporada 2022-2023 se realizará el pegado de la geomembrana para evitar que personas con malas intenciones manipulen y desvíen aguas que deben ingresar al tratamiento»

Al respecto, el Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03⁵⁵ menciona lo siguiente sobre el mantenimiento:

«3. MANTENIMIENTO SOBRE EL SISTEMA DE TRATAMIENTO SP-03

Inspección

La etapa de inspección consiste en realizar una revisión periódica del sistema de tratamiento de aguas ácidas para detectar posibles fallos, fugas, obstrucciones o cualquier otra situación que pueda afectar su funcionamiento. Durante esta etapa, se lleva a cabo una evaluación completa de las pozas y canales que componen el sistema, para asegurar que estén en buen estado y operando correctamente. La inspección se realiza durante todo el año, de acuerdo con el Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de Pozas del Sistema de Tratamiento de Agua (VER ANEXO 2).

Limpieza

La etapa de limpieza tiene como objetivo remover los sólidos y otros materiales acumulados en el sistema de tratamiento de aguas ácidas durante la temporada de lluvias. Este tipo de acumulaciones reduce la capacidad efectiva de los canales para conducir agua y de las pozas para almacenar y tratar agua, lo que puede reducir la eficiencia del sistema. Durante la limpieza, se utilizan bombas de lodo y cisterna para remover estos materiales de las pozas, y personal para retirar el sedimento acumulado en los canales, y así garantizar que el sistema pueda operar de manera adecuada. La limpieza se realiza únicamente durante la temporada seca, de acuerdo con el Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de Pozas del Sistema de Tratamiento de Agua (VER ANEXO 2).

Mantenimiento

La etapa de mantenimiento se enfoca en realizar las acciones necesarias para asegurar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas ácidas a largo plazo. Esto incluye la revisión y reemplazo periódico de los componentes que se desgastan con el tiempo, la calibración de los equipos de medición y control (bomba de agua, bomba de lodos, tableros eléctricos, grupo electrógeno) y reparación o cambio de geomembrana según se requiera. El mantenimiento se realiza durante el año en conformidad con lo recomendado por el área de mantenimiento de equipos, donde el mantenimiento de equipos se realiza 2 veces al año y el mantenimiento de geomembrana se realiza 2 veces al año. La frecuencia de mantenimiento del sistema se encuentra en el Programa de Inspección, Limpieza y Mantenimiento de Pozas del Sistema de Tratamiento de Agua (VER ANEXO 2).

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03 no menciona en sus ítems inspección, limpieza y mantenimiento el uso de checkdams con sacos de arena ni de tuberías con la finalidad de captar aguas del canal de geomembrana que unen las diferentes pozas que si forman parte del sistema de tratamiento descrito en el documento en mención; asimismo, dicho documento menciona que el mantenimiento incluye la revisión y reemplazo periódico de los componentes que se desgastan con el tiempo y reparación o cambio de geomembrana según se requiera; sin embargo, Minera IRL en el documento de descargo indicó que hubo geomembrana despegada y la presencia de una roca dentro de canal, lo cual evidencia que no se realizó las acciones necesarias de limpieza ni mantenimiento.

55
2023

Información remitida por Minera IRL mediante registro 2023-E01-465854 en atención al acta de cierre de abril



Así también, el programa de inspección, limpieza y mantenimiento de pozas del sistema de tratamiento de agua que forma parte del Anexo del Manual de Operación y Mantenimiento de Minera IRL precisa que los meses de limpieza de canales, lodos y pozas son en julio, setiembre y noviembre y los meses de mantenimiento de equipos, canales y geomembrana son en agosto y noviembre (Tabla 7.3). Cabe indicar que el programa es muy general y no especifica la limpieza ni el mantenimiento de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A que también forman parte del sistema de tratamiento SP-03; asimismo en el Anexo 7 del Requerimiento de información remitida por Minera IRL⁵⁶ tampoco se adjuntan las evidencias fotográficas de la limpieza de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A.

Tabla 7.3. Programa de limpieza y mantenimiento del sistema de tratamiento SP-03 en el 2022

Actividad		Meses				
		Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Limpieza	Canales	2da y 3era semana	----	2da y 3era semana	----	----
	Limpieza de lodos					
	Poza					
Mantenimiento	Equipos	----	3era semana	----	-----	3era semana
	Canales					
	Geomembrana					

Fuente: Adaptado del Anexo 7 – Requerimiento de información – HT 2023-E01-465854

Por otro lado, el Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03⁵⁷ menciona que el tratamiento del agua en las pozas SP-02-3 y SP-02-1A es de la siguiente manera:

«Poza SP-02-1

Es una poza proyectada la cual servirá para el tratamiento de las aguas provenientes de la poza SP-02-1A, el tratamiento se realizará mediante adición de lechada de cal y floculante; la lechada de cal se preparará en un tanque agitador de 5 m³ y el floculante se preparará en un tanque agitador de 1 m³

(...)

Poza SP-02-3

La poza SP-02-3 se emplea actualmente como poza de tratamiento del sistema SP-03 y recibe las aguas provenientes de la poza SP-02-1A, el tratamiento se realiza mediante adición de lechada de cal y floculante; la lechada de cal se preparará en un tanque agitador de 5 m³ y el floculante se preparará en un tanque agitador de 1 m³»

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03 menciona que el tratamiento del agua ácida se realiza con adición de lechada de cal, por lo que se esperaría que el pH del efluente SP-03, que es la última poza del sistema de tratamiento, fuera cercano a la neutralidad y presente conductividad eléctrica baja, ello es concordante con lo reportado por Minera IRL en enero y febrero 2023 (Tabla

⁵⁶ Información remitida mediante HT 2023-E01-465854

⁵⁷ Información remitida por Minera IRL mediante registro 2023-E01-465854 en atención al acta de cierre de abril 2023



7.4). Sin embargo en la supervisión del 1 marzo de 2023, se constató que este efluente de 0,406 L/s con 2,23 unidades de pH, y con concentraciones totales de arsénico, cobre, zinc y hierro disuelto que incumplieron los LMP 2010; además presentó una conductividad eléctrica de 4810 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y discurría a la quebrada Para Para (cabecera del río Chacote), el detalle de dicho incumplimiento se describió en el Informe N.º145-2023-OEFA-DEAM-STEC remitido mediante Memorando N.º397-2023-OEFA/DEAM a la DSEM-CMIN el 12 de junio de 2023..

Los valores registrados en la supervisión del 1 de marzo 2023, en el efluente SP-03, fueron similares a los valores reportados por Minera IRL el 28 de febrero de 2023 y también a los valores registrados en los flujos ARI-9 y ARI-10 el 14 de abril de 2023 a las 14:45 hrs y 15:10 hrs provenientes de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A respectivamente y que forman parte del sistema de tratamiento SP-03 (Tabla 7.1).

Tabla 7.4. Parámetros de campo registrados en el efluente SP-03 y en las descargas ARI-9 y ARI-10 en el 2023

Entidad	Código	Fecha	Unidades de pH	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Minera IRL	SP-03	10/01/2023	6,99	800
		15/01/2023	7,03	748
		19/01/2023	7,40	800
		21/01/2023	6,56	953
		22/01/2023	7,89	653
		30/01/2023	6,59	1023
		5/02/2023	6,50	1042
		10/02/2023	7,01	946
		28/02/2023	2,35	5150
OEFA	SP-03	01/03/2023	2,23	4810
	ARI-9	14/04/2023	2,11	6040
	ARI-10	14/04/2023	2,05	8000

Fuente:

Anexo 4 – Información remitida por Minera IRL mediante HT 2023-E01-465854

Acta de cierre de febrero 2023

Acta de cierre de abril 2023

De acuerdo con el Artículo 16° del Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero, aprobado por Decreto Supremo N.º 040-2014-EM (en adelante, RPGAAE), el titular de la actividad minera es responsable de las emisiones, efluentes, vertimientos, residuos sólidos, ruido, vibraciones y cualquier otro aspecto de sus operaciones, así como de los impactos ambientales que pudieran generarse durante todas las etapas de desarrollo del proyecto, en particular de aquellos impactos y riesgos que excedan los límites máximos permisibles (LMP) y afecten los estándares de calidad ambiental (ECA), que les sean aplicables o afecten al ambiente y la salud de las personas.

Considerando el párrafo precedente, los resultados de campo y laboratorio de los flujos ARI-9 y ARI-10 fueron comparados con los LMP 2010, de acuerdo con lo establecido en su compromiso ambiental de la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del PAD de lixiviación Fase 4 y tajos de la unidad minera Corihuarmi, sustentado en el Informe N°1252-2014-MEM-DGAAM/DGAM/DNAM/A de fecha 05 de noviembre de 2015, aprobado mediante Resolución Directoral N° 617-2014-EM/DGAAM de fecha 23 de diciembre del 2014. Se desprende lo siguiente:



- (iv) Los flujos ARI-9 y ARI-10 presentaron 2,11 y 2,05 unidades de pH respectivamente, valores inferiores al valor establecido en los LMP-2010, los cuales representan un alto grado de acidez.
- (v) Las conductividades eléctricas fueron de 6040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, lo que indica que existe alta concentración de iones en solución, sin embargo, los LMP 2010 no establecen un valor para este parámetro.
- (vi) Las concentraciones totales de arsénico (7,0630 mg/L y 8,9291 mg/L), cadmio (0,50030 mg/L y 0,83090 mg/L), cobre (43,6976 mg/L y 65,4759 mg/L) y zinc (17,2944 mg/L y 23,3846 mg/L) así como las concentraciones disueltas de hierro (1065,774 mg/L y 1347,514 mg/L) excedieron los valores establecidos en los LMP 2010.

Por otro lado, la evaluación hidroquímica mostró que los flujos ARI-9 y ARI-10 fueron de tipo sulfatada cálcica con concentración de iones mayoritarios $< 120 \text{ meq/L}$ con pH altamente ácido y alto contenido de metales disueltos, presentando diferencia con los manantiales AF-05, MA-02 y MA-06 con concentraciones de iones mayoritarios $< 10 \text{ meq/L}$ que también fueron de tipo sulfatada cálcica con pH ácido y bajo contenido de metales (Figura 7.12 y Figura 7.13) por encontrarse en un contexto geológico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración; por lo tanto se descarta que el flujo ARI-10 corresponda al agua de infiltración natural como indica Minera IRL en su documento de descargo.

Figura 7.12. Diagramas de Piper de los flujos ARI-9 y ARI-10 y de los manantiales evaluados en abril de 2023



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

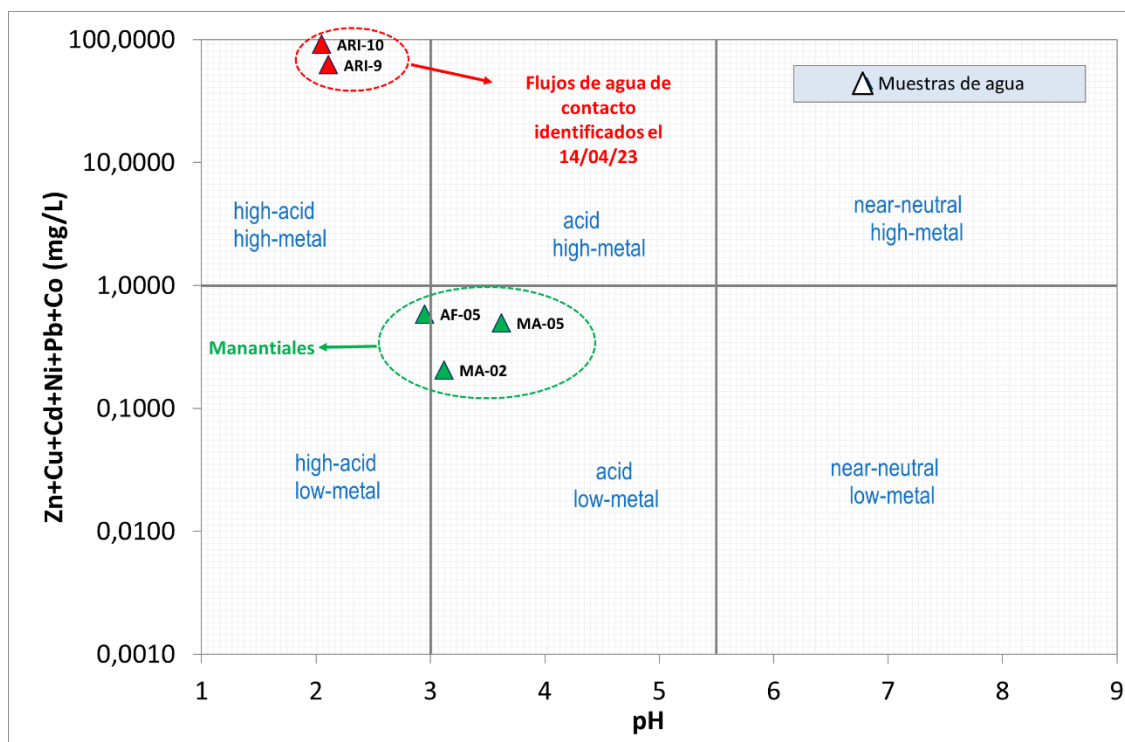


Figura 7.13. Diagrama de Ficklin de los flujos ARI-9 y ARI-10 y de los manantiales evaluados en abril de 2023

La Segunda MEIA 2014, muestra los registros de precipitación en la unidad minera y se observa que los periodos de mayor precipitación se presentan entre los meses de diciembre a marzo, mientras que los meses de abril, setiembre, octubre y noviembre aparecen como meses intermedios o transicionales, tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.2.1.b

Precipitación total mensual en las estaciones consideradas

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total Promedio Anual
Cosmos	99.4	95.2	92.5	47.7	23.1	4.7	8.2	15.2	33.0	49.9	52.8	95.5	617.2
Yauricocha	171.3	169.4	168.3	92.8	20.7	9.4	10.5	20.8	37.3	88.0	82.4	137.5	1008.4
Telepacha	124.2	141.0	105.9	35.9	10.8	4.4	5.7	15.7	21.7	40.1	53.9	66.3	625.6
Corihuarimi	157.0	140.2	116.3	70.6	14.9	3.4	1.6	10.3	25.5	63.1	90.5	127.3	820.6
Huichicocha	124.1	139.4	135.6	72.9	25.7	10.3	8.7	15.5	40.8	63.9	66.7	97.9	801.5
Cercapuquio	132.0	154.4	122.3	66.4	25.0	6.4	8.0	12.9	31.5	68.2	64.0	121.2	812.3

Fuente: Minera IRL S.A. Electro Perú S.A. y SENAMHI.

Elaboración: JGP Consultoría Perú SAC, 2012.

La identificación de los flujos ARI-9 y ARI-10, el 14 de abril de 2023, se realizó en época de transición, por lo que, ante una situación similar en época de lluvias, como es en los meses de diciembre a marzo, estos flujos sin tratamiento adecuado que provienen de las pozas SP-02-3 y SP-02-1A respectivamente infiltrarían al suelo debido a que el canal de geomembrana se encontraba sin mantenimiento (despegada). En tal sentido, las actividades de mantenimiento deben realizarse de manera mensual, a fin de prevenir el hecho constatado el 14 de abril de 2023 y no al

cese completo de las lluvias de la temporada 2022-2023 como indicó Minera IRL en su documento de descargo.

7.1.3. Subzona 3: Taller de maquinas –Bofedal Para Para

El análisis de resultados en esta subzona se realizó en base a dos aspectos:

- Aspecto 1: Análisis del origen de los afloramientos de aguas ácidas identificados aledaños a la poza SP-04 (lado sur del taller de maquinaria pesada) y su conducción al sistema de tratamiento de aguas de contacto.
- Aspecto 2. Análisis de la influencia de la descarga del canal de aguas de contacto sobre el estado del bofedal Para Para.

Para ello, el análisis consideró la caracterización geoquímica de los materiales aledaños al Tajo Cayhua (CM-CAY01) y a la poza P-04A (CM-P4A y CM-MAT1), prospección geofísica de 2 líneas, caracterización de aguas de contacto (ARI-8 y CA-PAR-01) y afloramientos ARI-7 y ARI-10; y en el bofedal Para Para se analizó la calidad del suelo, aguas superficiales, sedimento y comunidades hidrobiológicas en el área de potencial Interés, los cuales fueron comparados con el área control. El análisis fue complementado con caracterización geológica y geoquímica de las rocas y depósitos cuaternarios (Figura 7.2).

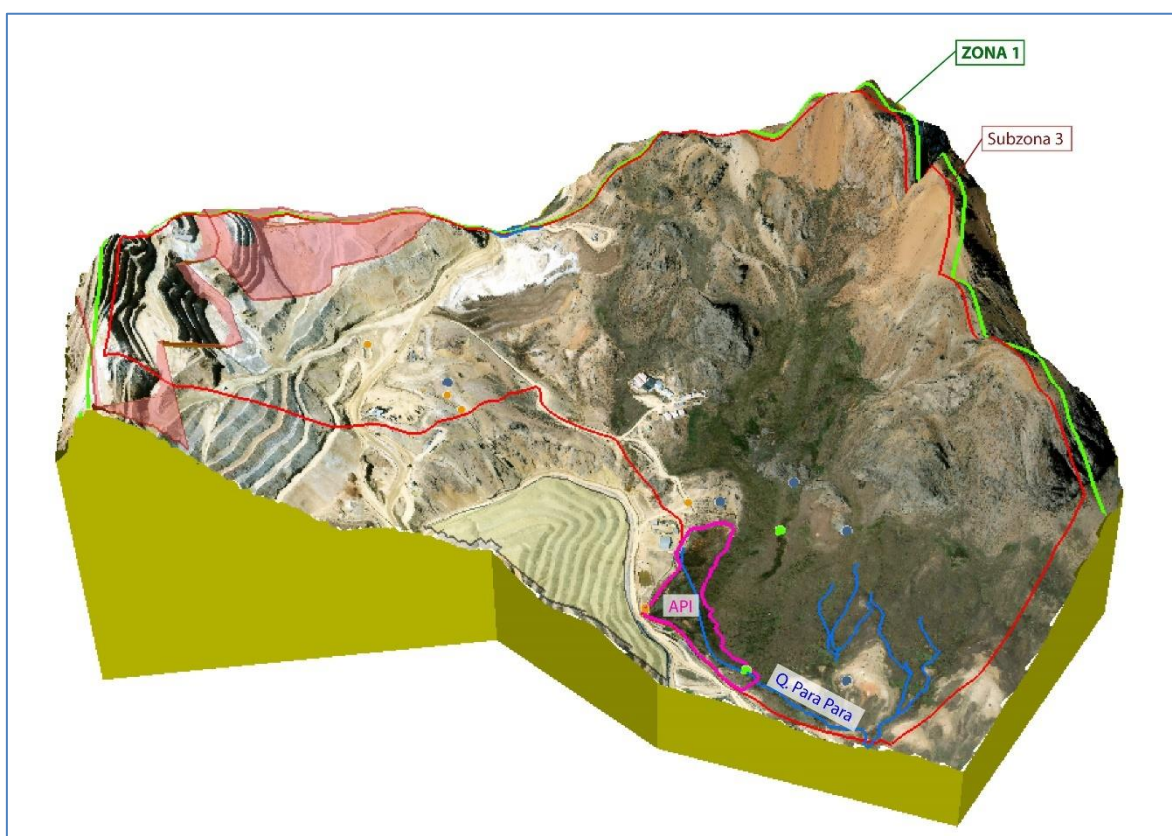


Figura 7.3. Matrices y puntos analizados en la discusión de la subzona 3.

Según la 2MEIA (2014) el lado sur y suroeste del PAD de lixiviación cuenta con un sistema de canales para el manejo de aguas de escorrentía provenientes del tajo Cayhua, Haul Road (vías de acarreo), **Taller de equipos**, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo, que previamente cuenta con un sistema de canales perimetrales, trampas de grasa y

pozas de sedimentación (sistema de tratamiento SP-03). Las aguas provenientes de la poza SP-04, TG-02, SP-09 (poza chancadora), SP-06 y cunetas del Haul road llegan a la poza SP-05 y de ahí son derivadas a las pozas SP-00⁵⁸ y SP-02 donde se inicia el tratamiento de las aguas de contacto; posteriormente estas aguas pasan a la poza SP-01 donde se juntan con las aguas del canal adyacente a la cancha de volatilización, almacén N.º 02 y a la trampa de grasas TG-04 (detrás de la cancha de volatilización); finalmente, estas aguas pasan a la poza SP-03 para su tratamiento final, antes de ser descargado al río Chacote como efluente minero SP-03.

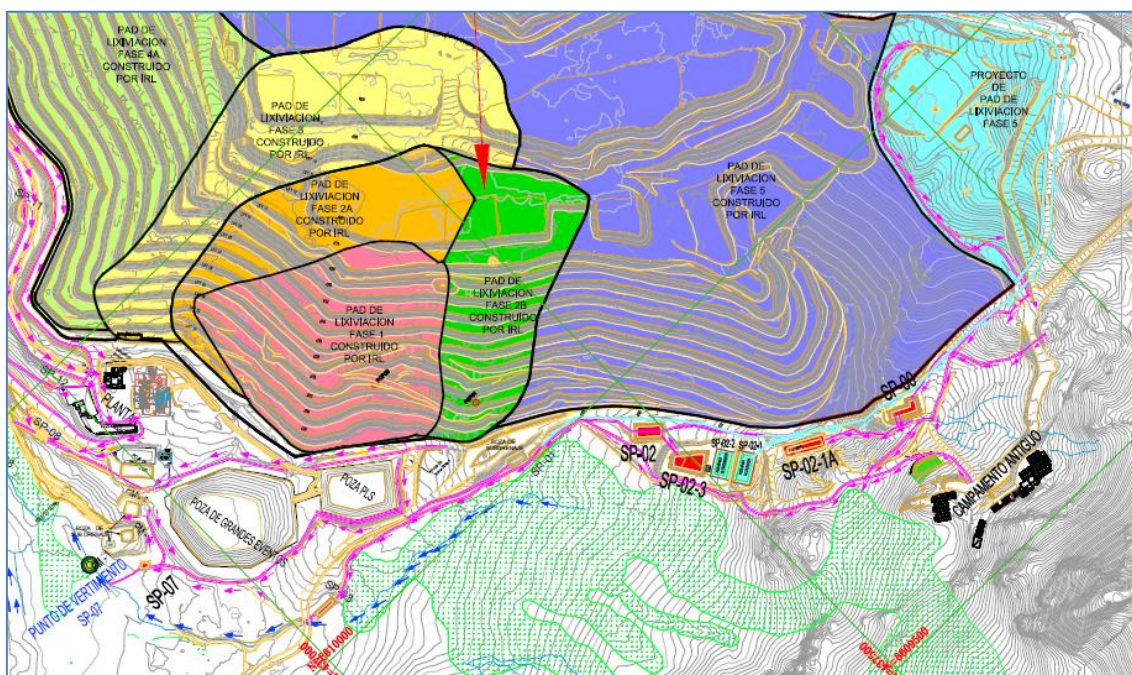


Figura 7.4. Sistema de tratamiento de aguas de contacto SP-03, ubicado en el lado sur y sureste del PAD de lixiviación.

Fuente: XXX

A continuación, se desarrolla el análisis del origen de los afloramientos de aguas ácidas identificado alrededor de la poza SP-04 y a la influencia de estos flujos en el estado del bofedal Para Para.

Aspecto 1: Análisis del origen de los afloramientos de aguas ácidas identificados alrededor de la poza SP-04 (lado sur del taller de maquinaria pesada) y su conducción al sistema de tratamiento de aguas de contacto.

Los flujos de aguas ácidas ARI-7 y ARI-10 identificados alrededor de la poza SP-04 (lado sur del taller de maquinaria pesada) se ubican en los taludes inferiores de la estructura de contención de la poza SP-04 y del material depositados como botadero en la ladera sur del taller de maquinaria pesada.

Las secciones de las líneas geofísicas TE-P4A-01 y TE-P4A-02 mostraron zonas con muy baja resistividad (menor a 25 ohm.m) relacionados a materiales saturados con aguas que contienen elevadas concentraciones de sales y/o presencia de arcillas (Figura CC).

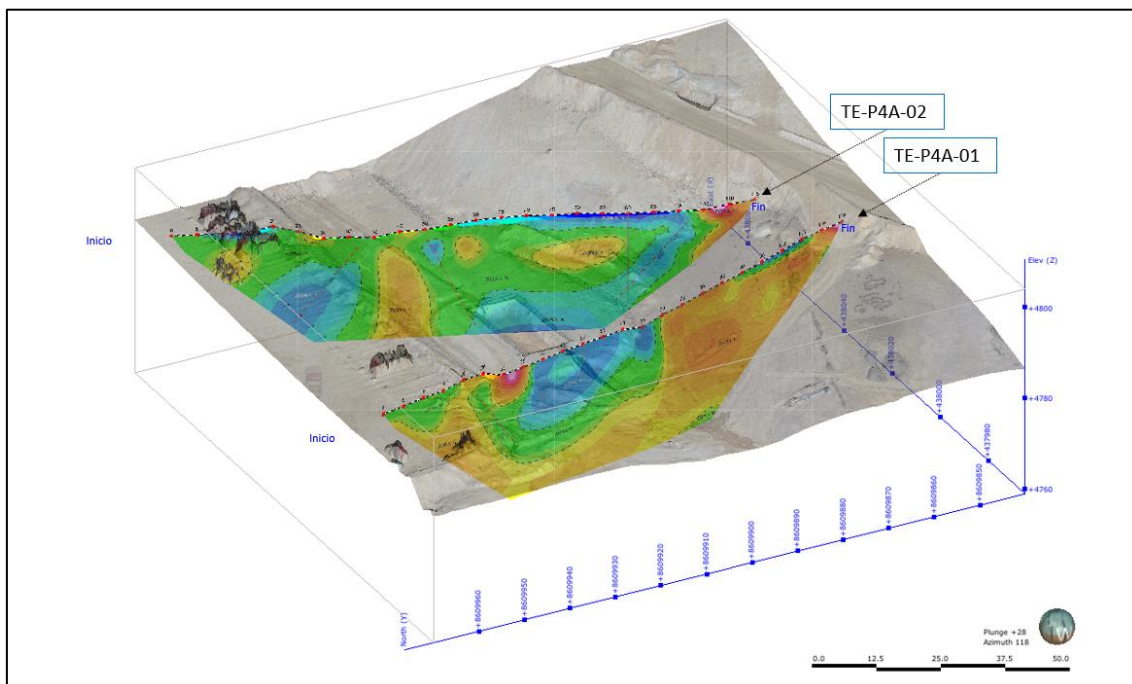


Figura XX: Modelo 3D del sector 1: Poza P-04a-- lado sur del taller de maquinaria pesada líneas de Tomografía eléctrica TE-P4A-01 y TE-P4A-02.

Los materiales (CM-P4A y CM-MAT1) consiste en bloques de rocas volcánicas silicificadas y argilizadas con sulfuros, cuya composición mineralógica consta de alunita, pirita (2,8 %), pirofilita, lepidocrocita y feldespatos potásicos, con concentraciones elevadas de mercurio, molibdeno, selenio, arsénico y plomo (ambos puntos), y de hierro, cadmio, talio y zinc (punto CM-MAT1). La composición litológica y mineralógica clasificó a estos materiales como «generadores de drenaje ácido» de alto porcentaje de azufre y pH en pasta ácido (2,31 a 3,43 unidades de pH), con potencial para lixiviar aluminio, **hierro, cobre, zinc, arsénico, cadmio**, manganeso, plomo y sulfatos.

En concordancia con la caracterización geoquímica –pruebas estáticas– de los materiales CM-P4A y CM-MAT1, las aguas ácidas ARI-7 y ARI-10 presentaron valores de pH de 2,25 y menor a 2 unidades, y las concentraciones totales de cobre (32,7042 mg/L y 94,9412 mg/L), zinc (0,50030 mg/L y 0,83090 mg/L) así como las concentraciones disueltas de hierro (12,1361 mg/L y 33,0707 mg/L) excedieron los valores establecidos en los LMP 2010. Solamente el flujo ARI-10* registró concentraciones totales de arsénico (10,6019 mg/L), cadmio (0,69430 mg/L) y de sólidos totales en suspensión (108,3 mg/L) que superaron la norma en mención.

Influencia del agua de contacto en el bofedal Para Para

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento SP-03⁵⁹, indica lo siguiente:

«2. OPERACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO SP-03



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

El sistema SP-03 corresponde al sistema de tratamiento para el manejo de aguas de escorrentía provenientes del tajo Cayhua, Haul Road, Taller de equipos, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo; que previamente cuenta con un sistema de canales perimetrales, trampas de grasa y pozas de sedimentación.

2.1. Canales para aguas de contacto

El sistema de canales del SP-03 abarcan las vías de tajo Cayhua, Haul Rodal, taller de equipos, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo, todas estas aguas son derivadas a través del sistema de manejo de aguas donde ingresan a la poza SP-00 para iniciar el tratamiento de las aguas de contacto.»

Al respecto, durante la supervisión del 1 de marzo de 2023 (etapa de reconocimiento), se identificó efluentes de aguas residuales industriales ácidas provenientes de filtraciones captadas por un sistema de subdrenaje enrocado, ubicado entre la base del talud del óvalo de acceso al PAD de lixiviación y una poza colectora de aguas ácidas, que mediante un canal de tierra (ARI-7), cuyas aguas presentaron arsénico, cadmio, cobre, zinc, así como hierro disuelto que excedieron los valores del LMP 2010, confluían y se mezclaban con otros flujos de aguas de contacto que provenían de la zona del taller de equipos. Estas aguas ya mezcladas con el ARI-7 drenaban por canales de tierra hasta el punto ANC1 (considerado como agua de contacto) en donde confluían con aguas de no contacto provenientes de laderas (punto ANC2) y de bofedales (punto ANC3) para luego, mediante una tubería, juntar las aguas mencionadas (punto ANC4) y derivarlas por un canal de tierra (CA-CHA-01), cuyas aguas registraron pH ácido (2,59) y CE de 1671 uS/cm hasta descargar directamente sobre el bofedal «Para Para» (Figura 1). El detalle de dicho incumplimiento se describió en el Informe N.º145-2023-OEFA-DEAM-STEC remitido mediante Memorando N.º397-2023-OEFA/DEAM a la DSEM-CMIN el 12 de junio de 2023.





PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

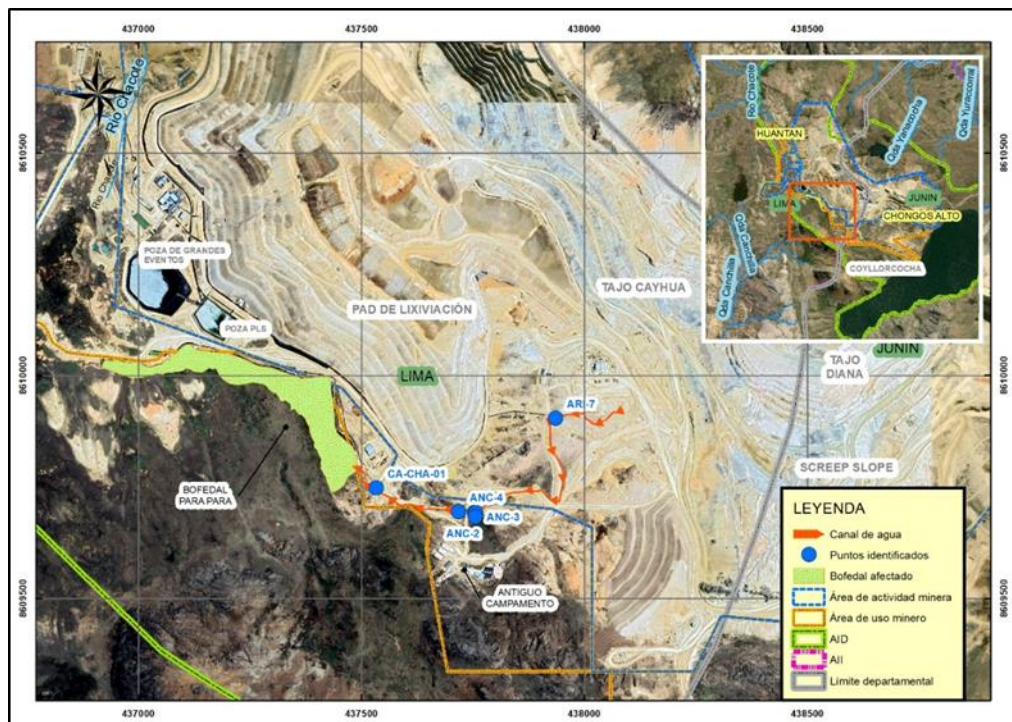


Figura 1. a) Aguas de contacto (ANC1) proveniente del ARI-07 y de no contacto provenientes de laderas (ANC2) y de bofedales (ANC3), para luego, mediante una tubería juntar las aguas mencionadas (ANC4) y **b)** canal de tierra (CA-CHA-01) con aguas que descarga al Bofedal Para Para, y, **c)** Plano de ubicación de los puntos y bofedal Para.

Posteriormente, durante la supervisión del 14 y 15 de abril de 2023 (etapa de ejecución), se realizó nuevamente la toma de muestras del punto ARI-7, CA-CHA-01 que fue codificado como CA-PAR-01 y durante la supervisión del 2 de mayo de 2023 (etapa de ejecución) se realizó la toma de muestra de un punto de agua residual industrial (ARI-10*) identificado en el sector del PAD de lixiviación, aguas abajo del Tajo Cayhua, que provenía de una tubería HDPE de 4 pulgadas corrugada la cual estaba enterrada y cuyo flujo discurría hacia el canal de tierra mencionado anteriormente (CA-PAR-01) (Figura 2 y Figura 3).

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

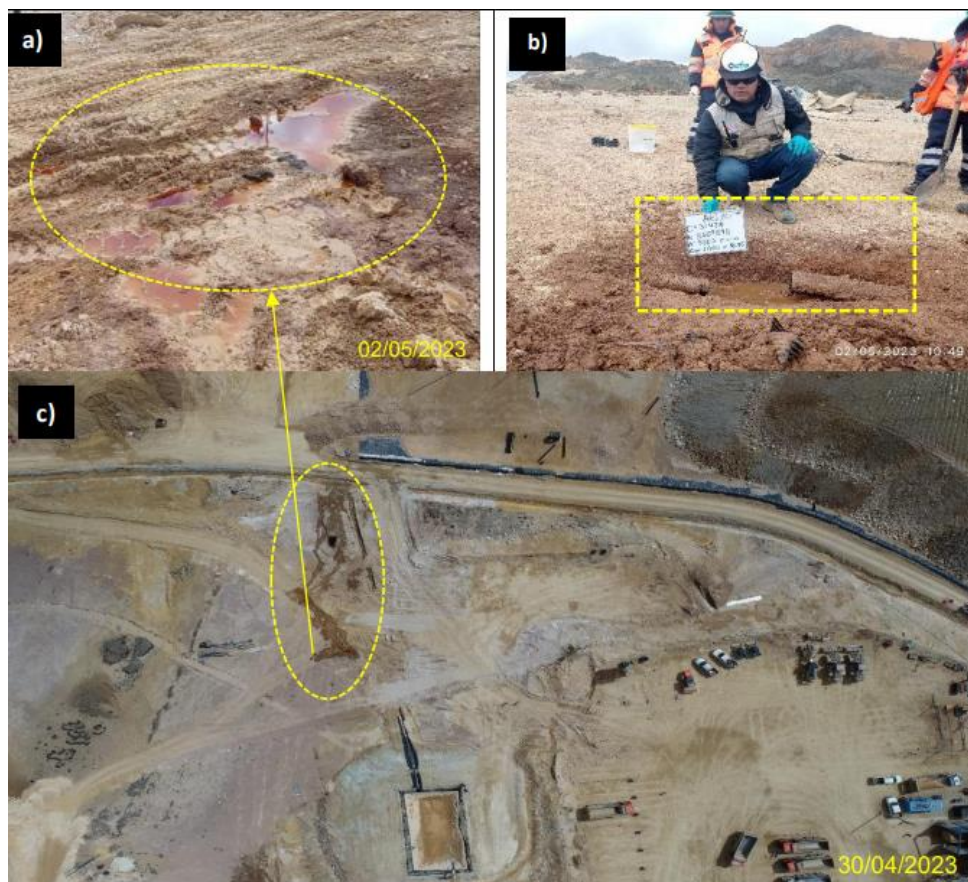


Figura 2. a) Agua residual industrial en el sector del PAD de lixiviación – ARI-10*, **b)** Constatación del origen del ARI-10* proveniente de la ruptura de tubería corrugada HDPE y **c)** Vista ortogonal DJI0612, obtenida el 30 de abril de 2023 por el OEFA (tarjeta de registro 01565)

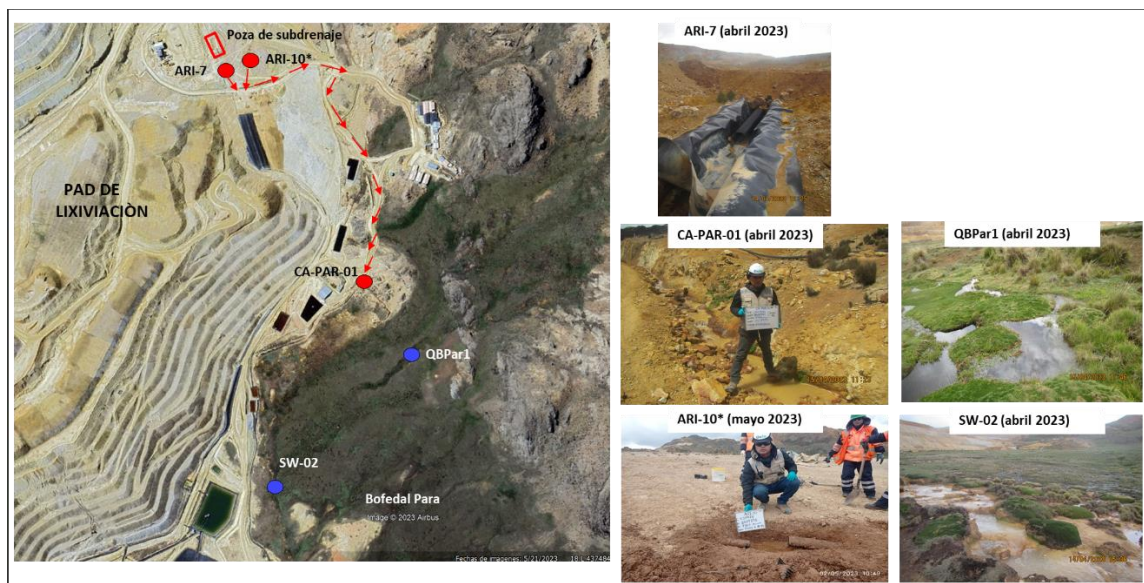


Figura 3. Ubicación de los puntos de agua residual industrial (ARI-7 y ARI-10*) captados por un canal de tierra (CA-PAR-01) y los puntos de agua superficial evaluados en la quebarda y bofedal Para



De acuerdo con el Artículo 16° del Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero, aprobado por Decreto Supremo N.° 040-2014-EM (en adelante, RPGAAE), el titular de la actividad minera es responsable de las emisiones, efluentes, vertimientos, residuos sólidos, ruido, vibraciones y cualquier otro aspecto de sus operaciones, así como de los impactos ambientales que pudieran generarse durante todas las etapas de desarrollo del proyecto, en particular de aquellos impactos y riesgos que excedan los límites máximos permisibles (LMP) y afecten los estándares de calidad ambiental (ECA), que les sean aplicables o afecten al ambiente y la salud de las personas.

Considerando el párrafo precedente, los resultados de campo y laboratorio de los flujos ARI-7 y ARI-10* fueron comparados con los LMP 2010, de acuerdo con lo establecido en su compromiso ambiental de la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental para la Ampliación del PAD de lixiviación Fase 4 y tajos de la unidad minera Corihuarmi, sustentado en el Informe N°1252-2014-MEM-DGAAM/DGAM/DNAM/A de fecha 05 de noviembre de 2015, aprobado mediante Resolución Directoral N° 617-2014-EM/DGAAM de fecha 23 de diciembre del 2014. Se desprende lo siguiente:

(vii) El flujo ARI-7 presentó 2,25 unidades de pH, valor inferior al valor establecido en los LMP 2010, lo cual representa un alto grado de acidez. El flujo ARI-10* registró lectura fuera de rango, por lo que no se comparó con los LMP 2010.

(viii) Las conductividades eléctricas fueron de 5400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 13400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, lo que indica que existe alta concentración de iones en solución, sin embargo, los LMP 2010 no establecen un valor para este parámetro.

(ix) En ambos flujos, las concentraciones totales de cobre (32,7042 mg/L y 94,9412 mg/L), zinc (0,50030 mg/L y 0,83090 mg/L) así como las concentraciones disueltas de hierro (12,1361 mg/L y 33,0707 mg/L) excedieron los valores establecidos en los LMP 2010. Solamente el flujo ARI-10* registró concentraciones totales de arsénico (10,6019 mg/L), cadmio (0,69430 mg/L) y de sólidos totales en suspensión (108,3 mg/L) que superaron la norma en mención.

Por otro lado, la evaluación hidroquímica mostró que los flujos ARI-7 y ARI-10* fueron de tipo sulfatada cálcica con concentración de iones mayoritarios < 160 meq/L con pH altamente ácido y alto – extremo contenido de metales disueltos, presentando diferencia con el punto QBPar1 con concentraciones de iones mayoritarios < 10 meq/L con pH cercano a la neutralidad y bajo contenido de metales (Figura 4 y Figura 5) por encontrarse en un contexto geológico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración con presencia de materiales cuaternarios; por lo tanto se descarta que los flujos mencionados correspondan a flujos naturales.

En cuanto a la evaluación hidroquímica del punto CA-PAR-01 en abril 2023 (etapa de ejecución), ubicado en el canal que captó las aguas provenientes de los flujos ARI-7 y ARI-10*, se indica que también fue de tipo sulfatada cálcica pero con concentración de iones mayoritarios < 10 meq/L, ello se debe a que dicho canal no solo recibió los flujos ARI-7 y ARI-10* (aguas de contacto) sino también los flujos de escorrentía superficial de la lluvia de temporada u otros aspectos lo que ocasionó que las concentraciones de iones mayoritarios disminuyan considerablemente; sin embargo no se descarta que en época seca, este canal solamente transporte flujos de agua de contacto puesto que en marzo 2023 (etapa de reconocimiento), se registró un pH más ácido (2,59 unidades de pH) y una mayor CE (1671 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en comparación a abril 2023 (3,19 unidades de pH y CE de 725 $\mu\text{S}/\text{cm}$), lo que demuestra que las aguas de este canal presentan variabilidad de parámetros de campo a pesar de ser una misma temporada de lluvias.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

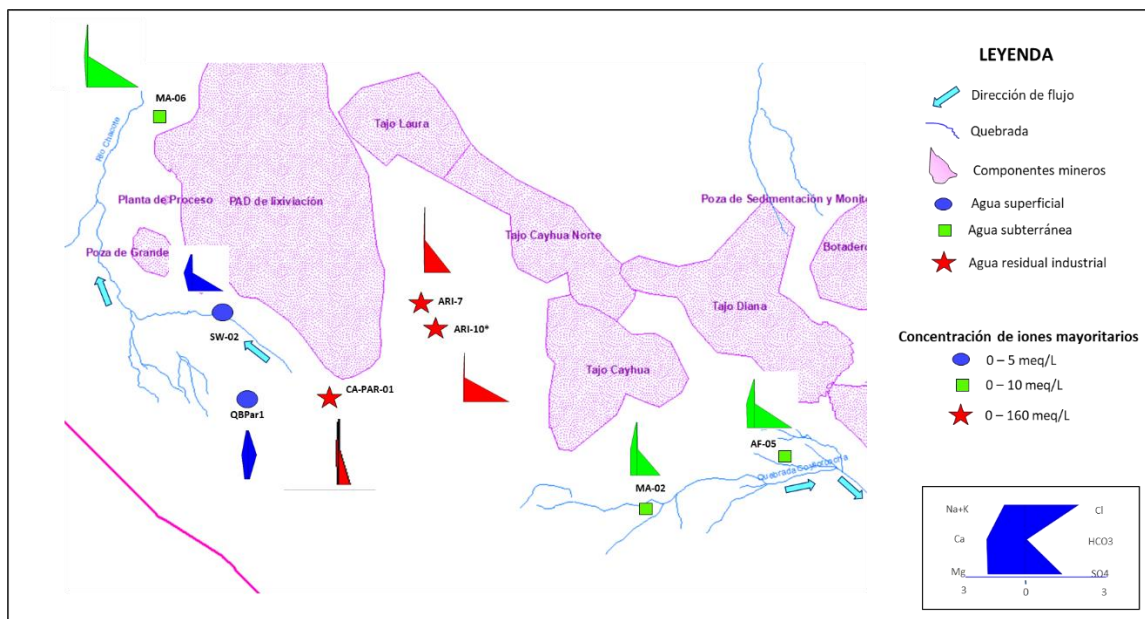


Figura 4. Diagramas de Stiff de los flujos ARI-7 y ARI-10* y de los manantiales evaluados en abril y mayo de 2023

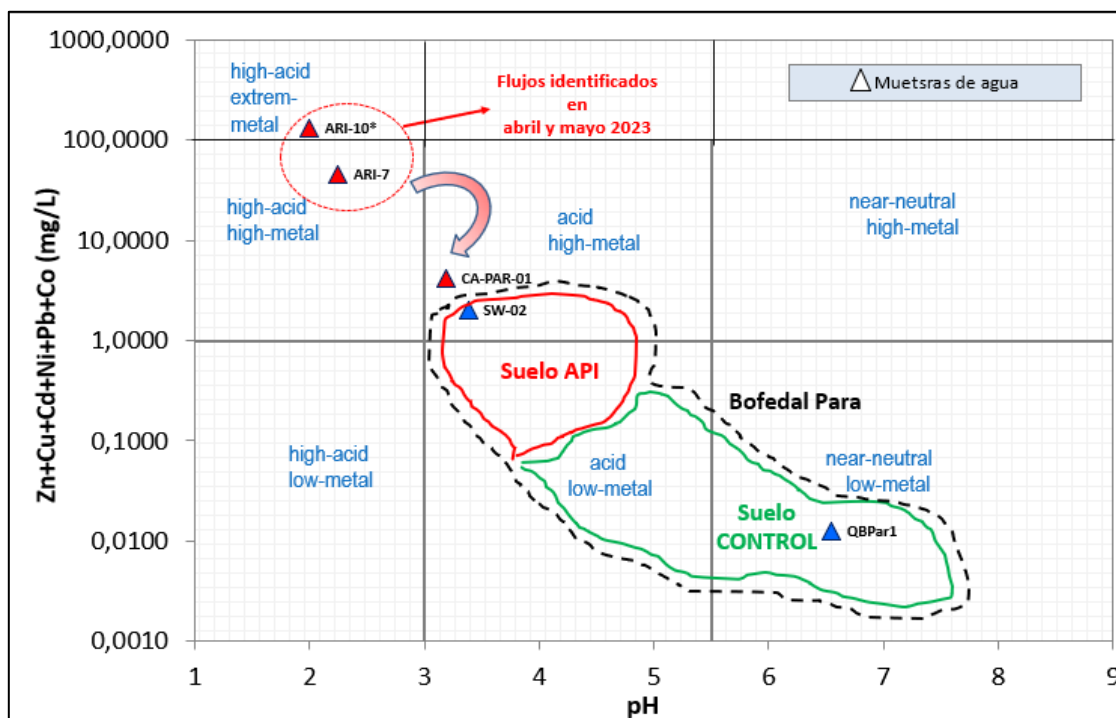


Figura 5. Diagrama de Ficklin de los flujos ARI-7 y ARI-10* y de los manantiales evaluados en abril y mayo de 2023

Minera IRL en el documento de descargo con HT 2023-E01-471230 menciona lo siguiente sobre el flujo ARI-10*:

El flujo detectado cualquiera que fuese día y hora del evento, se encuentra en el área de actividad minera, se encuentra dentro de un sistema de contención, es captado y tratado



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

en el sistema de tratamiento SP-03, por consiguiente, no genera ni puede generar un deterioro al ambiente.

(...)

La zona cuenta con un sistema de manejo de aguas de subdrenaje (Sistema de Subdrenaje del PAD de Lixiviación), cuyas aguas captadas y derivadas al sistema de tratamiento SP-03.

En este punto, es preciso indicar que Minera IRL reportó pH cercanos a la neutralidad en el punto SW-02 (ubicado en la quebrada Para Para - cabecera del río Chacote a 130 m aproximadamente del sistema de tratamiento SP-03) durante el periodo 2018 – 2020, dicha condición es anómala para este cuerpo de agua puesto que el contexto geológico de alta sulfuración le otorga condiciones de acidez tal como se registró en la línea base (4,99 y 2,94 unidades de pH en marzo y setiembre 2013) por lo que se infiere que la única fuente de agua con pH cercanos a la neutralidad provendrían de las pozas de tratamiento del sistema SP-03. Por otro lado, durante el periodo 2021 – 2022, Minera IRL reportó pH ácidos nuevamente (Figura 6); que si bien fueron valores similares a la línea base, no se descarta que también correspondan a flujos de agua de contacto tal como se constató con las descargas ARI-9 y ARI-10 en la supervisión de abril 2023 y cuyo detalle se desarrolló en el ítem XXX del presente documento.

Justamente las aguas de contacto ARI-9 y ARI-10 identificadas en abril 2023 así como las aguas de contacto ARI-7 y ARI-10* identificadas en mayo 2023 presentaron altas y extremas concentraciones de metales disueltos debido al pH altamente ácido del agua, dicha tendencia también se refleja en los puntos CA-PAR-01 (canal de tierra) y SW-02 (quebrada Para Para) en comparación al punto QBPar1 (bofedal Para) que se encuentra en el mismo contexto geológico de alta sulfuración con presencia de material cuaternario pero sin influencia antrópica, la cual registró pH cercano a la neutralidad pero con baja concentración de metales disueltos, por lo que el tipo de agua fue bicarbonatada cálcica con concentración de iones mayoritarios < 5 meq/L con concentraciones totales de metales que no superaron los ECA para agua 2008 Cat.3 (Figura 7).

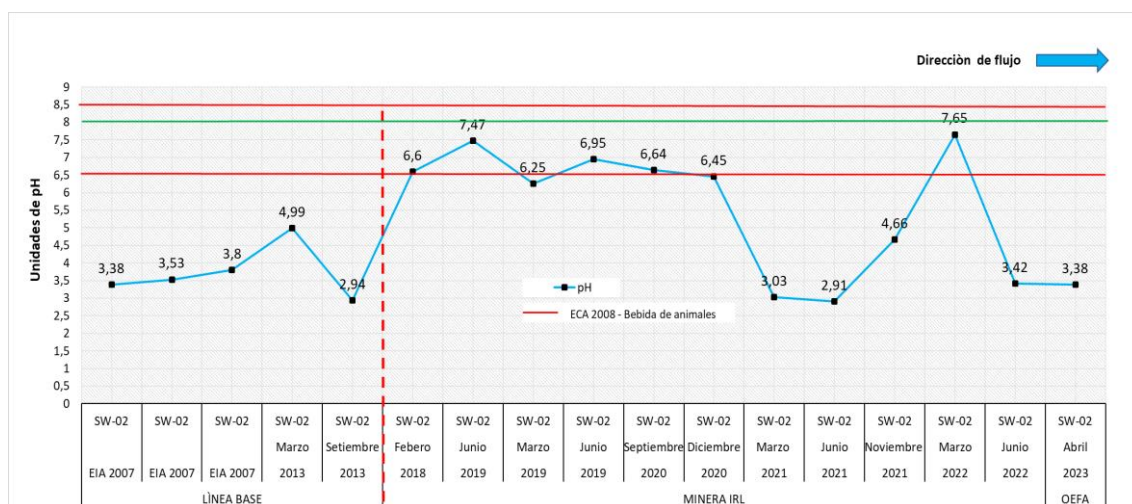


Figura 6. Condiciones de pH en la quebrada Para Para (SW-02) registradas desde la línea base hasta abril 2023 (3 datos indicar fechas 2005 y 2006)

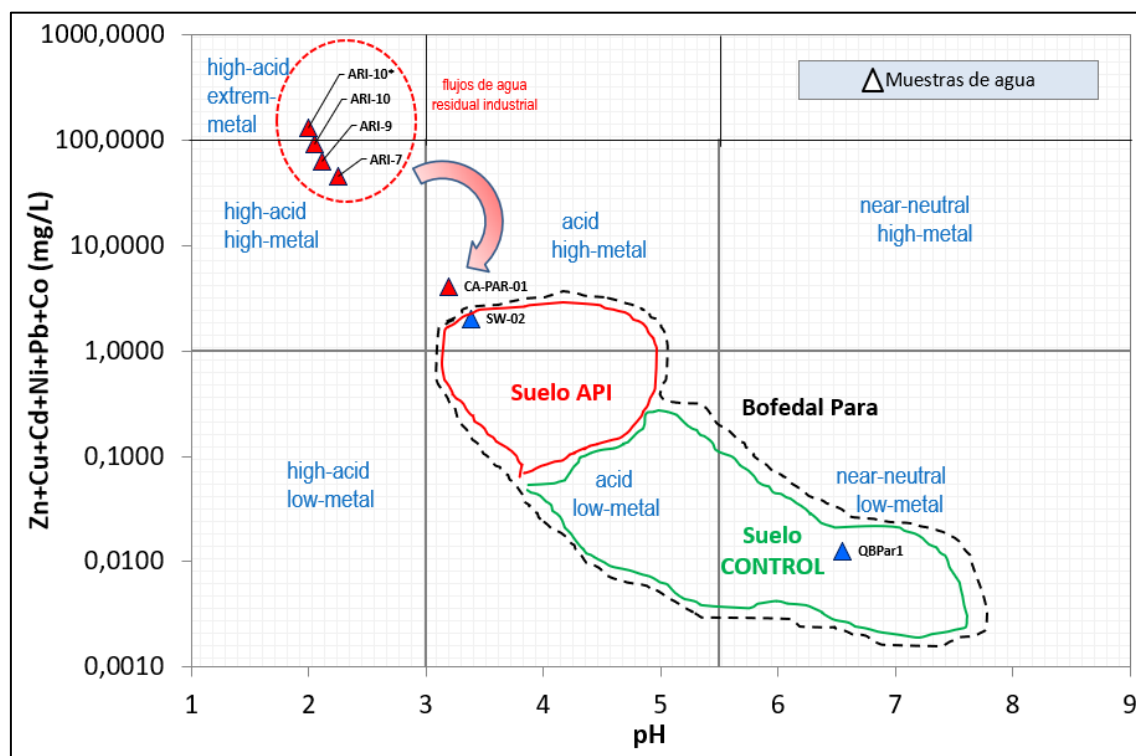


Figura 7. Diagrama de Ficklin de las muestras de agua residual industrial y puntos de agua superficial evaluados en abril y mayo 2023

Los flujos ARI-7 en abril 2023 y ARI-10* en mayo 2023 corresponden a la mezcla de aguas de contacto (filtraciones) provenientes de material de componentes mineros, debido a un manejo inadecuado de los canales que colectan dichas aguas para su posterior tratamiento. Estos flujos discurrieron por el sistema de canales que se mezclan con las lluvias y se trasladaban por el cauce modificado de la quebrada Para Para que era un canal de tierra (CA-PAR-01) antes del ingreso al bofedal Para Para además, presentaron pH ácidos y concentraciones de cobre total, hierro disuelto (ARI-7), entre otros; del mismo modo el punto CA-PAR-01 registró pH ácido y concentraciones de cobre total y hierro disuelto que superaron los LMP 2010. Posteriormente, todos estos flujos alimentan el cauce de la quebrada Para Para (SW-02), la cual registró pH ácido y concentraciones totales de cobre y hierro que superaron los ECA para agua 2008.

Con respecto a las comunidades hidrobiológicas, antes de discutir los resultados se mencionará algunos aspectos: 1. La hipótesis planteada fue, si las aguas residuales industriales ácidas provenientes de filtraciones captadas por un sistema de subdrenaje enrocado, que llegan a un canal de tierra (ARI-7) y el ARI-10 identificado en el sector del PAD de lixiviación, aguas abajo del Tajo Cayhua, que al mezclarse con otros flujos de aguas de contacto que provenían de la zona del taller de equipos influyen sobre los macroinvertebrados bentónicos en la quebrada y el Bofedal Para Para, 2. Para tener un mejor entendimiento de los procesos causa y efecto en los ecosistemas acuáticos se realizó dos zonificaciones, zona control (QYan-1, QBPar1) y zona alterada (SW-02, BOF-1), 3. Toda la zona presenta un contexto geológico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración, lo que genera que sus flujos de agua sean ácidos, lo que permitió comparar ambas zonas con un mismo tipo de ambiente y que los factores determinantes que contribuyen en la variabilidad en la dinámica de los macroinvertebrados fueron los parámetros fisicoquímicos y metales del agua superficial, a excepción de la zona diferenciada donde está emplazado



el bofedal (QBPar1) debido a que geológicamente está conformado por material cuaternario principalmente, lo que generan que sus aguas superficiales presente ligera acidez cercana a la neutralidad.

Las características de los metales en sedimentos identificado en la cabecera de la microcuenca Chacote (CA-PAR-01 y SW-02) y la zona control (QYan-1) fueron similares (ANEXOXXX), sin embargo, las características físicoquímicas sus aguas superficiales de ambas zonas (Figura xxx) fueron distintas (corroborado con el análisis ficklin) por lo que cumple un rol fundamental en la dinámica de los macroinvertebrados bentónicos.

Como se pudo discutir anteriormente las aguas que discurren desde los ARI-7 y ARI-10 están generando características anómalas en el agua superficial, evidenciando el registro de mayores concentraciones de metales con respecto a los demás puntos aguas abajo (Figura xxx), este aporte hacia el flujo principal del canal de tierra (CA-PAR-1) y la quebrada Para Para (SW-02) se reflejó en que los metales aluminio, cadmio, cobalto, cobre, fierro y manganeso superaron los ECA cat3 2017 para agua superficial.

Esta alteración del agua superficial evidenciado en la quebrada Para Para (SW-02) hizo que el desarrollo del ensamble de macroinvertebrados bentónicos fuera limitado, lo cual se detalla a continuación (Figura xxx): 1) El punto SW-02 registró baja densidad (10 Individuos/0,27cm²) y riqueza (1 taxón) de taxones tolerantes al compararlo con la zona control (QYan-1), este limitado desarrollo estuvo dominado por el taxón *Cricotopus* sp. que es tolerante a metales pesados y a pH ácidos (Janssens de Bisthoven et al., 2005; Winner et al., 1980), 2) Según el análisis cluster los puntos SW-02 y QYan-1 presentaron una baja similitud del 20% de la composición de taxones, esta baja similitud es corroborado con el análisis permanova (Anexo xx), donde indica que si hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la composición de taxones, 3) Esta diferenciación también se vio reflejado en la calidad biológica, donde el punto SW-02 registró una pésima calidad biológica mientras que el punto QYan-1 registró moderada calidad biológica según el índice biótico andino (ABI).

Asimismo, para complementar del comportamiento de los macroinvertebrados bentónicos influenciada por toda la actividad minera se realizó un modelo estadístico (anexo xxx) relacionado con los parámetros físicoquímicos y metales del agua superficial, por lo cual se registró lo siguiente: Mediante el análisis BEST y análisis de distancia basados en modelos lineales (DistLM) para determinar que variables ambientales se ajustan a una mayor relación que puedan explicar el porcentaje de variabilidad de los patrones de macroinvertebrados bentónicos, logrando determinar que el hierro (Fe) del agua superficial explica el 75% de la variabilidad, y el pH y los sulfatos (SO₄) explican el 17% de la variabilidad del ensamble de los macroinvertebrados.

Lo mencionado anteriormente nos permite hacer un análisis temporal, donde inicios de la actividad minera, se había registrado el dominio de estos taxones tolerantes de forma natural en la quebrada Para Para (SW-02), tal como se menciona en el informe de monitoreo hidrobiológico de la UM Corihuarmi de diciembre 2011 (época húmeda), sin embargo, al compararlos con lo registrado en la presente evaluación, se ha registrado la disminución de la densidad de taxones tolerantes en un 97% (Figura xxx).

Además, se pudo evidenciar que las aguas que discurren desde el canal Para Para (CA-PAR-01) llegan directamente hasta una parte del sistema de bofedal (Fotos o figura xx) generando zonas de empozamiento alterando la calidad del agua superficial, donde se registró un pH ácido de 2,86 y una elevada conductividad eléctrica de 1020 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y que al compararla con la zona control del bofedal (QBPar1) se evidencia la diferencia de estos



parámetros, donde se registró un pH ligeramente ácido de 6,55 y una baja conductividad eléctrica de 71,5 uS/cm (Figura xxx).

Estas características de la calidad de agua en el bofedal generaron condiciones para el desarrollo del ensamble de macroinvertebrado bentónicos, lo cual se detalla a continuación (Figura xxx): 1) En el punto BOF-1 del bofedal (zona alterada) registró mayor densidad de taxones tolerantes con respecto al punto QBPar1 (Zona control), dominado por el taxón *Cricotopus* sp. que es tolerante a metales pesados y a pH ácidos; sin embargo, el punto QBPar1 registró mejor estructura de la composición, por ende mayor riqueza taxones tolerantes y facultativas con respecto al punto BOF-1, 2) Según el análisis cluster los puntos BOF-1 y QBPar1 presentaron una baja similitud del 20% de la composición de taxones, esta baja similitud es corroborado con el análisis permanova (Anexo 5), donde indica que si hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la composición de taxones.

De lo discutido anteriormente se puede afirmar que las aguas que provienen de los ARI-7 y ARI-10 provenientes del PAD de lixiviación y tajo Cayhua junto con los flujos de agua provenientes del taller de equipos influyen negativamente sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de la quebrada y el bofedal Para Para, donde las altas concentraciones de hierro es uno de los metales que afecta en mayor proporción a la dinámica de estos organismos y que a su vez está relacionado a los precipitados de óxidos e hidróxidos de hierro de coloración pardo amarillentos en el lecho del cauce principal y zonas de empozamiento, que generan limitaciones en el desarrollo de macroinvertebrados bentónicos. De acuerdo con Hanson *et al.*, (2010) y Loayza-Muro *et al.*, (2010), estas condiciones generan una menor disponibilidad del hábitat, menor calidad del alimento, menor visibilidad para los depredadores, dificultades en la respiración y reproducción, entre otras limitantes.



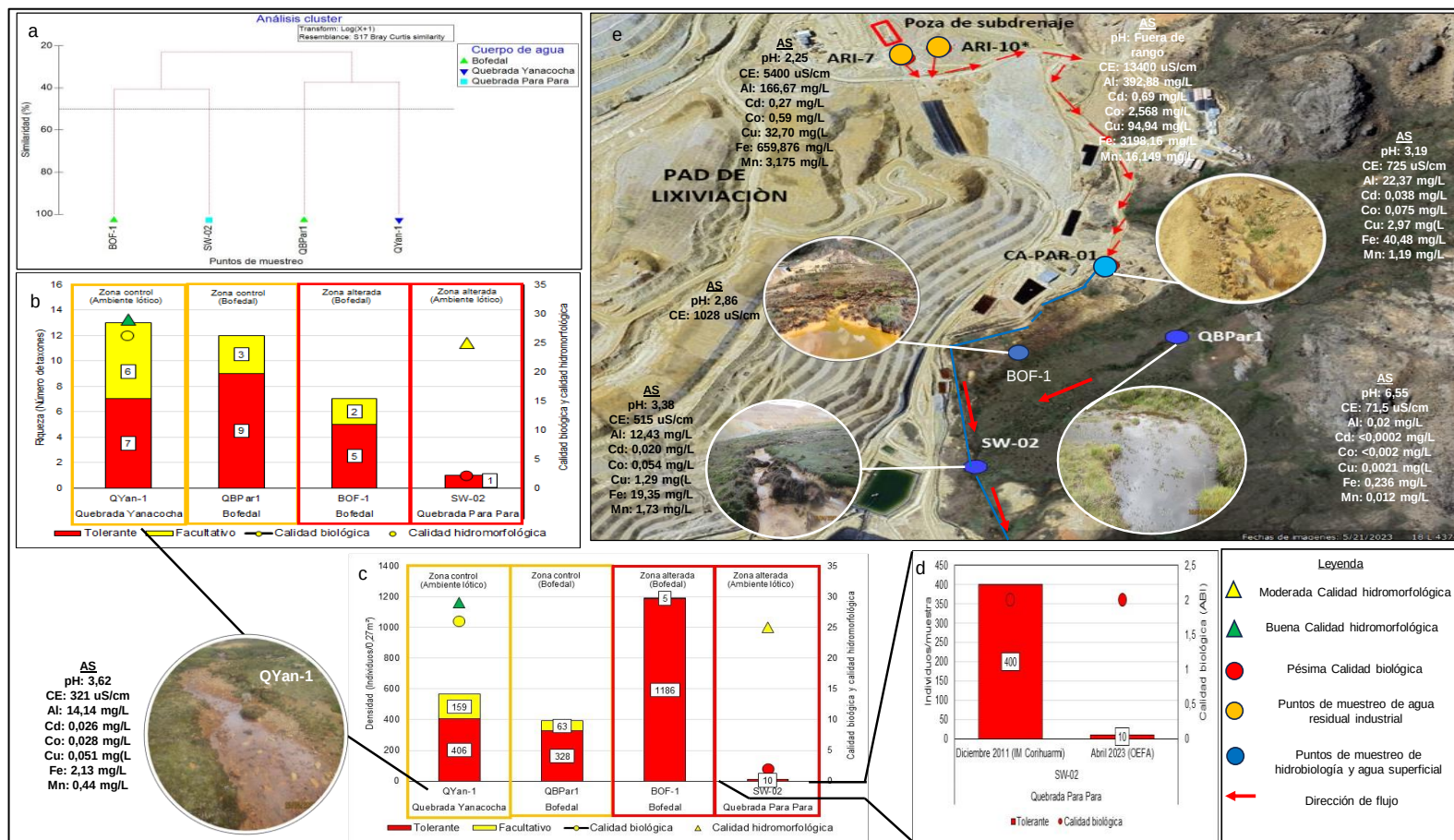
PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»



Figuraxxx. Dinámica de los macroinvertebrados bentónicos asociados al comportamiento del agua superficial influenciados por la actividad minera. a) Análisis cluster, b) Dinámica de la riqueza y c) Densidad en función a sus grupos de tolerancia relacionado con el índice biótico andino (ABI) y la calidad hidromorfológica, c) Dinámica temporal de la densidad de taxones en función a el grupo de tolerancia del informe de OEFA 2023 y el informe de monitoreo hidrobiológico de diciembre de 2011 de la UM Corihuarmi, e) Dinámica de la fisicoquímica y metales del agua superficial de la red hídrica asociado a los componentes mineros.

Formato PM0302-F05

Versión: 00

Fecha de aprobación: 29/12/2020



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Suelo

De acuerdo con Schoeneberger *et al.* (2017), el suelo es un cuerpo natural que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la corteza terrestre. Además, la mayoría de los suelos suelen estar dominados por material mineral, pero muchos suelos minerales presentan suelos con materiales orgánicos.

Los suelos evaluados en el ámbito de la cabecera del río Chacote, corresponde a un suelo hidromórfico con predominancia de materiales orgánicos, el cual está ubicada en el ámbito de la quebrada Para Para, naciente del río Chacote, a la altura de del PAD de Lixiviación y del Campamento Antiguo, adyacente a la Cancha de Volatilización o «Calera» de la UM Corihurami, fuera del área de actividad minera y del área de uso minero (Figura 7.1). Dicho suelo por sus características es un bofedal, y que según el plano de Arreglo General de Componentes de la 2da MEIA 2019⁶⁰, donde aparecen los bofedales, tiene una extensión de aproximadamente de 22 ha.

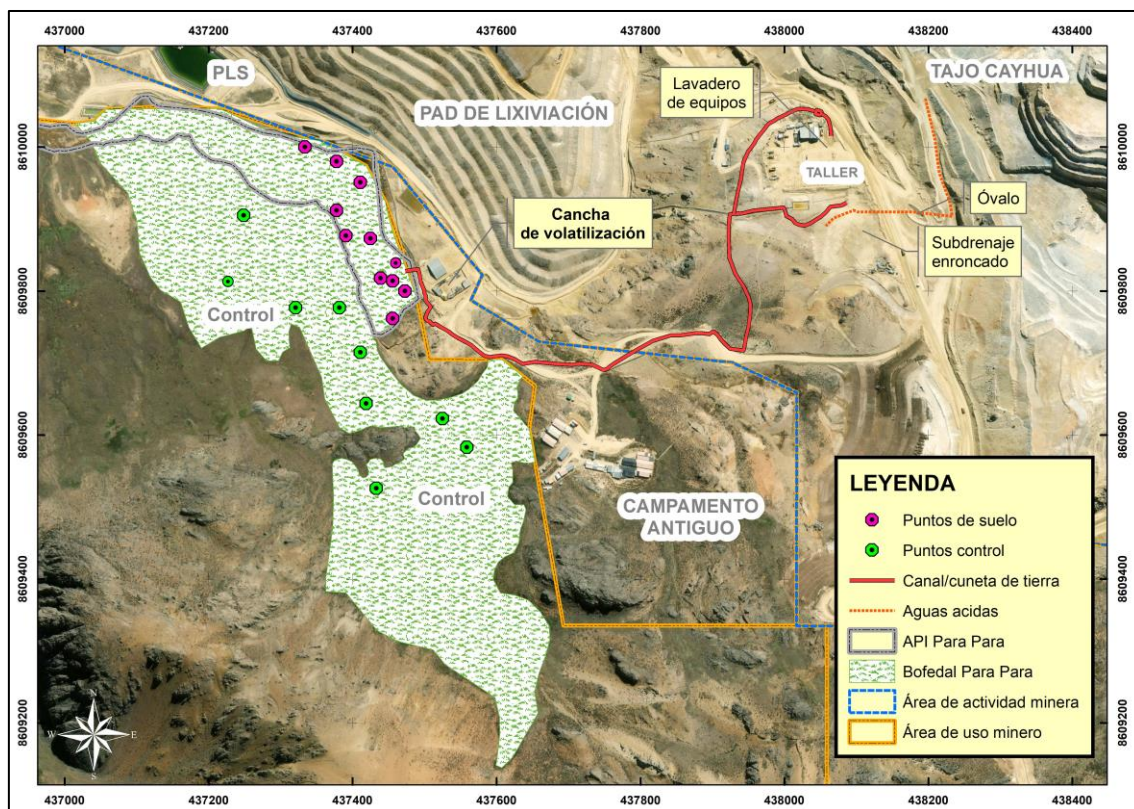


Figura 7.5. Ubicación del bofedal Para Para

El suelo, de acuerdo con los resultados de la caracterización y evaluación de campo, presentó un epipedón hístico como horizonte superficial de diagnóstico y se clasificó como un Histosols. Este tipo de suelos se caracterizan, por presentar una baja densidad aparente $< 0,1 \text{ g/cm}^3$ y altos contenidos de carbono orgánico, materiales, sápricos, hémicos o fíbricos,

⁶⁰ Plano 2-1 del Arreglo General de Componentes, presentado en la 2da Actualización del plan de cierre de minas unidad minera Corihurami – 2019. Folio 001666.



saturados con agua por 30 días a o más y un espesor de entre 40 a 60 cm dependiendo del estado de descomposición del material orgánico (Schoeneberger *et al.*, 2017).

En base a ello, por sus servicios ambientales que este suelo y su ecosistema provee, se ha definido que el bofedal es un hábitat natural húmedo con agua permanente alimentados de diferentes fuentes (manantiales, deshielo, ríos y lluvia) ubicados principalmente en ecorregiones altoandinas (Alzérreca *et al.*, 2001), esta definición está en concordancia con lo indicado por el MINAM (2019)⁶¹ que lo define como un ecosistema andino hidromórfico con vegetación herbácea de tipo hidrófila, que se presenta en los andes sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados, permanentemente inundados o saturados de agua corriente. El buen estado o no del bofedal está íntimamente sujeto a las variaciones de las condiciones del agua, suelo y biota, las cuales, si son alteradas afectan rápidamente al ecosistema; por tal razón, debido a su enorme importancia ambiental el MINAM (2015)⁶², implementó instrumentos de gestión de estos ecosistemas para su conservación y el uso racional de los mismos, en el marco de la Convención de Ramsar (1971)⁶³.

Durante la supervisión del 1 de marzo de 2023, se identificó aguas de contacto del sistema de tratamiento SP-03 provenientes del Tajo Cayhua, Haul road, Taller de equipos, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo. Estas aguas de contacto drenaban por cunetas y canales de tierra (con características muy turbias visualmente) hasta descargar directamente sobre una parte del bofedal «Para Para» adyacente a la Cancha de Volatilización, sobre la que se depositó materiales, sobre todo finos, que se transportaron en suspensión con el agua de contacto (Figura 7.8).

⁶¹ Guía de evaluación del estado del Ecosistema de bofedal

⁶² Estrategia Nacional de Humedales (2015), publicado mediante Decreto Supremo N° 004-2015-MINAM, el 23 de enero de 2015.

⁶³ Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional. (Ramsar - Iran, 1971), suscrita por el Perú (el 28 de agosto de 1986 y aprobado mediante Resolución Legislativa N° 25353 el 23 de noviembre de 1991).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

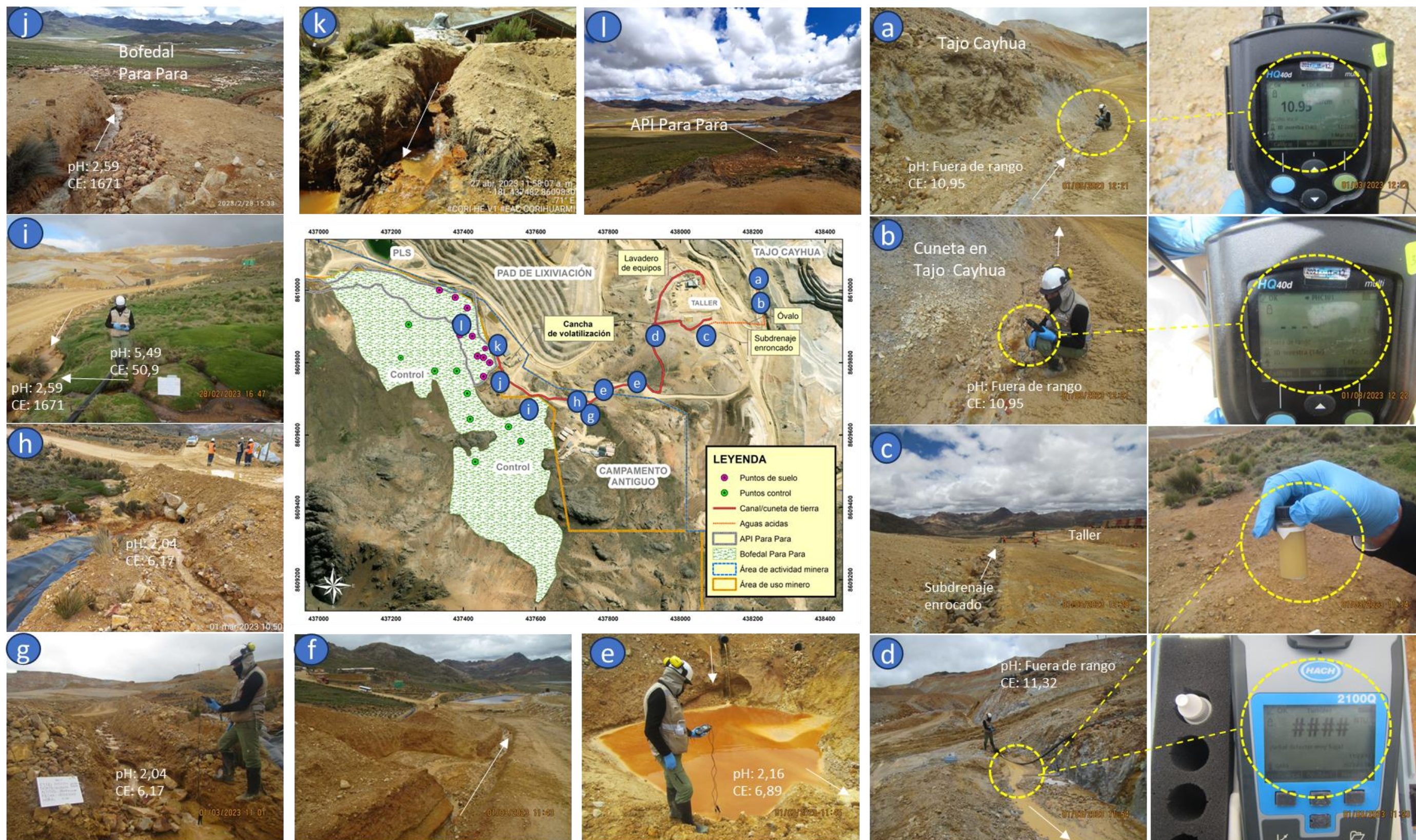


Figura 7.6. Aguas de contacto, con alto contenido de sólidos suspendidos, conductividades y pH ácidos, que tiene como origen las áreas operativas que descargan en el bofedal Para Para

Cabe señalar además que, se observó una infraestructura de un canal antiguo en dirección este-oeste que colapsó por la erosión, ya que se pudo ver unas enormes cárcavas en el material cuaternario, al parecer el ingreso de agua anteriormente fue por dicha zona puesto que se observó material grueso y fino por ese extremo del bofedal. Al momento de evaluación el agua ingresaba por el borde superior a la altura de adyacente a la Cancha de Volatilización.

En el mes de mayo se hizo la evaluación de dicho bofedal (API Para Para) en un área de 2 ha aproximadamente de acuerdo con la delimitación realizada *in situ*; asimismo, contiguo al API Para Para, sobre el mismo tipo de suelo, pero sin influencia de las operaciones mineras, se evaluó el bofedal con la finalidad de determinar su nivel de fondo (área o zona control).

Estado físico del bofedal

Un suelo de bofedal, como ya se indicó, se caracteriza por tener altos porcentajes de materia orgánica y una densidad aparente entre $0,1 - <2 \text{ g/cm}^3$, es decir un suelo esponjoso con macroporos que tiene la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua; no obstante, los resultados de densidad aparente de la capa superficial del suelo del API Para Para indicó una densidad de $0,73 \text{ g/cm}^3$ el cual fue mayor a la densidad aparente del suelo del área control, el cual presentó un valor de $0,17 \text{ g/cm}^3$, lo que indica un deterioro del estado físico, afectando la permeabilidad y su capacidad de infiltración del agua en el perfil. Respecto a ello, Flores (2014), precisa que la densidad de un suelo se suele utilizar como medida para estimar el nivel de compactación del suelo y muestrear su grado de deterioro; asimismo, Fuentealba y Mejía (2016) mencionan que una densidad baja, generalmente, equivale a más porosidad y mayores agregados del suelo. Un bofedal saludable tendrá una densidad baja, lo que corresponde a mayor estabilidad, menos compactación y, probablemente, mayor contenido de humedad que un suelo con una densidad mayor. lo que a su vez se relaciona con una mayor capacidad de almacenamiento de agua.

Esta alta densidad en el API Para Para fue ocasionada por el aporte de materiales finos de arrastre por escorrentía reciente sobre el bofedal, materiales que tienen una mayor densidad. El análisis mecánico de este material indicó que está compuesto por limos y arcillas en mayor porcentaje (de consistencia adhesivo, muy fluido y glutinoso), además el color es característico de materiales de alteración argílica el cual corresponde a colores amarillo parduzco (10YR 6/6), a diferencia de los suelos control que fueron orgánicos, de texturas francas y colores oscuros (Figura 7.4.)

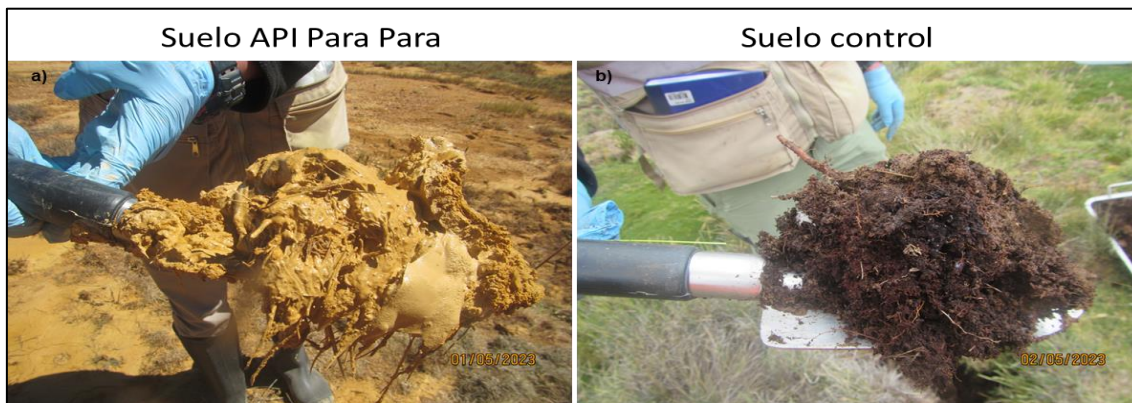


Figura 7.7. a) Suelo del API Para Para con mezcla de materiales orgánicos y materiales limo-arcillos (de consistencia adhesivo y muy fluido - glutinoso), b) Suelo orgánico de la zona control

La evaluación de una calicata en el API (CAL1) permitió identificar que este material ingresó a través de los poros grandes del material orgánico mezclándose con el material fábriico en el perfil del suelo, aunque mayormente en la parte superficial. Cabe señalar que, estos materiales descritos no se observaron en el suelo control, el cual presentó características de un suelo orgánico, evaluado en la calicata CAL2 (Figura 7.5).

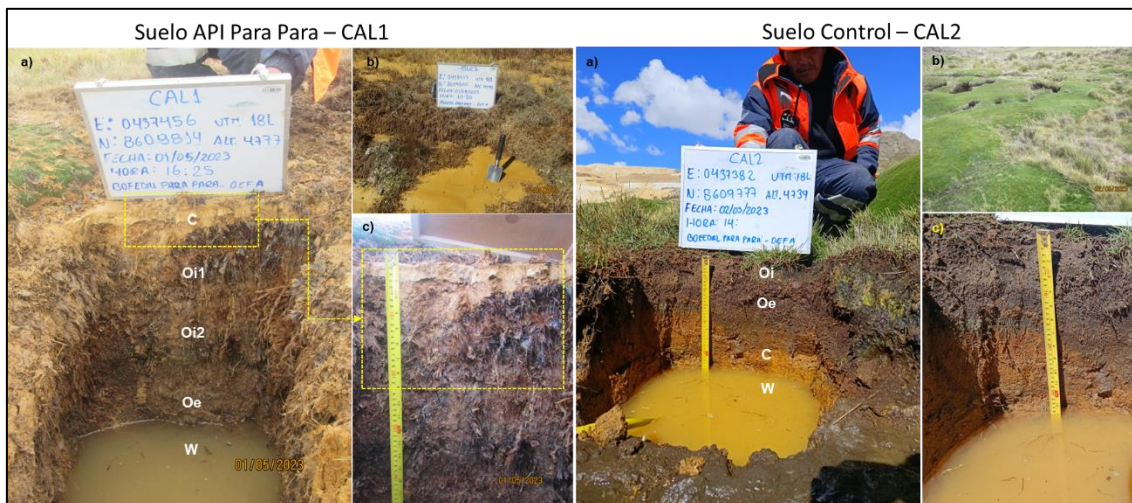


Figura 7.8. Suelo del API Para Para y suelo control. a) Perfil del suelo con sus horizontes, b) detalle de la superficie del suelo de cada suelo, y c) detalle del perfil en el horizonte superficial

Condiciones químicas del suelo

Otro de los indicadores de la calidad del suelo son las propiedades químicas. Tal como lo indica Navarro (2013) los indicadores químicos se refieren a condiciones que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, el poder amortiguador del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos; en consecuencia, algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio de cationes además de la concentración de metales y su mineralogía. De acuerdo con Fassbender (1994), en condiciones no disturbadas los cationes y aniones de la solución suelo casi siempre están en equilibrio con varios componentes del suelo como son las sales solubles, las sales adsorbidas, los compuestos precipitados y los iones cambiables.

Los resultados de los cationes y aniones, realizados en el extracto de pasta saturada del suelo, indicaron que los suelos del API Para Para presentaron principalmente sulfatos, calcio, magnesio y cloruros, los cuales fueron mayores en el suelo del API Para Para respecto del suelo del área control; cabe precisar que el bicarbonato, tuvo un comportamiento inverso, esto se debería a que fue neutralizado por los iones H^+ del agua de contacto provenientes del área operativa de la unidad minera (Figura 7.6). Cabe señalar que las aguas de contacto (ARI-8, ARI10* y CA-PAR-01) que ingresan al bofedal provenientes desde las zonas del Tajo Cayhua y Talleres fueron sulfatadas cálcicas, además ácidas y con altas concentraciones de metales como sulfatos, arsénico total, cadmio total, cobre total, zinc total y hierro disuelto.

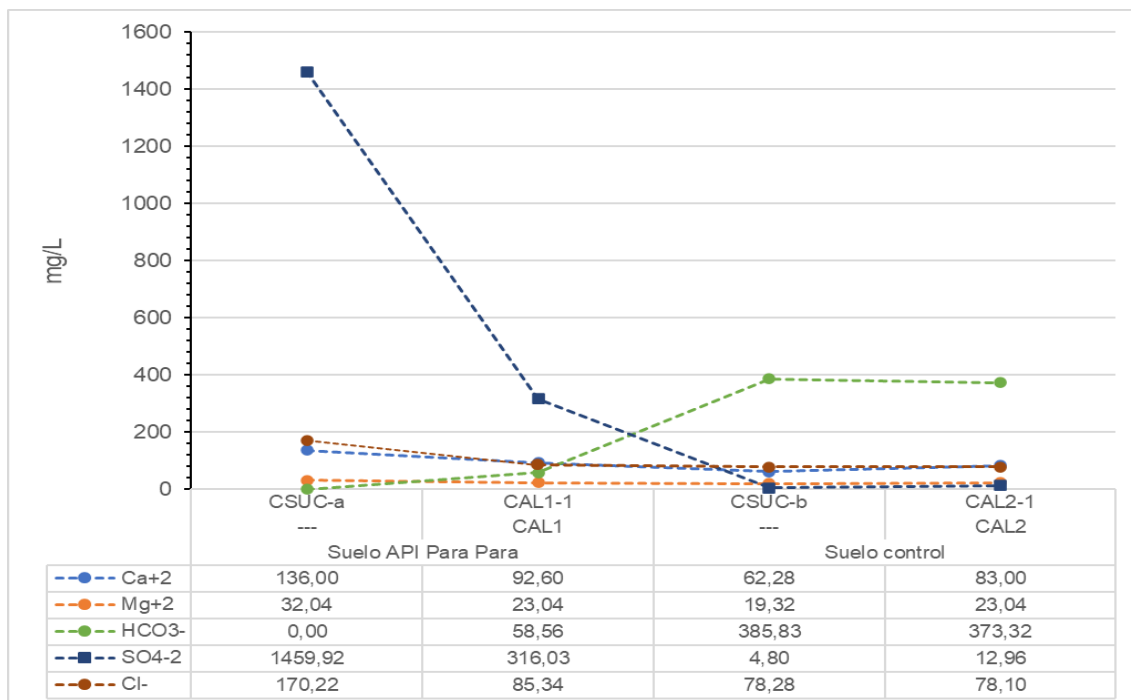


Figura 7.9. Concentración de cationes y aniones en el extracto de pasta saturada del suelo del API Para Para y suelo control

En el suelo del API Para Para estas concentraciones de iones se incrementan en profundidad, debido a las condiciones de pH extremadamente ácidos del suelo del API (con valores de < 4,08 unidades de pH en pasta saturada) (Figura 7.7) que solubilizan y movilizan los metales ocasionando un desequilibrio iónico en el sistema, tanto de la fase soluble así como de la fase sólida del suelo; este último se manifestó en las proporciones desequilibradas de la distribución de cationes cambiabiles del suelo del API que tuvo un mayor desequilibrio respecto al suelo control (Tabla 7.1), por lo tanto, disminuyendo las bases del complejo (especialmente calcio, y magnesio) y dando lugar, como indica Aduvire (2006) y Zapata (2004), a la aparición de hierro y aluminio generando más iones H⁺. El hierro, y en especial el aluminio e hidrógeno ocuparán los sitios de intercambio dejados por las bases, volviendo al suelo con pH ultra ácidos e incrementando su salinidad, tal como se reportó en el análisis de salinidad del API en la fue mayor respecto al suelo del área control.

Tabla 7.1. Distribución de cationes cambiabiles (%) en el complejo de cambio

Área/zona	Calicata	Muestras /puntos	Distribución de cationes cambiabiles en el complejo de cambio (%)					% ocupado de los sitios de intercambio
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ + Al ⁺³	
API Para para	---	CSUC-a	0,13	0,26	0,89	0,51	71,43	73,21
	CAL1	CAL1-1	0,11	0,22	1,86	0,33	41,12	43,64
		CAL1-2	7,16	3,01	0,28	0,06	8,43	18,93
Control	---	CSUC-b	51,04	15,58	1,46	0,76	0,00	68,84
	CAL2	CAL2-1	51,26	14,69	1,55	0,93	0,00	68,43
		CAL2-2	43,93	15,55	0,51	0,36	3,20	63,55
		CAL2-3	39,21	16,44	0,60	0,45	1,49	58,18
Saturación de cationes «ideal» del suelo *			65 - 75	15 - 20	4 - 7	0 - 5	0 - 5	-

(---) Muestras compuesta superficial

(*) Moro (2015)



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

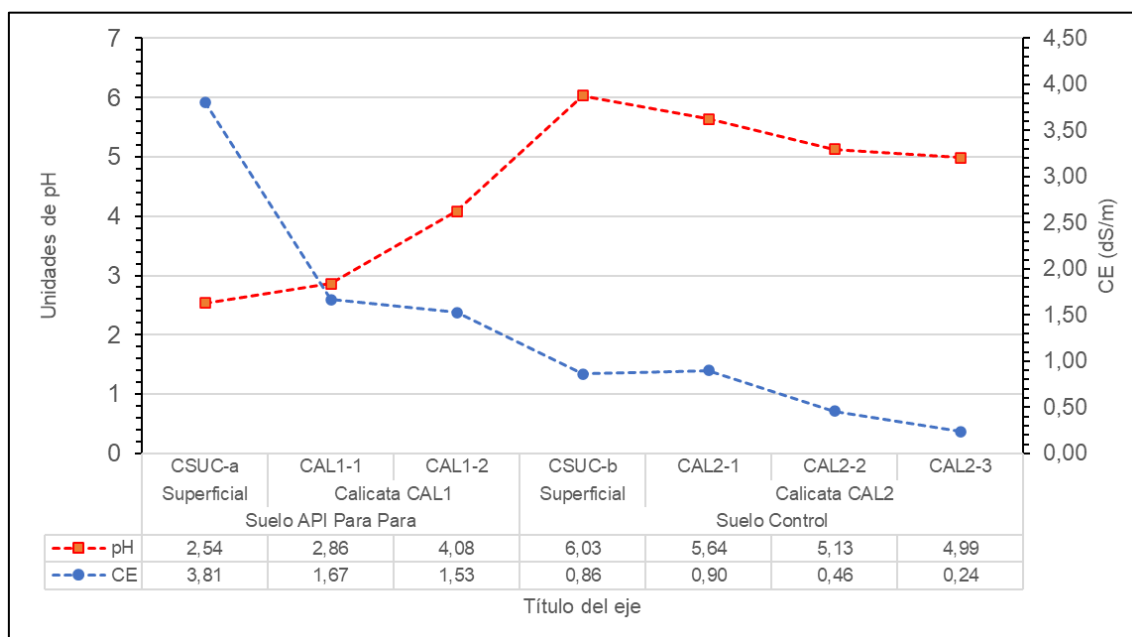


Figura 7.10. Valores de pH (en pasta saturada) y conductividad (en el extracto de pasta saturada) en el suelo API Para Para y suelo del área control

Los metales que entraron a disolución pasando a la fase líquida del suelo producto de hidrólisis de elementos ácidos como hierro y aluminio, favorece la liberación de protones y por lo tanto la disolución de los mismos incluido azufre, cobre plomo, boro cadmio, cobalto y zinc, además de la movilización de altas concentraciones de calcio y magnesio soluble, cuyas concentraciones fueron mayores en el suelo API Para Para respecto al suelo control, tal como se reportó en el análisis de lixiviación de metales por Shake Flask (Figura 7.8), dichos metales aluminio cobre plomo, boro cadmio, cobalto y zinc son fácilmente asimilados por la biota ocasionando su toxicidad y muerte, tal como se observó en la vegetación del bofedal. Cabe señalar que, las altas concentraciones de calcio y magnesio identificado en las fases solubles o acuosas del suelo indican que estos salen del sistema suelo, y por consiguiente en su forma no soluble (es decir asociados a sus fracciones precipitadas o de la estructura de los minerales) estarán en concentraciones bajas, tal como se observó en los resultados del análisis de metales, los cuales fueron menores en los suelos en el API Para Para, respecto del suelo del área control (Figura 7.9).

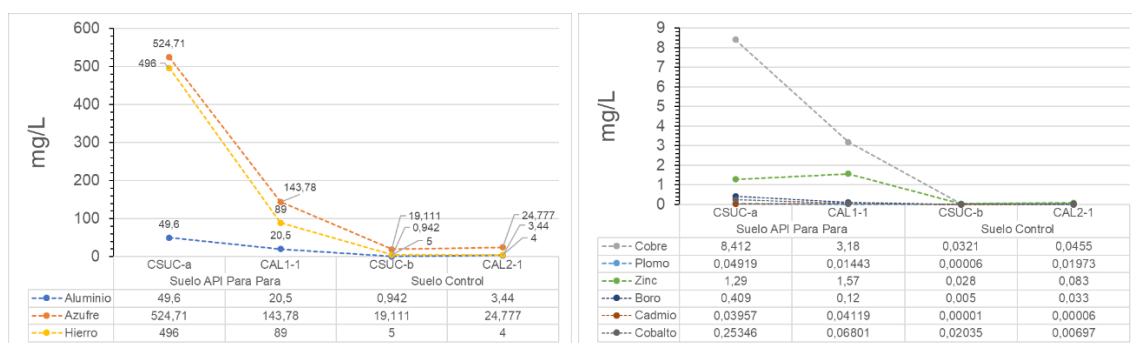


Figura 7.11. Análisis de lixiviación de metales por Shake Flask en el suelo Para Para y suelo control: a) Concentraciones de Al, S y Fe, y b) Concentraciones de cobre, plomo, zinc, boro, cadmio y cobalto



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

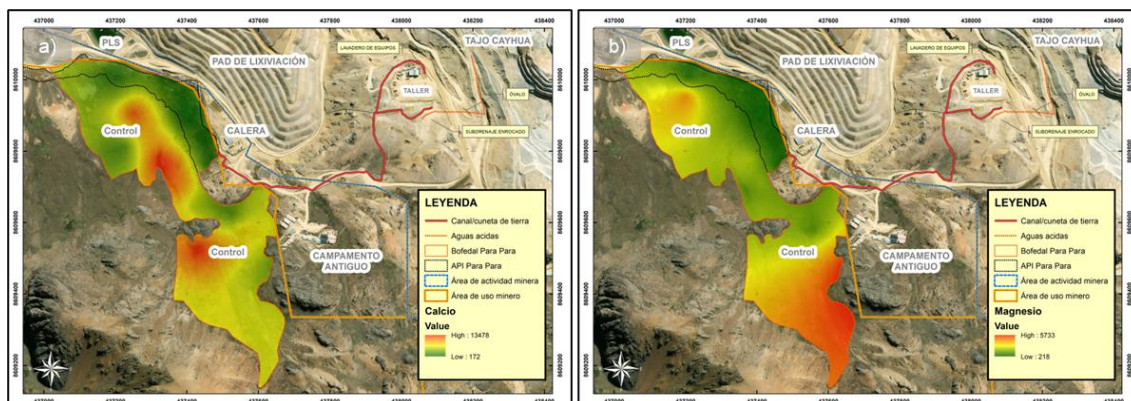


Figura 7.12. Isconcentraciones de a) calcio, y b) magnesio

Respecto a las 10 muestras superficiales del API, las concentraciones de arsénico y plomo en todas las muestras superaron a los valores de los ECA para suelo uso agrícola 2017; por otro lado, al comparar referencialmente con los valores de la CSQG uso agrícola los metales cobre en 5 muestras, boro, selenio y talio en 9 muestras y molibdeno en todas las muestras superaron a dicha norma de referencia.

Respecto a las 09 muestras del suelo control, solo las concentraciones de arsénico y bario en una muestra (SUC15) superaron a los valores de los ECA para suelo uso agrícola 2017, no obstante, tales concentraciones representarían valores anómalos, debido a que solo se registraron en dicha muestra del punto. Con relación a las concentraciones de boro en todas las muestras, molibdeno en una muestra, selenio en tres muestras y talio en dos muestras superaron a los valores de la CSQG uso agrícola, comparado referencialmente.

Al comparar las concentraciones de metales del suelo API Para Para y las concentraciones del suelo control, se observó que los metales: arsénico y molibdeno, plomo y selenio (en todas las muestras) (Figura 7.10), así como cobre, mercurio y talio (en la mayoría de las muestras), fueron mayores en el API (Figura 7.11).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

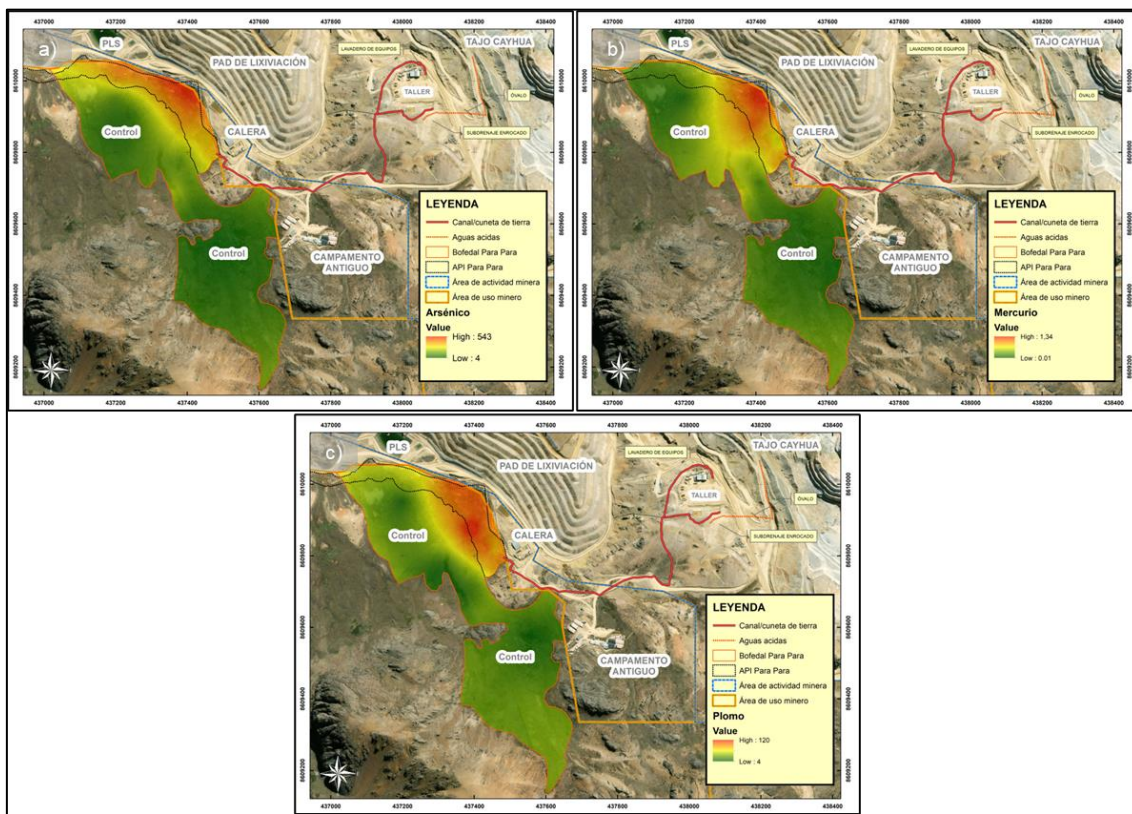


Figura 7.13. Isconcentraciones de a) arsénico, b) mercurio, y c) plomo



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

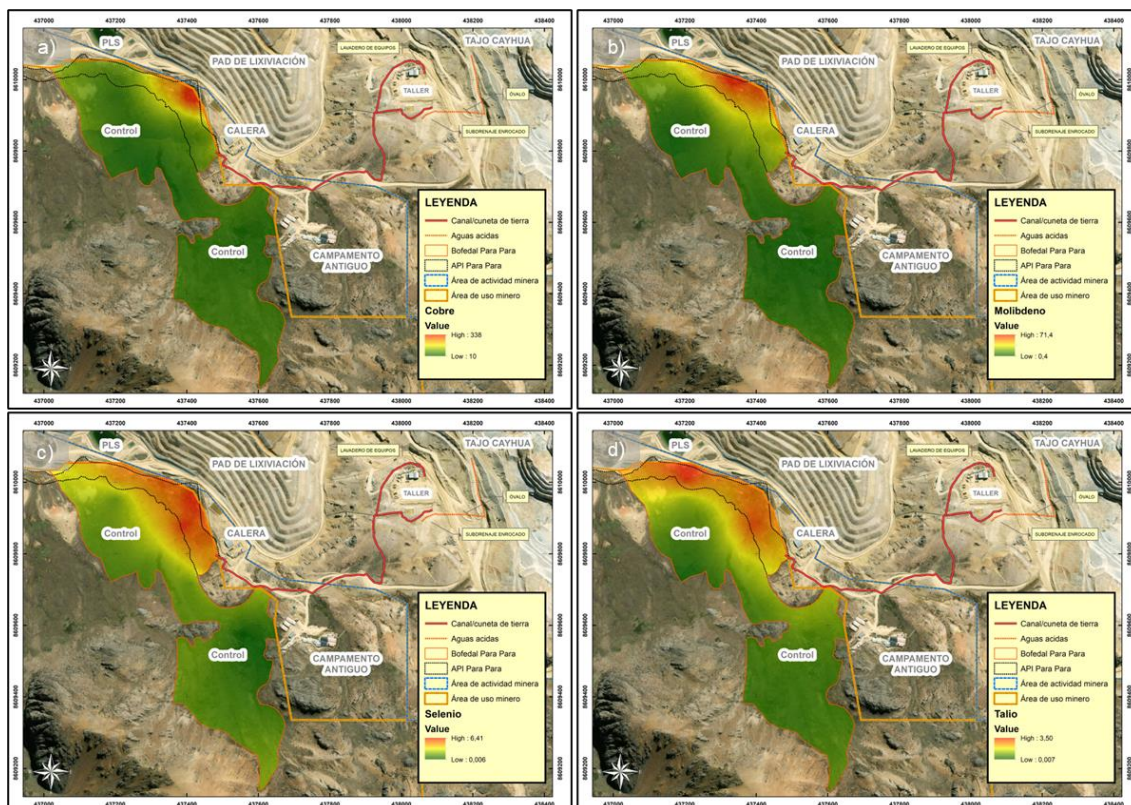


Figura 7.14. Isoconcentraciones de a) cobre, b) molibdeno, c) selenio y, d) talio

Las diferencias en los metales fueron corroboradas mediante la prueba de hipótesis de *U* de Mann-Whitney para muestras independientes, que sustenta el rechazo de la hipótesis nula H_0 , y se sustenta que existe una diferencia estadísticamente significativa en las concentraciones de los metales antes indicados en los suelos API Para Para y suelos del área control (Figura 7.12 y Tabla 7.2).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

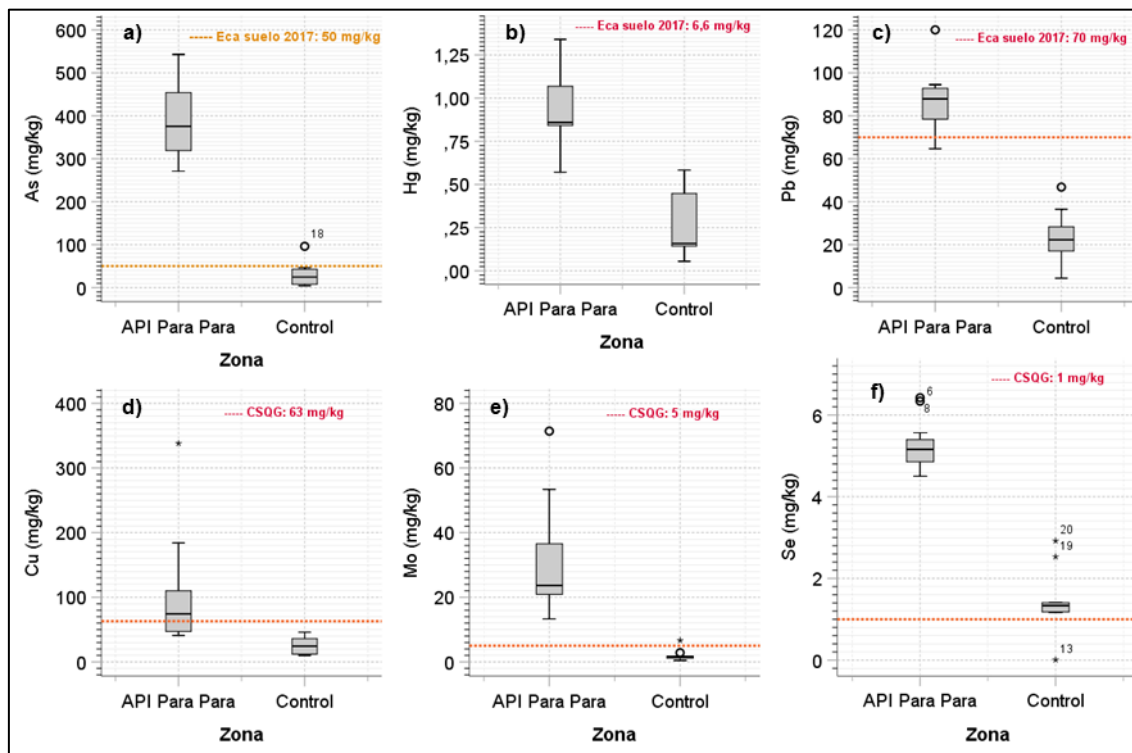


Figura 7.15. Comparación de las medias de los metales en el suelo API Para Para y suelos del área control: a) arsénico, b) mercurio, c) plomo, d) Cu, e) Mo y, f) Selenio.

Tabla 7.2. Prueba de hipótesis de *U* de Mann-Whitney para muestras independientes en metales

Variable	As	Ca	Co	Cu	P	Mg	Hg	Mo	Pb	Se	Tl
Grupo 1	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para	API Para Para
Grupo 2	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control	Control
n (1)	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
n (2)	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Media (1)	387,82	254,26	2,29	103,00	408,45	251,91	0,92	31,07	87,04	5,25	1,75
Media (2)	30,64	8008,33	40,67	25,56	1255,67	1862,00	0,27	2,03	23,17	1,46	0,63
DE (1)	96,99	91,60	2,07	89,47	149,08	23,35	0,23	17,86	14,81	0,65	0,48
DE (2)	28,83	4481,72	61,74	13,02	459,50	427,86	0,19	1,87	13,01	0,84	0,38
Mediana (1)	375,00	215,90	1,05	74,00	366,00	250,00	0,86	23,60	87,80	5,16	1,78
Mediana (2)	24,60	7942,00	11,20	24,00	1298,00	1989,00	0,16	1,52	22,20	1,33	0,55
W	45	144	130	47	139	144	46	45	45	45	47
P	0,0002	0,0002	0,0070	0,0003	0,0007	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003

($p > 0,05$) No son significativamente diferentes.

Valores de metales con diferencias significativas

Condiciones microbiológicas del suelo

De acuerdo con Kennedy (1998) y García *et al.* (2021), en el suelo existen cerca de 1×10^9 millones de microorganismos por gramo, los cuales son esenciales para los ecosistemas del suelo debido a su intervención en los procesos de transformación de la materia orgánica y contribuyendo con la estabilidad y fertilidad del suelo. Debido a ello, estos microorganismos son también indicadores de la calidad del suelo. Estos microorganismos, se distribuyen en



cinco grupos, virus, bacterias, actinobacterias, hongos y algas (Lavelle y Spain, 2001, y García *et al.*, 2021), estos constituyen en conjunto la biomasa microbiana.

La mineralización determina los flujos de nutrientes disponibles entre plantas y microorganismos y su distribución en tiempo y espacio; la humificación regula la acumulación de materia orgánica en el suelo, misma que mantiene la fertilidad del suelo fijando además otros elementos de interés ambiental (Adeleke *et al.*, 2017). En ese sentido, su importancia en el suelo se debe principalmente a su capacidad metabólica dentro de los ciclos biogeoquímicos como el ciclo del carbono, azufre, nitrógeno, fósforo, etc (García *et al.* (2021). Los principales grupos de microorganismos del suelo involucrados en estos procesos por número y por actividad son primeramente las bacterias seguido de hongos.

Estos microorganismos son muy sensibles ante cambios físicos o químicos en el suelo; tal como lo indica Kyrby & Mengel, (2000), ante un cambio abrupto del pH del suelo influye en la actividad de los microorganismos de suelo. Generalmente, en el rango de pH más bajo, (< 5.5), los hongos dominan en el suelo y en la rizósfera, mientras que en los niveles de pH más altos las bacterias son más abundantes. Por ejemplo, las bacterias Nitrosomonas y Nitrobacter que realizan los procesos de nitrificación del amonio, así como microorganismos libres del suelo (Azotobacter y Clostridium) o simbióticos (Rhizobium y Actinomyces) y bacterias desnitrificadoras prefieren condiciones de suelo ligeramente ácidos o bien cercanos a la neutralidad.

Tomando como base esta importancia microbiológica en el suelo y su papel en el ecosistema del mismo, se ha encontrado que la microbiología en el suelo del API Para Para sufrió impactos severos en su contenido, reduciendo en gran magnitud su funcionalidad en el equilibrio biogeoquímico del suelo puesto que los resultados microbiológicos en el suelo del API Para Para indicaron que las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias y hongos fue mucho menor en relación al suelo del área control (Figura 7.13ab), esto mismo se manifestó en las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y bacterias nitrificantes (Figura 7.13b), y consecuentemente afectando la respiración microbiana y su biomasa (Figura 7.13d). Dicha cantidad de microorganismos encontrados en el suelo del API estuvieron muy alejados de la cantidad los rangos de referencia comunes el suelo (ver Tabla 6.6.). Cabe señalar que, si bien los hongos pueden tolerar un amplio rango de pH (2 a 9), y de preferencia suelos ácidos (Navarro, 2013), se evidencia la disminución en la cantidad de UFC en el suelo Para Para, aunque de manera variable, ya que se observó también similares UFC en el suelo control.



«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

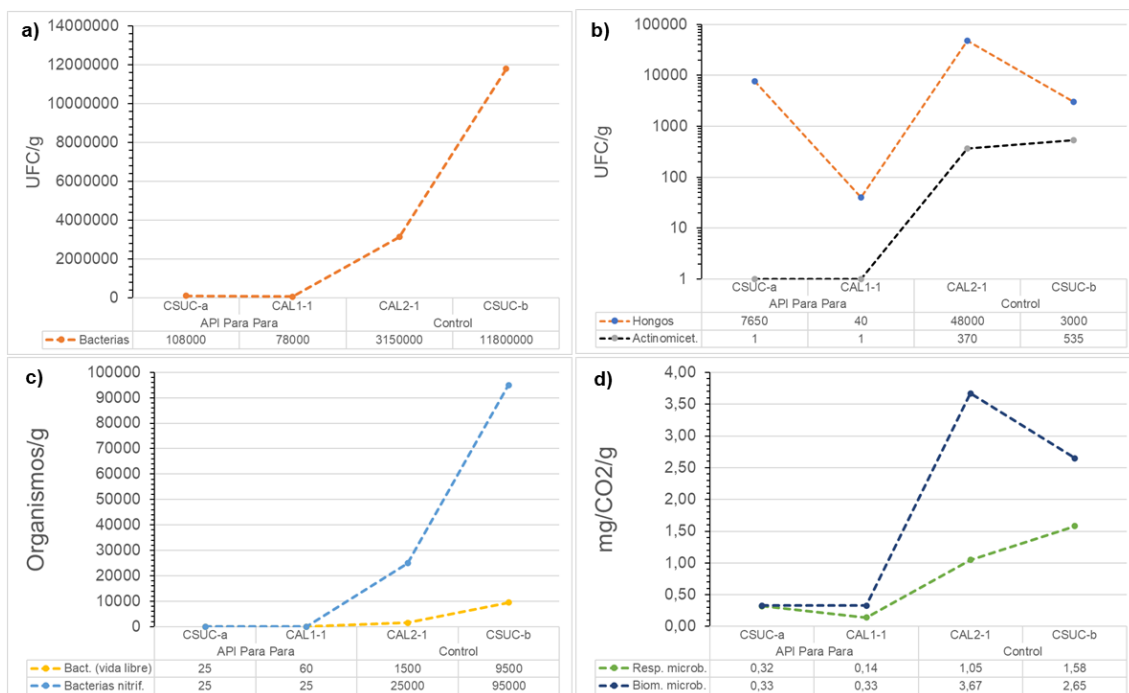


Figura 7.16. Microorganismos en el suelo API Para Para y suelo control. A) UFC de bacterias, b) UFC de hongos y actinomicetos, c) Bacterias fijadoras y bacterias nitrificantes, y d) respiración y biomasa del suelo.

Estas diferencias encontradas referentes a las condiciones físicas, químicas y microbiológicas en el suelo del API Para Para respecto al suelo del área control, se debe a la descarga no autorizada de aguas de contacto del canal de tierra (CA-PAR-01), a la altura de la cancha de Volatilización, y de aguas ácidas (ARI-09 y ARI-10) por derivación del canal (a la altura de la poza SP-01 y SP-02) que conforman el sistema de tratamiento SP-03 provenientes del Tajo Cayhua, Haul road, Taller de equipos, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo.

La caracterización de dichas aguas de contacto residual industrial (puntos ARI-7, ARI-10*, ARI-09, ARI-10 y C-PAR-01) registraron pH ácido con valores altos de conductividades eléctricas (725 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 11132 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y sulfatos (346,4 mg/L – 12590,1 mg/L); además de concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre y zinc y de hierro disuelto y según el diagrama de Ficklin, en abril 2023, el punto de agua residual industrial CA-PAR-01 se clasificó como «pH ácido» y «alto contenido de metales» mientras que los puntos puntos ARI-7, ARI-10*, ARI-09, ARI-10, se clasificaron como «pH altamente ácido» y «extremadamente contenido de metales»

Es importante mencionar que la caracterización geoquímica de materiales del Tajo Cayhua (CM-CAY01) presentó altas concentraciones cobre, mercurio, molibdeno y plomo respecto a los valores de corteza continental y mineralógicamente estuvo compuesto de cuarzo, arcillas, alunita, pirofilita y mica, en menor porcentaje pirita, jarosita, lepidocrocita y feldespato potásico, además tiene la capacidad de lixiviar aluminio (45,9 mg/L), hierro (444 mg/L), cobre (142,8 mg/L) y sulfatos (1787 mg/l) debido su alta potencial generador de acidez asociados a la presencia de pirita o sulfuros contenidos en el material del Tajo. Similares características presentaron los otros materiales (punto CM-MAT01 y CM-P4A) con la diferencia en que el material CM-MAT01, su mineralogía estuvo compuesto mayoritariamente por cuarzo (77%) y alunita (19%), y el material CM-PAA presentó altas concentraciones de sulfato. Dichos metales que se identificaron en el material del Tajo



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Cayhua y los otros materiales se identificaron también en el suelo API Para Para, además en su mineralogía del suelo estuvo presente minerales de alteración o secundarios como alunita, jarosita y pirofilita los mismos que se reportaron en los materiales antes descritos; asimismo, en el suelo se identificó goethita, caolinita, micas en mayores porcentajes en relación con el suelo del área control.

Respecto al mineral pirofilita, es un mineral hidrotermal en rocas aluminosas atacadas por soluciones ácidas que se origina de la alteración de otros minerales presentes en las mismas. Es un mineral raro tanto en el suelo como en los sedimentos (Besoain, 1985). Por lo tanto, se descarta el aporte de metales y minerales como fuente principal de este enriquecimiento metálico adicional sobre el API Para Para, debido a que el análisis litogeoquímico de los materiales aledaños a este bofedal (RC-23-16, RC-23-17, RC-23-18, RC-23-19 y RC-23-20) presentó bajas concentraciones de metales totales y baja capacidad de lixiviación de estos.

El bofedal estuvo recibiendo estos aportes de agua y materiales (sobre todo en los meses de alta precipitación), por el espacio mayor a 3 años, puesto que no se tienen registro de la fecha exacta del inicio de esta afectación, no obstante, de acuerdo con el análisis multitemporal de imágenes satelitales, obtenida de la plataforma Google Earth (2023), probablemente se dio entre los años 2019 y 2020, ya que anteriores al 2019 se pudo observar que el bofedal en ese extremo (API Para Para) aun mantenía condiciones con características no disturbadas (Figura 7.14).



Figura 7.17. Análisis multitemporal del bofedal en relación con el API Para Para del 2010, 2012, 2019 y 2023

Fuente: Modificado de imágenes Google Earth 2023

Con la finalidad de determinar los impactos generados por las actividades de la UM Corihuarmi (descritos en el desarrollo del estudio de suelos), sobre la flora del bofedal Para Para, se realizó el análisis del tejido vegetal en muestras colectadas en el API Para Para, en los mismos puntos donde se realizó el muestro de suelo, así mismo se evaluaron puntos aledaños al API con la finalidad de que sean utilizado como referencia o control (Figura 7.1). García y Dorronsoro (2005) mencionan que la absorción de los metales por parte de las plantas es una de las vías de salida más comunes de los metales incorporados al suelo, y es así como estos metales se incorporan a las cadenas tróficas. Por ello, las plantas pueden ser utilizadas para evaluar la calidad del medio ambiente, debido a que estos organismos al ser inmóviles por naturaleza han desarrollado la capacidad para acumular metales tóxicos, hasta cierto punto, lo que los convierte en bioindicadores eficaces para la detección de la contaminación por metales (Hussan *et al.*, 2010).

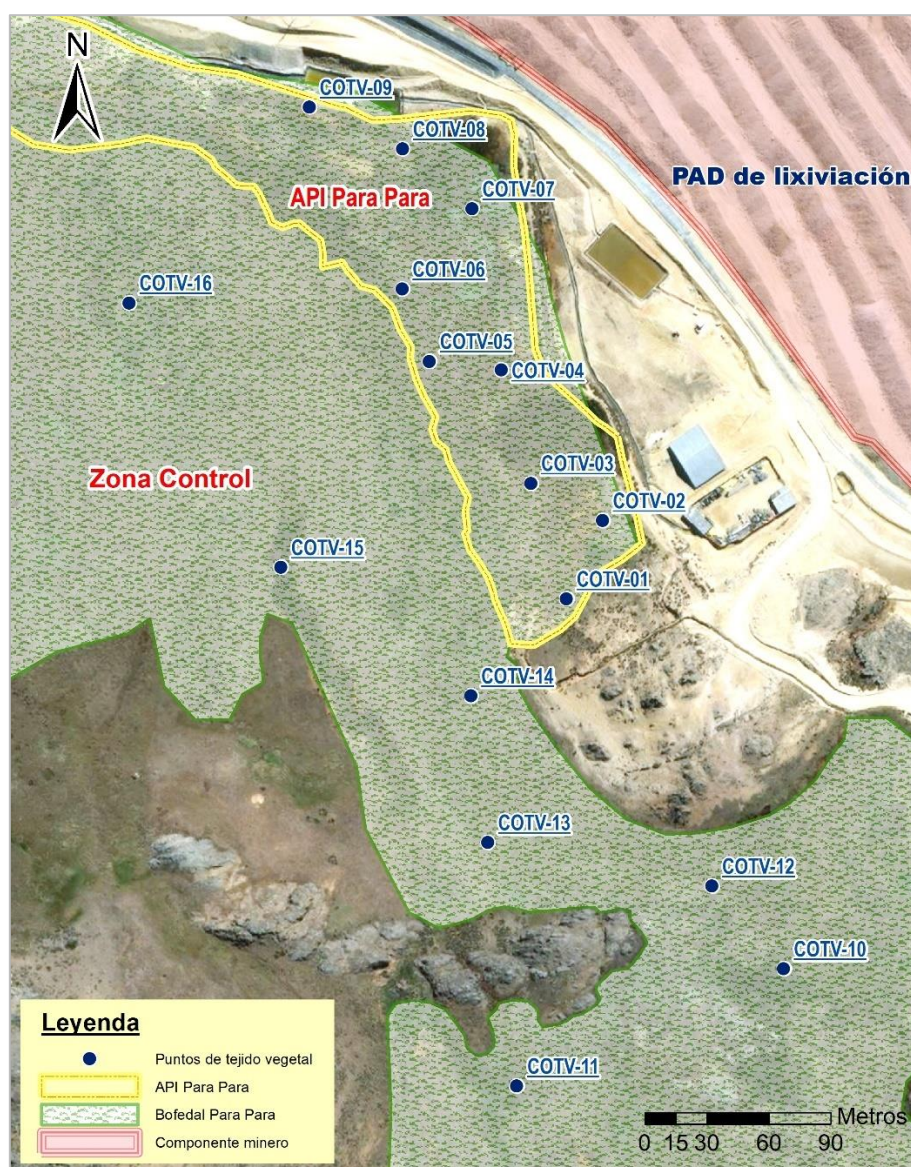


Figura 7.18. Ubicación de punto de colecta de tejido vegetal en el API Para Para y zona control

Graciano *et al.* (2003) menciona que los organismos indicadores de contaminación pueden serlo por mostrar modificaciones morfológicas macro o microscópicas, o bien por acumular el contaminante en los tejidos al ser expuestos a mayores concentraciones. Es por ello, que se realizó el análisis de tejido vegetal en 2 especies del género *Calamagrostis* (*Calamagrostis chrysantha* y *Calamagrostis* cf. *brevifolia*) presentes en el área de estudio (Figura 7.1), donde se analizaron el contenido de metales, macronutrientes y micronutrientes, tomando en consideración solo el tejido aéreo (tallos y hojas) de la planta. Se seleccionaron a estas especies debido a que fueron dos de las especies más predominantes en los bofedales registrados en el área de estudio; además, al ser perennes, pueden ser mejores indicadores de lo sucedido en un mayor tiempo de exposición a las fuentes de posible contaminación. Cabe indicar, que se colectaron las mismas especies en el API Para Para y en la zona control.



Figura 7.19. Especies seleccionadas para el estudio de tejido vegetal. A) *Calamagrostis chrysantha*, B) *Calamagrostis* cf. *brevifolia*

Nota: Las fotografías de todas las plantas colectadas en los distintos puntos de evaluación en el API Para Para y zona control se encuentran en las fichas fotográficas de los reportes de campo

Los resultados de los parámetros evaluados en el tejido vegetal de las especies estudiadas muestran que existe elevadas concentraciones metales en las muestras analizadas en el API Para Para. En ese sentido para determinar la asociación que existe entre la concentración de metales y los puntos evaluados en las zonas de estudio, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), el cual fue realizado en base a los resultados de los metales arsénico, plomo, hierro, aluminio, cobre y mercurio, y los macronutrientes azufre, magnesio, fósforo y potasio. Los elementos seleccionados para el análisis se realizaron tomando en cuenta los resultados de suelo.

El ACP muestra que el 86,9 % de la variación de los datos es explicada por los 2 primeros componentes, del cual el 79,0 % es explicado por el componente 1 y el 7,9 % por el componente 2. En la representación gráfica del ACP (Figura 7.3) se puede observar que existe una diferencia entre las concentraciones de metales halladas en el tejido vegetal de las muestras tomadas en el API Para Para, con respecto a la zona control. Asociados principalmente a un incremento en las concentraciones de los metales cobre, hierro, aluminio, arsénico, plomo y mercurio sustentados principalmente por el componente 1, el cual explica más del 79,0 % de la distribución de los datos. Asimismo, se evidencia que las zona control están asociadas a menores concentraciones de los metales analizados y a mayores concentraciones de los macronutrientes magnesio, potasio y fósforo.

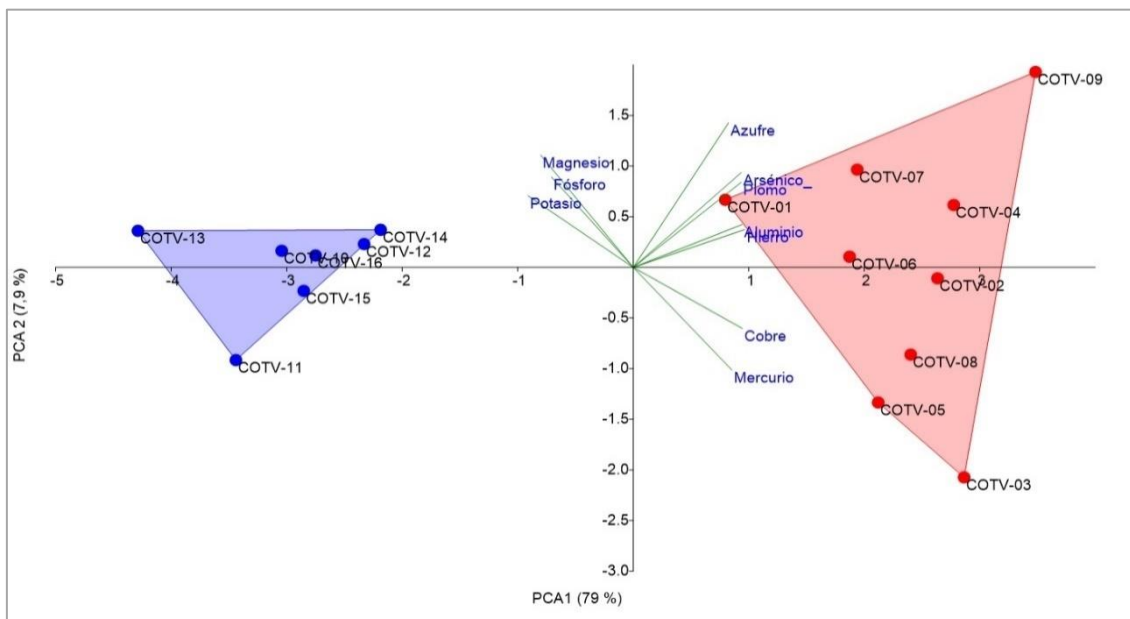


Figura 7.20. Análisis de componentes principales (ACP) de metales registrados en las muestras de tejido vegetal en el API Para Para y zona control

En el estudio de suelos se identificó que las 10 muestras superficiales de suelos del API Para Para superaron los valores de los ECA para suelo uso agrícola 2017 en los metales arsénico y plomo; asimismo, comparados referencialmente con los valores de la CSQG uso agrícola los metales cobre en 5 muestras, boro, selenio y talio en 9 muestras y molibdeno en todas las muestras superaron a dicha norma de referencia. Según los resultados obtenidos en el tejido vegetal los metales arsénico, plomo, cobre y selenio presentaron las mayores concentraciones en el API para en comparación a la zona control (Figura 7.4).

Y al realizar la prueba de hipótesis de U de Mann-Whitney, entre las concentraciones de estos metales halladas en el tejido vegetal de las zonas evaluadas (API Para Para y zona control) se obtuvo niveles de significancia de: $p=0,0002$ en arsénico, $p=0,0002$ en cobre, $p=0,0002$ en plomo y $p=0,0005$ en selenio, los cuales sustentan el rechazo de la hipótesis nula H_0 , y se demuestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones halladas en el tejido vegetal de las muestras colectadas en el API Para y zona control (Tabla 7.1). Lo que evidencia un efecto negativo de las concentraciones de estos metales halladas en el suelo producto del ingreso de las aguas de contacto y material de arrastre provenientes de las áreas operativas (sistema de tratamiento SP-03), sobre las plantas en el API Para Para, siendo las concentraciones de arsénico (de acuerdo con la mediana) 9,3 veces mayor en el API que en la zona control; asimismo, para plomo (5,5 veces mayor), cobre (24,8 veces mayor) y selenio (14 veces mayor).

Tabla 7.3. Prueba de hipótesis U de Mann-Whitney para los metales arsénico, cobre, hierro, mercurio, plomo, selenio y aluminio

Zona	Estadístico	Arsénico	Cobre	Hierro	Mercurio	Plomo	Selenio	Aluminio
API Para Para	Media	12,16	87,83	3717,02	0,13	2,76	0,35	1119,92
	Mediana	9,68	78,24	2328,02	0,12	2,33	0,28	920,65
Zona Control	Media	1,13	3,07	164,11	0,02	0,50	0,02	99,22
	Mediana	0,94	3,15	126,29	0,02	0,42	0,00	78,14
p		0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0005	0,0002

$p<0,05$ se rechaza la hipótesis nula, indicando que sí hay diferencia entre grupos

Metales con diferencias significativas



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

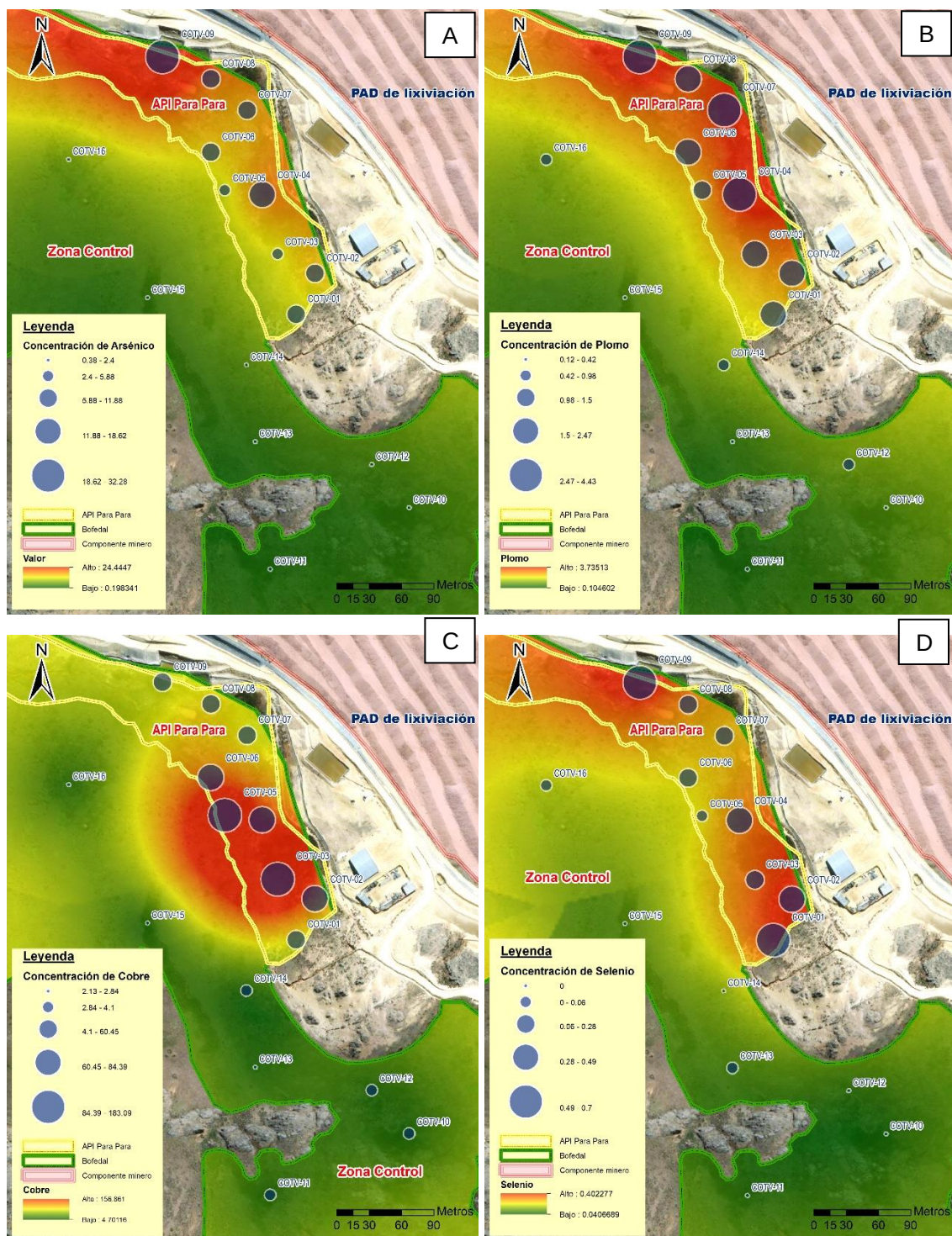


Figura 7.21. Distribución de las concentraciones de metales en tejido vegetal A: Arsénico, B: Plomo, C: Cobre y D: Selenio

Asimismo, de acuerdo con los resultados obtenidos se observó que las concentraciones de arsénico y cobre en el tejido vegetal se encuentran dentro de los niveles de concentración excesiva o tóxica según Kabata-Pendias (2010), siendo arsénico superior a 5 kg/mg en 8 de los 9 puntos evaluados (COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-06, COTV-07,

COTV-08 y COTV-09) en el API Para Para (Figura 7.5), y cobre superior a 20 mg/kg en los 9 puntos evaluados (COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09) dentro del API Para Para (Figura 7.6). Cabe resaltar que las concentraciones de arsénico y cobre hallado en el tejido vegetal de la zona control se encontraron en el rango de las concentraciones normales para plantas en todos los puntos evaluados (Figura 7.5 y 7.6).

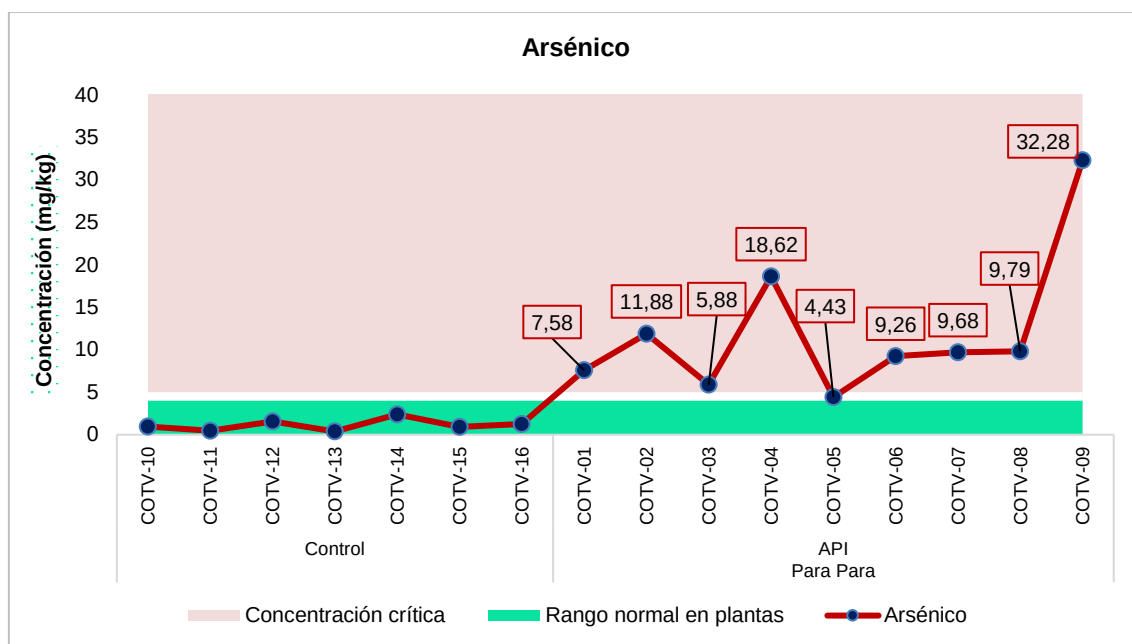


Figura 7.22. Concentraciones de arsénico en tejido vegetal de plantas en relación con los niveles normales y de concentración crítica (excesivo o tóxico), según Kabata-Pendias (2010), para plantas no hiperacumuladoras ni sensibles

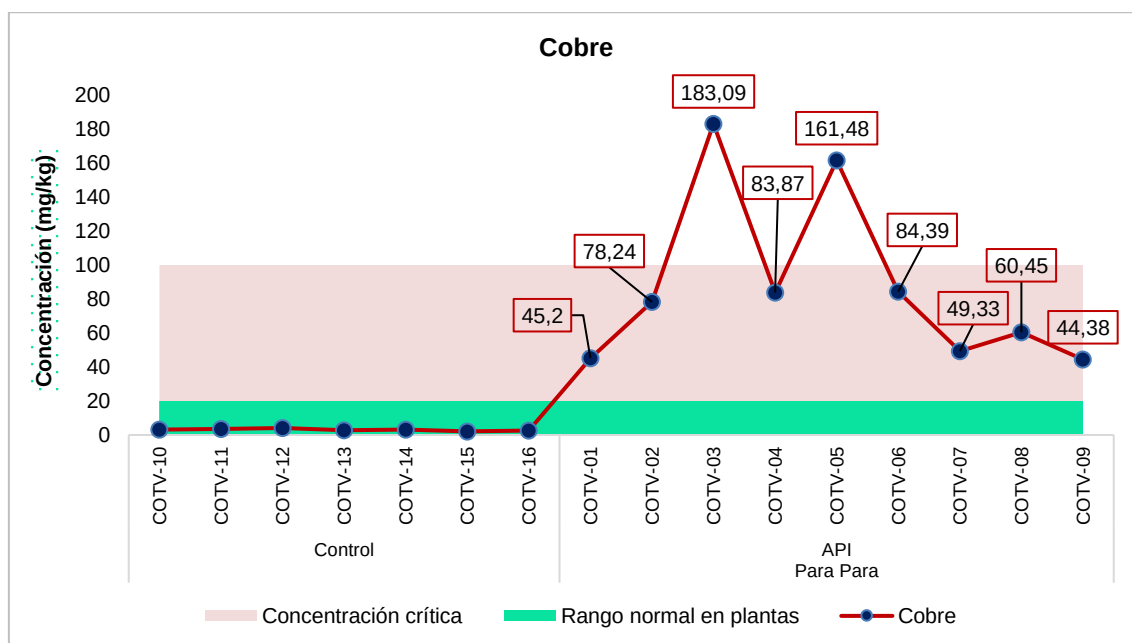


Figura 7.23. Concentraciones de cobre en tejido vegetal de plantas en relación con los niveles normales y de concentración crítica (excesivo o tóxico), según Kabata-Pendias (2010), para plantas no hiperacumuladoras ni sensibles

Entre los efectos del adversos del arsénico, se tiene que una excesiva asimilación de este metal resulta ser tóxico para las plantas, el cual reacciona con varios tipos de enzimas, rompe el flujo de energía en la célula e inhibe el crecimiento radicular (Mukherjee y Bhattacharya, 2001). Asimismo, interfiere con el metabolismo celular al reaccionar con los grupos -SH de las proteínas y reemplazar los grupos fosfato, el cual resulta en bloqueo del crecimiento de la planta (Tu y Ma, 2005). Es así, que entre los síntomas de toxicidad más comunes por arsénico se manifiesta en una pobre germinación de las semillas y una inhibición del crecimiento muy marcada (Farnese *et al.*, 2014). Por otro lado, el cobre es un metal esencial en las plantas y juega un papel importante en varios procesos fisiológicos, como la respiración, fotosíntesis, permeabilidad hídrica, metabolismo de las proteínas y procesos de oxidación-reducción (Kabata-Pendias, 2010). Sin embargo, el exceso de cobre en la planta es altamente tóxico; los síntomas más comunes son clorosis inducida por cobre, que produce una baja eficiencia fotosintética, daños al ADN, daño a la permeabilidad, complejos proteicos disturbados y malformación de la raíz, lo que recae a su vez en un retraso del crecimiento de la planta (Kabata-Pendias, 2010; Oorts, 2012).

Asimismo, las concentraciones de mercurio en suelo fueron significativamente mayores en el API Para Para con respecto a la zona control (Figura 7.10 de suelos), así también los resultados de Shake Flask en suelos muestran elevadas concentraciones de hierro y aluminio disuelto (Figura 7.8 y Tabla 7.2 de suelos), estos metales también han tenido un efecto en las concentraciones halladas en el tejido vegetal del API Para Para como se muestra en la figura 7.7, donde las concentraciones de aluminio, hierro y mercurio son significativamente mayores (Tabla 7.1). Siendo las concentraciones de hierro (de acuerdo con la mediana) 18,4 veces mayor en el API que en la zona control; asimismo, para aluminio (5,5 veces mayor) y mercurio (6 veces mayor). Cabe resaltar que los efecto tóxicos a elevadas concentraciones de hierro y aluminio en las plantas suelen incrementarse cuando el suelo presenta pH bajos (Rivera *et al.*, 2016), como los que se registrados en el API Para Para (pH 2,54 – 2,86 en la capa superficial).

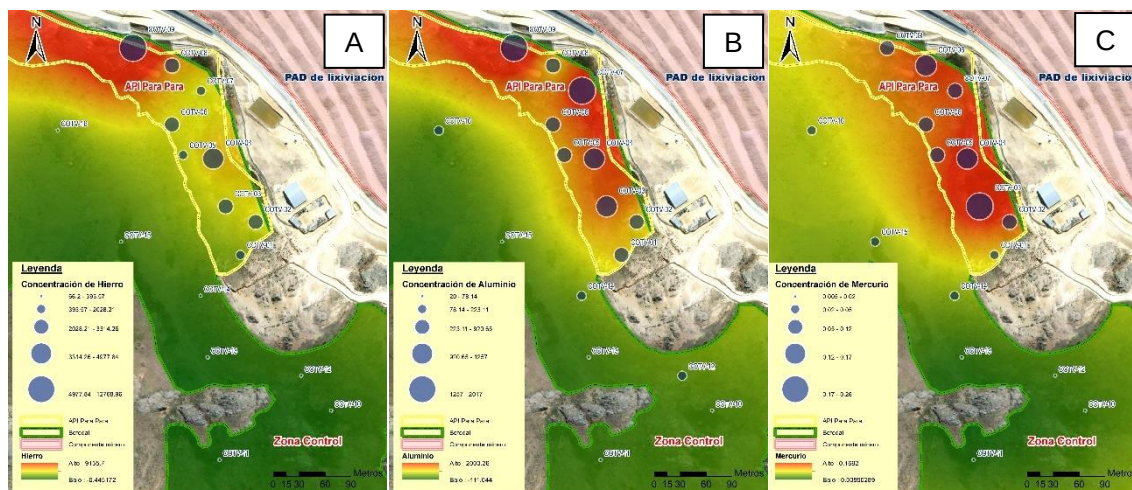


Figura 7.24. Distribución de las concentraciones de metales en tejido vegetal A: Hierro, B: Aluminio, C: Cobre y D: Mercurio

Al realizar la prueba de hipótesis de U de Mann-Whitney, entre las concentraciones de macronutrientes halladas en el tejido vegetal de las zonas evaluadas (API Para Para y zona control) solo se obtuvo niveles de significancia en azufre ($p=0,0002$), fósforo ($p=0,0115$), magnesio ($p=0,0002$) y potasio ($p=0,0003$), en donde se sustenta el rechazo de la hipótesis nula H_0 , y se demuestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones halladas en el tejido vegetal de ambas zonas de estudio, siendo las



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

concentraciones de azufre más elevadas en el API Para Para y fósforo, magnesio y potasio más elevadas en la zona control (Tabla 7.2).

Tabla 7.4. Prueba de hipótesis U de Mann-Whitney para los macronutrientes, azufre, calcio, fósforo, magnesio, nitrógeno y potasio

Zona	Estadístico	Azufre	Calcio	Fósforo	Magnesio	Nitrógeno Total	Potasio
API Para Para	Media	6081,22	2533,78	915,89	490,89	13915,56	5312,11
	Mediana	4938,00	1836,00	701,00	428,00	13660,00	4149,00
Zona Control	Media	1557,86	2900,57	1726,00	1224,14	16368,57	12907,57
	Mediana	1586,00	2424,00	1525,00	1280,00	15020,00	11767,00
<i>p</i>		0,0002	0,0907	0,0115	0,0002	0,2991	0,0003

$p < 0,05$ se rechaza la hipótesis nula, indicando que sí hay diferencia entre grupos

Metales con diferencias significativas

Las elevadas concentraciones de azufre en el tejido vegetal de las muestras analizadas en el API para Para en comparación a los otros macronutrientes (Figura 7.8), responden el aporte del ion sulfato (SO_4) al suelo por parte de los lixiviados que ingresan al bofedal Para Para, los cuales en la muestra compuesta de suelos CSUC-a en donde se colectaron las muestras de tejido vegetal presenta una concentración de 1559,92 mg/L (Figura 7.6 de suelos), a su vez los resultados de Shake Flask en la misma muestra también presenta elevadas concentraciones de azufre disuelto (Figura 7.8 de suelos), lo que facilita su absorción por parte de la planta, produciéndose un incremento en el tejido vegetal.

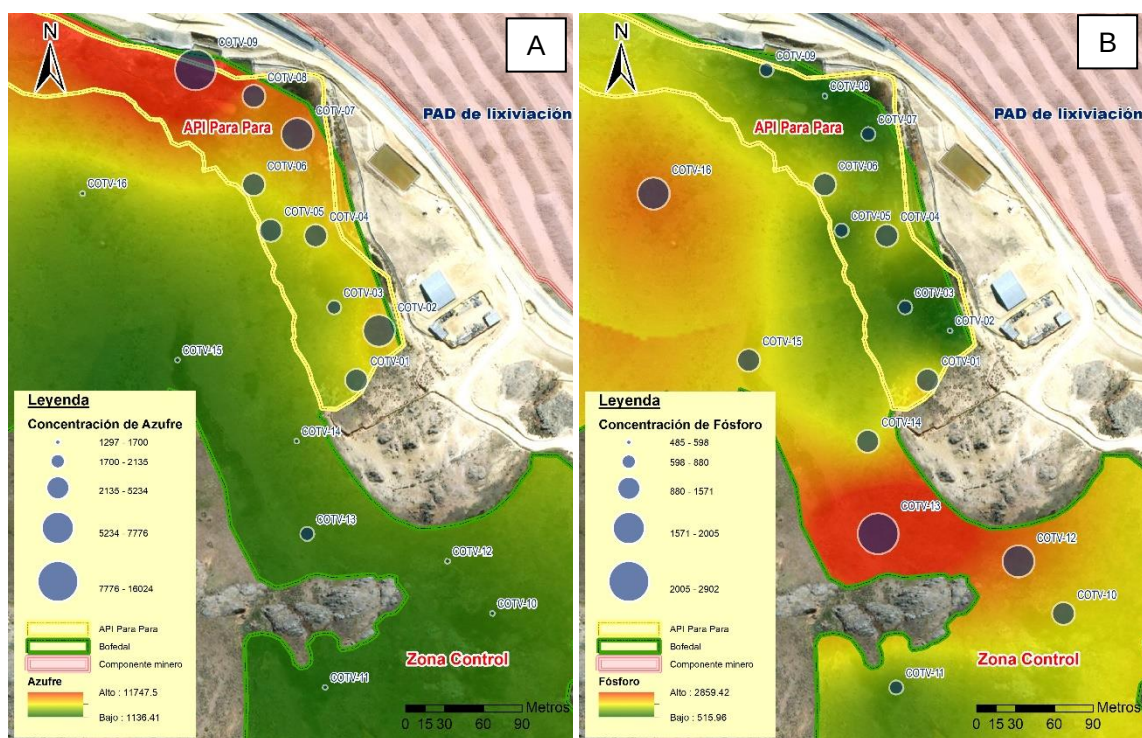


Figura 7.25. Distribución de las concentraciones de micronutrientes en tejido vegetal A: Azufre y B: Potasio

Por otro lado, se evidencia una disminución significativa en los macronutrientes magnesio, fósforo y potasio de las muestras analizadas en el API Para Para con comparación con los de la zona control (Figura 7.8, 7.9 y Tabla 7.2), esto puede obedecer a muchos factores,

como una disminución de los nutrientes en el suelo evidenciado en una menor concentración de magnesio en los suelos del API (Figura 7.9), así también como daños en la raíz de la planta por las elevadas concentraciones arsénico, lo que disminuiría la capacidad de absorción de la planta. Otro factor importante sería las concentraciones elevadas de Al^{+3} presentes en el suelo del API Para Para ($H^{+} + Al^{+3}$: 71,43 % en API vs $H^{+} + Al^{+3}$: 0,00 % en zona control), dado que conlleva a la disminución de la solubilidad del fósforo y del molibdeno, y al descenso de la concentración de macronutrientes en la solución del suelo (Rout et al., 2001). En general la toxicidad por Al^{3+} es el factor más limitante del crecimiento y desarrollo de las plantas en suelos ácidos, (sobre todo si el pH es $<5,0$) (Rivera et al., 2016), ya que interfiere con la división y elongación celular, modifica la estructura y el funcionamiento de las membranas plasmáticas, aumenta la rigidez de la pared celular, disminuye la respiración, interfiere con la actividad de varias enzimas, reduce la toma de agua e interfiere con la toma, transporte y metabolismo de varios nutrientes (Garzón, 2003; Casierra & Aguilar, 2007).

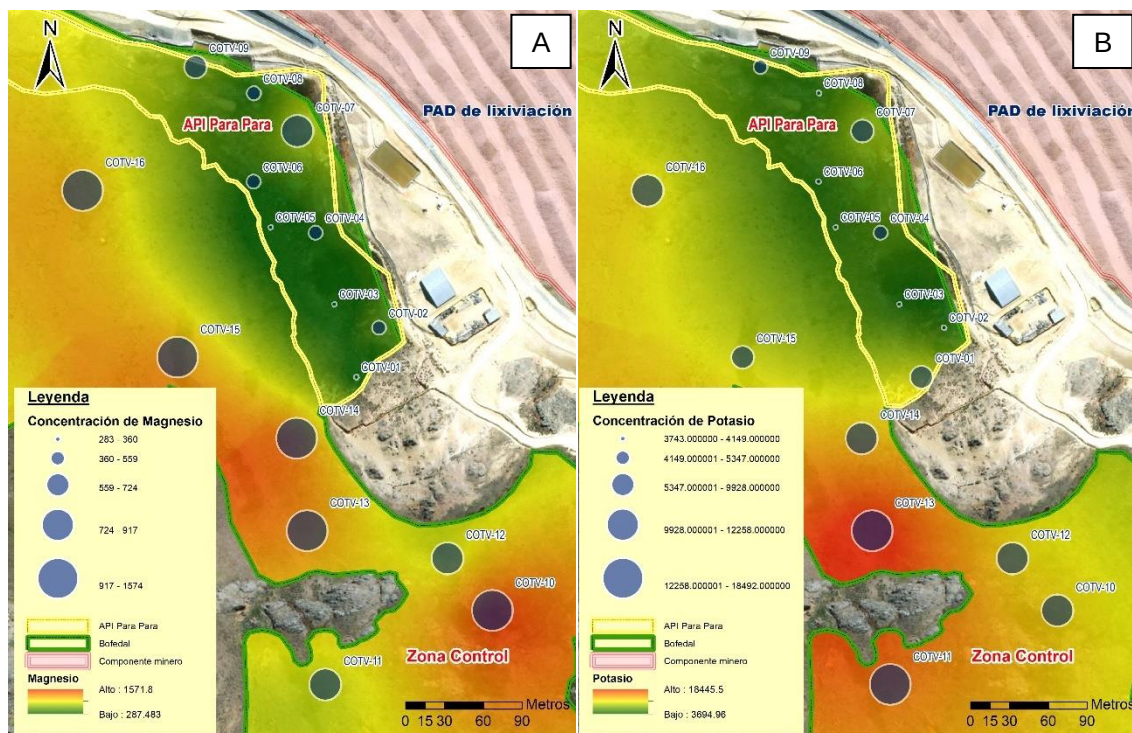


Figura 7.26. Distribución de las concentraciones de micronutrientes en tejido vegetal A: Magnesio y B: Potasio

Las concentraciones elevadas de los metales hallados principalmente arsénico y cobre en la planta (la cuales se encuentran en rangos de excesivo a tóxico), así como las condiciones fisicoquímicas del suelo (los cuales tienen efectos negativos sobre las plantas), están conllevado al decline del bofedal presente en el API Para Para como se observa en la figura 7.10, donde se observa un evidente deterioro del sector del bofedal presente en el API Para Para en comparación con el sector de la zona control; asimismo, las especies características de bofedales altoandinos como *Calamagrostis chrysantha*, *Distichia muscoides* y *Plantago rigida* muestran una clara evidencia de daño con respecto a las mismas especies halladas en la zona control (Figura 7.10).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

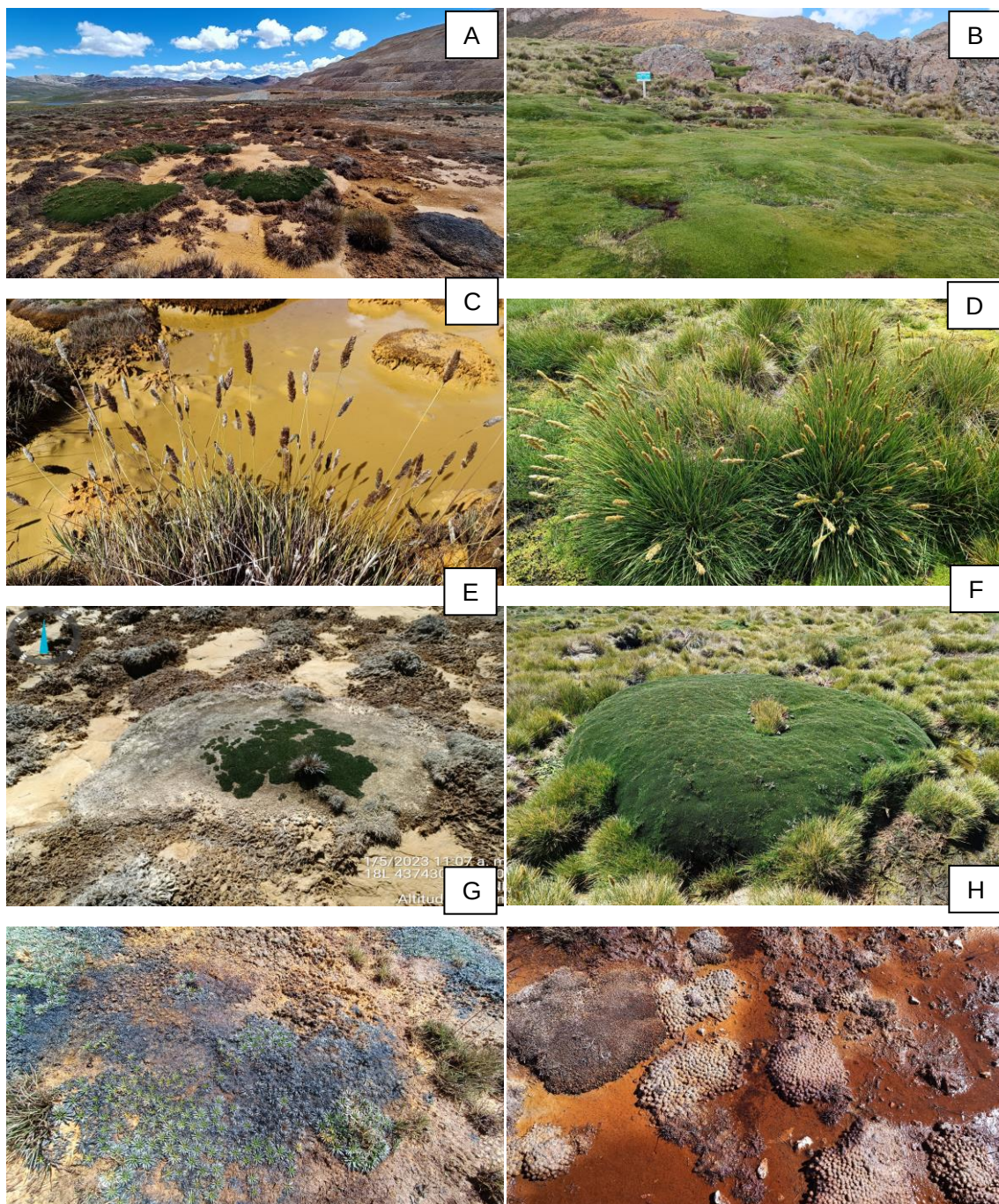


Figura 7.27. Bofedal Para Para y especies de importancia ecológica. A) API Para Para; B) Zona Control; C) *Calamagrostis chrysantha* en API; D) *Calamagrostis chrysantha* en zona control; E) *Distichia muscoides* en API; F) *Distichia muscoides* en zona control; G y H) *Plantago rigida* en API

Por otro lado, las concentraciones de arsénico, cobre, hierro, aluminio y azufre en el tejido vegetal sobrepasaron de manera referencial el contenido máximo tolerable en el alimento para el consumo animal (vacas y ovejas), establecido por el *Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals, National Research Council*, en los puntos basado en índices de salud animal (NRC, 2005). Para cobre en los puntos COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09 (Figura



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

7.11), donde las concentraciones halladas en el tejido vegetal superaron el contenido máximo de 15 mg/kg permitido para la alimentación de ovejas de la referida normativa. Igualmente, las concentraciones en los 9 puntos superaron el contenido máximo de 40 mg/kg, permitido para la alimentación de ganado vacuno. Para arsénico se dio en el punto COTV-09, donde la concentración hallada supero el máximo permitido para la alimentación de ovejas y vacas de 30 mg/kg (Figura 7.12). Para hierro en los puntos COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09, donde las concentraciones en tejido vegetal superaron el máximo permitido para la alimentación de ovejas y vacas de 500 mg/kg (Figura 7.13). Para aluminio en los puntos COTV-03, COTV-04, COTV-07 y COTV-09, donde las concentraciones en tejido vegetal superaron el máximo permitido para la alimentación de ovejas y vacas de 1000 mg/kg (Figura 7.14). Y para azufre en los puntos COTV-02, COTV-04, COTV-07 y COTV-09, donde las concentraciones en tejido vegetal superaron el máximo permitido para la alimentación de ovejas y vacas de 5000 mg/kg (Figura 7.15).

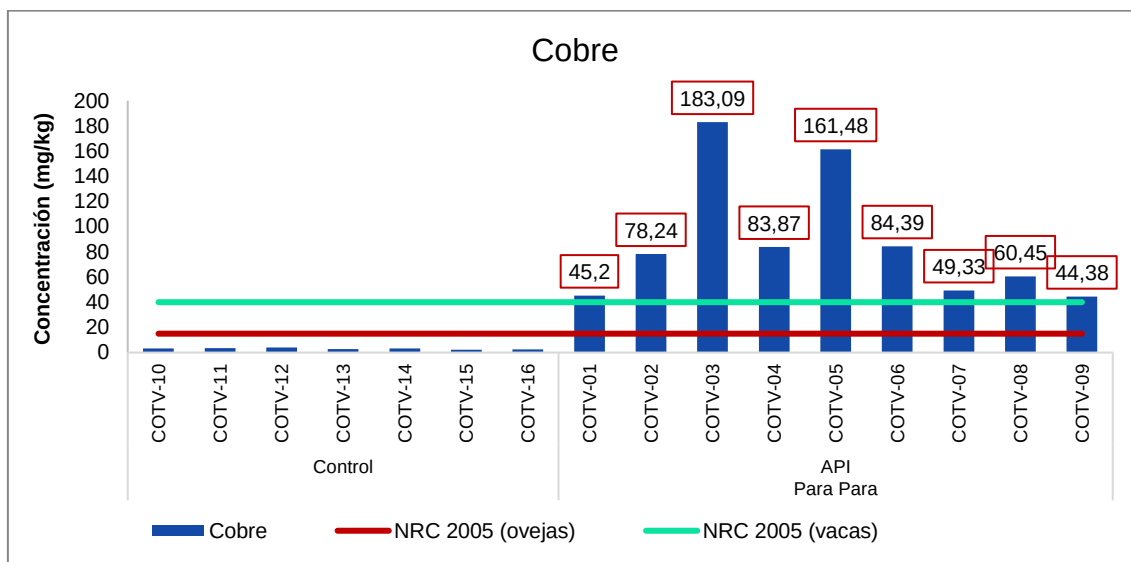


Figura 7.28. Concentraciones de cobre en tejido vegetal en relación con los valores establecidos en el NRC 2005



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

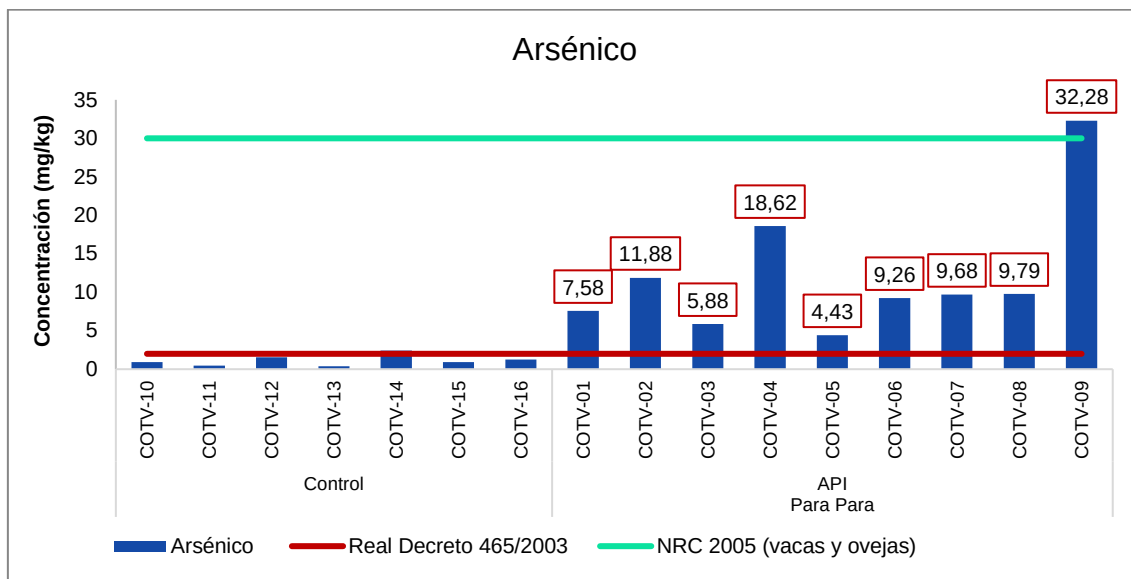


Figura 7.29. Concentraciones de arsénico en tejido vegetal en relación con los valores establecidos en el NRC 2005

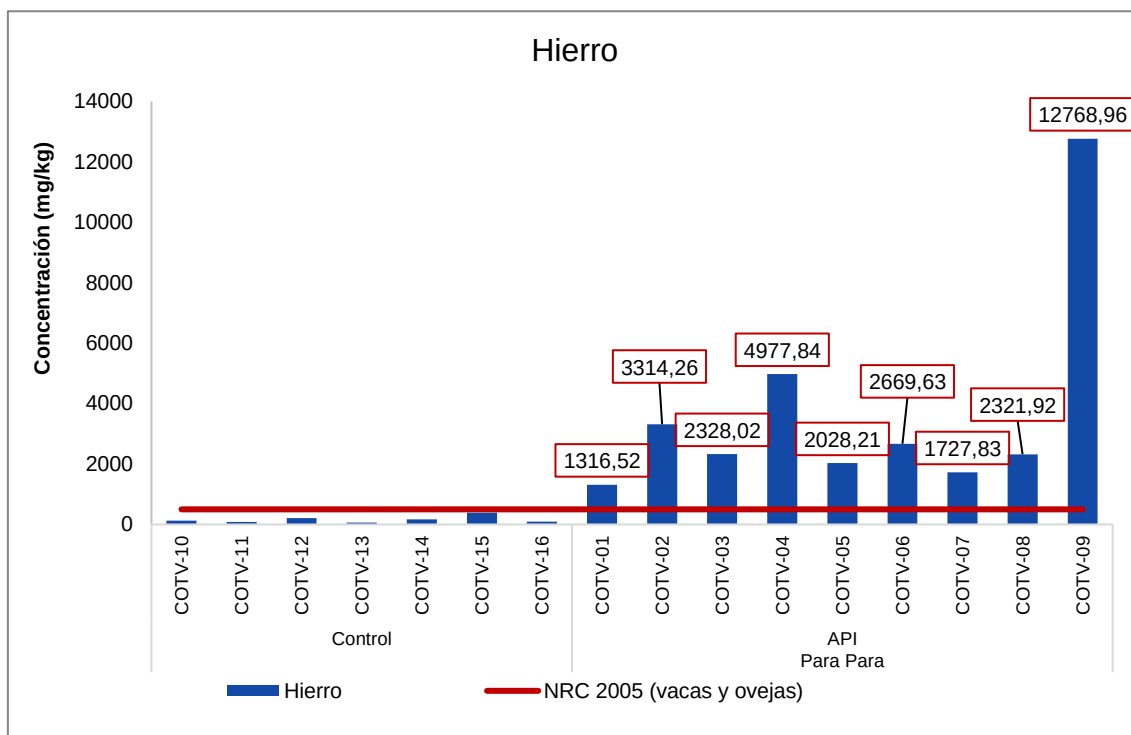


Figura 7.30. Concentraciones de hierro en tejido vegetal en relación con los valores establecidos en el NRC 2005

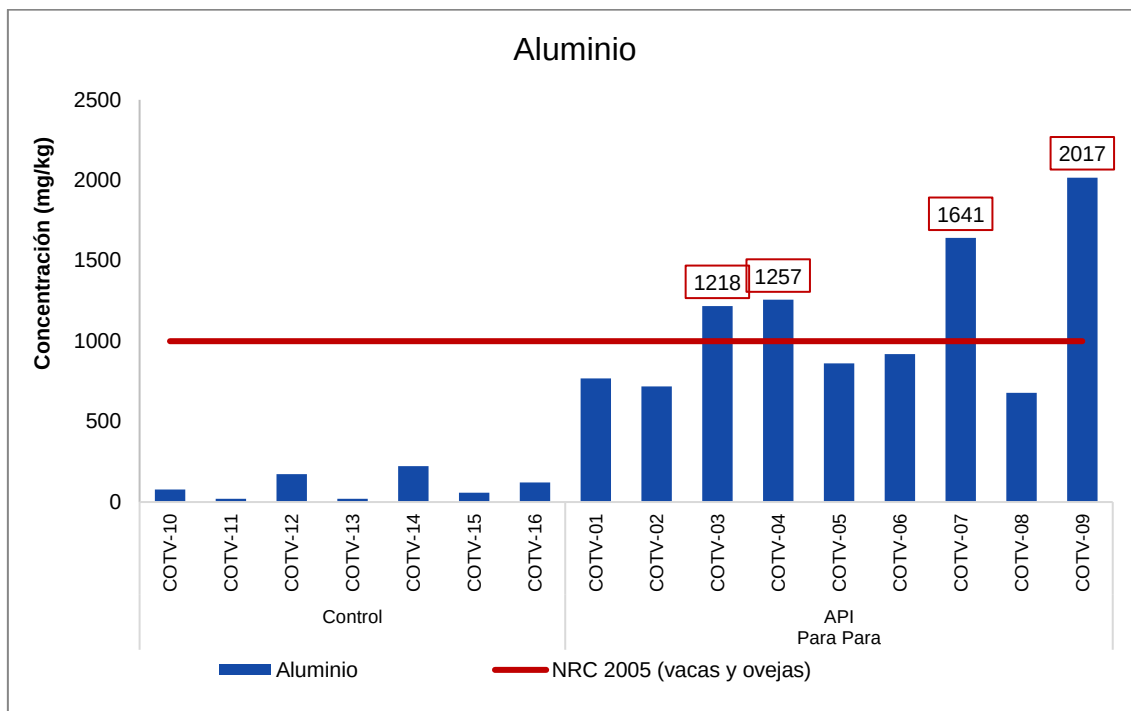


Figura 7.31. Concentraciones de aluminio en tejido vegetal en relación con los valores establecidos en el NRC 2005

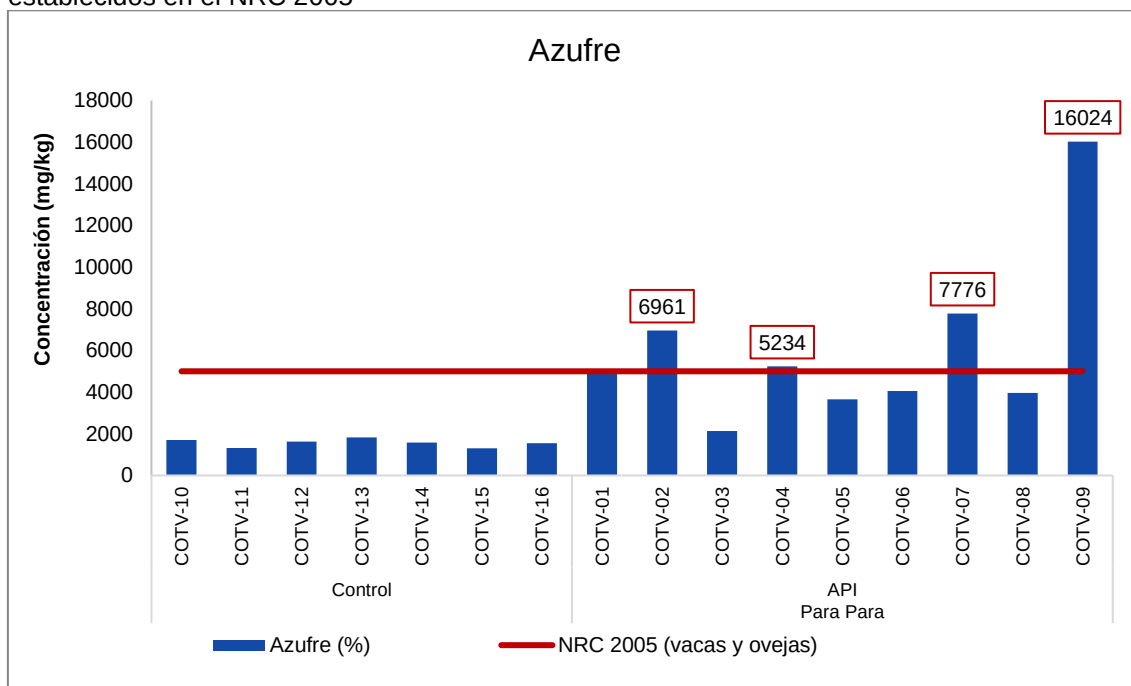


Figura 7.32. Concentraciones de azufre en tejido vegetal en relación con los valores establecidos en el NRC 2005

Es conocido que la muerte por toxicosis por cobre es un problema común en las ovejas. La sensibilidad de las ovejas a la toxicidad del cobre parece estar relacionada con su incapacidad para aumentar la excreción biliar de cobre en respuesta a una ingesta elevada de este metal (Bremner, 1998). El hierro es de gran importancia para el organismo animal (McDowell, 2003); sin embargo, su desbalance se manifiesta como deficiencia o toxicidad



(Underwood y Suttle, 2003). Si bien la toxicidad por hierro no es común en animales domésticos, concentraciones elevadas podrían causar daño peroxidativo principalmente en el hígado (NRC, 2005). Asimismo, dietas altas en azufre causan la muerte por polioencefalomalacia en bovinos (NRC, 2005), la cual es una patología que se refiere al reblandecimiento de la sustancia gris del encéfalo (necrosis cerebro-cortical) (Gould, 2000). Entre las potenciales fuentes de azufre dietético se tiene al agua de bebida (principalmente en forma de sulfatos), plantas y mezclas minerales (Gould, 2000). Por lo tanto, estas especie o especies vegetales que crecen en el mismo medio podrían representar una fuente de peligro si fuesen ingeridas por la fauna domestica (vacas y ovejas).

Finalmente, las concentraciones halladas en el tejido vegetal también superaron de manera referencial el contenido máximo de los metales de arsénico en los puntos COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-06, COTV-07, COTV-08 y COTV-09 y mercurio en los puntos COTV-01, COTV-02, COTV-03, COTV-04, COTV-05, COTV-07, COTV-08 y COTV-09 establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española.

Anfibios y reptiles

En el área de estudio se registró una especie de anfibio, el sapo marmoleado de cuatro ojos *Pleurodema marmoratum* y una especie de reptil la lagartija *Liolaemus robustus* (Figura 1), ambas especies fueron registradas en estudios previos realizados por Minera IRL ^{64,65}, sin embargo, los registros obtenidos por OEFA constituyen los primeros para el bofedal Para Para, área que no fue incluida en los levantamientos de línea base y monitoreos biológicos semestrales.

⁶⁴ EIA del proyecto ampliación de producción y capacidad instalada de la planta de beneficio de la mina Corihuarmi. Aprobado mediante R. D. N° 010-2012-MEM/AAM

⁶⁵ Segunda MEIA para la ampliación del PAD de lixiviación fase 4 y yajos en la Unidad Minera Corihuarmi. Aprobado mediante R. D. N° 617-2014-EM/DGAAM.

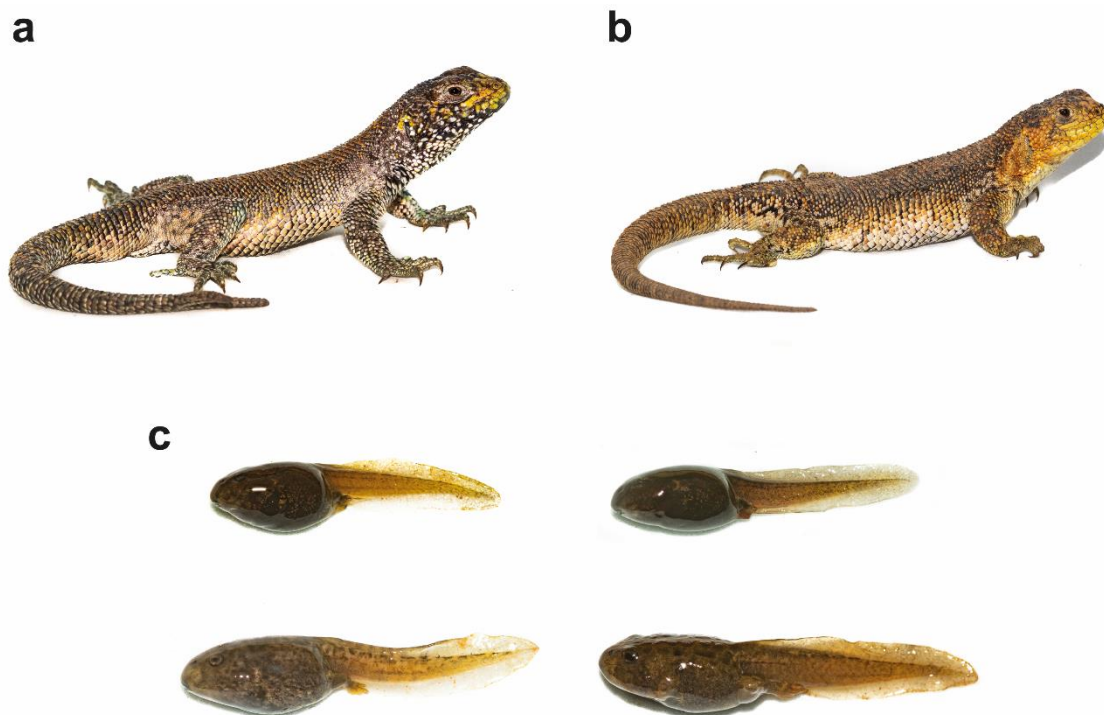


Figura 1. Especies de anfibios y reptiles registrados en el bofedal Para Para

a. *Liolaemus robustus*, adulto macho, b. *Liolaemus robustus* hembra, adulto hembra, c. Larvas de *Pleurodema marmoratum*

Considerado lo hallado en las evaluaciones de suelo y agua superficial, se realizaron 6 búsquedas por encuentro visual (VES) en un área con presunta afectación (API Para Para) y áreas cercanas (< 20 m), y en el resto del bofedal donde no se identificó afectación aparente (área control) se realizaron 8 VES (Figura 2).

Abundancia relativa de larvas de *Pleurodema marmoratum* en relación con las características de agua superficial en el bofedal Para Para

La especie más abundante fue el anfibio *Pleurodema marmoratum*; se registró principalmente en estadio larval, presentando mayor abundancia relativa en el área control, con un registro de al menos 121,67 larvas por VES, estando presente en 4 de los 8 VES evaluados. Por el contrario, en el API Para Para y áreas cercanas al API (CORI-HE-V5) se registró una abundancia relativa menor con 41,67 larvas por VES, siendo importante mencionar que, no se registró ninguna larva dentro del API.

Esta diferencia se daría principalmente debido a las características del agua y hábitat presente en el API Para Para respecto al área control. En el API Para Para la mayor parte de la vegetación presentó una coloración marrón con aguas ácidas sin vegetación acuática, en las pozas de agua formadas en el API (BOF1 con 2,86 unidades de pH, BOF2 con 3,38 unidades de pH, BOF3 con 4,08 unidades de pH, BOF6 con 3,78 unidades de pH y BOF-4 con 5,16 unidades de pH), donde no se registró ningún individuo o larva, a pesar de que se realizaron 4 VES (CORI-HE-V1, CORI-HE-V3, CORI-HE-V4 y CORI-HE-V13) y búsquedas libres (Figura 2). Los registros de larvas de *Pleurodema marmoratum* se realizaron cerca al lado oeste del API Para Para donde se estima que las pozas en el bofedal presenten un pH cercanos a la neutralidad similares a los puntos BOF-05 (CORI-HE-RO1) y QBpar1, con



6,36 y 6,55 unidades de pH, respectivamente. Es importante recalcar que no se halló ningún individuo o larva de *Pleurodema marmoratum* en la quebrada Para Para cuyas aguas son ácidas con alto contenido de metales, según lo hallado en el punto SW-02, donde se registró 3,38 unidades de pH (Figura 2).

En el área control, donde se realizaron 8 VES, se registró un promedio de 121,67 larvas por VES, debido a que presentaron mejores condiciones de pH, tal como se registró en el punto QBPar1 (6,55 unidades de pH). En esta área, la mayoría de las pozas presentaron vegetación sumergida y macroinvertebrados, constituyendo hábitats adecuados para el desarrollo y establecimiento de anfibios (Figura 3).

Los anfibios son sensibles a los cambios en su medio, especialmente en estadios larvales cuando dependen de las características del agua que habitan. Particularmente el pH es un factor determinante en su desarrollo, valores bajos pueden causar daños en las larvas de anfibios ya sea directamente causando toxicidad o mediante la inducción de problemas en la osmorregulación (Sparling 1995; Rowe y Freda 2000, Pierce 1993). Si bien la tolerancia puede variar considerando la especie de anfibios, en general se estima que valores menores a 4,5 – 4,8 unidades de pH del agua son perjudiciales para el desarrollo y sobrevivencia de embriones (Sparling D. W., 2010, Dolmen D. *et al.* 2018).

En la actualidad las pozas formadas dentro del API Para Para presentaron valores ácidos de pH que varían entre 2,8 a 5,16 unidades de pH, debido a un manejo inadecuado de aguas de contacto que ingresan al bofedal mediante un canal sin revestimiento (CA-PAR-01), así como aguas de contacto (ARI-10 y ARI-9) que ingresan a la altura entre la poza SP-01 y SP-02 que conforma el sistema de tratamiento SP-03, que confieren a esta porción del bofedal características que no son adecuadas para el desarrollo de larvas de *Pleurodema marmoratum*, hecho que constituye una afectación sobre el hábitat de esta especie.

Respecto a la lagartija *Liolaemus robustus*, se halló que es una especie que presentó baja abundancia y frecuencia en el área de estudio y no se hallaron diferencias en la distribución de su abundancia relativa, en el API Para Para y área control. Esto posiblemente debido a que los requerimientos de hábitat y ecología de esta especie no está ligada a las características de los cuerpos de agua.

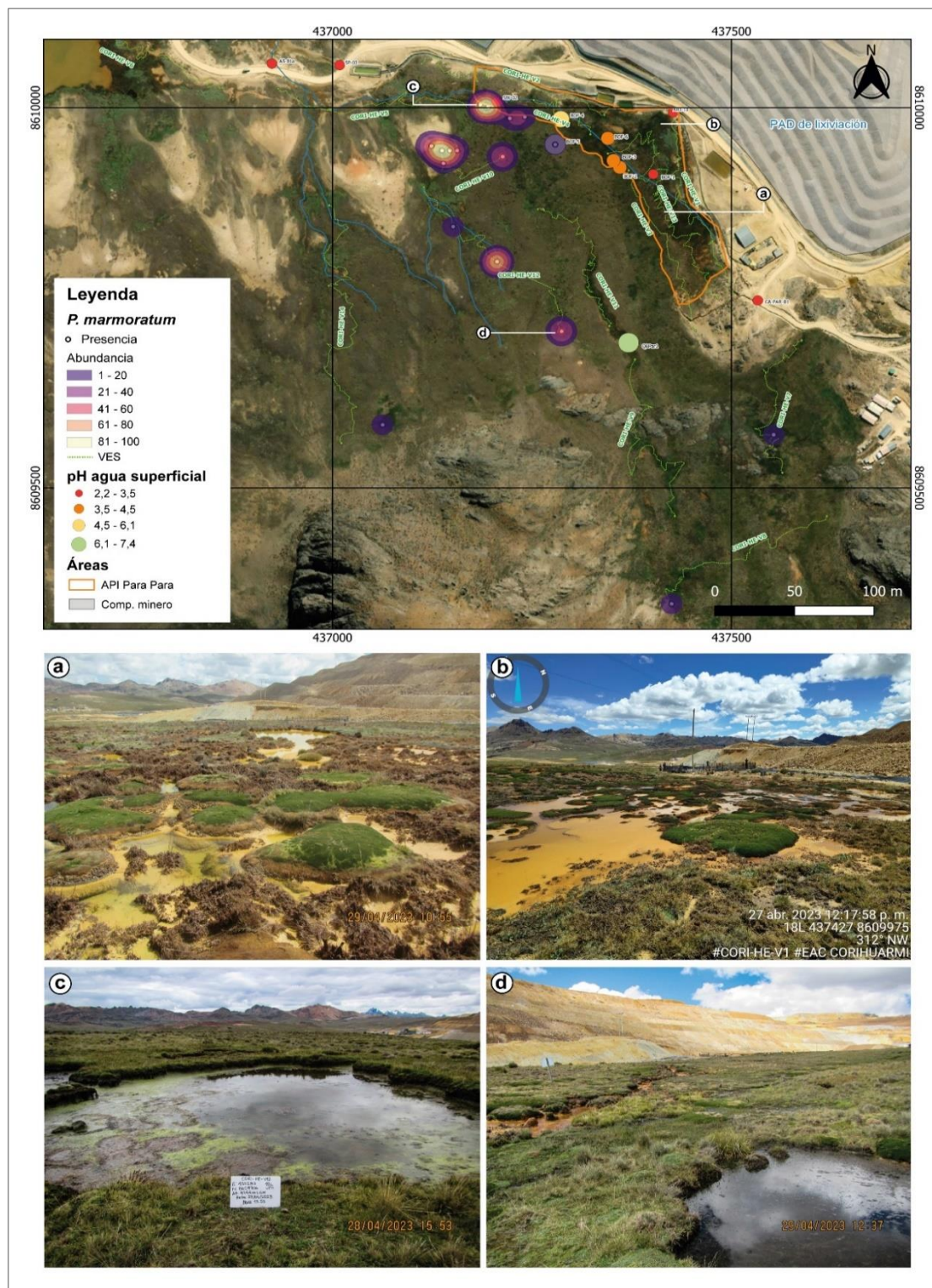


Figura 2. Distribución de la abundancia de larvas de *Pleurodema marmoratum* y representación del pH en los puntos de agua superficial en el bofedal Para Para. Pozas de agua con pH ácido coloración oscura sin vegetación sumergida **a.** CORI-HE-V13 y **b.** CORI-HE-V1. Pozas de agua con > 6,0 unidades de pH, coloración translucido y vegetación sumergida, **c.** CORI-HE-V12 y **d.** CORI-HE-V5



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Concentración de metales en larvas de *Pleurodema marmoratum*

Las larvas de anfibios son estrictamente acuáticas, y por ello son buenos indicadores de contaminación, ya que pueden absorber agentes contaminantes, incluso metales, directamente del medio circundante a través de la piel y principalmente mediante la ingesta del biofilm bentónico, macrofitas y sedimento (Hopkins W. A. y Rowe C. L., 2010, Sparling D. W. y Lowe T. P., 2016, Smalling K. L. *et al.*, 2019). El sapo marmoleado de cuatro ojos *Pleurodema marmoratum*, presenta un ciclo bifásico, atravesando un periodo larval acuático, en que se alimenta principalmente de detritos en el sedimento y una fase postmetamórfica terrestre, presentando una baja capacidad de dispersión, características que los convierte en buenos indicadores biológicos de su medio.

Dadas sus características ecológicas e historia natural es factible inferir que las concentraciones de metales halladas en larvas de anfibios estén relacionadas a las concentraciones halladas en el agua y sedimentos del medio donde se desarrollan. Si bien los metales que naturalmente se encuentran en suelo y agua son esenciales para el desarrollo de los seres vivos, cuando exceden ciertos rangos pueden ser tóxicos causando serios impactos en la flora y fauna (Singh *et al.*, 2011). En anfibios la exposición a metales no esenciales e incluso una exposición excesiva a metales esenciales (Hopkins W. A. y Rowe C. L., 2010) puede producir efectos letales o subletales que incluyen una disminución en la tasa de crecimiento y en la fertilidad, mayor frecuencia de anomalías durante el desarrollo, mayor susceptibilidad a enfermedades, cambios de comportamiento y otros (Carvalho C. S. *et al.*, 2017; Girotto L. *et al.*, 2020; Guo R. *et al.*, 2017; Hopkins W. A. & Rowe C. L., 2010; Mardirosian M. *et al.*, 2017; Ortiz-Ordoñez E. *et al.*, 2016; Pollo *et al.*, 2016), lo cual puede incidir sobre su abundancia y permanencia en los hábitats que ocupa.

En el área de estudio, para comparar la concentración de metales en larvas de *Pleurodema marmoratum* se determinaron 3 áreas: (1) el API Para Para, donde no se registraron anfibios, (2) un área cercana al lado oeste del API donde se colectaron 3 muestras y (3) un área control que constituye el resto del bofedal Para Para. No se consideró la muestra CORI-HE-V10, como parte del área control debido a que se encuentra sobre un área erosionada de depósitos de tipo coluvial – deluvial con elevadas concentraciones de plomo, mercurio y otros metales, según la muestra de roca RC-23-19, siendo diferente a las demás muestras de la zona control, presentando elevadas concentraciones de estos metales de forma natural.

Al comparar las concentraciones de los elementos hallados en larvas de *Pleurodema marmoratum* entre las muestras colectadas cerca al API Para Para y área control se obtuvo que, la mediana de la mayoría de los elementos analizados fue mayor cerca al API en las muestras CORI-HE-V5, CORI-HE-RO1 y CORI-HE-RO3, obteniendo una diferencia significativa para el mercurio y plomo, aunque ninguno de estos dos últimos elementos no fueron detectados en los puntos de agua superficial SW-02 y aguas de contacto CA-PAR-01, ARI-9 y ARI-10, si presentaron elevadas concentraciones en las muestras de suelo, los valores de plomo superaron los valores del ECA para suelo de uso agrícola 2017 en los 10 puntos evaluados en el API. De igual forma, el cobre en las muestras de suelo, comparado referencialmente, sobrepasó los valores de la



CSQG de uso agrícola de la norma canadiense (2018) en 5 puntos de los 10 analizados.

Tomando en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior se consideraron como elementos de interés para anfibios el mercurio, plomo y cobre, aunque este último no obtuvo diferencias significativas respecto a las muestras de *Pleurodema marmoratum* del área control, sí alcanzó elevadas concentraciones en las larvas capturadas cerca al API Para Para.

El plomo es un elemento que ha recibido considerable estudio ambiental y toxicológico, debido a su persistencia en el medio ambiente y a los efectos toxicológicos que causa en muchos sistemas fisiológicos. En cuanto a anfibios Berzins y Bundy (2002) reportaron que a una exposición crónica y una acumulación de al menos 3 µg/g ($\approx$ 3 mg/kg) se produjo la reducción de peso y retraso en el desarrollo en renacuajos de *Xenopus laevis*. Igualmente, Arrieta *et al.* (2004), determinaron que a una concentración de 1,158 µg/g ($\approx$ 1,158 mg/kg) de plomo en tejido de órganos presentaron signos de anemia. Considerando estos datos, en este estudio las concentraciones de plomo (0,1226 mg/kg - 0,5161 mg/kg) halladas en las larvas de *Pleurodema marmoratum* colectadas cerca al API Para Para parecen aun no causar efectos letales o subletales, sin embargo, fueron significativamente mayores a las registradas en el área control, donde ninguna muestra alcanzó el límite de cuantificación (< 0,0423 mg/kg).

El mercurio es un contaminante ambiental importante debido a su distribución global, tendencia a la bioacumulación y toxicidad en la vida silvestre. Respecto a los anfibios pocos estudios se han enfocado en la descripción de los efectos del mercurio a través de la exposición dietética, Unrine *et al.* (2004) determinaron que larvas de *Rana sphenoccephala*, con una concentración de aproximada de 240 ng/g ($\approx$ 0,24 mg/kg) de mercurio en tejido, presentaron efectos adversos en el desarrollo y una disminución del éxito metamórfico. Las muestras colectadas cerca al API Para Para (CORI-HE-V5, CORI-HE-R01 y CORI-HE-RO3) presentaron una concentración de mercurio que varió entre 0,0752 mg/kg - 0,2001 mg/kg, según lo hallado por Unrine *et al.* (2004) estas concentraciones parecen aun no tener efectos sobre las larvas de anfibios; sin embargo, en comparación con lo hallado en las muestras del área control, presentaron valores que fueron entre 1,6 y 4,2 veces mayor a lo hallado en el área control, donde todas las muestras alcanzaron solo el nivel mínimo de cuantificación (0,0476 mg/kg).

En el ámbito del API Para Para y áreas cercanas, el tercer elemento de interés fue el cobre que además de ser detectado en larvas de *Pleurodema marmoratum* fue detectado en diferentes puntos de agua superficial relacionados al bofedal sobrepasando el ECA Cat. 3: D1 y/o D2 2008 y 2017 (CA-PAR-01 con 2,9663 mg/L, SW-02 con 1,2954 mg/L, ARI-9 con 43,6976 mg/L y ARI-10 con 65,4759 mg/L). En cuanto a los anfibios se ha determinado que, si bien parecen ser tolerantes a la exposición aguda de cobre, son relativamente sensibles a la exposición crónica, dependiendo de la especie, el rango de concentración más baja a la cual se observa algún efecto (LOEC) puede variar entre 0,38 µg/L – 500 µg/L (equivalentes a 0,00038 mg/L - 0,5 mg/L) (Azizishirazi *et al.* 2021), lo cual indica que las aguas provenientes de los puntos CA-PAR-01, SW-02, ARI-9 y ARI-10, tendrían efectos negativos sobre las



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

larvas de *P. marmoratum* más aun considerando que las condiciones de pH ácido en los puntos mencionados (2,05 – 3,38 unidades de pH) favorecen la biodisponibilidad y toxicidad del cobre (Azizishirazi *et al.* 2021)

En cuanto a la concentración de cobre en larvas de *Pleurodema marmoratum* se determinó que las concentraciones de las muestras cercanas al API (0,2943 mg/kg – 0,4666 mg/kg) fueron entre 1,3 y 3,2 veces mayores a las del área control (0,1475 mg/kg – 0,3464 mg/kg); sin embargo, no alcanzaron niveles que puedan causar efectos subletales en anfibios, que según Chen *et al.* (2007) se producen en larvas de *Rana pipiens* con concentraciones mayores a 145,5 mg/kg de cobre.

En el área control se registraron valores elevados de hierro en las larvas de *Pleurodema marmoratum* de las muestras CORI-HE-V7 y CORI-HE-V8, debido al aporte de rocas volcánicas de la Formación Astobamba que por procesos supérgenos asociados a la oxidación de los minerales ferromagnesianos y sulfuros generó intemperismo y migración de este elemento al suelo y depósitos cuaternarios aledaños, lo cual concuerda con las anomalías espectrales reportadas por INGEMMET (2020) que indican la presencia de zonas de alteración con contenido de óxidos de hierro (Fe³⁺) en las zonas altas del cerro ubicado al sur del campamento antiguo.



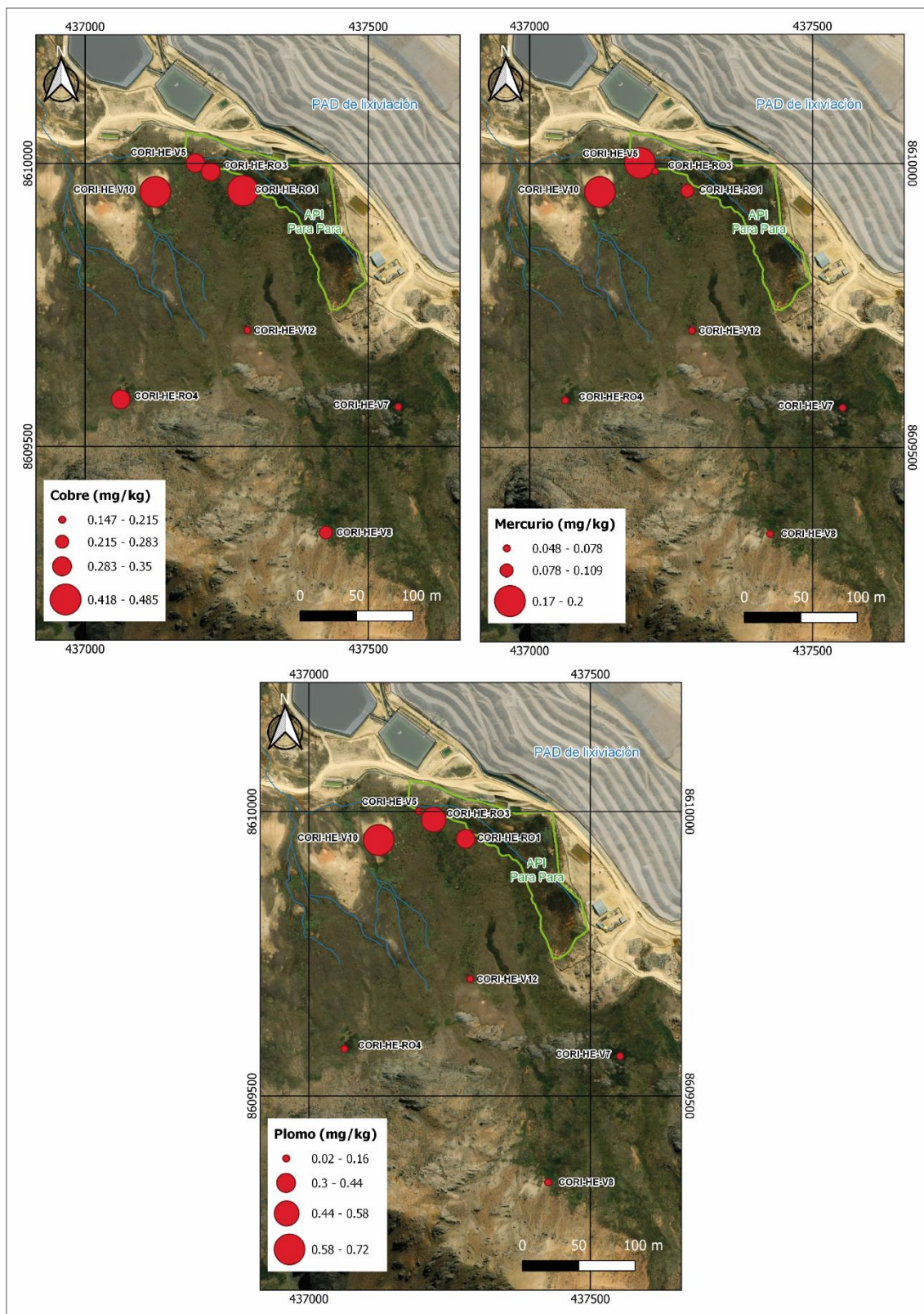
PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»



Formato PM0302-F05

Versión: 00

Fecha de aprobación: 29/12/2020



Figura 3. Concentración de cobre, mercurio y plomo en larvas de *Pleurodema marmoratum*

7.2. Zona 3: Microcuenca Coyllorcocha

7.2.1. Subzona 4: Influencia del sistema de tratamiento ST-05 (quebrada y laguna Coyllorcocha)

El Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento ST-05⁶⁶, indica lo siguiente:

«2. OPERACION DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ST-05

El sistema de tratamiento ST-05 capta todas las aguas de contacto provenientes de los tajos ampliación Diana, Diana, Cayhua, Susan, Scree Slope y Ampliacion Scree Slope.

(...)

2.3. Sistema de tratamiento ST-05

El sistema cuenta con cinco pozas de sedimentación (ST-01, ST-02, ST-03, ST-04 y ST-05) que recolectan las aguas provenientes de la zona de tajos, vías de acceso y alrededores; y como punto de disposición final es la Laguna Coyllorcocha»

Así también, la 2da MEIA 2014 ⁶⁷ describe lo siguiente:

«Sistema de tratamiento ST-05

Sistema de tratamiento para el manejo de aguas de escorrentía provenientes del área de los Tajos Diana, Susan, Screeslope y la Ampliación del Tajo Diana. El sistema de manejo de aguas consistirá en un conjunto de canales y alcantarillas que captarán las aguas de contactos generadas en la operación, sobre todo en las épocas de avenidas. Estos canales y/o cunetas colectarán las aguas de contacto que serán derivadas hacia un conjunto de pozas de sedimentación en serie ubicadas estratégicamente.

Las pozas de sedimentación son utilizadas para proporcionar control de los sólidos de todas las aguas de contacto provenientes de los accesos, cunetas y canales antes de ser descargados al ambiente. El sistema de tratamiento cuenta con cuatro pozas de sedimentación (ST-02, ST-03, ST-04 y ST-05); y como punto de descarga al arroyo Coyllorcocha.

(...)

Actualmente la poza ST-03-4 se conecta directamente al sedimentador ST-05 mediante una tubería de 6 pulgadas con una extensión de 442 metros; este manejo temporal es preventivo toda vez que el agua potencial que pudiera acumularse en la poza ST-03-4 debe seguir hasta el punto de vertimiento autorizado ST-05. El canal revestido con geomembrana proyectado que reemplazará la tubería será de 1.5 metros de ancho por 0.8 metros de alto y tendrá una extensión de 523 metros, este canal será la conexión entre la poza ST-03-4 hacia el ST-04.

66

Información remitida por Minera IRL mediante HT 2023-E01-465854

67

Segunda Modificación al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para Ampliación del PAD de Lixiviación Fase 4 y de los Tajos en la Unidad Minera Corihuarmi, aprobada mediante Resolución Directoral N°617-2014-EM/DGAAM

(...)

Al respecto, durante la supervisión del 27 de febrero de 2023 se verificó el sistema de tratamiento ST-05 y se constató:

Que la poza ST-02 presentó colmatación de sedimentos, principalmente finos, por falta de limpieza (Figura 7.14), no cumpliendo con lo establecido en el Manual de Operación y Mantenimiento, el cual indica que *la limpieza tiene como objetivo remover los sólidos y otros materiales acumulados en el sistema de tratamiento de aguas ácidas durante la temporada de lluvias. Este tipo de acumulaciones reduce la capacidad efectiva de los canales para conducir agua de las pozas para almacenar y tratar agua, lo que puede reducir la eficiencia del sistema. Durante la limpieza, se utilizan bombas de lodo y cisterna para remover estos materiales de las pozas, y personal para retirar el sedimento acumulado en los canales, y así garantizar que el sistema pueda operar de manera adecuada.*

Así también, el programa de inspección, limpieza y mantenimiento de pozas del sistema de tratamiento de agua que forma parte del Anexo del Manual de Operación y Mantenimiento de Minera IRL precisa que los meses de limpieza de canales, lodos y pozas son la segunda y tercera semana de julio. Cabe indicar que el programa es muy general y no especifica la limpieza ni el mantenimiento de la poza ST-02 que también forman parte del sistema de tratamiento ST-05; asimismo en el Anexo 7 del Requerimiento de información remitida por Minera IRL⁶⁸ se adjuntan las evidencias fotográficas de la limpieza del tramo del canal que une las pozas ST-01 y ST-02 en julio 2022, donde claramente se observa la presencia de sedimentos acumulados.

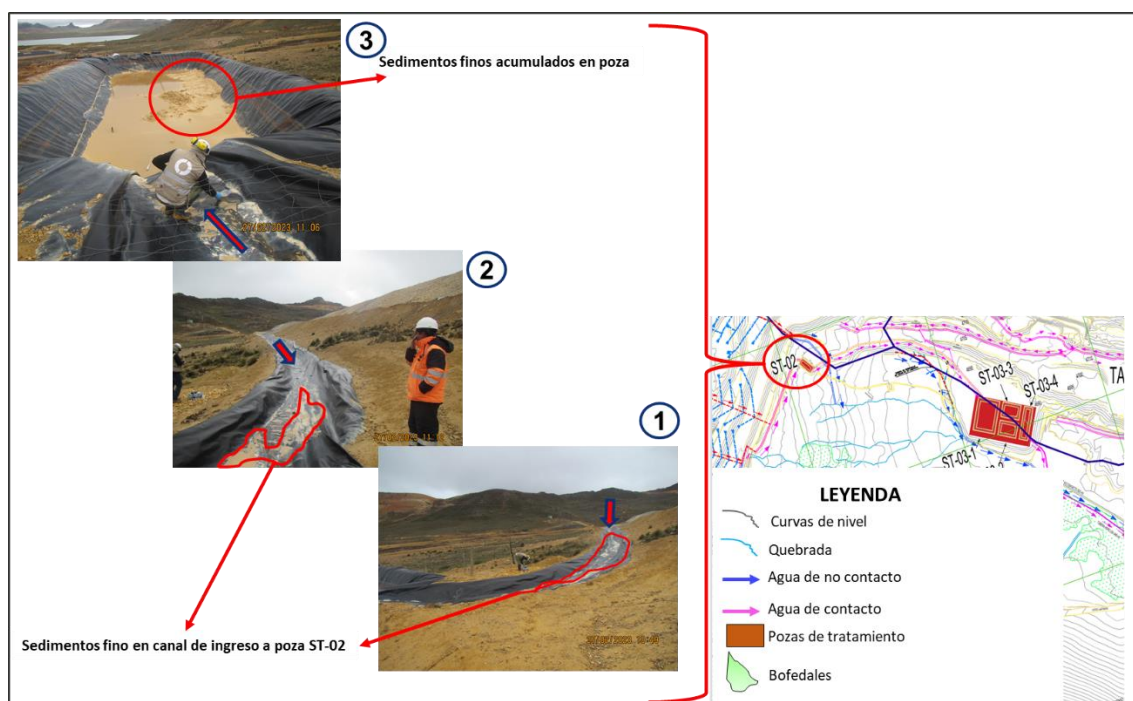


Figura 7.14. Colmatación de sedimentos finos en el canal de ingreso a la poza de tratamiento ST-02 en febrero de 2023

Asimismo, se registró que el cauce natural de la quebrada Coyllorcocha fue modificado -derivado- debido a los trabajos de excavación realizados en el lado sur del tajo Scree Slope (coordenadas E439735; N8609231). La derivación de este flujo fue realizada por la margen derecha de la quebrada Coyllorcocha a través de un canal de tierra de 1,5 m de ancho aproximadamente construido sobre depósitos biogénicos (bofedal), deluvial-aluvial y material antropogénico (material de préstamo) a la altura del punto SW-04A (coordenadas E439296; N8609475) y se extendía hasta la poza ST-05. Durante el recorrido del canal de tierra se observó cambio de coloración del agua debido a las caídas de material de los taludes laterales entre los puntos SW-04A y SW-04. Asimismo, aguas abajo se constató que el flujo entró en contacto con el material de relleno de la vía de uso minero, incrementando la turbidez; llegando a la laguna Coyllorcocha que presentó coloración amarillenta del agua (Figura 7.15).



Figura 7.15. Derivación de la quebrada Coyllorcocha y su trayecto hasta la laguna Coyllorcocha en la supervisión de febrero 2023

La 2da MEIA 2014 menciona que las aguas de contacto son colectadas por canales y cunetas derivadas hacia un conjunto de pozas de sedimentación en serie ubicadas estratégicamente así como la presencia de un canal revestido con geomembrana que servirá de conexión entre las pozas ST-03-4 y ST-04; dicha distribución se muestra en plano topográfico actualizado MIRL-TAJOSMA-0 remitido por Minera IRL en el Anexo 5 del requerimiento de información solicitada en la supervisión de abril 2023⁶⁹;



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

sin embargo, en dicho plano no figura ningún canal de tierra de 1,5 m de ancho aproximadamente, tal como se observó el 27 de febrero de 2023.

Posteriormente, durante la supervisión del 6 de abril de 2023 se constató que Minera IRL S.A realizó la remoción de material de cobertura (top soil) y excavación de profundidades variables (1 a 5m de profundidad) en el fondo del valle de la quebrada Coyllorcocha (borde suroeste del tajo Scree Slope), en un área aproximada de 50493 m², que interrumpió el cauce de la quebrada Coyllorcocha, por lo que sus aguas fueron derivadas mediante un canal revestido con geomembrana, los vértices del área removida y la vista fotográfica se muestran en la Figura 7.16 y Figura 7.17.

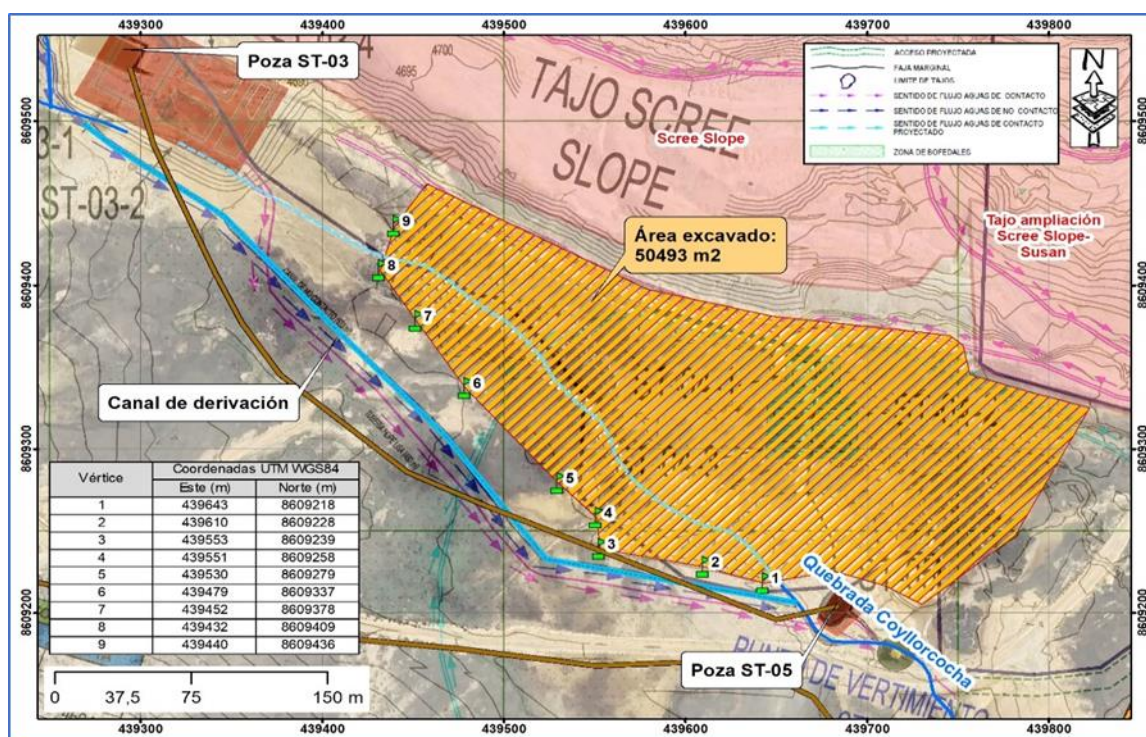


Figura 7.16. Ubicación del área removida y excavada por Minera IRL S.A. ubicada en el fondo del valle de la quebrada Coyllorcocha (borde suroeste del tajo Scree Slope)

Fuente: Modificado de Plano detallado del sistema de subdrenaje y manejo de aguas provenientes de tajos MIRL-TAJOSMA-002

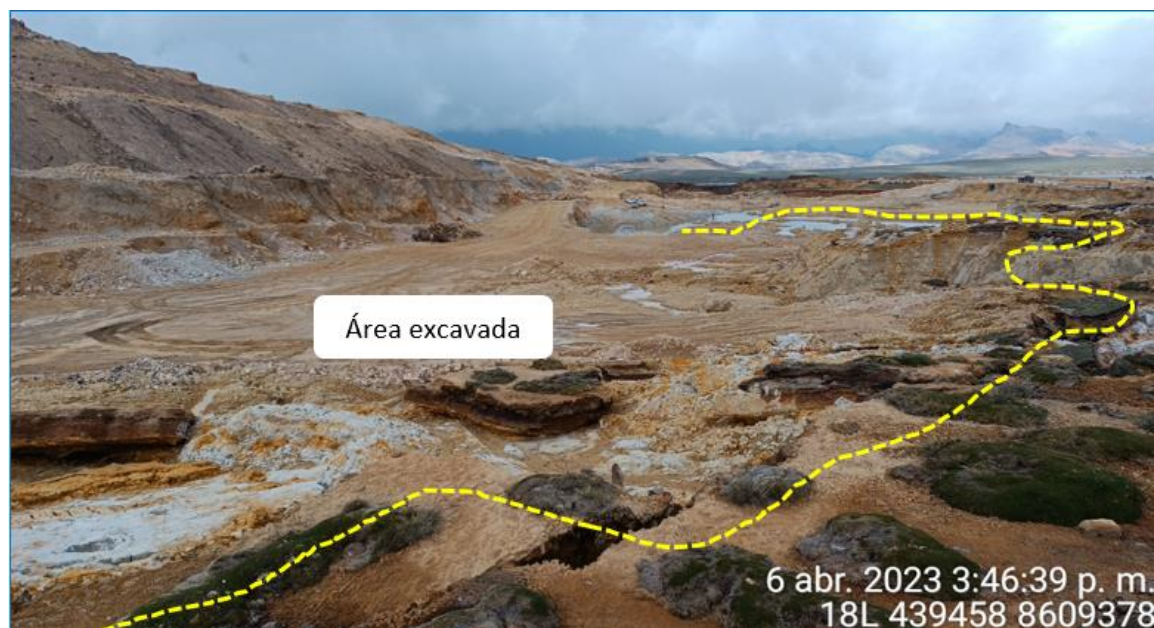


Figura 7.17. Vista panorámica del área removida y excavada por Minera IRL S.A. ubicado en el fondo del valle de la quebrada Coyllorcocha (borde suroeste del tajío Scree Slope)

Fuente: Acta de supervisión de abril 2023

Considerando lo indicado en el Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento ST-05⁷⁰, se desprende que en la supervisión de febrero 2023, el punto SW-04, ubicado antes del ingreso a la laguna Coyllorcocha debía corresponder al agua tratada descargada de la última poza ST-05 mientras que el punto SW-04A, ubicado en el canal de tierra debía corresponder a agua de no contacto según el plano topográfico actualizado MIRL-TAJOSMA-0; sin embargo, ambos puntos presentaron 2,77 y 2,9 unidades de pH, valores que estuvieron fuera del rango establecido en los ECA para agua 2008 Cat.3. De igual manera, en la supervisión de abril 2023, los puntos mencionados (SW-04A y SW-04) registraron nuevamente valores de pH ácido además de concentraciones de sulfatos y metales totales (Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn) que estuvieron fuera de rango o superaron los ECA para agua 2008 Cat.3 a pesar de que el punto SW-04A, ubicado en el canal de tierra en la supervisión de febrero 2023, se encontraba revestido con geomembrana en la supervisión de abril 2023.

70

Información remitida por Minera IRL mediante HT 2023-E01-465854

«(...)

Poza ST-05

Recibe las aguas de manera temporal de la poza ST-03-4 y recibirá las aguas provenientes de la poza ST-04-3; es la última etapa del sistema de tratamiento ST-05 en la cual se realiza el control de los LMP para efluentes minerometalúrgicos si cumple se descarga por el punto de efluente autorizado del mismo nombre ST-05, de no cumplir el agua es retornada a la poza de tratamiento para su control. La poza ST-05 tiene una capacidad de 300 m3.»



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Al respecto, se debe agregar que el Informe final de supervisión N.º 00497-2022-OEFA/DSEM-CMIN menciona lo siguiente sobre las características fisicoquímicas del punto SW-04:

« (...)»

Respecto al punto de control SW-04 (flujo de agua que ingresa a laguna Coyllorcocha) es oportuno indicar que de la revisión del IS 252-2021 correspondiente a la supervisión abril 2021, se advierte que presenta un pH ácido y concentraciones elevadas de metales totales como: Arsénico, Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc que superaron los ECA agua 2008 C4. A su vez, se señala que durante la supervisión abril 2021 el punto de vertimiento ST-05 no presentaba flujo (punto que vierte a la laguna Coyllorcocha); por lo que, el único flujo que recibía la laguna Coyllorcocha provendría de los afloramientos de la zona.

Además, respecto al mismo punto de control SW-04, en el Informe de Supervisión correspondiente supervisión setiembre 2020, se señala la existencia de afloramientos de agua, las cuales eran captados y derivados hasta llegar a la laguna Coyllorcocha. Los afloramientos presentan un pH ácido y concentraciones elevadas de metales totales como: Arsénico, Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc. A su vez, refiere que durante la supervisión setiembre 2020 el punto de vertimiento ST-05 se advirtió sin flujo; y que el único flujo que recibía la laguna Coyllorcocha provenía de los afloramientos y que el punto de muestreo (SW-04) siempre ha presentado valores que se encuentran por encima de lo establecido en los ECA agua 2008 y referencialmente el ECA agua 2017 para la categoría 4»

En ese sentido, en la supervisión de abril de 2023, se realizó la toma de muestras de los afloramientos identificados en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha que fueron de tipo sulfatada cálcica y según los diagramas de Piper y Stiff, se observa que el punto SW-04A se agrupó con el piezómetro PO-07, los afloramientos ARI-2, ARI-3, ARI-4, ESP-SS-02, ESP-SS-04, ESP-SS-05 que presentaron concentraciones de iones mayoritarios < 60 meq/L y el punto SW-04 se agrupó con los manantiales AF-05, MA-02 y el afloramiento ESP-SS-03 que presentaron concentraciones de iones mayoritarios < 30 meq/L; así también el diagrama de Mifflin clasificó todos estos puntos como «flujos de recarga local». Mientras que, el punto de agua residual industrial que corresponde al agua de contacto proveniente del tajo Diana (SP-TD-01) que presentó concentraciones de iones mayoritarios < 230 meq/L no se agrupó con ninguno de los afloramientos identificados (Figura 7.18, Figura 7.19 y Figura 7.20) Aquí vale aclarar que la condición de pH cercano a la neutralidad (7,1 – 7,22 unidades de pH) registrada en la laguna Coyllorcocha, en mayo 2023, que también fue de tipo sulfatada cálcica favoreció que la concentración de iones mayoritarios sea < 1,5 meq/L.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

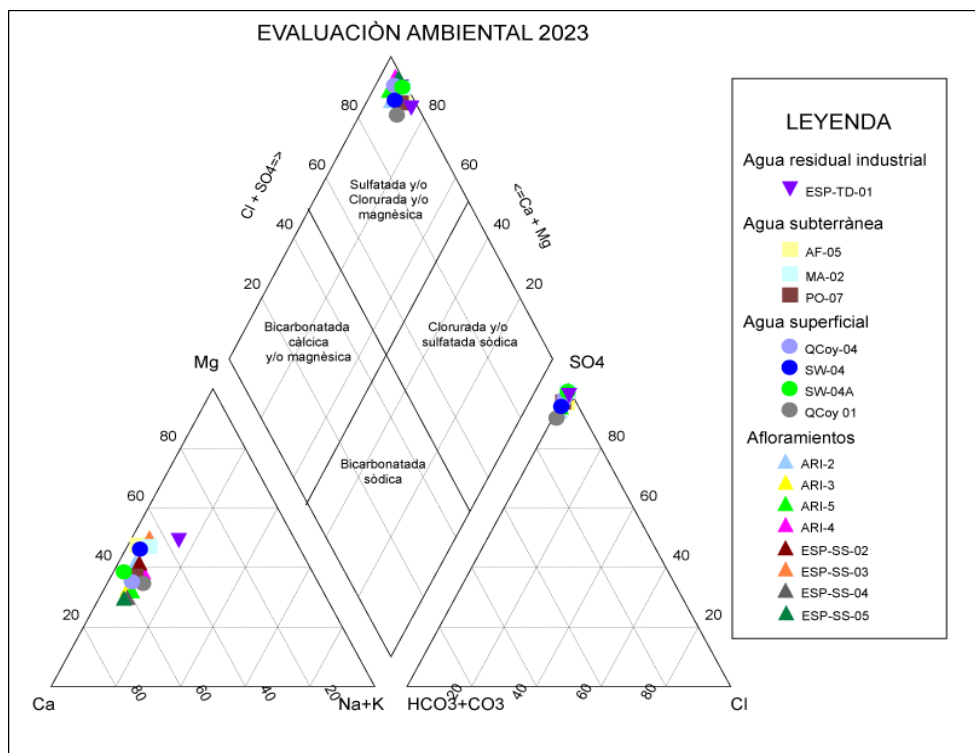


Figura 7.18. Diagrama de Piper de los afloramientos identificados en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha y el agua subterránea

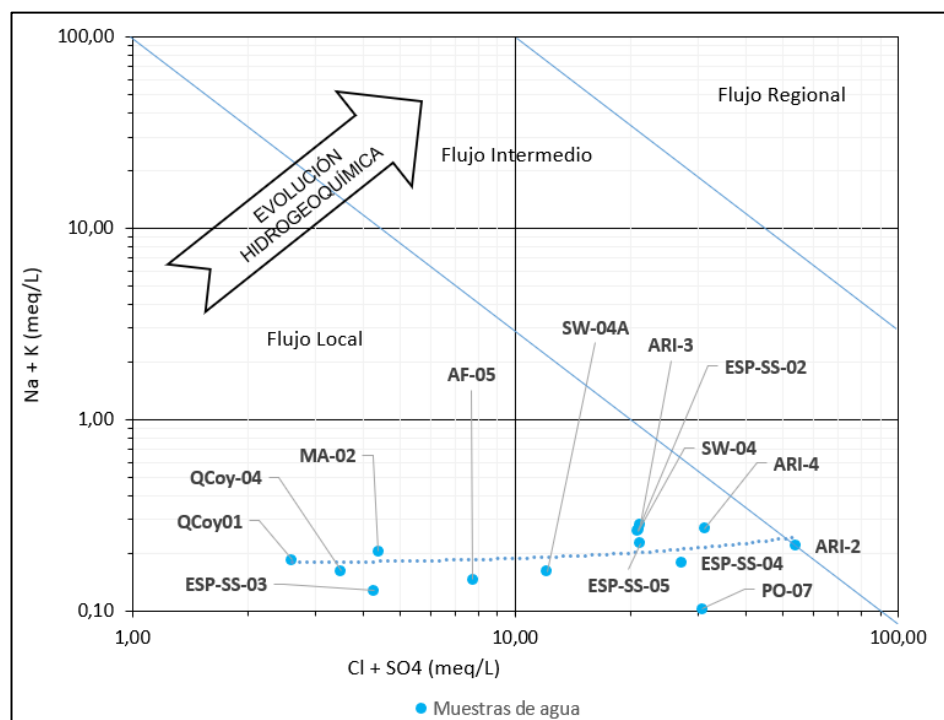


Figura 7.19. Diagrama de Mitflin de los afloramientos identificados en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha y el agua subterránea en abril de 2023

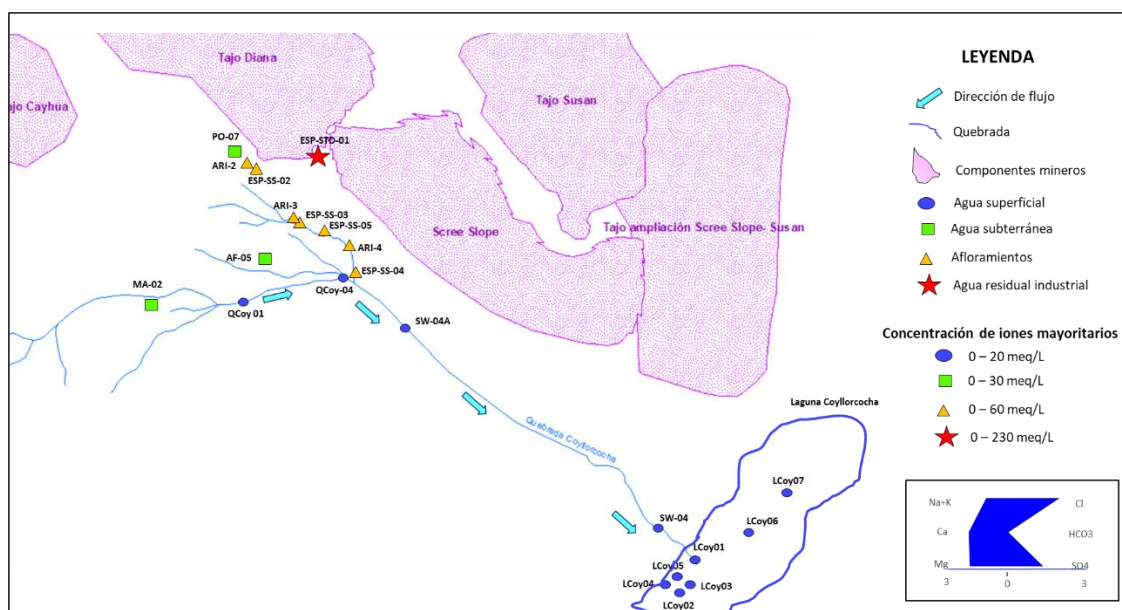


Figura 7.20. Esquema de las concentraciones de iones mayoritarios de los afloramientos identificados en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha, el agua subterránea y la laguna Coyllorcocha

Con respecto a los metales disueltos y el pH, el diagrama de Ficklin clasificó los afloramientos identificados, el piezómetro PO-07 y los puntos SW-04A y SW-04 con pH altamente ácido y alto contenido de metales mientras que los manantiales AF-05 y MA-02 fueron clasificados con pH ácido y bajo contenido de metales (Figura 7.21).

Lo descrito en los párrafos precedentes confirmaría que los afloramientos identificados en abril 2023 corresponden a aguas de mezcla de flujos subterráneos de un acuífero subsuperficial que se recarga principalmente por aportes laterales de infiltración de las lluvias de temporada, y a las filtraciones de aguas de contacto identificadas con la prospección geofísica; ello se evidencia en el nivel freático registrado por Minera IRL en el piezómetro PO-07 durante el periodo 2017 – 2022 (5,98 m – 12,77 m) y el OEFA en abril 2023 (9,8 m); por lo tanto, se esperaría que las concentraciones de sulfatos y metales en este piezómetro fueran similares a las concentraciones de los manantiales MA-02 y AF-05 (< 5 meq/L y < 8 meq/L) por encontrarse en el mismo contexto hidrogeológico; sin embargo fue mayor (< 30 meq/L) debido al enriquecimiento de sulfato y al incremento de las concentraciones en los metales como Al, Co, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn que superaron los ECA para agua 2008 Cat.3, por la actividad desarrollada en el tajo Diana, dicho incremento también se observa en el registro de Minera IRL desde setiembre 2020 lo cual es concordante con lo indicado en el Informe N° 00497-2022-OEFA/DSEM-CMIN⁷¹ en comparación a los años anteriores (2018 – 2019) (Figura 7.22 y Figura 7.23)

71 (...)



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

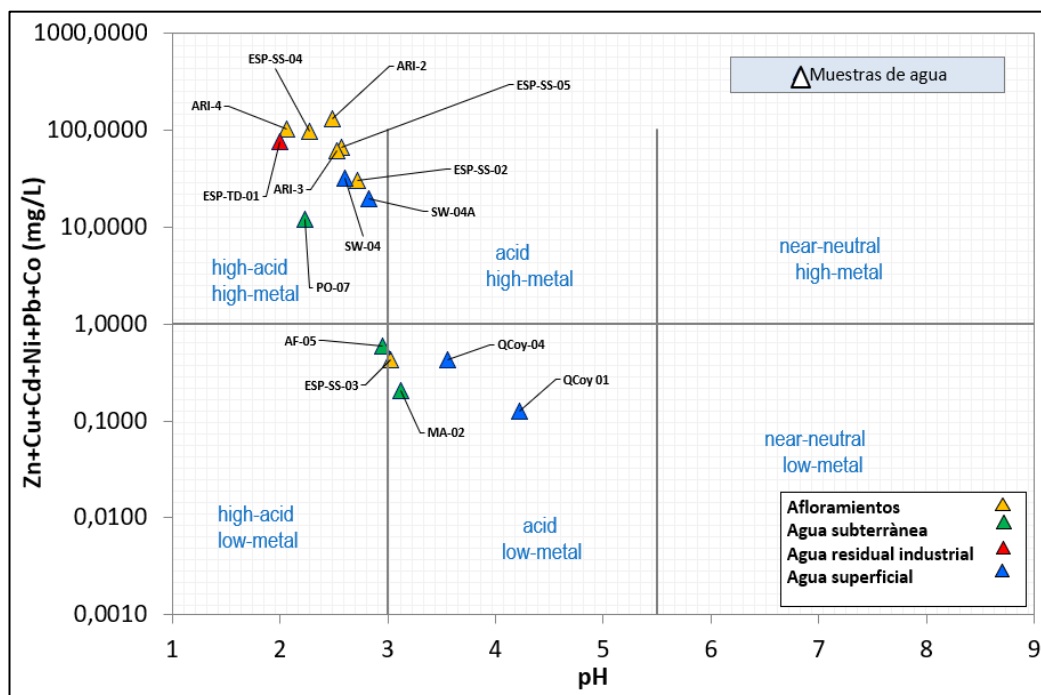


Figura 7.21. Diagrama de Ficklin de los afloramientos identificados en la quebrada Coyllorcocha y el agua subterránea

Además, respecto al mismo punto de control SW-04, en el Informe de Supervisión correspondiente supervisión setiembre 2020, se señala la existencia de afloramientos de agua, las cuales eran captados y derivados hasta llegar a la laguna Coyllorcocha. Los afloramientos presentan un pH ácido y concentraciones elevadas de metales totales como: Arsénico, Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc. A su vez, refiere que durante la supervisión setiembre 2020 el punto de vertimiento ST-05 se advirtió sin flujo; y que el único flujo que recibía la laguna Coyllorcocha provenía de los afloramientos y que el punto de muestreo (SW-04) siempre ha presentado valores que se encuentran por encima de lo establecido en los ECA agua 2008 y referencialmente el ECA agua 2017 para la categoría 4, debido a que la unidad minera se encuentra inmersa dentro de un depósito epitermal de alta sulfuración, cuyo sistema actuaba en rocas volcánicas y sedimentarias terciarias, que fueron instruidas por dacitas y latitas porfídicas en el terciario tardío.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

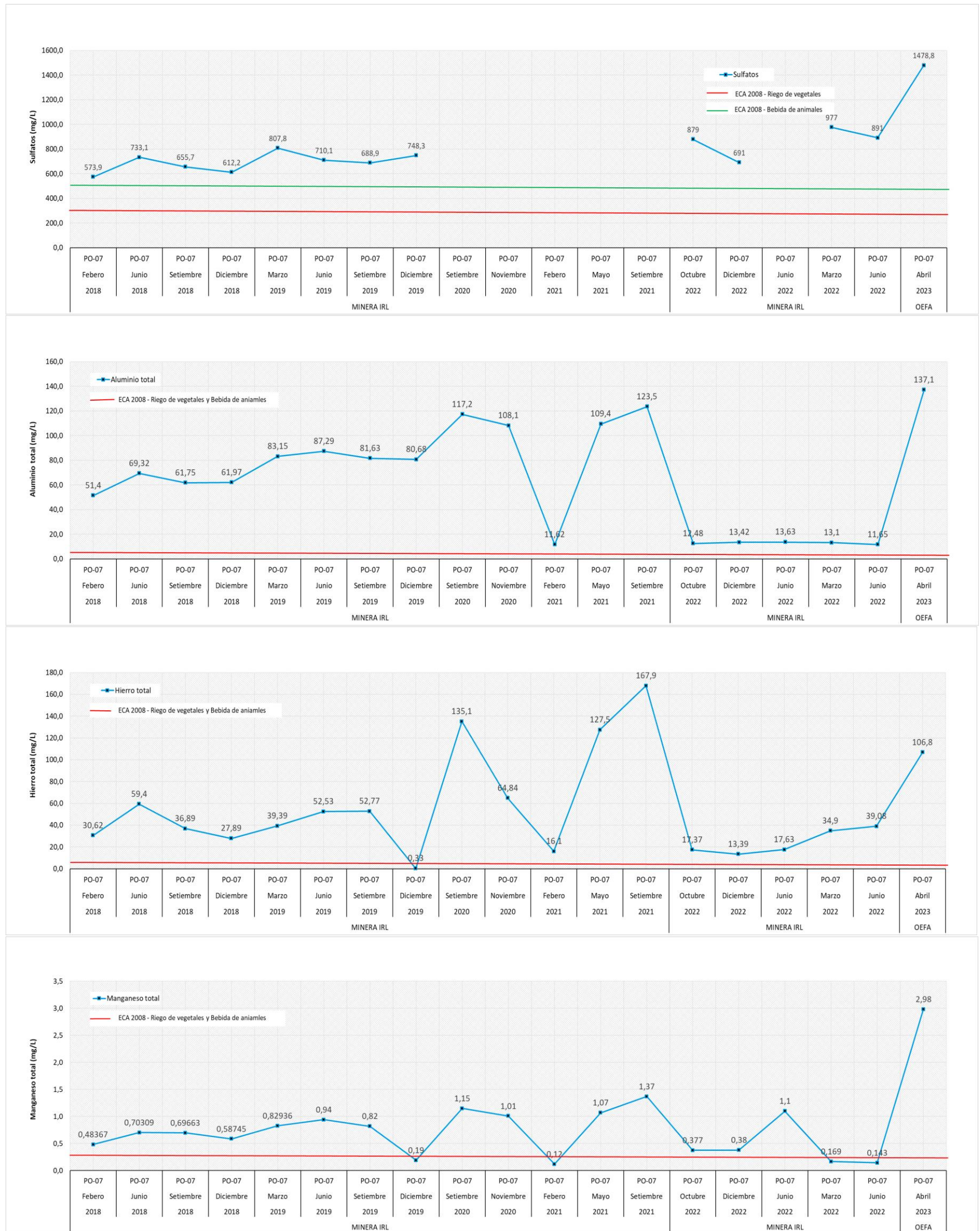


Figura 7.22. Concentraciones de **a. Sulfatos**, **b. Aluminio**, **c. Hierro** y **d. Manganeso** en el piezómetro PO-07 registrados por el OEFA en abril 2023 y comparados con los registros del periodo 2018 – 2022 reportados por Minera IRL



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

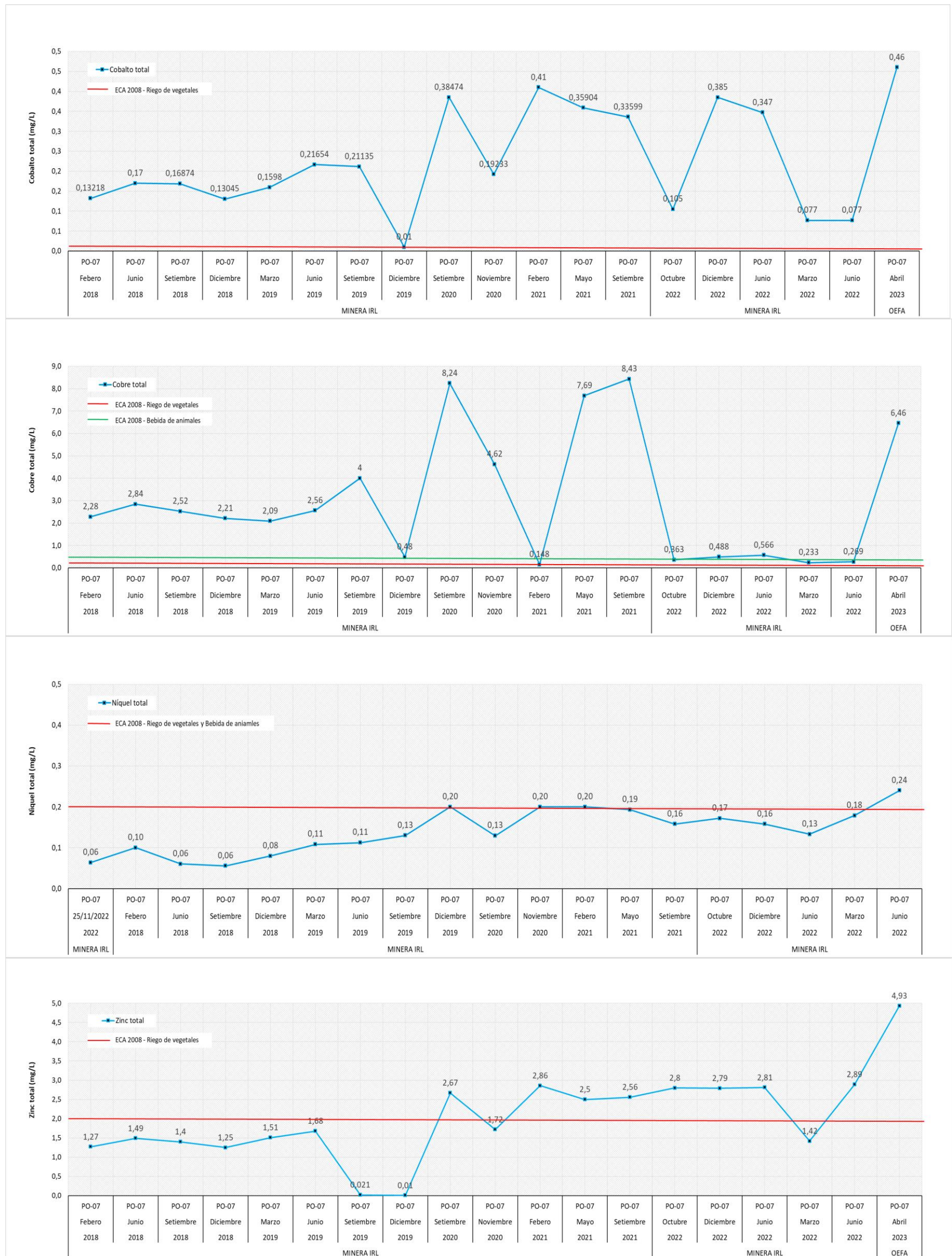


Figura 7.23. Concentraciones de **a. Cobalto**, **b. Cobre**, **c. Níquel** y **d. Zinc** en el piezómetro PO-07 registrados por el OEFA en abril 2023 y comparados con los registros del periodo 2018 – 2022 reportados por Minera IRL



En cuanto a conductividad eléctrica, sólidos totales suspendidos y pH, se sabe que los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores. Ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y contaminantes que no están presentes de forma natural (Reyes, 2006). Al respecto, en la supervisión de abril de 2023, se registraron valores de CE, STS y pH ácido que estuvieron fuera del rango ECA para agua 2008 Cat.3 en los puntos SW-04A y SW-04 que correspondía al flujo captado (mezcla de aguas) por el canal con geomembrana que recibió los aportes de los afloramientos identificados en la ladera izquierda de la quebrada Coyllorcocha, dichos valores difieren ampliamente de lo registrado en la línea base y a lo registrado por Minera IRL entre el 2018 y 2022 (Figura 7.24). Lo constatado estuvo relacionado a la erosión y arrastre de sedimentos en el cauce puesto que los sólidos suspendidos incluyen partículas de sedimento, barro de las corrientes de tierra, plancton, y desechos industriales y de drenaje (García, 2003). Se debe agregar que, en la supervisión de febrero 2023, las condiciones de pH y CE fueron similares a las registradas en la supervisión de abril 2023, por lo que se infiere que las concentraciones de STS fueron mayores puesto que el flujo de agua se transportaba, a través de un canal de tierra sin revestimiento alguno y el arrastre de sedimentos provocó turbidez del agua en todo el recorrido hasta su ingreso a la laguna Coyllorcocha, así también se registró la colmatación de sedimentos finos en la poza ST-02 como ya se detalló anteriormente.

En lo que se refiere a los sulfatos, la concentración registrada en el punto SW-04A fue de 582 mg/L y superó el ECA para agua 2008 Cat.3 en la supervisión de abril 2023, dicho valor fue similar a lo registrado en el periodo 2018 – 2022 por Minera IRL así como en el piezómetro PO-07, cuyas concentraciones variaron entre 573,9 mg/L y 891 mg/L en el mismo periodo, elevándose hasta 1478,8 mg/L en la supervisión de abril 2023. Similar comportamiento se observó en las concentraciones totales de los metales como Al, Fe, Mn, As, Cd, Cu, Pb y Zn que superaron los ECA para agua 2008 Cat.3 (Figura 7.25, Figura 7.26 y Figura 7.27).

Cabe precisar, que en ambas supervisiones no se registró descarga del efluente ST-05; sin embargo, se desprende que, el sistema de tratamiento no estaría tratando de manera óptima las aguas de escorrentía provenientes del área de los Tajos Diana, Susan, Screeslope y la Ampliación del Tajo Diana, toda vez que las condiciones fisicoquímicas del agua en los puntos SW-04A y SW-04 detalladas en los párrafos anteriores superaron los ECA para agua 2008 Cat.3.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

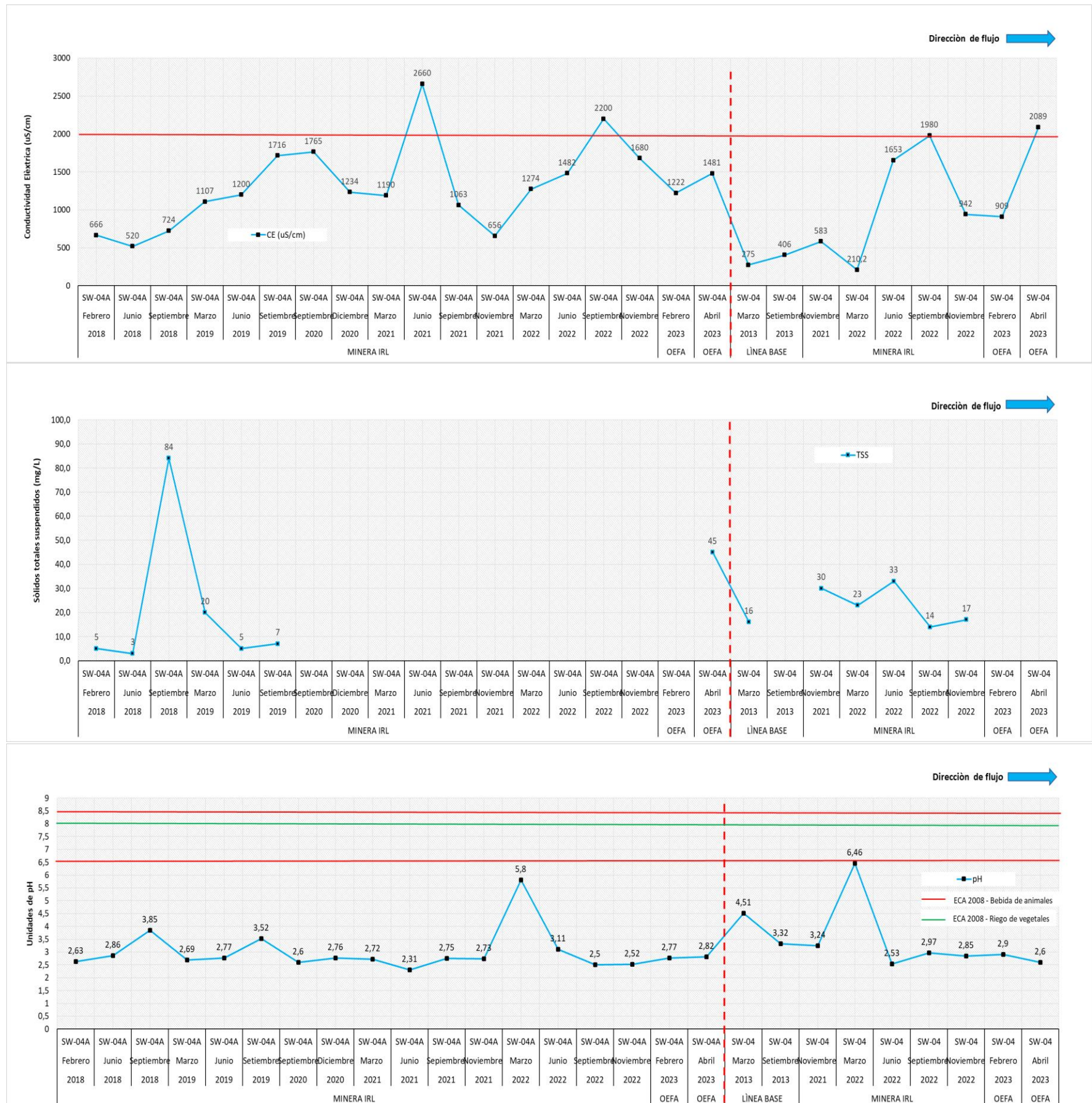


Figura 7.25. Valores de **a.** Conductividad eléctrica, **b.** Sólidos totales en suspensión y **c.** Unidades de pH en los puntos SW-04A y SW-04 registrados en la línea base y el periodo 2018 – 2022 reportados por Minera IRL, comparados con los obtenidos por el OEFA entre los meses de febrero - abril 2023

Figura 7.26. Concentraciones de **a.** Sulfatos, **b.** Aluminio, **c.** Hierro y **d.** Manganeseo en los puntos SW-04A y SW-04 registrados por el OEFA en febrero - abril 2023 y comparados con los registros de la línea base y el periodo 2018 – 2022 reportados por Minera IRL



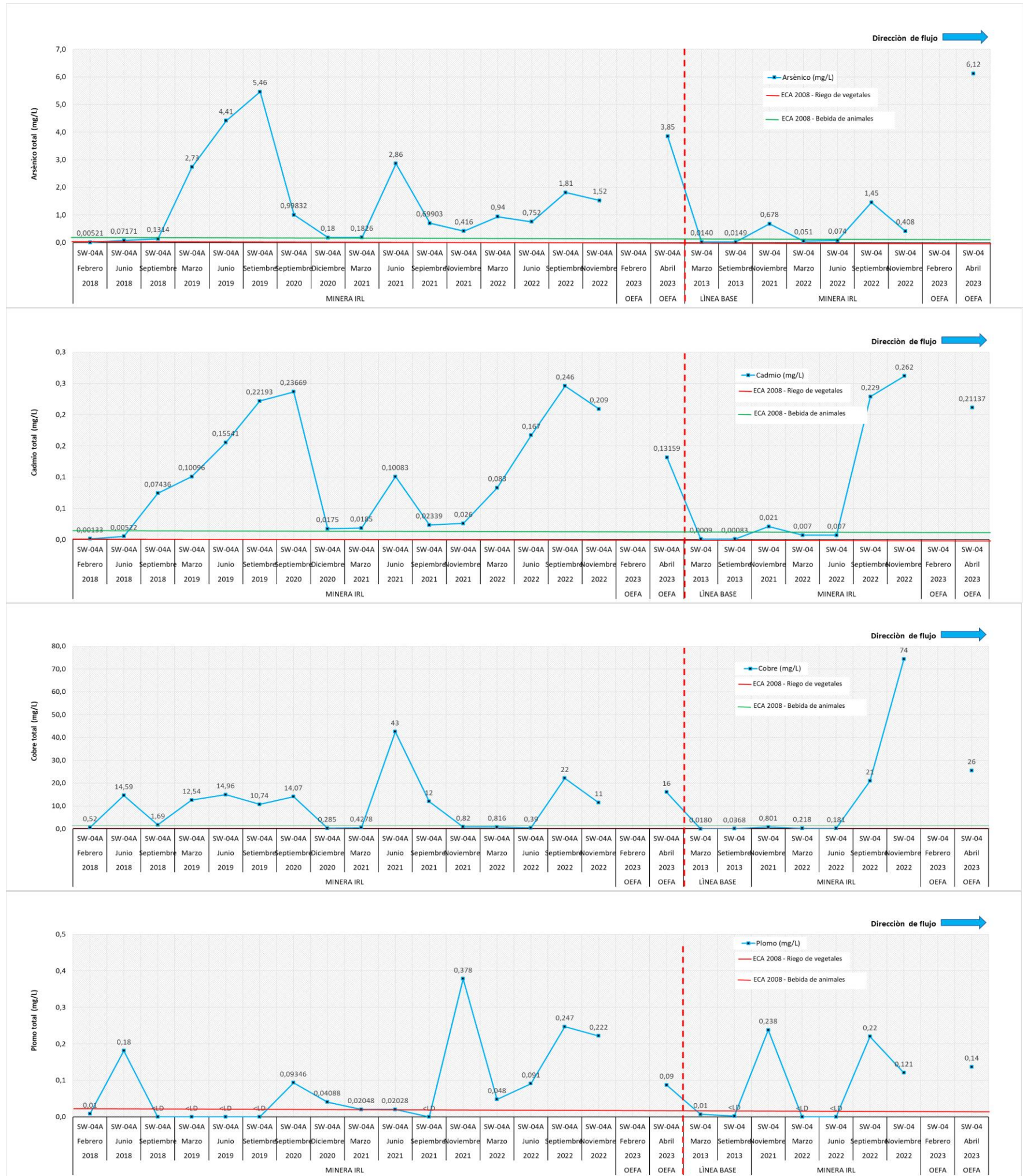
PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»



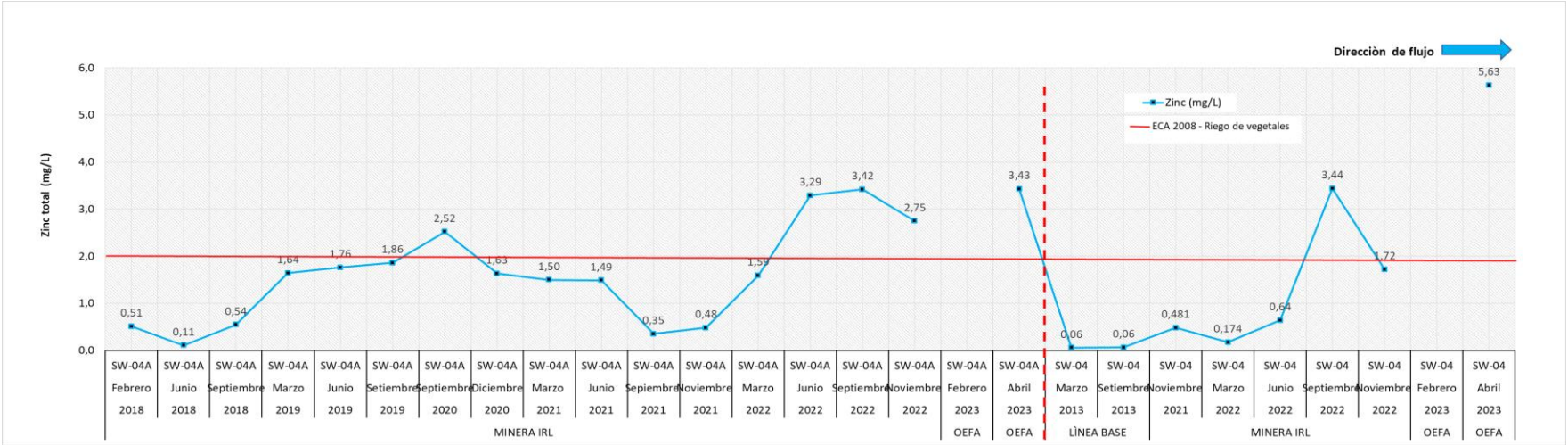


Figura 7.27. Concentraciones totales de **a.** Arsénico, **b.** Cadmio, **c.** Cobre, **d.** Plomo y **e.** Zinc en los puntos SW-04A y SW-04 registrados por el OEFA en febrero - abril 2023 y comparados con los registros de la línea base y el periodo 2018 – 2022 reportados por Minera IRL

En relación con los sedimentos, los puntos de muestreo en la quebrada y laguna Coyllorcocha se encuentran en la microcuenca Coyllorcocha, subcuenca Coyllorcocha, cuenca Aymares de acuerdo a lo indicado por MIRL (2023), que además delimita la faja marginal de ambos cuerpos de agua (Figura 7.1).

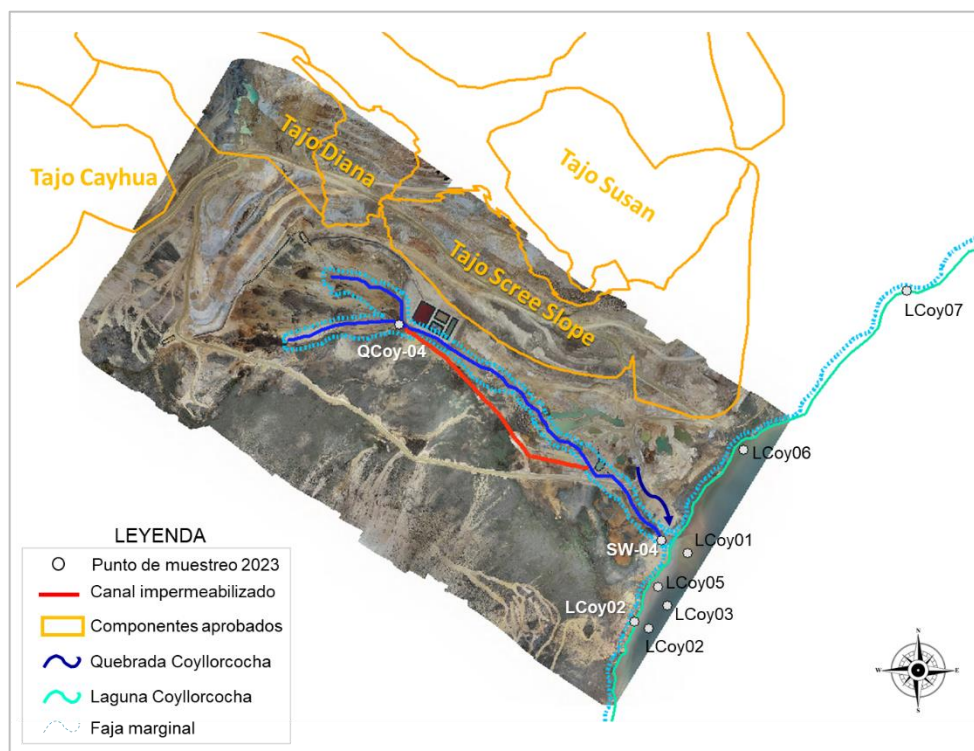


Figura 7.33. Faja marginal de la quebrada y laguna Coyllorcocha en el ámbito de los componentes y canal impermeabilizado de la Unidad Minera Corihuarmi
Fuente: MIRL (2023)

Los resultados fisicoquímicos de los sedimentos de la quebrada y laguna Coyllorcocha visualizadas en las Figuras 7.1a (pH y conductividad), 7.1b (minerales) y 7.1c (curva granulométrica), indican que el punto de la laguna LCoy01 tiene diferente composición fisicoquímica que los demás puntos de la laguna (LCoy02 a LCoy07) con menor valor de pH (3,4 unid. de pH), mayor conductividad (0,4 dS/m), menor porcentaje de minerales plagiocasa - andesina (3 %) y curva granulométrica con distintos porcentajes desde el material grueso de arena fina al material fino (limos y arcillas).

En lo relativo a los metales⁷², en el punto LCoy01 de la laguna Coyllorcocha se evidencia la mayor concentración de molibdeno y mercurio (Figura 7.2a), y arsénico y plomo (Figura 7.2b) y, caso contrario; menor concentración de cobre y cadmio (Figura 7.2c) que los demás puntos de la laguna (LCoy02 a LCoy07).

Con respecto a la quebrada Coyllorcocha desde QCoy-04 hasta SW-04, se registra el incremento de la conductividad (Figura 7.2a) junto con los 6 metales indicados en la Figura 7.3 (molibdeno, mercurio, arsénico, plomo, cobre y cadmio), la disminución del porcentaje de arena media con diámetro de 0,15 mm (Figura 7.2c), y se resalta la disminución del pH del 2010 al 2023 en SW-04.

⁷² Los metales considerados son: arsénico, cadmio, cobre, mercurio y plomo que superaron la normativa canadiense en los valores de ISQG y/o PEL de CEQG. En tanto, el molibdeno a pesar de no contar con valor en la normativa internacional como la canadiense (CEQG), fue tomado en cuenta para el análisis debido a su asociación con el oro (MIRL, 2011).



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres»
«Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo»

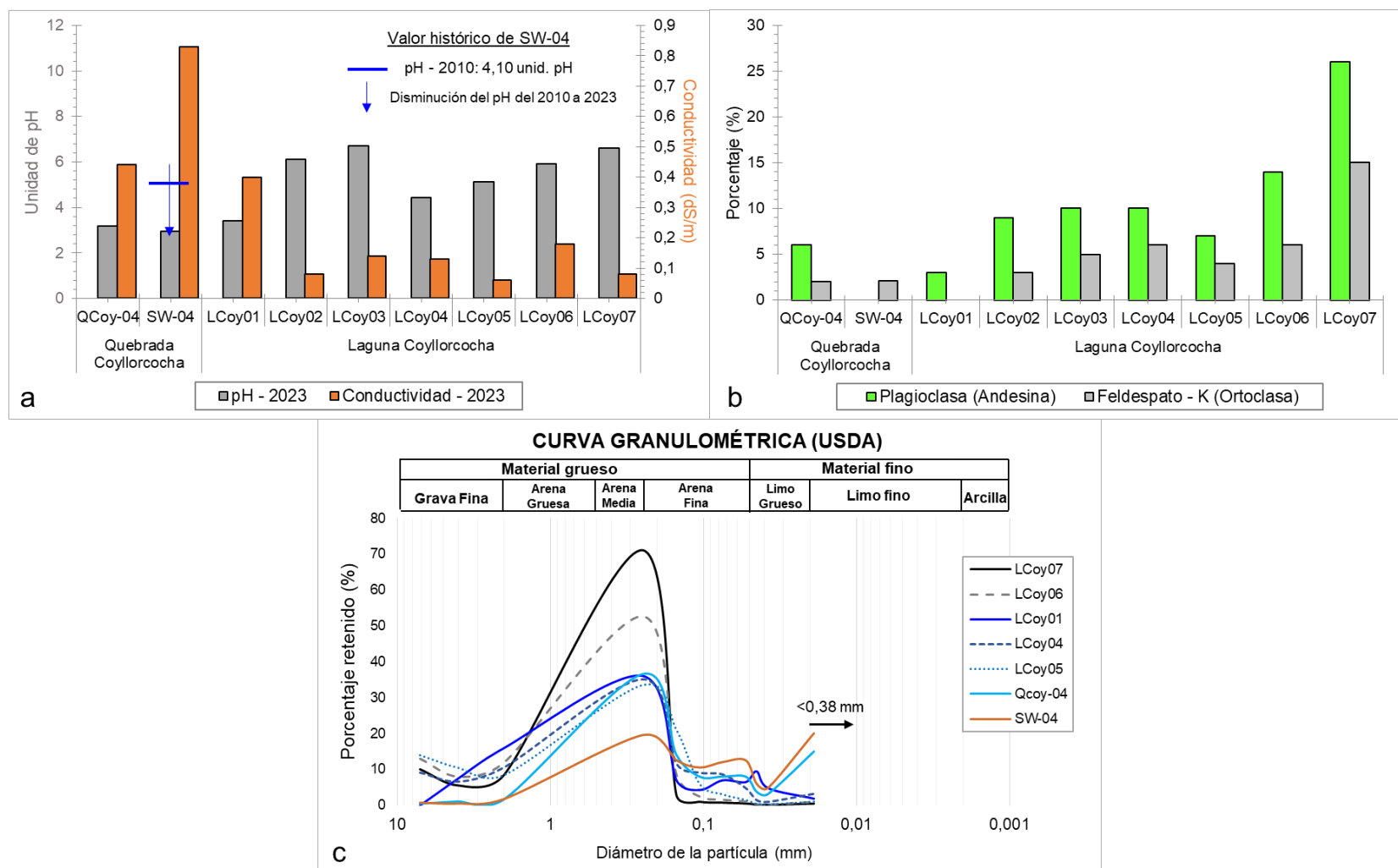


Figura 7.34. Registro en la quebrada y laguna Coyllorcocha de a) pH y conductividad, b) minerales Plagioclasa (Andesina) y Feldespato-K (Ortoclasa) y c) curva granulométrica (USDA)



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

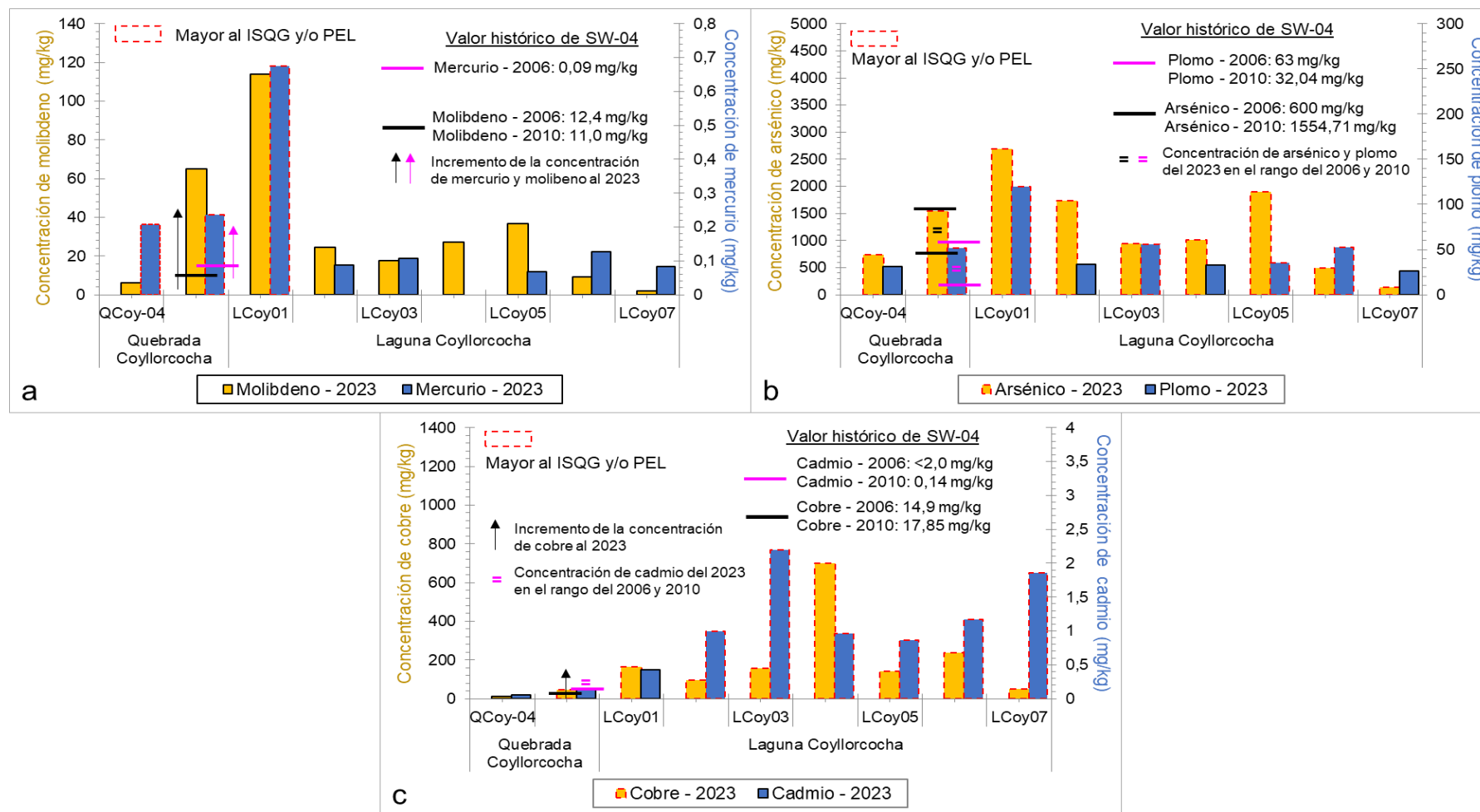


Figura 7.35. Concentraciones en la quebrada y laguna Coyllorcocha de a) molibdeno y mercurio, b) arsénico y plomo y c) cobre y cadmio

En el presente análisis se consideró los metales cuyas concentraciones fueron mayores al ISQG y/o PEL de la norma canadiense (CEQG) para mercurio, arsénico, plomo, cobre y cadmio, además del molibdeno. En caso del molibdeno, el análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) señaló que la principal diferencia del mineral en la quebrada Coyllorcocha entre QCoy-04 y SW-04 con la laguna Coyllorcocha está relacionado a la presencia de molibdenita (sulfuro de molibdeno).

La relación entre los resultados de los metales de la corteza terrestre con los sedimentos de fondo de la quebrada Coyllorcocha se determinó mediante los Factores de Enriquecimiento (FE)⁷³ e Índice de Geoacumulación (I_{geo})⁷⁴ para diferenciar la fuente natural y antropogénico de los metales en los sedimentos (Chen et al., 2007).

De esa manera, el sedimento de la quebrada Coyllorcocha en QCoy-04 (Figura 7.4a) está relacionado con el depósito cuaternario de ferricretas en RC-23-13 (Figura 7.4b) y no con las rocas volcánicas (brechas silicificadas y dacitas porfíricas) en RC-23-10, RC-23-12, RC-23-14 y RC-23-15; puesto que el $FE < 1$ (sin enriquecimiento) e $I_{geo} < 0$ (no está contaminado) en los metales molibdeno, mercurio, plomo y cadmio con enriquecimiento menor de mercurio ($FE = 1,23$) y moderado en arsénico ($FE = 3,31$) y no contaminado a moderadamente contaminado ($I_{geo} = 0,93$) de cobre acuerdo a lo indicado en las Figuras 7.5a y 7.5c.

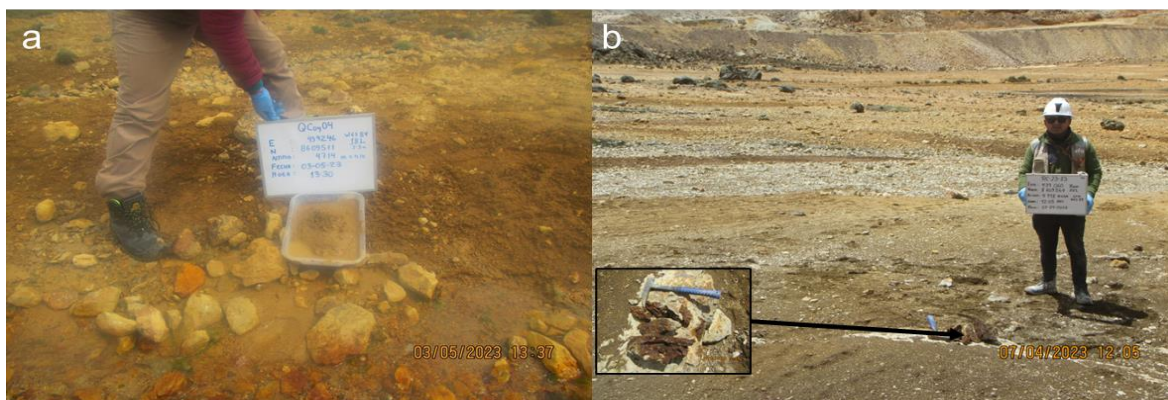


Figura 7.36. Depósitos cuaternarios de a) sedimento en la quebrada Coyllorcocha en QCoy-04 y b) Ferricretas en RC-23-13

⁷³ Chen et al. (1984) agrupa el factor de enriquecimiento (FE) en 7 clases:

Clase	Valor	Calidad de sedimento
0	$FE < 1$	Sin enriquecimiento.
1	$FE < 3$	Enriquecimiento menor.
2	$3 < FE < 5$	Enriquecimiento moderado.
3	$5 < FE < 10$	Enriquecimiento severamente moderado.
4	$10 < FE < 25$	Enriquecimiento severo.
5	$25 < FE < 50$	Enriquecimiento muy severo.
6	$50 < FE$	Enriquecimiento extremadamente severo.

⁷⁴ Muller (1981) distingue 7 clases de índices de geoacumulación (I_{geo}):

Clase	Valor	Calidad de sedimento
0	$I_{geo} < 0$	No contaminado.
1	$0 < I_{geo} < 1$	No contaminado a moderadamente contaminado.
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderadamente contaminado.
3	$2 < I_{geo} < 3$	Moderado a fuertemente contaminado.
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fuertemente contaminado.
5	$4 < I_{geo} < 5$	Fuertemente contaminado a extremadamente contaminado.
6	$5 < I_{geo}$	Extremadamente contaminado.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres»
«Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo»

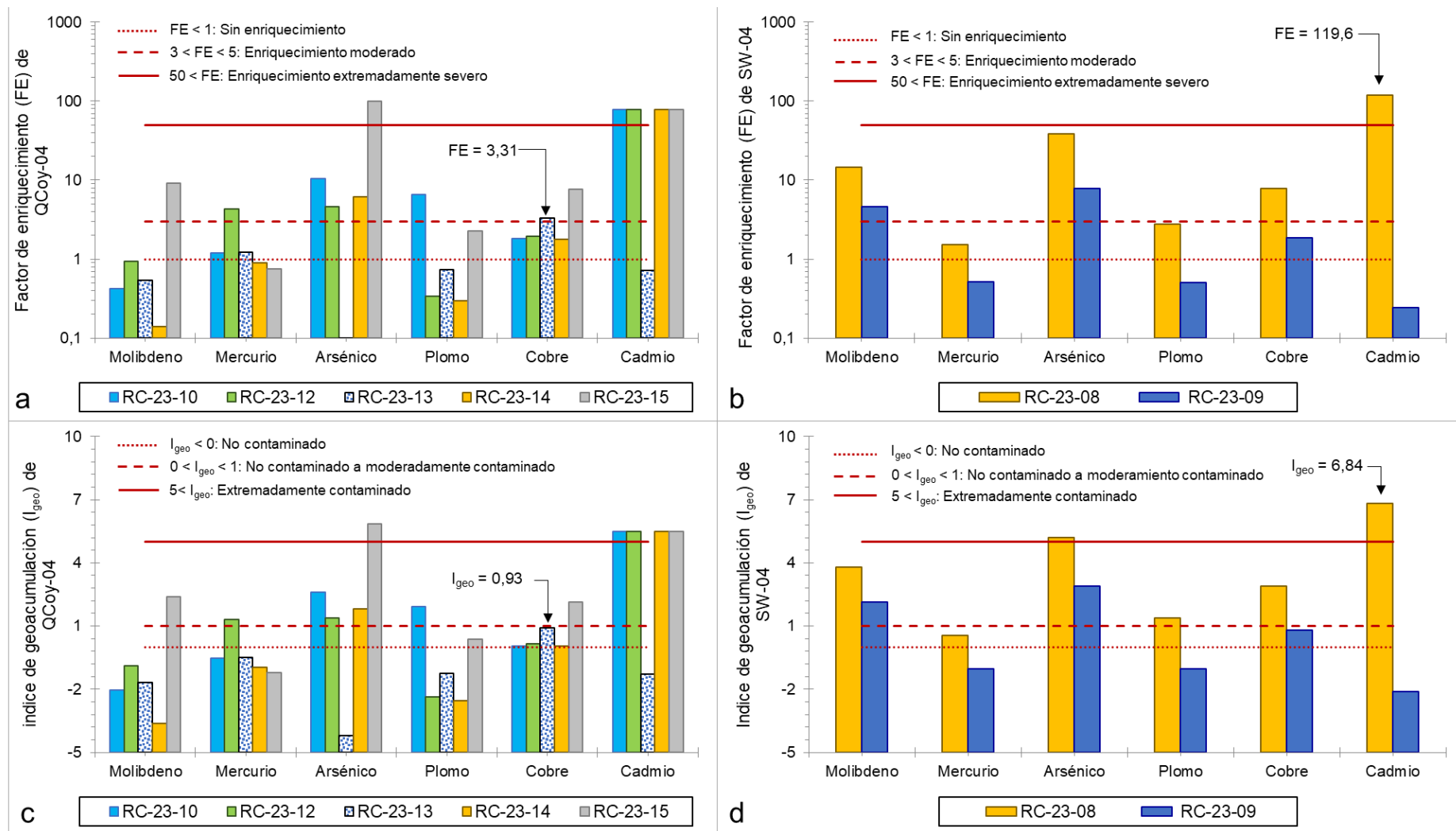


Figura 7.37. Factor de enriquecimiento de la quebrada Coyllorcocha en a) QCoy-04 y b) SW-04 e índice de geoacumulación en c) QCoy-04 y d) SW-04



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

En tanto, el sedimento de la quebrada Coyllorcocha en SW-04 con relación al material aluvial RC-23-09 tuvieron enriquecimiento moderado de molibdeno ($FE= 4,64$), severamente moderado de arsénico ($FE= 7,76$) y enriquecimiento menor de cobre ($FE= 1,84$), ver Figura 7.5b. En cambio, SW-04 comparado con el material aluvial RC-23-08 registraron mayores valores de FE hasta enriquecimiento severo en arsénico ($FE= 38,1$) y extremadamente severo de cadmio ($FE= 199,6$), ver Figura 7.5b.

De manera similar, los índices de geoacumulación (I_{geo}) indican que el sedimento SW-04 en relación con el material aluvial RC-23-09 tiene grado de contaminación moderado a fuertemente contaminado de molibdeno y arsénico y moderadamente contaminado de cobre; mientras que el depósito aluvial RC-23-08, SW-04 tiene metales como el molibdeno y cobre fuertemente contaminado ($I_{geo} = 3,8$ y $2,9$ respectivamente) y extremadamente contaminado en arsénico y cadmio ($I_{geo} = 5,19$ y $6,84$ respectivamente).

De esa forma, el sedimento de la quebrada Coyllorcocha en SW-04 (7.6a) está enriquecido y con contaminación a partir de moderada con molibdeno, arsénico y cobre con relación al depósito aluvial RC-23-09 (Figura 7.6b). En tanto, este punto de la quebrada tiene mayor enriquecimiento de fuerte a extremadamente contaminado de los citados metales con respecto al depósito aluvial RC-23-08 (Figura 7.6c).

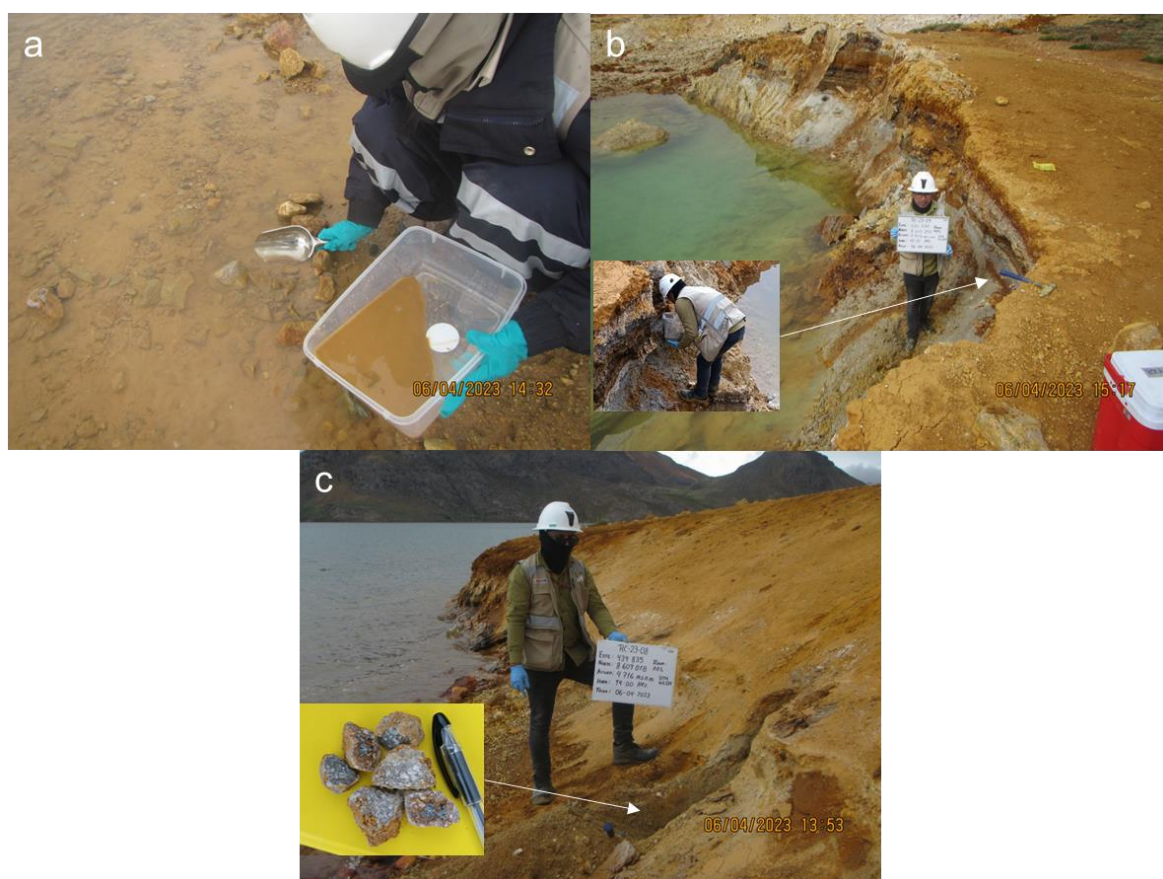


Figura 7.38. Depósitos cuaternarios de a) sedimento en la quebrada Coyllorcocha en SW-04, b) material aluvial en RC-23-09 y c) material aluvial en RC-23-08

Cabe señalar que, el sedimento de la quebrada Coyllorcocha en SW-04 registró el incremento de concentración de molibdeno, mercurio y cobre del 2006 y 2010 al 2023 de

acuerdo lo indicado en las Figuras 7.3a y 7.3c, en donde ocurre el enriquecimiento de los citados metales con respecto a los depósitos aluviales RC-23-08 y RC-23-09.

Acerca del sistema fluvial de Coyllorcocha, así como otros sistemas fluviales desde cientos a millones de km², este sistema cuenta con 3 procesos con relación a los sedimentos⁷⁵ como son la erosión, el transporte y la sedimentación (Basile, 2018). En base a dicho desarrollo sedimentario, se observa en la Figura 7.7 que el punto de la quebrada Coyllorcocha QCoy-04 se encuentra al final del área de producción, el SW-04 se encuentra al final de la zona de transferencia y el punto LCoy01 de la laguna Coyllorcocha está en el espacio de sedimentación.

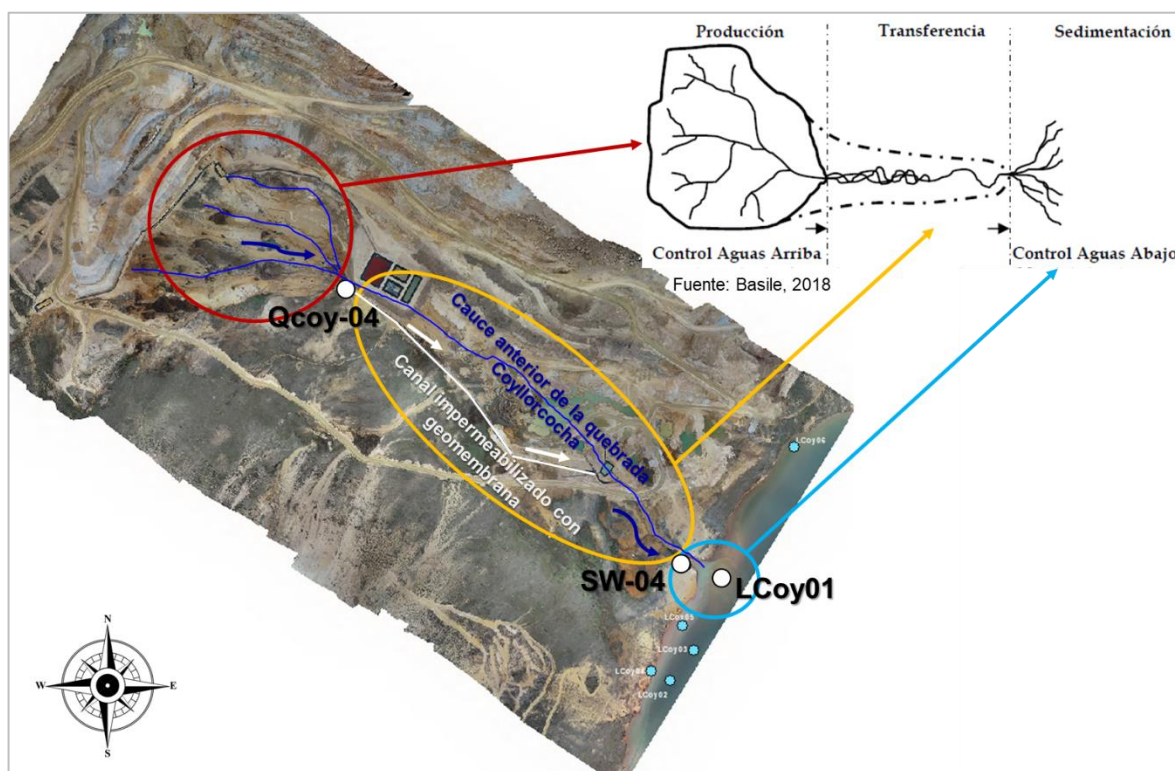


Figura 7.39. Zonificación del sistema fluvial con relación al curso anterior de la quebrada Coyllorcocha

Sin embargo, en la evaluación realizada en mayo del 2023, el agua de la quebrada Coyllorcocha es derivada mediante un canal de tierra impermeabilizado con geomembrana desde aguas abajo de QCoy-04 hasta antes de la descarga del vertimiento del tanque sedimentador 5 (ST-05), por lo que el agua no se traslada por el curso o cauce natural de la quebrada Coyllorcocha, el cual de acuerdo con la Figura 7.8 interconectaba los tanques sedimentadores 3 (ST-3) y 5 (ST-5) en junio de 2010.

⁷⁵ De acuerdo con Basile (2018), los procesos de sedimentos en un sistema fluvial son:

Zona de producción: Representa la cuenca alta donde se producen los aportes líquidos y sólidos. En esta zona preponderan la meteorización de la roca parental y erosión, por lo que se genera la entrada de agua y sedimento del sistema fluvial.

Zona de transferencia: La función principal de la zona es transportar los sedimentos desde la zona de producción a la zona de sedimentación. En esta zona se observa cauces entrelazados en la parte superior con sedimentos más gruesos (gravas y arenas) y cauces meándricos en la parte inferior con pendiente más baja con sedimentos más finos y planicies de inundación más amplias.

Zona de sedimentación: Pérdida de capacidad de transporte, donde el sedimento se va progresivamente depositando y genera macroestructuras morfológicas tales como los deltas.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Este cauce natural del sistema fluvial Coyllorcocha antes del inicio de las operaciones mineras en mayo 2006 se puede observar en la Figura 7.9, en donde se visualiza la faja marginal con un solo canal de quebrada Coyllorcocha en el tramo final del citado sistema fluvial. Esta quebrada era vulnerable a las erosiones en láminas (Basile, 2018), principalmente en la margen izquierda donde están los afloramientos y actuales tajos Diana y Susan con su ampliación.

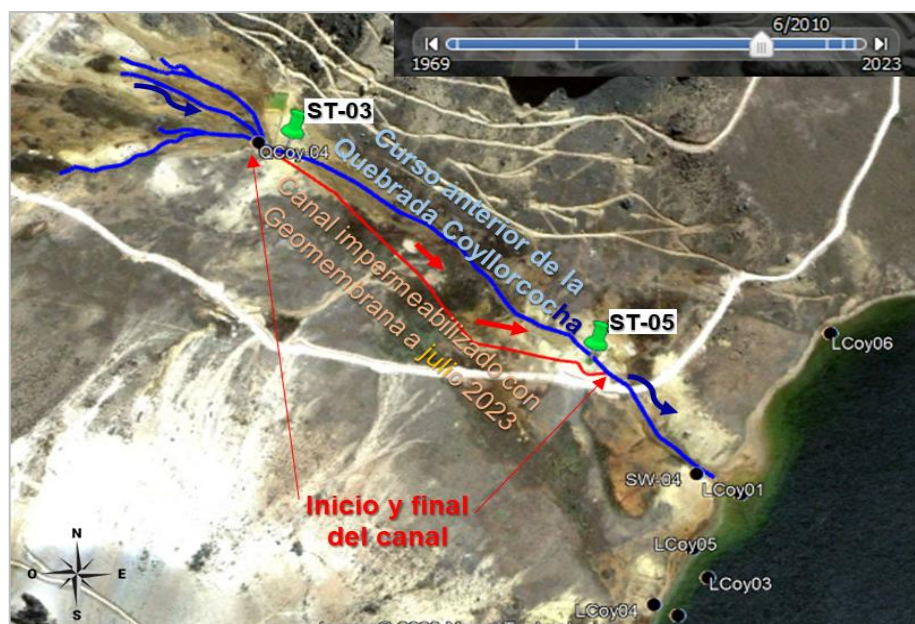


Figura 7.40. Curso anterior de la quebrada Coyllorcocha en junio 2010 y actual canal impermeabilizado a julio 2023
Fuente: Imagen Google Earth de junio 2010

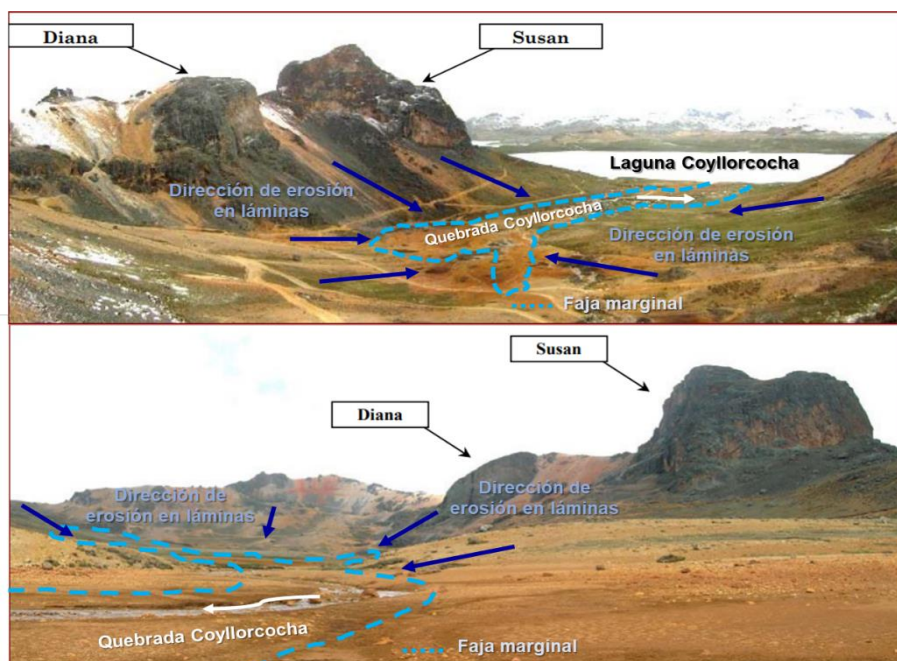


Figura 7.41. Faja marginal de la quebrada Coyllorcocha antes de la actividad minera en mayo 2006 con visualización de los afloramientos Diana y Susan



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Fuente: MIRL (2006)

Dicho canal de tierra que derivó las aguas desde las zonas de producción y final de transferencia no estaba impermeabilizado, tal como se puede visualizar en la Figura 7.10 con fotos en dos diferentes puntos del canal en la visita de reconocimiento el 27 de febrero de 2023. Cabe señalar que, de acuerdo con el plano detallado de subdrenaje y manejo de agua proveniente de tajo⁷⁶; el canal de tierra es un canal de no contacto con una distancia de 523 ml (metros lineales) con dirección de flujo de agua oeste-este.

El suelo removido situado en las márgenes del canal se moviliza hacia el flujo de agua por el proceso de erosión de márgenes (EM) (Basile, 2018), lo cual ha permitido el traslado de dicho material en forma de sedimentos suspendidos por el canal (Figura 7.10), siendo depositado en la parte final de la zona de transferencia en el punto de muestreo SW-04 de la quebrada Coyllorcocha y acumulándose en la zona de sedimentación en el punto LCoy04 de la laguna.

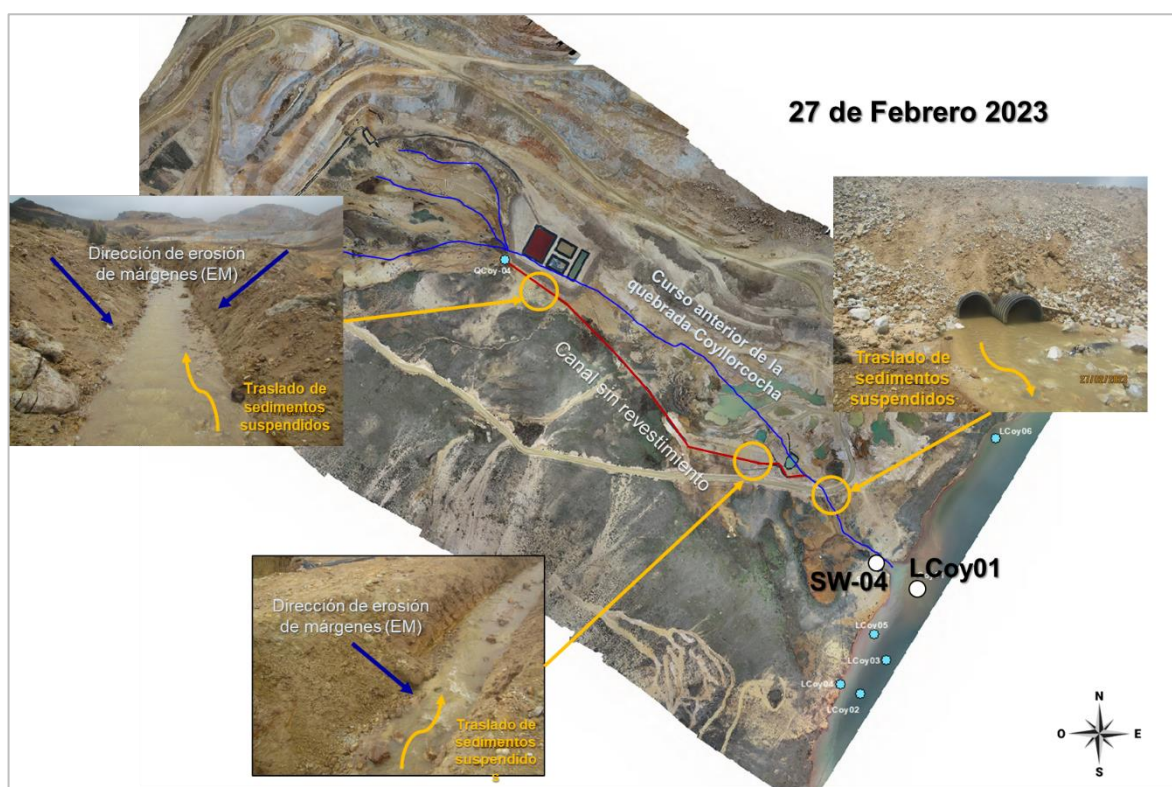


Figura 7.42. Erosión de márgenes en el canal sin revestimiento con traslado de sedimentos o sólidos suspendidos hacia la deposición en parte baja de la quebrada Coyllorcocha en SW-04 y LCoy01

Cabe mencionar que el material aluvial removido por las actividades de excavación para la ampliación del tajo Scree Slope realizadas en el curso anterior de la quebrada Coyllorcocha forma parte del material de ladera del canal de tierra que estaba sin impermeabilizar y donde se llevaron a cabo los procesos de erosión hídrica, tal como se observa en la Figura 7.10, en donde la acción indirecta de la lluvia, el suelo se mezcla con el agua y se lleva a cabo un movimiento lateral de las partículas a otros puntos de la ladera (Ramírez, 2009).

⁷⁶ Requerimiento 4 – Anexo 4 remitida por Minera IRL en el requerimiento de información mediante Carta N° 021-2023-MIRL-AA-OEFA a solicitud del Requerimiento N° 0006-2023-DSEM-CMIN solicitada por DSEM.

La acción directa de la lluvia es el impacto de sus gotas en la superficie del suelo. Estos impactos compactan la superficie del suelo y rompen los agregados haciendo saltar las partículas, dejándolas expuestas y listas para ser arrastradas por el agua (Allas, 2006).

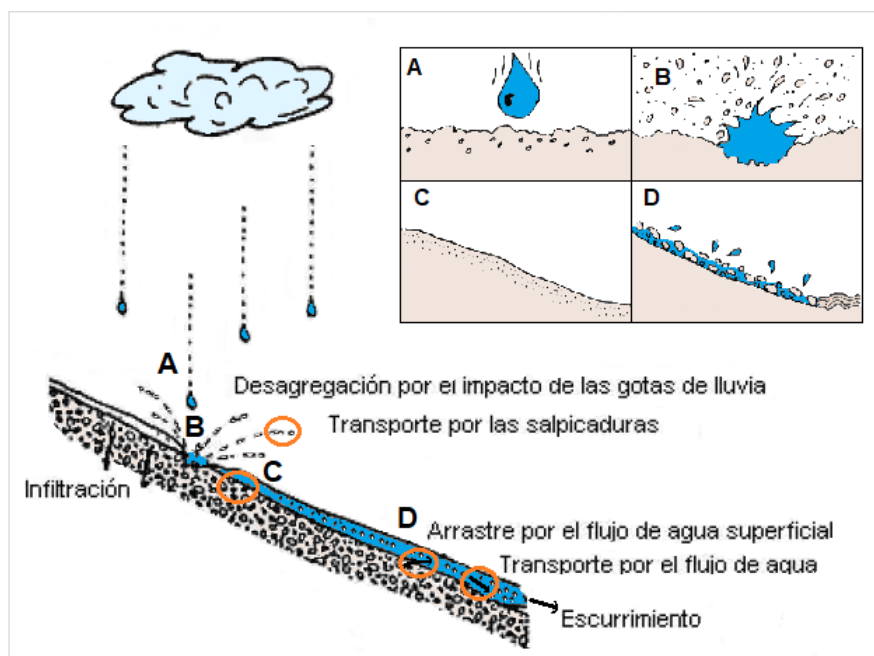


Figura 7.43. Etapas de la erosión hídrica

Fuente: Ramírez (2009)

En la zona de sedimentación, la acumulación de la mayor concentración de metales como el molibdeno, mercurio, arsénico y plomo, así como la menor concentración de cobre y cadmio en sedimento en el punto de muestreo de la laguna Coyllorcocha en LCoy01 con relación a los demás puntos de muestreo de la laguna se debe a que es una zona de deposición fondo en confluencias (DFC) dentro de los principales procesos de erosión y deposición de sedimentos como indica la Figura 7.11.

De esa manera, las altas concentraciones de metales diferente de LCoy01 con respecto a los demás puntos de la laguna y similares registros fisicoquímicos con la quebrada Coyllorcocha se debe a la deposición de sedimentos desde la quebrada Coyllorcocha.



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

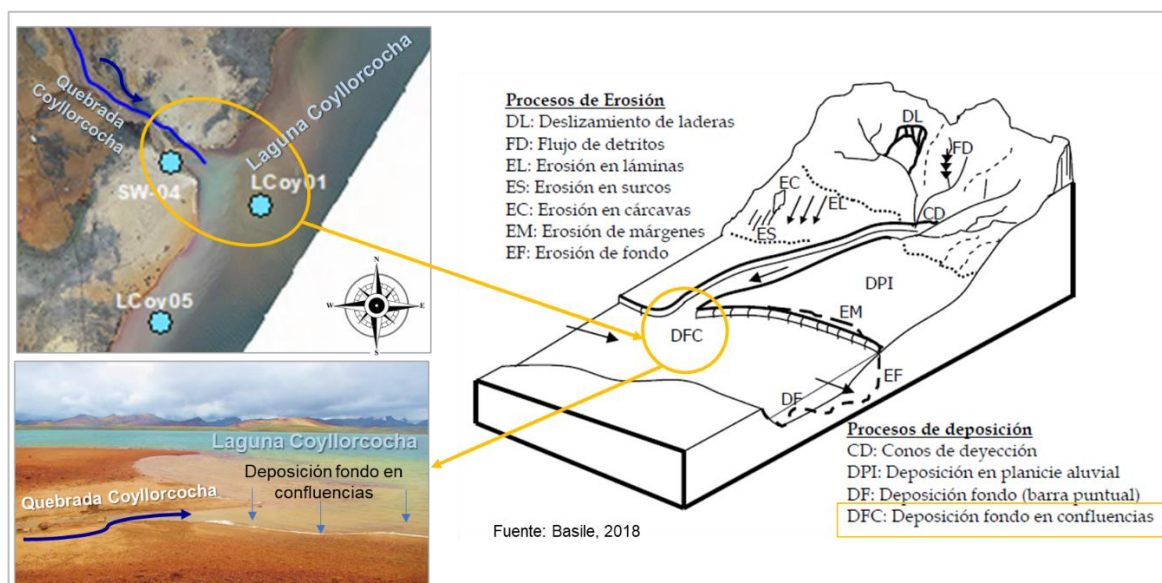


Figura 7.44. Deposición fondo en confluencias ubicada en el punto LCoy01 de la laguna Coyllorcocha en los procesos de erosión y traslado de sedimentos de la quebrada Coyllorcocha

Con respecto a las comunidades hidrobiológicas, antes de discutir los resultados se mencionará algunos aspectos: 1. La hipótesis planteada fue, si el arrastre de sedimentos de detallado en párrafos anteriores influyó en el comportamiento de los macroinvertebrados bentónicos y perifiton (Efecto) en la quebrada Coyllorcocha, 2. Para tener un mejor entendimiento de los procesos causa y efecto en los ecosistemas acuáticos se realizó dos zonificaciones, zona control (QCoy-01 y QCoy-04) y zona alterada (SW-04), 3. Toda la zona se encuentra en un contexto geológico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración, lo que genera que sus flujos de agua sean ácidos, lo que permitió comparar ambas zonas con un mismo tipo de ambiente y que los factores determinantes que contribuyen en la variabilidad en la dinámica de la comunidades hidrobiológicas tales como parámetros fisicoquímicos, metales del agua superficial y del sedimento, además de la calidad hidromorfológica.

A continuación, se detalla el dinamismo de los macroinvertebrados bentónicos (Figura 7.37): 1) En el recorrido de la quebrada Coyllorcocha del punto QCoy-01 al SW-04 se registró la disminución poblacional estructural de la densidad de taxones tolerantes (243 a 13 Individuos/0,27m²) y facultativos (30 a 3 taxones), tal como los taxones *Cricotopus* sp. y *Bezia* sp. que son tolerantes a metales pesados y a pH ácidos (Janssens de Bisthoven et al., 2005; Winner et al., 1980), 2). Según el análisis cluster los puntos QCoy-01 y QCoy-04, presentaron una alta similitud del 80% de la composición de taxones, y al compararlos con el punto SW-04 se registró una baja similitud del 40% de la composición de taxones, esta baja similitud es corroborado con el análisis permanova, donde indica que si hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la composición de taxones, 3) En el recorrido de la quebrada Coyllorcocha se registró el cambio de calidad moderada a mala calidad biológica según in índice biótico andino (ABI).

Por otro lado, se detalla el comportamiento del perifiton (microalgas) (Figura 7.37): 1) En el recorrido de la quebrada Coyllorcocha del punto QCoy-01 al SW-04 se registró la disminución poblacional estructural de la riqueza (10 a 2 taxones) y densidad acumulada (11250 a 2820 Organismos/cm²), donde se observa la disminución de los taxones dominantes tal como *Eunotia* cf. *exigua* y *Frustulia saxonica* que son tolerantes a metales pesados y a pH ácidos (Urrea-Clos y Sabater, 2009; Veselá y Johansen, 2009; y Schowe, 2012), 2). Según el análisis



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

cluster los puntos QCoy-01 y QCoy-04 presentaron una alta similitud del 70% de la composición de taxones, y al compararlos con el punto SW-04, se registró una baja similitud de 25% de la composición de taxones.

Asimismo, para complementar del comportamiento de las comunidades hidrobiológicas se realizó un modelo estadístico de la dinámica de los macroinvertebrados bentónicos relacionado con los parámetros fisicoquímicos y metales del agua superficial y sedimentos, por lo cual se registró lo siguiente:

Primero, mediante el análisis cluster se analizó los patrones espaciales de asociación del ensamble de macroinvertebrados bentónicos, así como de los parámetros del agua superficial (pH, CE, SO₄, Al, As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Zn) y sedimentos (Al, As, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mo, Pb, Zn), mostrando diferenciación de asociación entre los puntos sin influencia de la actividad minera (QYan-1, QBPar1, QCoy-01 y QCoy-04) y los puntos con influencia de la actividad minera (SW-10, RCha-01, SW-20, SW-02 y SW-04).

Segundo, se realizó el análisis BEST que nos permite determinar que variables ambientales (parámetros del agua superficial y sedimentos) tienen mejor relación que explican los patrones de asociación de los macroinvertebrados bentónicos, lo cual nos indica que los parámetros del agua superficial con mejor relación fueron pH, cadmio, hierro y manganeso, mientras que en los sedimentos fueron aluminio, arsénico, cobalto, cobre y molibdeno, esto nos aproxima al mejor entendimiento de que variables ambientales están influyendo en la dinámica de los macroinvertebrados bentónicos.

Tercero, se realizó el análisis complementario al análisis BEST de distancia basados en modelos lineales (DistLM) para determinar que variables ambientales se ajustan a una mayor relación que puedan explicar el porcentaje de variabilidad de los patrones de macroinvertebrados bentónicos, logrando determinar que el hierro (Fe) del agua superficial explica el 75% de la variabilidad, el pH y los sulfatos (SO₄) explican el 17% de la variabilidad del ensamble de los macroinvertebrados, mientras que en los sedimentos el molibdeno (Mo) explica el 88 % de la variabilidad y el cobre (Cu) explican el 11% de la variabilidad del ensamble de los macroinvertebrados.

Cuarto, del análisis estadístico mencionado nos permite afirmar que parámetros del agua superficial y sedimentos influyen en la dinámica de los macroinvertebrados bentónicos, es por ello, que para un mejor entendimiento se realizó dos agrupamientos de la composición de taxones tales como los tolerantes y facultativos y ver si estos organismos clasificados tienen la misma relación explicativa con los parámetros antes mencionados en el análisis de modelos de regresión multivariado. Pudiendo evidenciar, que la densidad organismos tolerantes aumentan según el incremento del pH del agua superficial, sin embargo estos organismos tuvieron una relación indirecta con sulfato, hierro y manganeso del agua superficial, lo que indica que el aumento de concentraciones de esos parámetros disminuye la densidad de los individuos; además el arsénico, cobre y molibdeno del sedimento presentaron una relación inversamente proporcional con los individuos tolerantes y facultativos, lo que indica que a medida que aumentan las concentración de esos metales disminuye la densidad de los individuos.

Lo discutido anteriormente nos permite hacer un análisis temporal, donde a inicios de la actividad minera, se había registrado el dominio de estos taxones tolerantes de forma natural en la quebrada Coyllorcocha (SW-04), tal como se menciona en el informe de monitoreo hidrobiológico de la UM Corihuarmi de diciembre 2011 (época húmeda), sin embargo, al compararlos con lo registrado en la presente evaluación, se ha registrado la disminución de la densidad de taxones tolerantes en un 99% debido al incremento de los



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

parámetros fisicoquímicos y metales del agua superficial y sedimento en la quebrada Coyllorcocha.

Los elementos de preocupación del agua superficial y sedimentos mencionados anteriormente que afectan negativamente a las comunidades hidrobiológicas también se evidencian en otros informes de evaluación de causalidad (EAC UF Arasi 2021 y EAC UF Inmaculada 2022), estas evidencias sobre la determinación de la causalidad en otros estudios sustentan lo registrado en la presente evaluación.

De las relaciones inductivas, evidencias estadísticas, evidencia del análisis temporal con su instrumento de gestión ambiental y de los casos de estudios de causalidad se contrastan la afectación negativa sobre las comunidades hidrobiológicas en la quebrada Coyllorcocha a causa del aporte por arrastre de sedimentos. De lo evidenciado anteriormente en la quebrada Coyllorcocha estamos ante un caso de daño ambiental⁷⁷ del tipo daño real⁷⁸, al probar 3 de 4 criterios lo cual se detalla a continuación:

1. **Comparación con los valores de la línea base:** Se pudo evidenciar que al comparar los datos obtenidos de las concentraciones de metales y parámetros fisicoquímicos del agua superficial de la presente evaluación con respecto a los datos de la línea base en el punto SW-04 se observó un aumento progresivo de las concentraciones de metales, además, al comparar la densidad de organismos tolerantes de macroinvertebrados bentónicos de uno de sus primeros IGAS (Informe de monitoreo hidrobiológico 2011 con respecto a la presente evaluación, se observó el 99% de la disminución de individuos de macroinvertebrados bentónicos.
2. **Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental:** En la presente evaluación en el punto SW-04 se registró 8 parámetros (pH, SO₄, Al, As, Cd, Fe, Mn y Zn) que incumplieron los ECA 2008 en agua superficial, además, se registró 4 parámetros (arsénico, cobre, plomo y mercurio) que superan la norma canadiense de la CEQG en sedimentos.
3. **Comparación del componente afectado con uno no afectado de la misma zona:** En la presente evaluación en la quebrada Coyllorcocha los puntos QCoy-01 y QCoy-04 sirvieron como zona control donde presentaron menores concentraciones de metales y parámetros fisicoquímicos del agua superficial y sedimento con respecto al punto SW-04 (zona afectada). El mismo criterio se utilizó para analizar las comunidades hidrobiológicas donde en la zona control (QCoy-04) presentó mayor densidad de individuos tolerantes con respecto a la zona afectada (SW-04), además, presentó moderada calidad biológica mientras en la zona afectada presentó una mala calidad biológica. Asimismo, para diseñar el modelo estadístico se utilizó otros puntos controles (QYan-1 y QBPAr1) de una zona no afectada en el mismo contexto geológico, donde la dinámica del agua superficial y sedimento se evidenció la diferenciación de la zona afectada y no alterada.

Una vez confirmado que la quebrada Coyllorcocha está siendo afectada, la siguiente hipótesis planteada fue si esta quebrada influye sobre las comunidades hidrobiológicas en la laguna Coyllorcocha lo cual se detalla a continuación:

⁷⁷ Se denomina daño ambiental a todo menoscabo material que sufre el ambiente y/o alguno de sus componentes, que puede ser causado contraviniendo o no disposición jurídica, y que genera efectos negativos actuales o potenciales (Artículo 142° de la ley 2861- Ley General del ambiente).

⁷⁸ Detrimento, pérdida, impacto negativo o perjuicio actual y probado, causado al ambiente y/o alguno de sus componentes como consecuencia del desarrollo de actividades humanas (Manual explicativo de la metodología para el cálculo de las multas base y de la aplicación de factores agravantes y atenuantes a utilizar en la graduación de sanciones).



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»
«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

Primero, la quebrada Coyllorcocha (SW-04) registró mala calidad biológica según el índice biótico andino (ABI), aportando arsénico, cobre, molibdeno y mercurio del sedimento en elevadas concentraciones hacia la laguna Coyllorcocha, este aporte se vio reflejado en la acumulación de estos metales en el punto LCoy-01 registrando mayores concentraciones de dichos metales con respecto al punto SW-04.

Segundo, dichos metales en la laguna Coyllorcocha se movilizaron hacia el sur de la desembocadura de la quebrada Coyllorcocha, debido a que existe el movimiento del flujo de agua de la laguna a causa de los vientos que van de norte a sur registrando su dispersión heterogénea, donde se presentó la disminución de las concentraciones de los metales en los puntos LCoy-02, LCoy-03, LCoy-04 y LCoy-05 con respecto al punto LCoy-01, sin embargo, al compararlos con el punto control LCoy-07, ubicado a 1km del norte de la desembocadura de la quebrada Coyllorcocha, se observó que dichos metales tienen mayores concentraciones. Esto indica que la dispersión de los metales de preocupación que aporta la quebrada Coyllorcocha hacia la laguna se encuentra en una zona focalizada.

Tercero, este dinamismo de los metales en sedimento está relacionado con la distribución de la densidad acumulada de los macroinvertebrados bentónicos (muestreo cuantitativo), donde las mayores concentraciones de metales registradas en la desembocadura de la quebrada Coyllorcocha y al sur de ella presentaron las menores densidades acumuladas de macroinvertebrados bentónicos, y al compararlas con la zona control LCoy-07 que presentó las menores concentraciones de metales, este registró la mayor densidad acumulada. Esta diferenciación entre la zona alterada (LCoy-01 y LCoy-04) y la zona control (LCoy-07) se evidenció con el análisis permanova, donde se evidencia que existen diferencias significativas ($p < 0,05$). Esto a su vez guarda relación con lo evidenciado con la distribución de los macroinvertebrados bentónicos del muestreo cualitativo, donde en la orilla de la laguna de la zona alterada (LCoy-04) presentó menores densidades acumuladas con respecto al punto control LCoy-07) (Figura 7.38)



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

Dirección de Evaluación Ambiental

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres»
«Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo»

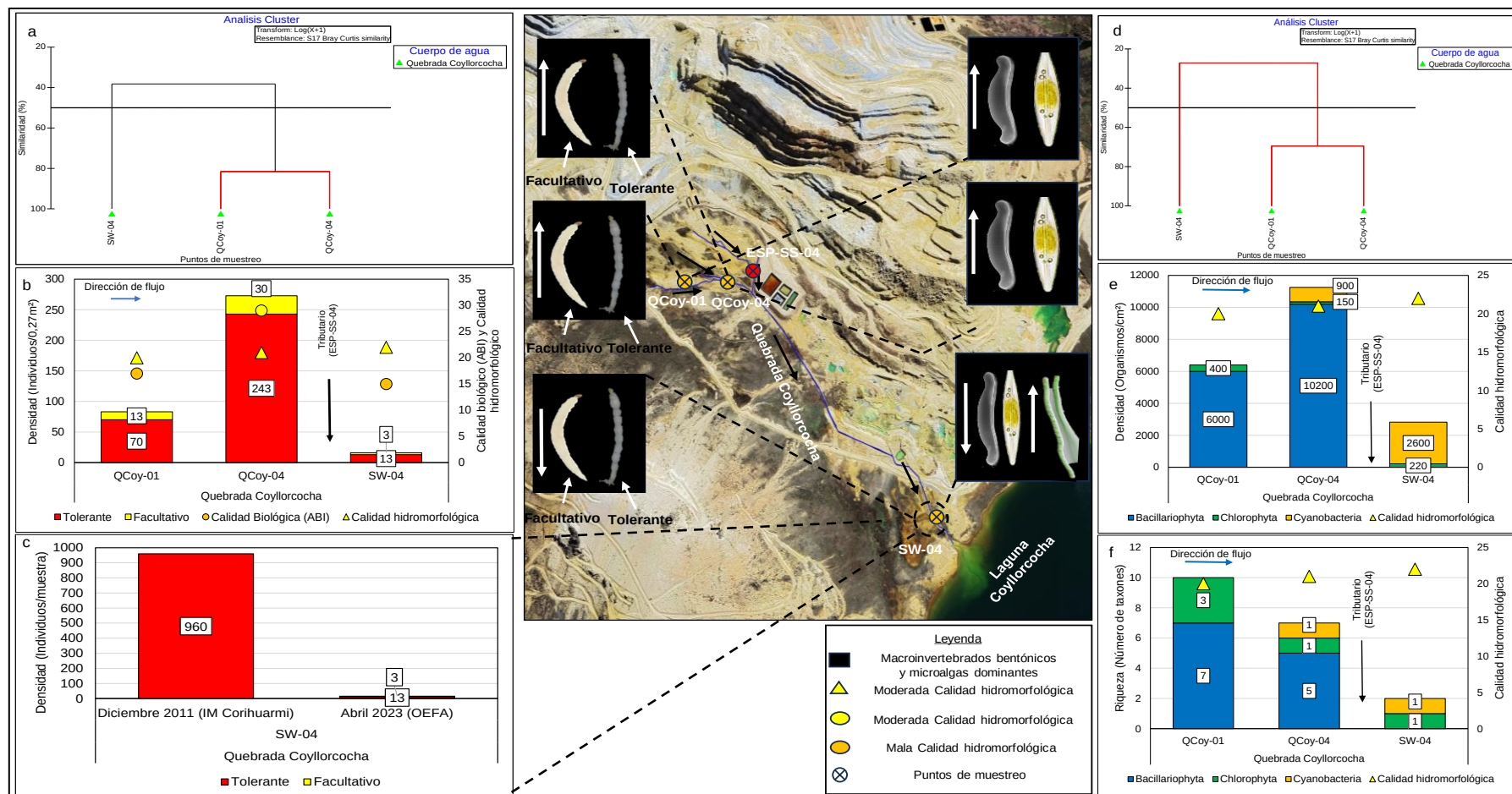


Figura 7.37. Dinámica del perifiton (microalgas) y macroinvertebrados bentónicos influenciado por la actividad minera. a) Análisis cluster de macroinvertebrados bentónicos, b) Densidad en función a sus grupos de tolerancia relacionado con el índice biótico andino (ABI) y la calidad hidromorfológica, c) Dinámica temporal de la densidad de taxones en función a el grupo de tolerancia del informe de OEFA 2023 y el informe de monitoreo hidrobiológico de diciembre de 2011 de la UM Corihuarmi d) Análisis cluster de las microalgas, e) Dinámica de la riqueza y f) Densidad de las microalgas en función al phylum relacionado con la calidad hidromorfológica,



PERÚ

Ministerio del
Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica
Científica

«Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres»

«Año de la unidad, la paz y el desarrollo»

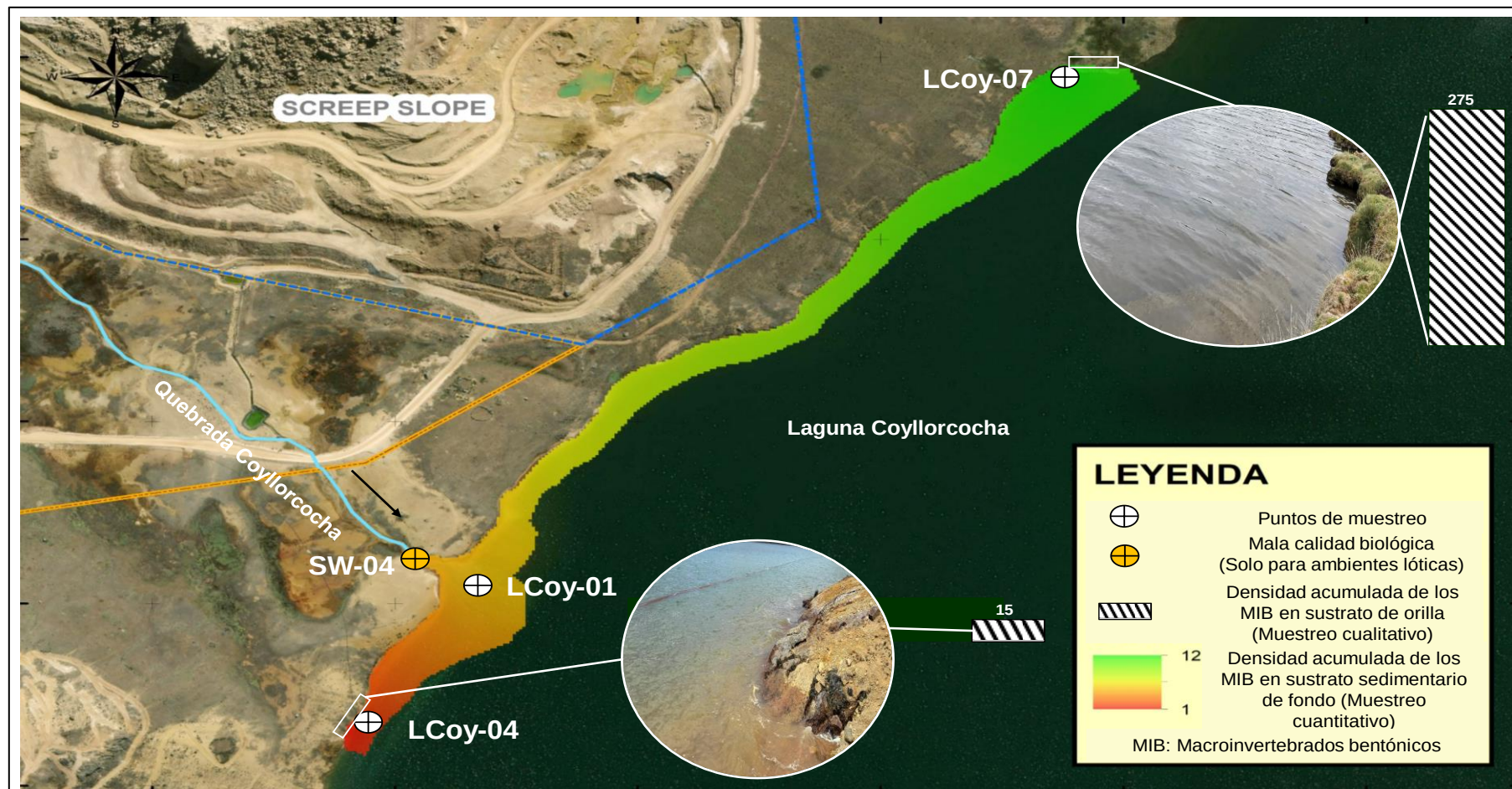


Figura 7.38. Distribución espacial mediante interpolación de la densidad acumulada de los macroinvertebrados bentónicos del muestreo cuantitativo y la distribución de la densidad acumulada de los macroinvertebrados del muestreo cualitativo en la laguna Coyllorcocha.



8. CONCLUSIONES

Zona 1 – Microcuenca Chacote

Subzona 1

- Las aguas de contacto provenientes de la ampliación BMI por infiltración en el canal de mampostería deteriorado, influenciaron en la calidad del agua subterránea del acuífero subsuperficial que migra por depósitos cuaternarios, coluvial-deluvial y roca volcánica fracturada; lo cual se evidenció en el piezómetro (I-06) y el afloramiento (ESP-BMI-08), que presentaron facies hidroquímicas y concentración de metales y aniones similares a las aguas de contacto del BMI (ARI-BMI-01 y ARI-BMI-02), y superiores al agua del manantial MA-06.
- La quebrada sin nombre (punto QSN-03), que recibe las aguas del afloramiento ESP-BMI-08, descargó aguas con pH ácido y alto contenido de metales que incumplieron los LMP 2010 (pH, cadmio, cobre, zinc, arsénico y hierro disuelto) hacia el río Chacote, influyendo en las características fisicoquímicas e inorgánicas en agua y sedimento en el punto SW-10, debido a que las concentraciones se incrementaron respecto a la línea base y al punto aguas arriba (SW-20), superando los ECA para agua 2008 y la norma canadiense para sedimento, que en consecuencia en el tramo evaluado del río Chacote, generó la disminución del 91% de la densidad del ensamble de microalgas tolerantes a pH ácidos y metales, que a su vez impidió que el ensamble de macroinvertebrados bentónicos se pueda recuperar, manteniendo una baja densidad y riqueza, reflejándose con una pésima calidad biológica con dominio de individuos tolerantes, asimismo, se evidenció del análisis temporal en el punto SW-10 la disminución del 98% de la densidad de taxones tolerantes y la desaparición de individuos facultativos de los macroinvertebrados bentónicos.

Subzona 2

- En el informe N. °145-2023-OEFA-DEAM-STEAC, se describió la descarga del punto de control de efluente SP-03 (marzo 2023) hacia la quebrada Para Para (cabecera del río Chacote) con parámetros que incumplieron los LMP 2010 (pH, arsénico, cobre, zinc y hierro disuelto) y con 0,406 L/s del caudal.
- En abril 2023 se identificaron eventos de descargas de agua de contacto sin tratamiento previo provenientes del sistema de tratamiento SP-03, que discurrieron hacia la quebrada Para Para, con parámetros que incumplieron los LMP 2010 (pH, arsénico, cadmio, cobre, zinc y hierro disuelto); además, presentaron facies hidroquímicas, pH altamente ácido y concentraciones de metales disueltos (cadmio, cobre y zinc) superiores en comparación al agua subterránea de los manantiales (AF-05, MA-05 y MA-02), lo que corrobora que corresponden a aguas residual industrial.

Subzona 3

- En el lado sur del Taller de maquinaria pesada, se depositaron materiales de residuo minero como estructura de contención de la poza SP-04 y como botadero en la ladera sur, donde se identificó zonas saturadas con alto contenido de sales evidenciado en la secciones de resistividad de las líneas TE-P4A-01 y TE-P4A-02 como zonas de baja resistividad (< 25 Ohm.m) que fueron concordantes con las características geoquímicas de ambos materiales (CM-P4A y CM-MAT-1) que registraron alto potencial para generar drenaje ácido y lixiviar aluminio, hierro, cobre, zinc, arsénico, cadmio, manganeso, plomo y sulfatos.



- En la supervisión de abril de 2023, se identificó la descarga no autorizada de aguas de contacto del canal del sistema de tratamiento SP-03 hacia el bofedal Para Para en dos puntos: el primero, CA-PAR-01 (a la altura de la cancha de Volatilización) con pH ácido y concentraciones totales de arsénico, cadmio, cobre, zinc y de hierro disuelto, de estos metales cobre y hierro disuelto incumplieron los LMP 2010; y el segundo, ARI-09 y ARI-10 por derivación del canal (a la altura entre la poza SP-01 y SP-02) con pH ácidos y altas concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, zinc y hierro disuelto, los mismos que incumplieron los LMP 2010.
- Las condiciones físicas de suelo del bofedal en el API Para Para presentaron materiales finos de arrastre por escorrentía reciente, con características de textura limo arcillosa con consistencia adhesiva, muy fluido y glutinoso, de color amarillo parduzco (10YR 6/6), característico de materiales de alteración argílica, y mezclados con el material orgánico del bofedal presentó una densidad de 0,73 g/cm³; dichos materiales no se observaron en el suelo del área control, los cuales presentaron características de un suelo orgánico con una densidad de 0,17 g/cm³; estas condiciones físicas indican un deterioro del estado físico del suelo afectando su permeabilidad y su capacidad de infiltración del agua en el perfil.
- Las condiciones químicas del suelo del bofedal del API Para Para muestran altas concentraciones de sulfatos, calcio, magnesio y cloruros, y menores concentraciones de bicarbonatos en la fase acuosa; asimismo, la distribución de cationes cambiabiles del suelo (fase sólida) del API estuvo totalmente desequilibrada respecto del suelo del área control, indicando pérdidas de bases y dando lugar a la presencia de hierro, aluminio e hidrógeno en el complejo de cambio de los coloides, así como de metales cobre, plomo, boro, cadmio, cobalto y zinc en la solución del suelo, esto se reflejó en el pH del suelo que fueron ultra ácidos, además de incrementar ligeramente su salinidad.
- Respecto a los metales en la fase sólida del suelo, las concentraciones de arsénico y plomo en todas las muestras superaron a los valores de los ECA para suelo de uso agrícola 2017; por otro lado, al comparar referencialmente con los valores de la CSQG uso agrícola los metales cobre en 5 muestras, boro, selenio y talio en 9 muestras y molibdeno en todas las muestras superaron a dicha norma de referencia; cabe señalar que, hay un incremento de las concentraciones de metales del suelo API Para Para en las concentraciones de metales arsénico, molibdeno, plomo y selenio, así como cobre, mercurio y talio con diferencias estadísticamente significativas en relación al suelo del área control. Por otra parte, La caracterización edafogeoquímica de los materiales del suelo permitió identificar minerales de alteración como alunita, jarosita y pirofilita, los mismos que se reportaron en los materiales del Tajo Cayhua (CM-CAY01) y otros materiales del área cercanos al Taller de equipos (CM-MAT01 y CM-P4A). Cabe señalar que, dichos minerales no se identificaron en el suelo del área control, ni en las rocas adyacentes al bofedal Para Para.
- En relación con las condiciones microbiológicas del suelo del API Para Para, se observó que las unidades formadoras de colonias como bacterias y hongos fue mucho menor en relación con el suelo del área control; asimismo, la cantidad de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y bacterias nitrificantes fueron menores en el API Para Para, afectando la respiración microbiana y su biomasa del suelo y por lo tanto reduciendo su funcionalidad en el equilibrio biogeoquímico.
- Estas diferencias encontradas referentes a las condiciones físicas, químicas y microbiológicas en el suelo del API Para Para respecto al suelo del área control, se



debe a la descarga no autorizada de aguas de contacto del canal de tierra (CA-PAR-01), a la altura de la cancha de Volatilización, y de aguas ácidas (ARI-09 y ARI-10) por derivación del canal (a la altura de la poza SP-01 y SP-02) que conforman el sistema de tratamiento SP-03 provenientes del Tajo Cayhua, Haul road, Taller de equipos, canal perimetral del PAD de lixiviación lado noreste y grifo.

- Se evidenció un incremento de los metales arsénico, plomo, cobre, mercurio, hierro y aluminio, y el macronutriente azufre en el tejido vegetal de las especies *Calamagrostis chrysantha* y *Calamagrostis* cf. *brevifolia*, con diferencias estadísticamente significativas en el API Para Para en relación a la zona control, producto del ingreso de las aguas de contacto y material de arrastre provenientes de las áreas operativas (sistema de tratamiento SP-03). De estos metales, las concentraciones de arsénico y cobre en el tejido vegetal de las muestras obtenidas en todos los puntos evaluados en el API Para Para se encuentran en el rango de excesivo o tóxico para las plantas de acuerdo con Kabata-Pendias (2010), por lo que estas plantas u otras especies vegetales que se desarrollan en el mismo entorno estarían siendo afectadas, por los efectos adversos que producen altas concentraciones de estos metales en las plantas. Asimismo, las concentraciones de los macronutrientes magnesio, fósforo y potasio fueron significativamente menores en las plantas presentes en el API Para Para. Estas condiciones en conjunto a los detallados en el suelo están conllevando a la degradación del bofedal Para Para en el área establecida como API Para Para.
- Las concentraciones de arsénico, hierro, aluminio y azufre en el tejido vegetal superaron los valores establecidos por el *Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals, National Research Council NRC (2005)*, sobre los niveles máximos tolerables de arsénico, cobre, hierro, aluminio y azufre en el alimento para vacas y ovejas, y de cobre en el alimento de ovejas. Así también, las concentraciones de arsénico y mercurio superaron de manera referencial el contenido máximo establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española. Por lo cual se hace evidente que la afectación no solo se restringe al daño a las mismas plantas, sino también podría extenderse a la fauna doméstica (ganado ovino y vacuno) que utilicen a estas plantas como fuente de alimento.
- Respecto a los anfibios en el bofedal Para Para, se ha identificado una afectación en el hábitat de larvas de *Pleurodema marmoratum* debido a la presencia de aguas ácidas en el API Para Para. Estas aguas presentan valores que oscilan entre 2,86 unidades de pH y 5,16 unidades de pH, lo cual es atribuido a un manejo inadecuado de aguas de contacto que ingresan al bofedal mediante un canal sin revestimiento (CA-PAR-01), así como aguas de contacto (ARI-10 y ARI-9) que ingresan a la altura entre la poza SP-01 y SP-02 que conforma el sistema de tratamiento SP-03. Los valores de pH ácido hallados son perjudiciales para las larvas de anfibios, ya que pueden causar toxicidad o inducir problemas de osmorregulación, es por ello que no se registró ninguna larva de *P. marmoratum* en las búsquedas por encuentro visual (CORI-HE-V1, CORI-HE-V3, CORI-HE-V4 y CORI-HE-V13) realizadas en el API Para Para.
- Se determinó que la concentración de cobre en las muestras de las aguas de contacto (CA-PAR-01 con 2,9663 mg/L, ARI-9 con 43,6976 mg/L y ARI-10 con 65,4759 mg/L) que ingresan al bofedal Para Para, tienen efectos negativos en las larvas de anfibios, ya que Azizishirazi *et al.* (2021), indican que el rango de concentración más bajo a la cual se observa algún efecto (LOEC) puede variar entre 0,38 µg/L – 500 µg/L (equivalentes a 0,00038 mg/L - 0,5 mg/L).



- Según las referencias bibliográficas revisadas, las concentraciones de plomo, mercurio y cobre halladas en las larvas de *Pleurodema marmoratum* parecen aún no estar produciendo efectos letales o subletales en las áreas cercanas al lado oeste del API Para Para (CORI-HE-RO1, CORI -HE-RO3 y CORI-HE-V5). Sin embargo, las concentraciones de mercurio y plomo en estas áreas fueron significativamente mayores a las encontradas en las larvas del área control. En el caso del cobre, también se encontraron niveles elevados respecto al el área control, pero no hubo una diferencia estadísticamente significativa. Estos resultados indican que los anfibios ubicados cerca al lado oeste del API Para Para estarían expuestos a mayor riesgo ambiental debido a la acumulación de estos elementos en larvas de esta especie.

Zona 3 – Microcuenca Coyllorcocha

Subzona 4

- Las aguas de contacto y afloramiento que infiltran de los tajos Screep Slope y Diana, influyeron en la calidad del agua subterránea del acuífero subsuperficial por la lixiviación del material del residuo minero depositado en la margen izquierda de la quebrada Coyllorcocha; lo cual se evidenció en el piezómetro (PO-07) y en los afloramientos en la descarga de los subdrenes 1 y 2 (ESP-SS-02 y ARI-4, respectivamente) que presentaron facies hidroquímicas sulfatadas cálcicas ($< 30 \text{ meq/L}$), concentración de metales y aniones similares al agua de contacto del tajo Diana (ESP-TD-01), y superiores a los manantiales AF-05 y MA-02 ($< 9 \text{ meq/L}$).

La descarga de los subdrenes 1 y 2 que forman el punto ESP-SS-04, presentaron pH altamente ácido y alto contenido de metales (arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc y hierro disuelto) que superaron lo ECA para agua 2008, e influyeron en la calidad del agua de la quebrada Coyllorcocha, evidenciado en el incremento de concentraciones del punto SW-04A (aguas abajo respecto al QCoy-04), que fueron similares desde el 2018, según lo reportado por Minera IRL.

La derivación del cauce natural de la quebrada Coyllorcocha debido a las actividades de excavación para la ampliación del Tajo Screep Slope influyó en el incremento de concentraciones de molibdeno, arsénico y cobre en el punto SW-04, respecto al QCoy-04, que además se enriqueció de estos metales como se evidencia por la presencia de molibdenita (sulfuro de molibdeno) a causa de la erosión del material aluvial expuesto en las márgenes del canal de tierra sin revestimiento en el tramo desde aguas abajo del QCoy-04 hasta antes de la poza ST-05 (523 m lineales), constatado en la supervisión de marzo 2023.

Entre los puntos QCoy-04 y SW-04 se evidenció la disminución del 95% y 90% de taxones tolerantes y facultativos de macroinvertebrados bentónicos respectivamente, reflejándose en la disminución de calidad moderada a mala calidad biológica, además, se evidenció la disminución del 75% y 72% de densidad acumulada y riqueza de microalgas respectivamente, asimismo, del análisis temporal realizado en el punto SW-04, respecto a lo reportado por el administrado en 2011, se registró la disminución del 99% de la densidad de taxones tolerantes de los macroinvertebrados bentónicos.

La influencia de la quebrada Coyllorcocha sobre el sedimento de la laguna Coyllorcocha se observó principalmente en la zona de ingreso LCoy-01 (zona de deposición de confluencia) que presentó una mayor concentración de metales (molibdeno, mercurio,



arsénico y plomo) y conductividad, así como menor pH. Esta zona de deposición (LCoy-01) se relaciona con la menor densidad acumulada del ensamble de macroinvertebrados bentónicos en comparación con el LCoy-07 (punto más alejado respecto a la zona de deposición de confluencia).

Los aspectos mencionados tales como: infiltración de aguas de los tajos Diana y Screeper Slope, arrastre de sedimento por modificación del cauce natural sobre la quebrada Coyllorcocha (tramo final), acumulación de sedimentos en la zona de ingreso de la laguna generaron influencia negativa en las comunidades hidrobiológicas, por lo expuesto, estamos ante un caso de daño ambiental a la quebrada Coyllorcocha en el tramo del QCoy-04 al SW-04.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUA

- Custodio, E., y Llamas, M. R. (1996). Hidrología Subterránea (Segunda Ed). Barcelona, España: Omega.
- Mifflin, M. (1988). Region5, Great Basin in Back, W., Rosenshein, J.S and Seaber, P.R. Hydrogeology, Geological Society of America, 69-77.
- Reyes, K., 2006. Análisis del Estado de las fuentes de agua para consumo humano y funcionamiento de los acueductos rurales en la cuenca del río La Soledad Honduras: s.n.
- García, L., 2003. Indicadores Técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del Río Tascalapa Yoro., Honduras, CR: s.n.

COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS

- Acosta, R.; Ríos, B.; Rieradevall, M. & Prat, N. (2009). Propuesta de un Protocolo de Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (C.E.R.A) y su Aplicación a dos Subcuencas en Ecuador y Perú. Limnética, 28(1): 35-64.
- Adams, W.J., Kimerle, R.A. & Barnett, J.W. 1992. Sediment quality and aquatic life assessment. Environ. Sci. Technol., 26(10):1864-1875.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N. & Clarke, K. R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: guide to Software and Statistical Methods, 1st edition. Plymouth, UK: University of Auckland and PRIMER-E. 214 pp.
- Bond, P. L., Druschel, G. K., and Banfield, J. K., (2000). Comparison of acid mine drainage microbial communities in physically and geochemically distinct ecosystems. Applied and Environmental Microbiology, 66, 4962–4971.
- Burton, E.D., Hawker, D.W. & Redding, M.R. 2003. Sludge-derived Cu and Zn in a humicgley soil: effect of dissolved metal-organic matter complexes on sorption and partitioning. Soil Sediment Contam., 12: 23-46.
- Camargo, J. A., 1995. Effect of body size on the interspecific tolerance of aquatic insects to low pH: a laboratory study. Bull. envir. Contam. Toxicol. 54: 403–408.
- Cuadras CM, Dodge Y (1989) Distance analysis in discrimination and classification using both continuous and categorical variables. Statistical data analysis and inference. Amsterdam, North-Holland, pp 459–473.
- Clarke K.R. y M., Ainsworth, (1993). A method of linking multivariate community structure to environmental variables. Mar. Ecol. Prog. Ser. 92:205–219.



- Clarke, K.R., Gorley, R.N., Somerfield, P.J. y Warwick, R.M. (2014). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 3rd ed. PRIMER-E: Plymouth.
- 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_teor%C3%ADa_y_practica_de_la_taxonomia_numerica.
- Cummins, K. & Klug, M.J. (1979). Feeding Ecology of Stream Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 10, 147-172.
- Dallinger, R., Prosi, F., Senger, H. & Back, H. (1987). Contaminated food and uptake of heavy metals by fish: a review and proposal for further research. *Oecologia* (Berlin) **73**: 91-98.
- Encalada, A. C., M. Rieradevall, B. Ríos-Touma, N. García y N. Prat (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluaciones de la calidad de ríos andinos (CERA-S)*. Quito: USFQ, UB, AECIO, FONAG.
- Feinsinger P. (2003). *El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad*. Santa Cruz: Ediciones FAN.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001). PAST: *Paleontological statistics Software* (Version 3.12) [Software]. Disponible desde <http://folk.uio.no/ohammer/past/>.
- Hanson, P., Springer, M. & Ramirez, A. (2010). Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de biología tropical*, 58, 3-37.
- Havas, M. & E. Advokaat, 1995. Can sodium regulation be used to predict the relative acid-sensitivity of various life-stages and different species of aquatic fauna. *Wat. Air Soil Pollut.* 85: 865–870.
- Henriques-Oliveira, A. & Nessimian, J. (2010). Aquatic macroinvertebrate diversity and composition in streams along an altitudinal gradient in Southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 10, 115-128.
- Janssens de Bisthoven L., A. Gerhardt y A.M.V.M. Soares. (2005). Chironomidae larvae as bioindicators of an acid mine drainage in Portugal. *Hydrobiologia*, 532(1-3), 181–191.
- Jost, L. (2006). *Entropy and diversity*. *Oikos*, 113, 363-375.
- Kagi, J. H. R. & Kojima, Y. (1987). Chemistry and biochemistry of metallothionein. *Experientia* **52**: 25-61.
- Krebs C., 1978. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Nueva York, USA: Harper & Row.
- Loayza-Muro, R., Elías-Letts, R., Marticorena-Ruiz, J., Palomino, E., Duivenvoorden, J., Kraak, M., & otros. (2010). Metal-induced shifts in benthic macroinvertebrate community composition in Andean high altitude streams. *Environ Toxicol Chem*, 29, 2761-2768.
- Magurran A. (1991). *Diversidad Ecológica y su medición*. Barcelona, España: Ediciones Veda.
- Ministerio del ambiente (Minam). (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Lima. Por Samanez, V.I., Rimarachín, C.V., Palma G.C., Arana, M.J., Ortega T.H., Correa, R.V. & Hidalgo.
- Newman, M.C. & Clements, W.H. 2008. *Ecotoxicology: A comprehensive treatment*. Eds. Taylor & Francis Group.
- Nordstrom, D. K., & Alpers, C. N., (1999). Geochemistry of acid mine waters. In Plumlee G. S., and Logsdon, M. J. (eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A: Processes, Techniques, and Health Issues*. Littleton, CO: The Society of Economic Geologists, pp. 133–1160.



- Peet, R. (1974). *The measurement of species diversity. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 5, 285-307.
- Pielou, E. (1975). *Ecological Diversity*. John Wiley, New York. 165 pp.
- Pourang, N. (1995). Heavy metal bioaccumulation in different tissues of two fish species with regards to their feeding habits and trophic levels. *Environ. Monitor. Assess.* **35**: 207-219.
- Schowe, K. (2012). Diatom communities across a gradient of acid mine drainage on the West Coast, South Island, New Zealand.
- Smith, T., y Manoylov, K. (2007). Diatom Deformities from an Acid Mine Drainage Site at Friendship Hills National Historical Site, Pennsylvania, *Journal of Freshwater Ecology*, 22:3, 521-527. <https://doi.org/10.1080/02705060.2007.9664182>.
- Sokal, R. y Michener, C. (1958). A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Science Bulletin*, 38: 1409-1438.
- Urrea-Clos, G., Sabater, S. (2009). Comparative study of algal communities in acid and alkaline waters from Tinto, Odiel and Piedras river basins (SW Spain). *Limnetica*, 29: 261-272.
- Veselá, J. y Johansen, J. (2009). The diatom flora of ephemeral headwater streams in the elbsandsteingebirge region of the czech republic, *Diatom Research*, 24:2, 443-477, DOI:10.1080/0269249X.2009.9705813.
- Warren, L.A. (2011). Acid Rock Drainage. In: Reitner J., Thiel V. (eds) *Encyclopedia of Geobiology. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1_3
- Winner, R. W., M. W. Boesel & M. P. Farrel. (1980). Insect community structure as an index of heavy-metal pollution in lotic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 647-655.

FAUNA SILVESTRE

- Angulo A., J. V. Rueda-Almonacid, J. V. Rodríguez-Mahecha & E. La Marca (Eds). 2006. *Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá D.C.* 298 pp
- Arrieta, M. A., Bruzzone, L., Apartín, C., Rosenberg, C. E., Fink, N. E., & Salibián, A. (2004). Biosensors of inorganic lead exposure and effect in an adult amphibian. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 46, 224-230.
- Azizishirazi, A., Klemish, J. L., & Pyle, G. G. (2021). Sensitivity of amphibians to copper. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(7), 1808-1819.
- Berzins, D. W., & Bundy, K. J. (2002). Bioaccumulation of lead in *Xenopus laevis* tadpoles from water and sediment. *Environment international*, 28(1-2), 69-77.
- Carvalho, C. S., Utsunomiya, H. S. M., Pasquoto, T., Lima, R., Costa, M. J., y Fernandes, M. N. (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>
- Chen, T. H., Gross, J. A., & Karasov, W. H. (2007). Adverse effects of chronic copper exposure in larval northern leopard frogs (*Rana pipiens*). *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 26(7), 1470-1475.



- Crump, M.L. & N.J. Scott. 1994. Visual Encounter Surveys. En: W.M. Heyer, A. Donnelly, R.A. McDiarmid, L.C. Hayec & M.C. Foster (eds). Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Method for Amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 364p.
- Dolmen, D., Finstad, A. G., & Skei, J. K. (2018). Amphibian recovery after a decrease in acidic precipitation. *Ambio*, 47(3), 355-367.
- Frost, Darrel R. (2023). Amphibian Species of the World: Referencia en línea. Vers. 6.2. American Museum of Natural History, New York, USA. [10 de junio 2023]. Recuperado de: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>
- Girotto, L., Espíndola, E. L. G., Gebara, R. C., & Freitas, J. S. (2020). Acute and chronic effects on tadpoles (*Lithobates catesbeianus*) exposed to mining tailings from the dam rupture in Mariana, MG (Brazil). *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(7), 1-15.
- Ingemmet (2020). Base de datos Anomalías espectrales óxidos y arcillas, GEOCATMIN. <http://metadatos.ingemmet.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/16859933-eeaf-444e-82bb-b762f877f9ba>
- Hopkins, W. A., & Rowe, C. L. (2010). Interdisciplinary and hierarchical approaches for studying the effects of metals and metalloids on amphibians. *Ecotoxicology of reptiles and amphibians*. SETAC Press, Pensacola, Florida, USA, 325-336.
- Magurran, A. 2004. Measuring Biological Diversity. Oxford, RU: Blackwell Publishing.
- Schemske, DW y N. Brokaw. 1981. "Treefalls and the distribution of. ica de Costa Rica, 9(1), 17.
- Manzanilla, J., & Péfaur, J. E. (2000). Consideraciones sobre métodos y técnicas de campo para el estudio de anfibios y reptiles. *Revista de Ecología Latinoamericana*, 7(1-2), 17-30.
- Mardirosian, M., Bieczynski, F., Luquet, C., Pérez, C. A., Bongiovanni, G., Lascano, C., y Venturino, A. (2017). Arsenic absorption and excretion in chronically exposed developing toad *Rhinella arenarum*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 52, 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.04.014>
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la Biodiversidad. 1era Edición. Manuales y Tesis. Editado por CYTED (Programa Iberoamericano de ciencia y Tecnología para el Desarrollo). Volumen 1: 83 pp.
- Ortiz-Ordoñez, E., López-López, E., Sedeño-Díaz, J. E., Uría, E., Morales, I. A., Pérez, M. E., y Shibayama, M. (2016). Liver histological changes and lipid peroxidation in the amphibian *Ambystoma mexicanum* induced by sediment elutriates from the Lake Xochimilco. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 46, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.06.020>
- Pierce, B. A. (1993). The effects of acid precipitation on amphibians. *Ecotoxicology*, 2, 65-77.
- Pollo, F. E., Grenat, P. R., Otero, M. A., Salas, N. E., y Martino, A. L. (2016). Assessment in situ of genotoxicity in tadpoles and adults of frog *Hypsiboas cordobae* (Barrio 1965) inhabiting aquatic ecosystems associated to fluorite mine. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.08.003>
-



- Rowe, C. L., & Freda, J. (2000). Effects of acidification on amphibians at multiple levels of biological organization. *Ecotoxicology of amphibians and reptiles*, 545.
- Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., y Gupta, R. (2011). Heavy metals and living systems: An overview. In *Indian Journal of Pharmacology* (Vol. 43, Issue 3, pp. 246–253). Wolters Kluwer -- Medknow Publications. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.81505>
-
- Smalling, K. L., Anderson, C. W., Honeycutt, R. K., Cozzarelli, I. M., Preston, T., y Hossack, B. R. (2019). Associations between environmental pollutants and larval amphibians in wetlands contaminated by energy-related brines are potentially mediated by feeding traits. *Environmental Pollution*, 248, 260-268.
-
- Sparling, D. W. (2010). Water-quality criteria for amphibians. *Amphibian Ecology and Conservation-A Handbook of Techniques*, 105-120.
-
- Sparling, D. W., Lowe, T. P., Day, D., & Dolan, K. (1995). Responses of amphibian populations to water and soil factors in experimentally-treated aquatic macrocosms. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 29, 455-461.
- Sparling, D. W., y Lowe, T. P. (1996). Metal concentrations of tadpoles in experimental ponds. *Environmental Pollution*, 91(2), 149-159.
-
- Uetz, P., Freed, P. & Jirí Hošek (eds.). (2023). *The Reptile Database* [10 de junio del 2023]. Recuperado de: <http://www.reptile-database.org>.
-
- Unrine, J.M., Jagoe, C.H., Hopkins, W.A., Brant, H.A., 2004. Adverse effects of ecologically relevant dietary mercury exposure in southern leopard frog (*Rana sphenoccephala*) larvae. *Environ Toxicol Chem* 23, 2964–2970.

FLORA SILVESTRE

- Bremner, I. (1998). Manifestations of copper excess. *Am. J. Clin. Nutr.* 67(5), 1069S-1073S
- Casierra, F., & Aguilar, O. (2007). Estrés por aluminio en las plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-256.
- Cerrate, E. (1969). Manera de preparar Plantas para el Herbario. Museo de Historia Natural, Serie de Divulgación, N°1. 10 pp.
- Conover, W.J. (1999). *Practical Nonparametric Statistical*. 3rd Edition, John Wiley y Sons Inc., New York, 428-433.
- Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). (2023). Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. Apéndices I, II y III. Recuperado en: <http://www.cites.org/esp/app/appendices.shtml/> (Acceso 10 de junio 2023).
- Cuadras, M. (2014). *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante*. Barcelona: CMC Editions. Recuperado de: https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24899w/Semana5/METODOS_S5.pdf
- Farnese, F.S.; Alves, J.O.; Gusman, G.S.; Leao, G.A.; Silveira, N.M.; Silva, P.E.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.
- Ferreyra, R. (1946). A revision of the Peruvian species of Monnina (Polygalaceae). *Arnold Arbor*. 27(2): 123-167.



- García, I., y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Recuperado de <http://edafologia.ugr.es>
- Garzón, T. (2003). Estudio de la compartimentación celular en plantas modelo sometidas a estrés por aluminio. Tesis presentada para optar el título de Doctora en Ciencias. Universidad de Barcelona. España.
- Gould, D.H. (2000). Update on sulfur-related polioencephalomalacia. Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract. 16: 481-496.
- Graciano, C., Fernández, L. V., y Caldiz D. O. (2003). Tillandsia recurvata L. as a bioindicator of sulfur atmospheric pollution Ecología Austral 13:3-14 pp.
- Hammer, Ø. (2015). Paleontological Statistics: reference manual. Versión 3.07. Oslo, Noruega: Natural History Museum [Software]. Recuperado de <http://folk.uio.no/ohammer/past/>
- Hussan, S., Schmieder, K. y Bocker, R. (2010). Spatial pattern of sub merged macrophytes and heavy metals in the hypertrophic, contaminated, shallow reservoir lake qattienh/Syria. Limnologica, 40, 54-60. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.01.002>
- IUCN (2023). The IUCN Red List of Threatened Species vers. 2022-2 [10 de junio del 2023]. Recuperado de: <http://www.iucnredlist.org>
- Kabata-Pendias, K. (2010). Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group (2010), pp. 548. Recuperado de: <https://doi.org/10.1201/b10158>
- León B., Roque, J., Ulloa-Ulloa C., Pitman, N., Jorgensen, P. M. y Cano, A. (2006). El libro rojo de las especies endémicas del Perú. Revista Peruana de Biología. Número especial (13)2. 971 pp.
- Macbride, J. F. (1936-1954). Flora del Perú. Chicago: Publ. Field Museum Natural History. Bot. Ser.
- McDowell, L.R. (2003). Minerals in animal and human nutrition. 2nd ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science. 644 p.
- Ministerio de Agricultura - MINAG. (2006). Categorización de Especies de Flora Silvestre Amenazada. El Peruano, Normas Legales, D.S. N.º 043-2006-AG. 92p.
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2018). Guía para la evaluación de Línea Base en el marco del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA
- Molau U. (1990). The genus Bartsia (Scrophulariaceae-Rhinanthoideae). Opera Bot. 102: 1-99.
- Mukherjee, A. y Bhattacharya, P. 2001. Arsenic in groundwater in the Bengal Delta Plain: slow poisoning in Bangladesh. Environmental Research 9: 189-220.
- National Research Council (NRC). (2005). Mineral Tolerance of Animals, second revised edition. National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington D.C.
- Oorts, K. (2012) Copper En Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in Soils (3ra ed., pp. 465–494). Editorial: Springer. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>
- Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., & Romero, H. M. (2016). La toxicidad por aluminio (Al³⁺) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. Palmas, 37(1), 11-23
- Rout, G., Samantara, S., & Das, P. (2001). Aluminum toxicity in plants: A review. Agronomie, 21(1), 3-21.
- Sagástegui A. y Leiva. S. (1993). Segundo. Flora invasora de los cultivos del Perú. 1nd ed. Trujillo, Editorial Libertad EIRL. 539 p.



- Smith, A., Pryer, R., Kathleen M., Schuettepelz, E., et al. (2006). A classification for extant ferns. *Taxon*, 55(3): 705-731. Recuperado de: <https://doi.org/10.2307/25065646>
- Tovar, O. (1993). Las Gramíneas (Poaceas) del Perú. *Ruizia* 13: 1-481.
- Tu, C., y Ma, L. Q. (2005). Effects of arsenic on concentration and distribution of nutrients in the fronds of the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Environmental Pollution*, 135,333-340.
- Underwood E.J., y Suttle N.F. (2003). Los minerales en la nutrición del ganado 3° ed. Zaragoza, España: Acribia. 637 p.

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

- American Society for Testing and Materials (2010): Standard Guide for Using the Direct
- Current Resistivity Method for Subsurface Investigation.
- Dentith M., Mudge S.,(2014): Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist(pg.269-292).
- Heng L., Meng(2022): Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.
- U.S. Environmental Protection Agency (1993): Use of Airborne, Surface and Borehole Geophysical
- Techniques at Contaminated Sites(3-1:3-48).

SEDIMENTO

- Allas, RB. 2006. La erosión hídrica: importancia y clases. Parámetros climáticos condicionantes de la erosión (intensidad, torrencialidad, aridez, déficit hídrico, tamaño gota). *Revista Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Comunidad de Madrid*.
- Basile, P. A. (2018). Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales. Editorial de la Universidad de Rosario (UNR) de Argentina.
- Chen, C. W., Kao, C. M., Chen, C. F., y Dong, C. D. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66(8), 1431-1440. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.030>.
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D., y Kwapuliński, J. (1997). Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 93, 347-365. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02404766>
- MIRL (Minera IRL S.A.). 2006. Estudio de impacto ambiental del proyecto de exploración y beneficio "Corihuarmi".
- MIRL (Minera IRL S.A.). 2011. EIA Ampliación de Producción y Capacidad Instalada de la Planta de Beneficio de la mina Corihuarmi.
- MIRL (Minera IRL S.A.). 2023. Plan Ambiental Detallado de la Unidad Minera Corihuarmi.
- Muller, G. (1981). The heavy metal pollution of the sediments of Neckars and its tributary: a stocktaking. *Chem Zeit*, 105, 157-164.
- Ramírez, JM. 2009. Estimación de la producción de sedimentos en cuencas. Aplicabilidad de la cuenca del río Acapulco. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Morelos. Consultado 25 ene. 2021. Disponible en <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2831>.
- Wang, J., Liu, G., Lu, L., Zhang, J., y Liu, H. (2015). Geochemical normalization and assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, and Ni) in sediments from the Huaihe River, Anhui, China. *Catena*, 129, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.008>.



SUELO

- Canadian Council of Ministers of the Environment (2018). Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human of use Residential, Parks, Agricultural o Industrial (Valores guía de calidad ambiental de Canadá para la protección del medio ambiente y salud humana de uso industrial/comercial).
- Fassbenger, H., & Bornemisza, E. (1994). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2ª. ed. Rev.- San José, CR. IICA. ISBN 92-03-124 3.
- Flores, R., Tacuma, & Calvo (2014). Marco Conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales. Nota Técnica 9. Ministerio del Ambiente – Universidad Nacional Agraria La Molina – Huaráz - Perú.
- Fuentealba, B., & Mejía, M. (2017). Caracterización ecológica y social de humedales altoandinos del Parque Nacional Huascarán. Aporte Santiaguino, 9(2), pág. 303–316. <https://doi.org/10.32911/as.2016.v9.n2.203>
- Guerrero (1998). Interpretación de análisis de suelos y recomendaciones. Universidad Nacional Agraria la Molina – UNALM. Lima – Perú.
- Mengel K. y Kirkby E. (2000). Principios de Nutrición Vegetal. 4ta Edición; 1ra Edición en español. Instituto Internacional de la Potasa Basilea/Suiza.
- Moro (2015). Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. Recuperado el 12 de julio de 2023, de <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- Schoeneberger P., Wysocki D., Busskohl C. and Libohova Z. (2017). Tools for proximal soil sensing. In C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.) Soil survey manual, USDA Handbook 18, Government Printing Office, Washington, D.C., pp. 355–394.
- Schoeneberger P., Wysocki D.A., Benham, E.C. and Broderson, W.D. (Editors) (2002). Field Book for describing and sampling soils, version 2.0. Natural Resources Conservation Service, national Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Soil Science Division Staff. (2017). Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.