



**PERÚ**

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica  
Científica

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



Organismo  
de Evaluación  
y Fiscalización  
Ambiental

---

**EVALUACIÓN AMBIENTAL DE CAUSALIDAD EN EL ÁMBITO  
DEL PASIVO AMBIENTAL MINERO DEPÓSITO DE RELAVES  
DE RELAVES QUIULACOCHA A CARGO DE ACTIVOS  
MINEROS S.A.C. EN EL 2020**

---

**SUBDIRECCIÓN TÉCNICA CIENTÍFICA  
DIRECCIÓN DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

**2020**



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Organismo de Evaluación y  
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica  
Científica

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

Profesionales que aportaron a este documento:



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES .....	2
2.1.	Instrumentos de gestión ambiental.....	3
2.2.	Acciones realizadas por el OEFA.....	3
2.3.	Denuncias ambientales .....	4
3.	OBJETIVOS.....	5
3.1.	Objetivo general.....	5
3.2.	Objetivos específicos .....	5
4.	ÁREA DE ESTUDIO.....	6
4.1.	Climatología.....	6
4.2.	Contexto geológico .....	7
5.	METODOLOGÍA.....	7
5.1.	Objetivo específico 1: Identificar los contaminantes presentes en el PAM Quiulacocha y otras fuentes; determinar su movilidad y los mecanismos de transporte hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo. ....	7
5.1.1.	Caracterización geoquímica y mineralógica del PAM Quiulacocha y de residuos mineros	8
5.1.1.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	8
5.1.1.2.	Ubicación de puntos de muestreo.....	8
5.1.1.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	8
5.1.1.4.	Equipos utilizados.....	9
5.1.1.5.	Aseguramiento de la calidad .....	10
5.1.1.6.	Criterios de evaluación .....	10
5.1.2.	Caracterización de agua residual industrial .....	10
5.1.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	10
5.1.2.2.	Ubicación de puntos de muestreo .....	11
5.1.2.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	11
5.1.2.4.	Equipos utilizados.....	12
5.1.2.5.	Aseguramiento de la calidad .....	12
5.1.2.6.	Procesamiento y análisis de datos.....	12
5.1.3.	Estudio de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) .....	17
5.1.3.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	17
5.1.3.2.	Ubicación de líneas de muestreo .....	17
5.1.3.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	18
5.1.3.4.	Equipos utilizados.....	19
5.1.3.5.	Aseguramiento de la calidad .....	19



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

5.1.3.6.	Procesamiento de datos.....	19
5.1.3.7.	Criterios de evaluación .....	20
5.1.4.	Aire .....	22
5.1.4.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	22
5.1.4.2.	Ubicación de puntos de muestreo .....	22
5.1.4.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	23
5.1.4.4.	Equipos y herramientas utilizadas.....	23
5.1.4.5.	Procesamiento de datos.....	23
5.1.4.6.	Criterios de evaluación .....	24
5.2.	Objetivo específico 2: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas aledañas al PAM Quiulacocha hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo.....	24
5.2.1.	Caracterización geológica y litogeoquímica .....	24
5.2.1.1.	Guías utilizadas para la caracterización.....	24
5.2.1.2.	Ubicación de zonas de caracterización.....	25
5.2.1.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	26
5.2.1.4.	Equipos y herramientas utilizadas.....	27
5.2.1.5.	Aseguramiento de la calidad .....	27
5.2.1.6.	Criterios de evaluación .....	27
5.3.	Objetivo específico 3: Determinar la influencia de los elementos de interés provenientes del PAM Quiulacocha y otras fuentes, en la calidad del agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea, suelo y tejido vegetal .....	28
5.3.1.	Agua superficial y subterránea.....	28
5.3.1.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	28
5.3.1.2.	Ubicación de puntos de muestreo.....	29
5.3.1.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	30
5.3.1.4.	Equipos y herramientas utilizadas.....	31
5.3.1.5.	Aseguramiento de la calidad .....	32
5.3.1.6.	Procesamiento de datos.....	32
5.3.1.7.	Criterios de evaluación .....	33
5.3.2.	Sedimento.....	33
5.3.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	33
5.3.2.2.	Ubicación de puntos de muestreo .....	34
5.3.2.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	34
5.3.2.4.	Parámetros y métodos de análisis .....	34
5.3.2.5.	Procesamiento de datos.....	34
5.3.3.	Comunidades Hidrobiológicas.....	35
5.3.3.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	35



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

5.3.3.2.	Ubicación de puntos de muestreo .....	35
5.3.3.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	36
5.3.3.4.	Equipos utilizados.....	36
5.3.3.5.	Aseguramiento de la Calidad .....	36
5.3.3.6.	Procesamiento de datos.....	36
5.3.4.	Suelo.....	39
5.3.4.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	39
5.3.4.2.	Ubicación de puntos de muestreo .....	40
5.3.4.3.	Parámetros y métodos de análisis .....	42
5.3.4.4.	Equipos utilizados.....	43
5.3.4.5.	Aseguramiento de la calidad .....	43
5.3.4.6.	Procesamiento de datos.....	43
5.3.4.7.	Criterios de evaluación .....	47
5.3.5.	Evaluación multiespectral.....	47
5.3.5.1.	Ubicación de puntos .....	48
5.3.5.2.	Equipos y materiales utilizados .....	48
5.3.5.3.	Procesamiento de datos.....	48
5.4.	Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los posibles contaminantes producto de la actividad minera sobre la flora (tejido vegetal), fauna silvestre (anfibios y reptiles, aves, mamíferos menores y mamíferos mayores) presente en el ámbito del PAM depósito de relaves Quiulacocha.....	55
5.4.1.	Flora (Tejido vegetal).....	55
5.4.1.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	55
5.4.1.2.	Ubicación de puntos de muestreo.....	55
5.4.1.3.	Colecta de muestra .....	57
5.4.1.4.	Parámetros y métodos de análisis .....	57
5.4.1.5.	Equipos utilizados.....	58
5.4.1.6.	Procesamiento de datos.....	58
5.4.1.7.	Determinación de formaciones vegetales .....	58
5.4.1.8.	Composición de especies.....	58
5.4.1.9.	Correlación bivariada.....	58
5.4.1.10.	Prueba de hipótesis.....	58
5.4.1.11.	Criterios de evaluación .....	59
5.4.2.	Fauna.....	59
5.4.2.1.	Guías utilizadas para la evaluación.....	59
5.4.2.2.	Ubicación de unidades de evaluación.....	61
5.4.2.3.	Métodos de evaluación.....	68
5.4.2.4.	Parámetros de análisis .....	74



5.4.2.5.	Equipos utilizados.....	75
5.4.2.6.	Procesamiento de datos.....	75
6.	RESULTADOS .....	80
6.1.	Objetivo específico 1: Identificar los contaminantes presentes en el PAM Quiulacocha y otras fuentes; determinar su movilidad y los mecanismos de transporte hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo. ....	80
6.1.1.	Caracterización geoquímica y mineralógica del material de PAM y residuos mineros..	80
6.1.2.	Caracterización de agua residual industrial .....	86
6.1.3.	Tomografía de resistividad eléctrica (TRE) .....	89
6.1.4.	Aire .....	96
6.2.	Objetivo específico 2: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas aledañas al PAM Quiulacocha hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo .....	99
6.2.1.	Caracterización geológica .....	99
6.2.2.	Caracterización litogeoquímica .....	106
6.3.	Objetivo específico 3: Determinar la influencia de los elementos de interés provenientes del PAM Quiulacocha y otras fuentes en la calidad del agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea, suelo y tejido vegetal .....	113
6.3.1.	Agua superficial .....	113
6.3.2.	Agua subterránea .....	117
6.3.3.	Sedimento.....	123
6.3.4.	Comunidades Hidrobiológicas.....	124
6.3.4.1.	Perifiton.....	124
6.3.4.2.	Macroinvertebrados bentónicos .....	126
6.3.5.	Suelo.....	127
6.3.5.1.	Descripción general del área de estudio .....	127
6.3.5.2.	Resultados de la evaluación .....	129
6.3.5.3.	Resultado de los valores de nivel de fondo (NF) y referencia (NR).....	130
6.3.5.4.	Resultados de las áreas de potencial interés CS-Q y de las áreas de nivel de fondo	131
6.3.6.	Evaluación multiespectral.....	148
6.4.	Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los posibles contaminantes producto de la actividad minera sobre la flora (tejido vegetal), fauna silvestre (anfibios y reptiles, aves, mamíferos menores y mamíferos mayores) presente en el ámbito del PAM depósito de relaves Quiulacocha.....	154
6.4.1.	Flora.....	154
6.4.1.1.	Composición florística .....	154
6.4.1.2.	Análisis de tejido vegetal .....	155
6.4.2.	Fauna.....	162
6.4.2.1.	Anfibios y reptiles .....	162



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

6.4.2.2.	Aves.....	165
6.4.2.3.	Mamíferos menores.....	173
6.4.2.4.	Mamíferos mayores.....	179
7.	DISCUSIÓN.....	190
7.1.	Filtraciones en el dique del PAM Quiulacocha y su influencia en los canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra.....	191
7.2.	Análisis de la contaminación en el sistema suelo-planta-fauna en el ámbito del PAM Quiulacocha.....	207
8.	CONCLUSIONES.....	241
9.	RECOMENDACIONES.....	243
10.	ANEXOS.....	243
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	243

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 2.1.</b> Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros aprobado mediante R.M. N.º 290-2006-MEM/DM .....	3
<b>Tabla 2.2.</b> Denuncias ambientales registradas en el Sinada.....	4
<b>Tabla 5.1.</b> Guía de referencia para el muestreo del PAM Excelsior y de residuos mineros .	8
<b>Tabla 5.2.</b> Ubicación de los puntos de muestreo del PAM Quiulacocha y de los residuos mineros.....	8
<b>Tabla 5.3.</b> Parámetros evaluados en el PAM Quiulacocha y residuos mineros .....	9
<b>Tabla 5.4.</b> Métodos de análisis de los parámetros evaluados en el PAM Quiulacocha y residuos mineros .....	9
<b>Tabla 5.5.</b> Guías de referencia para el muestreo .....	10
<b>Tabla 5.6.</b> Ubicación de los puntos de muestreo de aguas residuales industriales.....	11
<b>Tabla 5.7.</b> Parámetros y métodos de análisis.....	11
<b>Tabla 5.8.</b> Controles realizados en el muestreo .....	12
<b>Tabla 5.9.</b> Criterios para establecer las facies hidroquímicas .....	13
<b>Tabla 5.10.</b> Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica .....	13
<b>Tabla 5.11.</b> Documentos técnicos empleados en la tomografía de resistividad eléctrica...	17
<b>Tabla 5.12.</b> Coordenadas de inicio y fin de cada línea del estudio de tomografía de resistividad eléctrica .....	18
<b>Tabla 5.13.</b> Parámetros de adquisición del estudio de prospección geofísica .....	18
<b>Tabla 5.14.</b> Resistividad característica de distintos materiales .....	20
<b>Tabla 5.15.</b> Transectos y puntos de muestreo de colecta de material particulado sedimentable .....	23
<b>Tabla 5.16.</b> Guías utilizadas para la caracterización geológica y litogeoquímica .....	24
<b>Tabla 5.17.</b> Ubicación de las zonas de caracterización geológica y litogeoquímica.....	25
<b>Tabla 5.18.</b> Parámetros evaluados en cada punto de caracterización litogeoquímica .....	26
<b>Tabla 5.19.</b> Métodos de análisis de cada parámetro evaluado en la caracterización litogeoquímica.....	26
<b>Tabla 5.20.</b> Protocolos o guías utilizadas para el muestreo .....	29
<b>Tabla 5.21.</b> Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial.....	29
<b>Tabla 5.22.</b> Ubicación de los puntos de muestreo de agua subterránea.....	30
<b>Tabla 5.23.</b> Parámetros y metodologías para agua superficial.....	30
<b>Tabla 5.24.</b> Parámetros evaluados y métodos de análisis de calidad de agua subterránea .....	31
<b>Tabla 5.25.</b> Abreviaciones de los parámetros de agua subterránea empleados en el análisis de componentes principales (PCA) .....	33
<b>Tabla 5.26.</b> Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos .....	34
<b>Tabla 5.27.</b> Parámetros y métodos de análisis.....	34
<b>Tabla 5.28.</b> Guía de referencia para el muestreo de comunidades hidrobiológicas.....	35
<b>Tabla 5.29.</b> Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas.....	35
<b>Tabla 5.30.</b> Parámetros y metodologías de análisis para las comunidades hidrobiológicas .....	36
<b>Tabla 5.31.</b> Valoración de la calidad hidromorfológica .....	38
<b>Tabla 5.32.</b> Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos .....	38
<b>Tabla 5.33.</b> Valoración de la calidad biológica con el índice ABI.....	39
<b>Tabla 5.34.</b> Escala de calidad ecológica de un río .....	39
<b>Tabla 5.35.</b> Guías y documentos para el muestreo de suelo .....	39
<b>Tabla 5.36.</b> Ubicación de los puntos de muestreo de suelo .....	40





<b>Tabla 5.37.</b> Ubicación de calicatas.....	42
<b>Tabla 5.38.</b> Parámetros evaluados y métodos de ensayo.....	42
Tabla 5.39. Clasificación del índice de geoacumulación y grado de contaminación.....	46
<b>Tabla 5.40.</b> Ubicación de puntos.....	48
<b>Tabla 5.41.</b> Ubicación de puntos de posicionamiento Geodésico.....	50
<b>Tabla 5.42.</b> Guías de referencia para el muestreo de flora (tejido vegetal).....	55
<b>Tabla 5.43.</b> Ubicación de cuadrantes de evaluación de flora.....	55
<b>Tabla 5.44.</b> Ubicación de puntos de colecta de tejido vegetal.....	56
<b>Tabla 5.45.</b> Valores de comparación para la calidad de tejidos vegetales.....	59
<b>Tabla 5.46.</b> Guías de referencia para la evaluación de anfibios y reptiles.....	59
<b>Tabla 5.47.</b> Guías de referencia para la evaluación de aves.....	60
<b>Tabla 5.48.</b> Guías de referencia para la evaluación de mamíferos menores.....	60
<b>Tabla 5.49.</b> Guías de referencia para la evaluación de mamíferos mayores.....	61
<b>Tabla 5.50.</b> Ubicación de las búsquedas por encuentro visual (VES).....	62
<b>Tabla 5.51.</b> Ubicación de las grabadoras de monitoreo acústico.....	63
<b>Tabla 5.52.</b> Coordenadas de ubicación de las redes de niebla para la evaluación de aves en el área de estudio.....	64
<b>Tabla 5.53.</b> Ubicación de transectos para la evaluación de mamíferos menores.....	66
<b>Tabla 5.54.</b> Coordenadas de ubicación de las cámaras trampa en los diferentes hábitats del área de estudio.....	66
<b>Tabla 5.55.</b> Ubicación de sitios de toma de muestras de sangre.....	67
<b>Tabla 5.56.</b> Ubicación de sitios de muestreo para el uso de rastreadores satelitales.....	67
<b>Tabla 5.57.</b> Parámetros evaluados en los grupos de fauna.....	74
<b>Tabla 5.58.</b> Fórmulas de los modelos para las curvas de acumulación de especies.....	78
<b>Tabla 6.1.</b> Distribución de puntos y parámetros analizados en el PAM Quiulacocha y residuos mineros.....	80
<b>Tabla 6.2.</b> Metales predominantes en el PAM Quiulacocha y residuos mineros.....	81
<b>Tabla 6.3.</b> Resultado de la prueba ABA en el PAM Quiulacocha y residuos mineros.....	83
<b>Tabla 6.4.</b> Resultados de parámetros evaluados en agua residual industrial.....	86
<b>Tabla 6.5.</b> Características de las líneas de tomografía de resistividad eléctrica ejecutadas en el ámbito del depósito de relaves Quiulacocha.....	90
<b>Tabla 6.6.</b> Resultados de material particulado sedimentable (polvo sedimentable) comparados referencialmente con el valor establecido en el EPA (2016).....	97
<b>Tabla 6.7.</b> Distribución de puntos y parámetros analizados en las unidades geológicas en el ámbito del PAM Quiulacocha.....	107
<b>Tabla 6.8.</b> Metales predominantes en las unidades geológicas.....	108
<b>Tabla 6.9.</b> Prueba ABA en depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocha.....	110
<b>Tabla 6.10.</b> Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados referencialmente con los ECA para Agua – 2017.....	115
<b>Tabla 6.11.</b> Resultados de parámetros evaluados en agua subterránea comparados referencialmente con los ECA para Agua – 2017.....	119
<b>Tabla 6.12.</b> Resultados de los coeficientes de correlación de los parámetros ambientales de subterránea y residual industrial evaluadas en el PAM Quiulacocha.....	123
<b>Tabla 6.13.</b> Resultados de metales en sedimentos comparados referencialmente con la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG).....	124
<b>Tabla 6.14.</b> Calidad biológica para los puntos evaluados, según el Andean Biotic Index (ABI).....	126
<b>Tabla 6.15.</b> Características generales de los suelos evaluados en las API.....	127
<b>Tabla 6.16.</b> Parámetros evaluados en cada punto y en sus muestras compuestas.....	128



<b>Tabla 6.17.</b> Resultados de los estadísticos descriptivos y valores de NF y NR de metales totales del suelo NFQ1, comparados con el ECA y CSQG para suelo de uso agrícola ...	130
<b>Tabla 6.18.</b> Resultados de los estadísticos descriptivos y valores de NF y NR de metales totales del suelo NFQ2, comparados con el ECA y CSQG para suelo de uso agrícola ...	131
<b>Tabla 6.19.</b> Resultados de cianuro libre y metales totales en la calicata CS-Q-9 y CS-Q-18 .....	132
<b>Tabla 6.20.</b> Resultados de cianuro libre y metales totales en el suelo superficial del API CS-Q1 .....	133
<b>Tabla 6.21.</b> Estadísticos descriptivos de metales totales en suelos del API CS-Q1.....	134
<b>Tabla 6.22.</b> Resultados de cianuro libre y metales totales en el suelo superficial del API CS-Q2 .....	135
<b>Tabla 6.23.</b> Estadísticos descriptivos de metales totales en suelos del API CS-Q2.....	136
<b>Tabla 6.24.</b> Resultados de extracción secuencial de metales solubles en suelos del API CS-Q1 y API CS-Q2 .....	139
<b>Tabla 6.25.</b> Resultados de extracción secuencial de metales solubles en suelos de áreas de nivel de fondo NFQ1 .....	140
<b>Tabla 6.26.</b> Resultados de extracción secuencial de metales solubles en suelos de áreas de nivel de fondo NFQ2.....	140
<b>Tabla 6.27.</b> Resultados de mineralogía por DRX en suelo del API CS-Q1 y de áreas de nivel de fondo NFQ1 .....	141
<b>Tabla 6.28.</b> Resultados de mineralogía por DRX en suelo del área de nivel de fondo NFQ2 .....	142
<b>Tabla 6.29.</b> Información de sobrevuelo fotogramétrico con RPAS por grillas simples .....	148
<b>Tabla 6.30.</b> Datos de procesamiento (sensor multiespectral).....	148
<b>Tabla 6.31.</b> Datos de procesamiento (Sensor RGB) .....	149
<b>Tabla 6.32.</b> Información estadística de los índices de vegetación NDVI por cobertura .....	152
<b>Tabla 6.33.</b> Información estadística de los índices de vegetación NDRE por cobertura ..	152
<b>Tabla 6.34.</b> Especies registradas en el API Quiulacocha .....	154
<b>Tabla 6.35.</b> Riqueza y cobertura por cuadrante evaluado .....	155
<b>Tabla 6.36.</b> Relación entre la concentración de metales detectados en la raíz de <i>Calamagrostis rigida</i> y suelos .....	160
<b>Tabla 6.37.</b> Relación entre la concentración de metales detectados en la parte aérea de <i>Calamagrostis rigida</i> y suelos .....	160
<b>Tabla 6.38.</b> Metales totales en la parte la parte aérea de <i>Calamagrostis tarmensis</i> en relación con los valores de arsénico, cadmio, mercurio y plomo establecidos en el Real Decreto 465/2003.....	161
<b>Tabla 6.39.</b> Metales totales en la parte la parte aérea de <i>Calamagrostis vicunarum</i> en relación con los valores de arsénico, cadmio, mercurio y plomo establecidos en el Real Decreto 465/2003 .....	161
<b>Tabla 6.40.</b> Especies de anfibios y reptiles registrados en el área de estudio .....	162
<b>Tabla 6.41.</b> Acumulación de metales en especies de anfibios .....	165
<b>Tabla 6.42.</b> Número de muestras colectadas por especie en el área de influencia del PAM Quiulacocha y Zona Control .....	165
<b>Tabla 6.43.</b> Valores de la prueba de Mann-Whitney para la concentración de metales en plumas de <i>Cinclodes albiventris</i> entre zonas de muestreo .....	168
<b>Tabla 6.44.</b> Peso y medidas morfométricas de individuos de <i>Cinclodes albiventris</i> capturados en el área de estudio.....	172
<b>Tabla 6.45.</b> Valores de la prueba de Mann-Whitney para el peso y medidas morfométricas de individuos de <i>Cinclodes albiventris</i> entre zonas de muestreo .....	172



<b>Tabla 6.46.</b> Especies registradas y número de muestras colectadas en el área del PAM Quiulacocha y zona control.....	173
<b>Tabla 6.47.</b> Concentración de metales y cianuro en mamíferos menores.....	174
<b>Tabla 6.48.</b> Valores de la prueba de Mann-Whitney para la concentración de metales en tejidos de mamíferos menores ( <i>Auliscomys pictus</i> ) entre zonas de muestreo .....	176
<b>Tabla 6.49.</b> Registros independientes de mamíferos mayores registrados por las cámaras trampa en el área de estudio .....	179
<b>Tabla 6.50.</b> Valores del índice de similitud de Morisita entre los sitios evaluados.....	181
<b>Tabla 6.51.</b> Número de muestras de sangre colectadas en el área de influencia del PAM Quiulacocha y sitio blanco .....	183
<b>Tabla 6.52.</b> Valores de la prueba de Mann-Whitney para la concentración de metales sangre de ovejas entre zonas de muestreo .....	186
<b>Tabla 6.53.</b> Número de coordenadas de ubicación de los rastreadores satelitales instalados en el área del PAM Quiulacocha y sitio blanco.....	188
<b>Tabla 7.1.</b> Concentraciones de metales en la fuente de contaminación, y concentraciones mínimas, máximas y media en los suelos de las API CS-Q1 y API CS-Q2.....	210
<b>Tabla 7.2.</b> Comparación de la concentración de metales en anfibios hallados en la zona control (centro poblado Quiulacocha 2) y en otras localidades del departamento de Pasco .....	231
<b>Tabla 7.3.</b> Comparación de concentración de metales en tejido de roedores en el PAM Quiulacocha, zona control y otros autores.....	237

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 4.1.</b> Área de estudio de la evaluación ambiental de causalidad en los PAM a cargo de AMSAC.....	6
<b>Figura 5.1.</b> Modelo conceptual para la evaluación en el PAM Quiulacocha .....	7
<b>Figura 5.2.</b> Diagrama de Stiff .....	14
<b>Figura 5.3.</b> Diagrama de Stiff en relación con la mineralización .....	14
<b>Figura 5.4.</b> Diagrama trilinear de Piper .....	15
<b>Figura 5.5.</b> Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin).....	16
<b>Figura 5.6.</b> Factores geológicos que incrementan o disminuyen la resistividad .....	21
<b>Figura 5.7.</b> Resistividad y conductividad característica de distintos materiales .....	22
<b>Figura 5.8.</b> Diagrama de Streckeisen de clasificación de rocas ígneas .....	28
<b>Figura 5.9.</b> Medidas morfométricas y condiciones fisiológicas que se medirán en aves capturadas. Dónde: A: protuberancia cloacal, B: parche de incubación, C: Cantidad de grasa, D: Osificación del cráneo, E: muda de ala, F: Longitud pico-narina, G: Longitud de tarso, H: Longitud de ala. Fuente: Ralph <i>et al.</i> <sup>1</sup> y Pyle <i>et al.</i> <sup>5</sup> .....	70
<b>Figura 5.10.</b> Transecto de trampas Sherman.....	70
<b>Figura 5.11.</b> Toma de medidas biométricas de roedores (Voss y Emmons, 1996).....	72
<b>Figura 6.1.</b> Concentración de metales totales en a) y b) PAM Quiulacocha y c) residuos mineros.....	81
<b>Figura 6.2.</b> Comparación de las concentraciones de metales con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1994 y 1995), en a) PAM Quiulacocha y b) residuos mineros.....	82
<b>Figura 6.3.</b> Concentración de metales lixiviables por la prueba Shake Flask, en el PAM Quiulacocha y residuos mineros.....	84
<b>Figura 6.4.</b> Concentración de aniones lixiviables por la prueba Shake Flask, en el PAM Quiulacocha y residuos mineros.....	84



**Figura 6.5.** Resultado de las extracciones secuenciales de elementos trazas en el material del residuo minero, ubicado al pie del talud del dique de contención del PAM Quiulacocha ..... 85

**Figura 6.6.** Composición mineralógica en el material del PAM Quiulacocha y residuos mineros ..... 86

**Figura 6.7.** Diagrama de Piper para agua residual industrial ..... 88

**Figura 6.8.** Diagrama de Stiff para agua residual industrial ..... 88

**Figura 6.9.** Diagrama de Ficklin para agua residual industrial ..... 89

**Figura 6.10.** Ubicación de las líneas de tomografía de resistividad eléctrica en el borde del PAM depósito de relaves Quiulacocha ..... 89

**Figura 6.11.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-02 ..... 91

**Figura 6.12.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-01 ..... 92

**Figura 6.13.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-06 ..... 93

**Figura 6.14.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-07 ..... 94

**Figura 6.15.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-10 ..... 95

**Figura 6.16.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-11 ..... 96

**Figura 6.17.** Metales totales en polvo sedimentable de los transectos a) PS-1, b) PS-4, c) PS-7 y d) PS-10 ..... 98

**Figura 6.18.** Metales totales en polvo sedimentable del transecto PS-13 ..... 99

**Figura 6.19.** Mapa geológico del ámbito de influencia del PAM depósito de relaves Quiulacocha ..... 100

**Figura 6.20.** Afloramientos de rocas metamórficas del Grupo Cabanillas. En a) punto CG-QUI3, b) punto CG-QUI9 y c) Punto CG-QUI7 y fotomicrografías del análisis petrominerográfico ..... 101

**Figura 6.21.** Afloramientos de rocas sedimentarias del Grupo Mitu. En a) punto CG-QUI1 y fotomicrografías del análisis petrominerográfico, y b) punto CG-QUI8 ..... 102

**Figura 6.22.** Afloramiento de conglomerados de la Formación Pocobamba – Miembro Shuco en el borde este del PAM Quiulacocha (punto CG-QUI4) ..... 103

**Figura 6.23.** Depósito glacial distal muestreado en el punto RC-CG-QUI2, ubicado en el sector Quiulacocha ..... 103

**Figura 6.24.** Depósito Glacial-fluvial ubicado en el C.P. Quiulacocha ..... 104

**Figura 6.25.** Depósito aluvial ubicado en el borde este del PAM Quiulacocha ..... 105

**Figura 6.26.** Depósito fluvial depositado en las terrazas bajas aledaños al río Ragra, al oeste del PAM Quiulacocha ..... 105

**Figura 6.27.** Depósito antropogénico. En a) residuo minero en el punto RM-QUI1, y b) residuo minero en el punto RM-QUI2 ..... 106

**Figura 6.28.** Ubicación de puntos de muestreo de roca asociado al contexto geológico. 107

**Figura 6.29.** Concentración de metales totales en las unidades geológicas. a) Grupo Cabanillas, b) Grupo Mitu, c) Formación Pocobamba – Miembro Shuco, d) depósitos cuaternarios ..... 109

**Figura 6.30.** Concentración de metales y aniones lixiviables por la prueba Shake Flask de los depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocha ..... 110

**Figura 6.31.** Resultado de las extracciones secuenciales de elementos trazas en los depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocha ..... 111

**Figura 6.32.** Composición mineralógica por difracción de rayos X (DRX) en los depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocha ..... 112

**Figura 6.33.** Composición mineralógica por microscopía óptica en el Grupo Cabanillas. 112

**Figura 6.34.** Composición mineralógica por microscopía óptica en el Grupo Mitu ..... 113

**Figura 6.35.** Diagrama de Piper para agua superficial ..... 116

**Figura 6.36.** Diagrama de Stiff para las aguas superficial ..... 116



**Figura 6.37.** Diagrama de Ficklin para las aguas superficial..... 117

**Figura 6.38.** a) Diagrama de a) Piper y b) Stiff para agua subterránea ..... 121

**Figura 6.39.** Diagrama de Ficklin para las aguas subterránea..... 122

**Figura 6.40.** Dendograma de los puntos de muestreo de agua subterránea y el punto SJ-46 ..... 122

**Figura 6.41.** a) Riqueza y b) abundancia de perifiton vegetal por phylum en los puntos evaluados aledaños al PAM Quiulacocha ..... 125

**Figura 6.42.** a) Riqueza y b) abundancia de macroinvertebrados bentónicos en los puntos evaluados aledaños al PAM Quiulacocha ..... 126

**Figura 6.43.** Box plot de concentración de metales totales en el API CS-Q1 ..... 135

**Figura 6.44.** Box plot de concentración de metales totales en el API CS-Q2 ..... 137

**Figura 6.45.** Concentración de metales solubles en el extracto de lixiviación: a) API CS-Q1 y CS-Q2; y áreas de nivel de fondo b) NFQ1 y c) NF-Q2 ..... 138

**Figura 6.46.** Concentraciones de aniones solubles en el extracto de lixiviación: a) API CS-Q1 y API CS-Q2; y b) NFQ1 ..... 138

**Figura 6.47.** Distribución porcentual de la mineralogía por DRX en suelos del API CS-Q1 y área de nivel de fondo NFQ1 ..... 142

**Figura 6.48.** Distribución porcentual de la mineralogía por DRX en suelos del área de nivel de fondo NFQ2 ..... 143

**Figura 6.49.** Clasificación de la textura según la distribución porcentual de arena, limo y arcilla en el triángulo textural (USDA): a) API CS-Q1 y CS-Q2 y, b) NFQ1 ..... 144

**Figura 6.50.** Clasificación de la reacción y salinidad del suelo (*Soil Manual Survey*, 2017) en calicatas y muestras superficiales del API CS-Q1 y CS-Q2 ..... 145

**Figura 6.51.** Clasificación de la materia orgánica (D.S. N.º 017-2009-AG) y carbonatos del suelo (FAO, 2009) en calicatas y muestras superficiales del API CS-Q1 y CS-Q2 ..... 145

**Figura 6.52.** Clasificación de la reacción y salinidad del suelo (*Soil Manual Survey*, 2017) en calicatas y muestras superficiales del área de nivel de fondo NFQ1 ..... 146

**Figura 6.53.** Clasificación de la materia orgánica (D.S. N.º 017-2009-AG) y carbonatos del suelo (FAO, 2009) en calicatas y muestras superficiales del área de nivel de fondo NFQ1 ..... 146

**Figura 6.54.** Clasificación de la textura según la distribución porcentual de arena, limo y arcilla en el triángulo textural (USDA) en el área de nivel de fondo NFQ2: a) muestra superficial y b) muestras en calicata ..... 147

**Figura 6.55.** Clasificación de la reacción y salinidad del suelo (*Soil Manual Survey*, 2017) en calicatas y muestras superficiales en el área de nivel de fondo NFQ2 ..... 147

**Figura 6.56.** Clasificación de la materia orgánica (D.S. N.º 017-2009-AG) y carbonatos del suelo (FAO, 2009) en calicatas y muestras superficiales en el área de nivel de fondo NFQ2 ..... 148

**Figura 6.57.** Ortomosaico RGB, imágenes monocromas y modelo digital del terreno..... 150

**Figura 6.58.** Imágenes de índice de vegetación NDVI de los meses julio a setiembre años: 1988, 1999, 2007, 2011 y 2015 ..... 151

**Figura 6.59.** NDVI de las imágenes satelitales Landsat 5 y 8 y Sentinel 2A ..... 152

**Figura 6.60.** Índice de vegetación (NDVI y NDRE) de la formación vegetal mixta..... 153

**Figura 6.61.** Cobertura vegetal de área sobrevolada..... 153

**Figura 6.62.** Familias más diversas, indicando número de géneros y especies, registradas en el área de estudio ..... 154

**Figura 6.63.** Concentración de los metales arsénico, cadmio, mercurio y plomo (mg/kg) registrados en *Calamagrostis rigida* ..... 156

**Figura 6.64.** Concentración de los metales cobre, hierro, plata y zinc (mg/kg) registrados en *Calamagrostis rigida* ..... 157



<b>Figura 6.65.</b> Concentración de los metales arsénico, cadmio, mercurio y plomo (mg/kg) registrados en <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	158
<b>Figura 6.66.</b> Concentración de los metales cobre, hierro, plata y zinc registrados en <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	159
<b>Figura 6.67.</b> Curva de diversidad de especies .....	162
<b>Figura 6.68.</b> Abundancia de las especies de anfibios en la zona control por formación vegetal .....	163
<b>Figura 6.69.</b> Concentración de metales (mg/kg) en plumas por especie en el área de influencia del PAM Quiulacocha y Zona control.....	167
<b>Figura 6.70.</b> Concentración de metales en plumas de <i>Cinclodes albiventris</i> por zona de muestreo.....	170
<b>Figura 6.71.</b> Análisis de componentes principales (PCA) de metales registrados en plumas de <i>Cinclodes albiventris</i> . Izquierda: componentes 1 y 2. Derecha: componentes 1, 2 y 3. ....	171
<b>Figura 6.72.</b> Medidas morfométricas (cm, mm) y peso (g) de individuos de <i>Cinclodes albiventris</i> por zona de muestreo.....	173
<b>Figura 6.73.</b> Concentración de metales en tejidos de mamíferos menores en el área de la zona control y PAM Quiulacocha.....	175
<b>Figura 6.74.</b> Concentración de metales (mg/kg) en tejidos de mamíferos menores ( <i>Auliscomys pictus</i> ) por zona de muestreo .....	177
<b>Figura 6.75.</b> Análisis de componentes principales (PCA) de metales registrados en tejidos de mamíferos menores ( <i>Auliscomys pictus</i> ) .....	178
<b>Figura 6.76.</b> Número de registros independientes de mamíferos mayores registrados por las cámaras trampa.....	179
<b>Figura 6.77.</b> Registros independientes, diversidad y abundancia de mamíferos mayores registrados por las cámaras trampa .....	180
<b>Figura 6.78.</b> Diversidad y abundancia de mamíferos registrados por las cámaras durante el presente estudio .....	181
<b>Figura 6.79.</b> Dendrograma de Similitud de Morisita entre los sitios evaluados .....	182
<b>Figura 6.80.</b> Concentración de metales en sangre de ovejas en el área de influencia del PAM Quiulacocha .....	184
<b>Figura 6.81.</b> Concentración de metales en sangre de ovejas en el sitio blanco .....	185
<b>Figura 6.82.</b> Concentración de metales en sangre de ovejas por zona de muestreo .....	187
<b>Figura 6.83.</b> Mapa de ocurrencia de ovejas en el depósito de Relaves Quiulacocha, monitoreadas con rastreadores satelitales .....	189
<b>Figura 6.84.</b> Mapa de ocurrencia de ovejas en el sitio control, monitoreadas con rastreadores satelitales.....	189
<b>Figura 7.1.</b> Modelo conceptual de los criterios planteados para la discusión .....	190
<b>Figura 7.2.</b> Modelo del funcionamiento hidrodinámico del agua subterránea en el ámbito del PAM Quiulacocha .....	192
<b>Figura 7.3.</b> Esquema de los piezómetros y manantiales del PAM Quiulacocha .....	193
<b>Figura 7.4.</b> a) Ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana), b) Análisis de componentes principales (ACP) para las variables ambientales evaluadas en los piezómetros y manantiales del PAM Quiulacocha.....	194
<b>Figura 7.5.</b> Ubicación de los puntos de agua superficial, agua subterránea (piezómetros) y líneas de tomografía eléctrica en el sector norte del dique PAM Quiulacocha .....	195
<b>Figura 7.6.</b> Filtraciones dispersas en el a) dique, b) precipitados con sales de sulfatos, c) drenes y surcos con señales de flujo presencial y d) aguas ácidas.....	196
<b>Figura 7.7.</b> Filtraciones dispersas a) vista anterior y b) vista posterior .....	196



<b>Figura 7.8.</b> Diagrama de a) Piper y b) Stiff de la fuente contaminante (NN1 y CE-5) y los piezómetros PZ-19, PZ-18 y PZ-9 .....	197
<b>Figura 7.9.</b> Relación hidroquímica de la fuente contaminante (NN1 y CE-5) y los piezómetros PZ-19, PZ-18 y PZ-9.....	198
<b>Figura 7.10.</b> Piezometro NN1 (surgente) ubicado en el dique flotante del PAM Quiulacocho .....	198
<b>Figura 7.11.</b> Piezometro PZ-19 y muestra de agua con coloración rojiza con alta concentración de metales.....	199
<b>Figura 7.12.</b> Vista 3D de las zonas de baja resistividad asociadas a flujos con lixiviados ubicados en el sector norte del dique de contención del PAM Quiulacocho.....	200
<b>Figura 7.13.</b> Comparación de concentraciones de metales entre los puntos RRagr-1 y RRagr-A a) mayor rango de concentración y b) menor rango de concentración .....	201
<b>Figura 7.14.</b> Ubicación de los puntos de agua superficial, piezómetros y líneas de tomografía eléctrica en el sector sur del PAM Quiulacocho.....	202
<b>Figura 7.15.</b> Ubicación del punto SJ-46 que recibe las aguas de la filtración captada en el sector sur del dique de contención del PAM Quiulacocho – agosto 2020 .....	203
<b>Figura 7.16.</b> Zonas de baja resistividad en la sección LT-AM-02, asociadas al piezómetro PZ-4.....	203
<b>Figura 7.17.</b> Puntos evaluados en el canal de la margen izquierda a) SJ-9 y b) RRagr-2 .....	204
<b>Figura 7.18.</b> Comparación de concentraciones de metales totales entre los puntos SJ-9 y RRagr-2 a) mayor rango de concentración y b) a menor rango de concentración .....	205
<b>Figura 7.19.</b> Microplásticos encontrados en los puntos: (a) RRagr-1 y (b) SJ-48 .....	206
<b>Figura 7.20.</b> Modelo conceptual de la contaminación y sus receptores asociados al suelo .....	208
<b>Figura 7.21.</b> Ubicación de las API CS-Q1 y CS-Q2, y áreas de nivel de fondo NFQ1 .....	208
<b>Figura 7.22.</b> Puntos de muestreo de suelo asociados al contexto geológico.....	209
<b>Figura 7.23.</b> Distribución de las concentraciones de metales en las API CSQ1 y CSQ2 y áreas de nivel de fondo NSFQ1: a) arsénico, b) cadmio c) mercurio y d) plomo.....	211
<b>Figura 7.24.</b> Distribución de las concentraciones de metales en las API CSQ1 y CSQ2 y áreas de nivel de fondo NSFQ1: a) cobre y b) zinc .....	212
<b>Figura 7.25.</b> Calicata CS-Q-9: a) foto del perfil del suelo, con sus horizontes donde se observa cambios texturales y de color abruptos entre el horizonte «C1» y «Oe», b) Horizonte «A» y «C1», c) Horizonte «Oe» de descomposición intermedia, d) Contacto entre el horizonte «C1» y «Oe», y e) muestras de suelo de los seis horizontes .....	214
<b>Figura 7.26.</b> Calicata CS-Q-18: a) foto del perfil del suelo con sus horizontes, b) Horizonte «A», c) Horizonte «Cd» donde se observa el cambio textural abrupto, d) muestra de suelos de los dos horizontes «A» y «Cd».....	215
<b>Figura 7.27.</b> Actividades mineras de origen desconocido identificadas en la fotografía aérea de 13 de julio 1962 y ubicación de áreas de potencial interés evaluados en agosto y setiembre de 2020 .....	216
<b>Figura 7.28.</b> Distribución porcentual de la mineralogía por DRX en suelos del API CS-Q1 y área de nivel de fondo NFQ1.....	216
<b>Figura 7.29.</b> Dendrograma por análisis de clúster en los horizontes del suelo de las calicatas del API (CS-Q1 y CS-Q2), y calicatas del área de nivel de fondo (NFQ1) evaluadas según la concentración de metales.....	217
<b>Figura 7.30.</b> Índice de geoacumulación en suelos de las API, a) API CS-Q1 y b) API CS-Q2 .....	218
<b>Figura 7.31.</b> Factor de enriquecimiento en suelos de las API, a) API CS-Q1 y b) CS-Q2219 .....	219



<b>Figura 7.32.</b> Comparación de las concentraciones de metales de la fuente antrópica (PAM Quiulacocha y residuos mineros RM-QUI2), receptor (suelo de los API CS-Q1 y API CS-Q2) y fuente natural (depósito Glaciar-fluvial) .....	220
<b>Figura 7.33.</b> Movilidad de los elementos en el suelo mineral en función del pH (Kabata-Pendias, 2000).....	221
<b>Figura 7.34.</b> NDVI de las imágenes satelitales Landsat 5 y 8 (1988,1990, 1999, 2007, 2011 y 2015; y Sentinel 2 (2016 y 2020) .....	222
<b>Figura 7.35.</b> Ubicación de puntos de toma de muestra de tejido vegetal.....	223
<b>Figura 7.36.</b> Distribución espacial de las concentraciones de metales presentes en la raíz de <i>Calamagrostis rigida</i> .....	224
<b>Figura 7.37.</b> Concentración de arsénico, plomo, cadmio y mercurio obtenidos en la raíz y parte aérea de <i>Calamagrostis rigida</i> .....	225
<b>Figura 7.38.</b> Concentración de plata, zinc y cobre obtenidos en la raíz y parte aérea de <i>Calamagrostis rigida</i> .....	226
<b>Figura 7.39.</b> Valores en escala logarítmica de las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plata, plomo y zinc de <i>Calamagrostis rigida</i> con relación a los niveles normales y de toxicidad, según Fasani (2012), para plantas no hiperacumuladoras. ....	227
<b>Figura 7.40.</b> Concentración de arsénico, cadmio, plomo, mercurio, plata y zinc obtenidos en la raíz y parte aérea de <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	229
<b>Figura 7.41.</b> Valores en escala logarítmica de las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plata, plomo y zinc de <i>Calamagrostis vicunarum</i> en relación con los niveles normales y de toxicidad, según Fasani (2012), para plantas no hiperacumuladoras. ....	229
<b>Figura 7.42.</b> Especies de anfibios registradas en la zona control de la evaluación realizada en el ámbito del PAM de relaves Quiulacocha .....	230
<b>Figura 7.43.</b> Concentración de metales en plumas de Passeriformes capturados en zona aledaña a PAM Quiulacocha y zona control. La línea roja representa límites de toxicidad referenciales para aves .....	234
<b>Figura 7.44.</b> Concentración de cadmio en tejidos de mamíferos menores del PAM Quiulacocha, zona control y del espécimen Mm-AMSAC-08 (individuo con mayor concentración) respecto al límite de toxicidad umbral .....	236
<b>Figura 7.45.</b> a) Oveja ( <i>Ovis aries</i> ) y b) cabra ( <i>Capra hircus</i> ) registrados en la cámara trampa CT-PASCO-29 ubicado al borde del PAM Quiulacocha c) oveja ( <i>Ovis aries</i> ) registrados en la cámara trampa CT-PASCO-32, sitio blanco d) alpaca ( <i>Vicugna pacos</i> ) registrados en la cámara trampa CT-PASCO-33, sitio blanco .....	238
<b>Figura 7.46.</b> a) y b) Toma de muestra de sangre de oveja ( <i>Ovis aries</i> ) e instalación de rastreadores satelitales en el sector Champamarca c) y d: Toma de muestra de sangre de oveja ( <i>Ovis aries</i> ) e instalación de rastreadores satelitales en el sitio blanco, Condorcayan .....	239





## 1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde a la evaluación ambiental de causalidad realizada en los meses de agosto y setiembre de 2020 en el ámbito del Pasivo Ambiental Minero depósito de relaves Quiulacocha (en adelante, PAM Quiulacocha), contiene los resultados, análisis y conclusiones de los estudios realizados por la Dirección de Evaluación Ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante, OEFA). El cierre de este PAM Quiulacocha está a cargo de Activos Mineros S.A.C. (en adelante, AMSAC)<sup>1</sup>.

El PAM Quiulacocha está localizado, políticamente, en el distrito Simón Bolívar, en la provincia y departamento de Pasco. Hidrográficamente, este PAM se ubica en la antigua laguna Quiulacocha. Actualmente, por el este y oeste del PAM Quiulacocha se ubican los canales izquierdo y derecho que llevan aguas hasta el río Ragra, el cual tributa al río San Juan y este al río Mantaro. Además, el PAM Quiulacocha se ubica al suroeste del pasivo ambiental minero depósito de desmontes Excelsior.

La evaluación ambiental de causalidad en el PAM Quiulacocha, se sustenta en el Memorando N.º 000515-2020-OEFA/DSEM de fecha 12 de marzo de 2020 emitido por la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas que remite el encargo de realizar: «Evaluaciones Ambientales de Causalidad en las unidades fiscalizables comprendidas en el ámbito del río San Juan» a fin de que se efectúen las acciones correspondientes que permitan determinar la causalidad. Además, de acuerdo con la información registrada en el Servicio de Información Nacional y Denuncias Ambientales (en adelante, Sinada), el PAM Quiulacocha presenta 7 denuncias: la primera en 2011 y la última en 2020, estas referidas a la presunta contaminación de la calidad de agua, aire, suelos, población, flora y fauna.

En ese contexto la Dirección de Evaluación Ambiental (en adelante, DEAM) del OEFA dentro del marco de sus funciones y su Reglamento aprobado mediante Resolución del Consejo Directivo N.º 00013-2020-OEFA/CD realizó la presente evaluación con la finalidad de evaluar la influencia del PAM Quiulacocha en la calidad de agua, aire y suelo; en agosto y setiembre de 2020. Como parte de esta evaluación se realizó el muestreo de agua superficial, agua subterránea, agua residual industrial; así como los estudios de tomografía de resistividad eléctrica, caracterización de pasivo ambiental minero, residuo minero, geología de roca, suelos (áreas de potencial interés y nivel de fondo), tejido vegetal, sedimento, comunidades hidrobiológicas, material particulado sedimentable, levantamiento fotogramétrico con RPAS y fauna (silvestre y doméstico). Además, como parte del análisis de resultados se consideró información de otros estudios que realizaron evaluaciones en el PAM Quiulacocha.

Es importante mencionar que, el presente informe de evaluación ambiental de causalidad constituirá un soporte técnico por parte de la DEAM del OEFA para una efectiva y oportuna supervisión y fiscalización ambiental posterior.

1

Decreto Supremo N° 058-2006-EM del 3 de octubre del 2008



## 2. ANTECEDENTES

Cerro de Pasco Cooper Corporation inició sus actividades de explotación minera por el año 1900, depositando sus relaves en la laguna Quiulacocha hasta aproximadamente 1976, posteriormente, la Empresa Minera del Centro del Perú (en adelante, CENTROMIN), continuó depositando relaves hasta 1992, año en la que se colmató<sup>2</sup>.

Mediante Resolución Directoral N.º 014-97-EM/DGM del 13 de enero de 1997, la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas (en adelante, DGM) aprobó el Programa de Adecuación de Manejo Ambiental (PAMA), a favor de CENTROMIN en cuyo numeral 5.2 del Capítulo V, se contemplaron los procesos y operaciones para el manejo y tratamiento de aguas ácidas y neutras, así como los estudios para el abandono del PAM Quiulacocha y su plan de contingencias.

Desde 1998, CENTROMIN ejecutó acciones de remediación orientado básicamente a evitar el ingreso de aguas de escorrentía e industriales al depósito de Quiulacocha previniendo la generación de aguas ácidas que llegan al río Ragra, que es un afluente del río San Juan. En el extremo sur de la relavera se ha construido un dique de contención y en el extremo suroeste de la relavera se ha instalado una planta de bombeo de aguas ácidas embalsadas, las aguas son bombeadas hacia el depósito de relaves de Ocroyoc para su posterior neutralización. El bombeo y la neutralización son realizados por Volcan Compañía Minera S.A.C. en virtud de un convenio suscrito entre Volcan y AMSAC.<sup>3</sup>

Mediante Resolución Directoral N.º 120-99-EM/DGM del 31 de agosto de 1999, se aprobó la división del PAMA antes mencionado, quedando a cargo de CENTROMIN la responsabilidad de remediar el PAM Quiulacocha y el PAM depósito de desmonte Excelsior.

Más adelante, a través de la Resolución Directoral N.º 046-2002-EM/DGAA del 7 de febrero de 2002, el Ministerio de Energía y Minas aprobó la modificación del PAMA de la unidad minera Cerro de Pasco, disponiendo extraer el Proyecto de Abandono del PAM Relavera Quiulacocha y trasladar el inicio de su ejecución al año 2002.

Ahora bien, mediante Decreto Supremo N.º 058-2006-EM del 3 de octubre del 2008, el Ministerio de Energía y Minas dispuso encargar a AMSAC la ejecución de los Proyectos de Remediación Ambiental que eran de responsabilidad de CENTROMIN, entre los cuales, se encontraba el PAM Quiulacocha.

En el informe de la semana de representación parlamentaria emitido el 03 de mayo de 2012 mediante oficio N.º 425-2011-2012-WTVR/CR dió a conocer que la relavera Quiulacocha almacenó los relaves procedentes de la concentradora Paragsha desde 1943 hasta 1992, acumulando aproximadamente 78 millones de toneladas de relaves en un área de 115 Ha.

El 19 de agosto con la Carta N.º 001-2015-CEEA/APRL se realizó la reunión con el alcalde y representantes de diversas organizaciones de la sociedad del distrito de Simón Bolívar además de representantes del MINAM, OEFA, MINSA, DIGESA, CENSOPAS, MINEM y AMSAC declarándose en Emergencia Ambiental de zonas afectadas del distrito de Simón Bolívar – Pasco.

<sup>2</sup> Plan de cierre de pasivos ambientales mineros Excelsior y Quiulacocha a cargo de CENTROMIN PERÚ, elaborado por CESEL – 2006.

<sup>3</sup> Fuente: Oficio N.º 425-2011-2012-WTVR/CR



Además, resulta necesario indicar que, el 29 de enero de 2019, AMSAC y la Empresa Administradora Cerro S.A.C (en adelante, Cerro SAC), celebraron el contrato GL-C-001-20192, cuyo objeto es el que ésta última brinde el «Servicio de Bombeo y Tratamiento de Aguas Ácidas de la Relavera de Quiulacocha en la Planta de Ocroyoc de Cerro S.A.C.»; asimismo, el referido contrato expresa el objeto del servicio, el cual consistiría en mantener el control del embalse de las aguas del PAM Quiulacocha dentro de los niveles de seguridad que impidan su rebose.

Del 05 al 26 de agosto de 2020 se realizó la primera ejecución del muestreo de agua superficial, agua subterránea, agua residual industrial, sedimento, comunidades hidrobiológicas, suelo, caracterización de componente y material particulado sedimentable en el ámbito del PAM Quiulacocha a cargo de AMSAC. Asimismo, del 14 al 29 de setiembre de 2020 se realizó la segunda ejecución del muestreo agua superficial, agua subterránea, suelo, tejido vegetal, tomografía de resistividad eléctrica, caracterización geológica y residuo minero.

## 2.1. Instrumentos de gestión ambiental

El PAM Quiulacocha a cargo de AMSAC no cuenta con instrumentos de gestión ambiental aprobados por el Ministerio de Energía y Minas (Minem). Por otra parte, este PAM se encuentra registrado en el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros aprobado mediante R.M. N° 290-2006-MEM/DM, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros aprobado mediante R.M. N.º 290-2006-MEM/DM

Pasivo ambiental minero		Relavera de Quiulacocha
N°		5161
Id		6752
Tipo		Residuo Minero
Subtipo		Relaves
Cuenca		Mantaro
Provincia		Pasco
Distrito		Simón Bolívar
Coordenadas	Este	360179
	Norte	8816934
Zona		18
Datum		PSAD56
Código Derecho Minero		010033392
		010000194U
		04004496Y01
Código Derecho Minero		Centromin N° 16 Cerro de Pasco-Cerro de Pasco-Tres
Nombre del Titular		Empresa Minera del Centro del Perú S.A.
		Empresa Minera Paragsha S.A.
		Empresa Minera Paragsha S.A.C.
		Volcan Compañía Minera S.A.A.
		Westdeutsche Landesbank Girozentrale
Nombre del responsable del Pasivo		Activos Mineros S.A.C.
Estudios Ambientales		Ninguno

## 2.2. Acciones realizadas por el OEFA

En líneas posteriores se presenta procedimientos administrativos sancionadores, extraídos del portal del OEFA (resoluciones del concejo directivo) relacionadas con el área de estudio y un informe de supervisión del año 2020.



### 2.1.1. Informe de supervisión

En el informe de supervisión N.º 578 -2020-OEFA/DSEM –CMIN se verificó el incremento de borde libre del agua sobrenadante del PAM Quiulacocha y el funcionamiento del sistema de bombeo de las aguas de la Relavera de Quiulacocha hacia la relavera Ocroyoc, también se determinó la existencia de filtraciones provenientes del dique de la relavera Quiulacocha (ESP-ARI-01).

### 2.3. Denuncias ambientales

El Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (Sinada) del OEFA registra 4 denuncias ambientales relacionadas a Activos Mineros S.A.C., ubicada en el distrito Simón Bolívar, provincia y departamento Pasco, las cuales se detallan en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Denuncias ambientales registradas en el Sinada

N.º	Código Sinada	Fecha de la denuncia	Descripción de hechos
1	SC-0124-2011	08 de marzo de 2011	«Denuncia ambiental presentada, por daños al recurso hídrico. Es el caso que en Cerro de Pasco el agua debe ser tratada, porque por años viene perjudicando a la salud de los habitantes del lugar. En la ciudad de Cerro de Pasco el agua es maravillosamente "amarilla", además de no ser potable es particularmente coloreada. ¿Por qué? Contaminación, minerales, falta de tratamiento? A las once de la mañana o tres de la tarde, entonces oímos nobombardas, sino dinamita que estremece nuestras casas, contaminación sonora, que durante años ha perjudicado la salud de los Ciudadanos. La laguna Quiulacocha a la entrada de la comunidad del mismo nombre, comunidad donde nació El Martir de la Medicina Peruana Daniel Alcides Carreón" y que hoy está condenada a su desaparición, ¿estaba la laguna tenía especies como truchas, ranas, gaviotas entre otras ¿quien sabe hoy a donde escaparon? asustados por tanta contaminación. El Río San Juan, el que atraviesa tres comunidades, está siendo contaminado por los restos de las extracciones mineras y que corre el peligro de pasar por la misma suerte de la laguna. Y claro está si hablamos de lagunas, no podemos dejar de mencionar la laguna de PATARCOCHA, muerta y contaminada por la inexistencia de políticas de protección? Hoy se reclama por la minería informal en la selva y qué pasó con la minería formal en la selva en Cerro de Pasco. Solicito al Ministro Antonio Brack, mi paisano de VILLA RICA y yo de Cerro de Pasco, por favor dese una vuelta por todas las provincias de su departamento. Pasco es un departamento con tres provincias, Cerro de Pasco, Oxapampa y Daniel A. Carreón»
2	SC-0171-2011	25 de marzo de 2011	«Presunta contaminación ambiental ocasionada por altas concentraciones de metales pesados ocasionados por actividades mineras de la empresa denunciada, lo que pone grave riesgo la salud de la población. Mediante el Oficio N°361-2010-2011-PRESIDENCIA-CR, la presidencia del Congreso de la República expone al OEFA la problemática expuesta por los Dirigentes de la Comunidad Urbana Champamarca, quienes solicitan: a) Realizar Evaluación Ambiental en el área de la población de Champamarca. b) Realizar una fiscalización ambiental a Depósito de relaves Quiulacocha y Depósito de desmonte Excelsior, propiedad de la empresa denunciada (EUN)»
3	SC-0259-2011	29 de abril de 2011	«Presunta contaminación ambiental ocasionada por altas concentraciones de metales pesados debido al incumplimiento del Plan de Cierre por parte de la empresa denunciada, lo que pone grave riesgo la salud de la población, señalando que actualmente se encuentran más de 200 niños intoxicados. Se denuncia además incremento de las aguas ácidas en la relavera Quiulacocha, así como la emanación de gases tóxicos producto de estas».

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

N.º	Código Sinada	Fecha de la denuncia	Descripción de hechos
4	SC-0544-2018	10 de julio de 2018	«Se interpone denuncia ambiental contra la empresa Cerro de Pasco Resources, titular de la concesión de relaves "El Metalurgista", que se encuentra compuesta íntegramente de relaves mineros y superpuesta a los depósitos de relaves de Quiulacocha y de Excelsior. Esta superposición ha impedido la remediación conjunta de los depósitos Excelsior y Quiulacocha. Los relaves mineros generados en la concesión minera "El Metalurgista" contienen sulfuros, arsénico, óxidos de hierro y plomo, entre otros, es decir están constituidos por residuos peligrosos e inventariado como un pasivo ambiental. En ese sentido, el titular de " el metalurgista" no ha cumplido con presentar un plan reaprovechamiento o plan de cierre; asimismo, no ha realizado ninguna acción o actividad de mitigación, control o cuidado del material nocivo».
5	ODPA-0007-2018	26 de junio de 2018	«El recurrente manifiesta que desde el inicio de obras de cierre de la desmontera Exelsior, a cargo de la empresa denunciada Activos Mineros SAC y ejecutada por Consorcio Internacional San Camilo, se estaría produciendo la emisión de material particulado (sobre todo entre las 11 am y 2 pm) que estaría afectando a la población de Quiulacocha, aledaña a la zona de trabajos y a los sectores de Champamarca y Buenos Aires. Asimismo, refiere que también existiría afectación de las conexiones hídricas subterráneas por la remoción de material minero. Finalmente refiere que se ha intensificado los malestares estomacales en la población escolar».
6	SC-0709-2019	25 de junio de 2019	«Presunta afectación ambiental que se estaría generando producto de la emisión de polvo generado por el inadecuado mantenimiento de la carretera montecarlos - yanamate en el tramo ubicado en la comunidad campesina de quiulacocha, provincia de simón bolívar, departamento de pasco. Por dicha zona recorren vehículos de alto tonelaje generando gran cantidad de material particulado, dañando las áreas agrícolas y ocasionando muerte de animales».
7	SC-1292-2020	31 agosto de 2020	«Solicitamos, ante su representada como ente fiscalizador sírvase a fiscalizar los trabajos que viene realizando en la actualidad la Empresa de Activos Mineros (AMSAC), ya que en una inspección realizada por parte del fiscal de la Comunidad nos dimos con la sorpresa que están afectando terrenos pastizales y manantiales de Quiulacocha que pertenecen a nuestra Comunidad el cual como comprenderá afecta directamente a nuestros hermanos ganaderos quienes generan sus ingresos mediante esta actividad. En caso de no ser atendidos a nuestra petición la Comunidad estará actuando de manera Legal ante las autoridades superiores competentes».

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia del PAM Quiulacocha a cargo de AMSAC en agua superficial, agua subterránea y suelo.

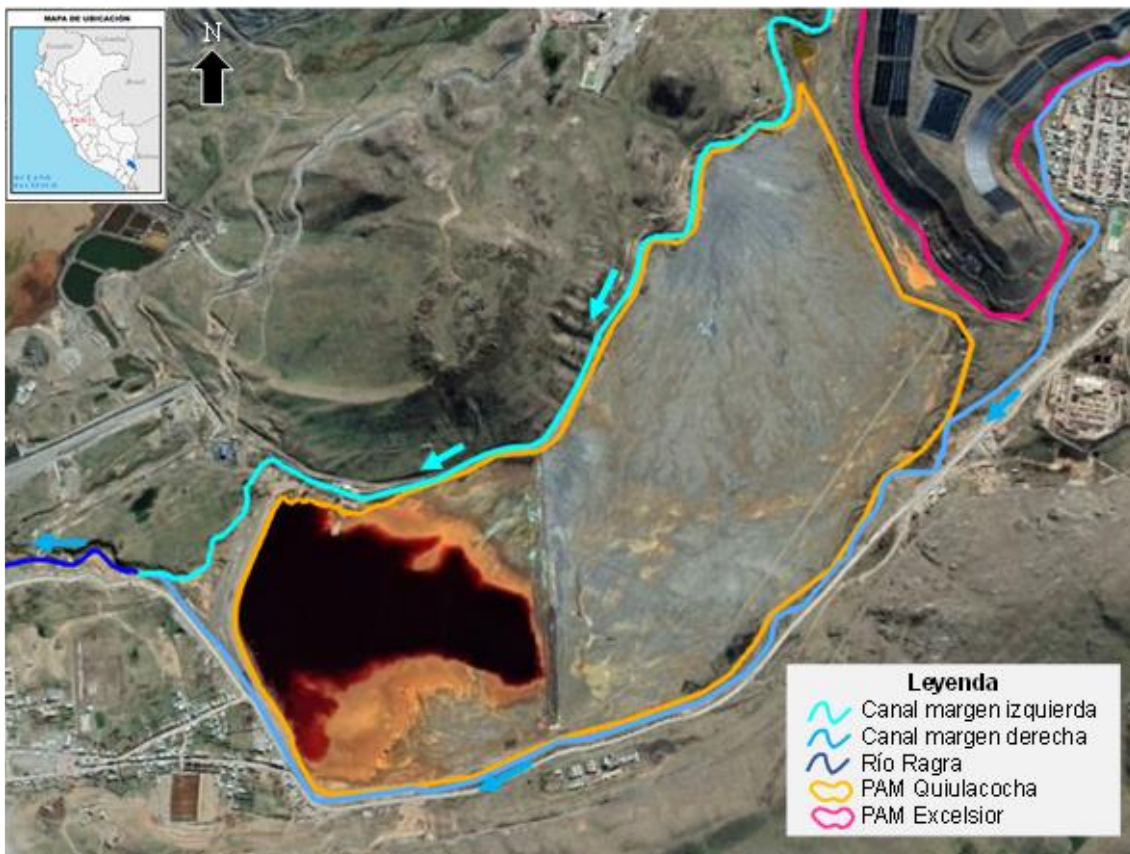
#### 3.2. Objetivos específicos

- Identificar los contaminantes presentes en el PAM Quiulacocha y otras fuentes; determinar su movilidad y los mecanismos de transporte hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo.
- Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas aledañas al PAM Quiulacocha hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo.

- Determinar la influencia de los elementos de interés provenientes del PAM Quiulacocha y otras fuentes, en la calidad del agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea, suelo y tejido vegetal.
- Determinar la influencia de los posibles contaminantes producto de la actividad minera sobre la flora (tejido vegetal), fauna silvestre (anfibios y reptiles, aves, mamíferos menores y mamíferos mayores) presente en el ámbito del PAM depósito de relaves Quiulacocha.

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el PAM Quiulacocha localizado políticamente en el distrito Simón Bolívar, en la provincia y departamento Pasco, aproximadamente a 130 km de la Oroya y 310 km de la ciudad de Lima, cuyo acceso es a través de la Carretera Central (Figura 4.1). Hidrológicamente, el PAM Quiulacocha se ubica en la antigua laguna Quiulacocha. Por sus lados este y oeste de este PAM se localizan canales que llevan aguas al río Ragra, el cual tributa al río San Juan y este al río Mantaro.



**Figura 4.1.** Área de estudio de la evaluación ambiental de causalidad en los PAM a cargo de AMSAC

Fuente: Elaborado a partir del Plan de Cierre del Pasivo Ambiental Minero depósito de desmontes Excelsior

##### 4.1. Climatología

La temperatura media mensual en el área de estudio oscila entre los 3,5 a 5,5 °C y entre los 4,6 a 6,7 °C en las estaciones de Cerro de Pasco y Estación Upamayo, respectivamente. El patrón de precipitaciones tiene un régimen estacional a lo largo del año, en los meses de

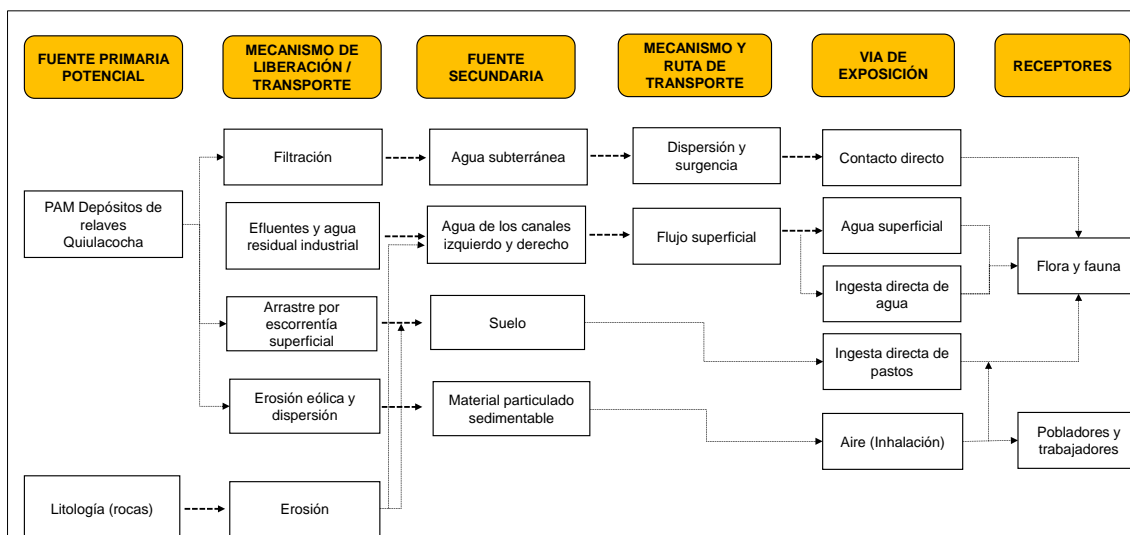
octubre y marzo la precipitación promedio es de 73,7 %; mientras que, en los meses de abril y setiembre el promedio desciende hasta 22,3%.

## 4.2. Contexto geológico

El basamento del PAM Quiulacocha se constituye por rocas metamórficas del Grupo Excelsior y rocas volcánicas como andesitas y dacitas, en los alrededores del depósito se pueden encontrar areniscas en la formación Casapalca y afloramientos de rocas metamórficas del grupo Excelsior. El material transportado que constituye el PAM Quiulacocha está constituido de rocas calcáreas y volcánicas provenientes del tajo Raúl Rojas, este material permanece en este lugar hace décadas.

## 5. METODOLOGÍA

En la Figura 5.1 se presenta un esquema conceptual el cual fue elaborado para plantar los objetivos y así la elección componentes evaluados y también la identificación de los parámetros a fin de dar respuesta a los objetivos.



**Figura 5.1.** Modelo conceptual para la evaluación en el PAM Quiulacocha

### 5.1. Objetivo específico 1: Identificar los contaminantes presentes en el PAM Quiulacocha y otras fuentes; determinar su movilidad y los mecanismos de transporte hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo.

Para cumplir con este objetivo se realizó la caracterización del PAM Quiulacocha y residuos mineros, la evaluación de la caracterización de agua residual industrial, un estudio de tomografía de resistividad eléctrica y la determinación de material particulado sedimentable.



### 5.1.1. Caracterización geoquímica y mineralógica del PAM Quiulacocha y de residuos mineros

#### 5.1.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5.1 se detalla la guía metodológica para la caracterización geoquímica y mineralógica del PAM Quiulacocha y de residuos mineros.

**Tabla 5.1.** Guía de referencia para el muestreo del PAM Quiulacocha y de residuos mineros

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

#### 5.1.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

En la Tabla 5.2 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo del PAM Quiulacocha y residuos mineros, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.2.** Ubicación de los puntos de muestreo del PAM Quiulacocha y de los residuos mineros

N.º	Código de punto	Coordenadas UTM WGS84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
<b>Pasivo ambiental minero (PAM)</b>					
1	PAM-27-Q01	360415	8817495	4298	Muestra colectada del PAM depósito de relaves Quiulacocha, al noreste de este PAM
2	PAM-27-Q02	360170	8817056	4295	Muestra colectada del PAM depósito de relaves Quiulacocha, al sureste de este PAM
3	PAM-27-Q03	359332	8816957	4286	Muestra colectada del PAM depósito de relaves Quiulacocha, al suroeste de este PAM
4	RM-QUI3	359525	8816498	4272	Residuo minero ubicado en el PAM depósito de relaves Quiulacocha, aproximadamente a 100 m al este de la entrada al centro poblado Quiulacocha
<b>Residuos mineros</b>					
1	RM-QUI1	360366	8816692	4278	Residuo minero ubicado en el borde sureste del PAM depósito de relaves Quiulacocha, aproximadamente a 270 m al noreste del centro poblado Casa Blanca
2	RM-QUI2	359249	8816967	4253	Residuo minero ubicado en la margen izquierda del río Ragra, aproximadamente a 15 m al oeste de la poza de recolección de filtraciones del PAM depósito de relaves Quiulacocha

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

Fuente: Reportes de campo N.º RC-038-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 3 y 5)

#### 5.1.1.3. Parámetros y métodos de análisis

En las Tablas 5.3 y 5.4 se presentan los parámetros evaluados en cada punto de muestreo y los métodos de análisis de cada parámetro.





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

**Tabla 5.3.** Parámetros evaluados en el PAM Quiulacocha y residuos mineros

Código OEFA	Parámetro						
	Metales totales y mercurio	Prueba ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	Tessier	Análisis mineralógico por DRX	Análisis granulométrico
Pasivo ambiental minero (PAM)							
PAM-27-Q01	X	X	X	X	---	X	---
PAM-27-Q02	X	X	X	X	---	X	---
PAM-27-Q03	X	X	X	X	---	X	X
RM-QUI3	X	---	---	---	---	---	---
Residuos mineros							
RM-QUI1	X	---	---	---	---	---	---
RM-QUI2*	X	X	X	X	X	X	---
Total	6	4	4	4	1	4	1

Fuente: Reportes de campo N.º RC-038-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 3 y 5)

(---): Parámetros no considerados para este punto

(X): Parámetros considerados para este punto

(\*): Presenta muestra duplicada codificado como RM-DUP2

**Tabla 5.4.** Métodos de análisis de los parámetros evaluados en el PAM Quiulacocha y residuos mineros

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	%	ASTM E1915-97. Azufre Total por Combustion mediante horno Leco y espectroscopia infrarroja
		Grado de Efervescencia	-	Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials - MEND Report 1.20.1, Chapter 13, Item 13.3.3, December 2009
		pH en Pasta	Unidades pH	
		Potencial de Acidez Máximo	t CaCO <sub>3</sub> /1000t	
		Potencial de Neutralización Neto	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	
		Potencial de Neutralización	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	
	Relación NP/MPA	-		
3	Shake Flask metales	mg/L	Extracto SFE Leaching y drainage (1997) /EPA METHOD 6020 B Rev02, 2014	
4	Shake Flask aniones	mg/L	Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials - MEND Report 1.20.1, Chapter 11.5, Shake Flask Test	
5	Tessier	mg/kg	EPA 6020 B Rev. 2. July 2014	
6	Análisis mineralógico por DRX	%	NA	
7	Análisis granulométrico	%	ASTM D422-63 8reapproved 2007)	

Fuente: Reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC (Anexos 9 y 10)

(PS): Peso seco

(NA): No aplica

(-): Sin unidad

#### 5.1.1.4. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para la evaluación ambiental se desarrollan en los reportes de campo N.º RC-038-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 3 y 5).



### 5.1.1.5. Aseguramiento de la calidad

El control de calidad de los resultados de metales en el PAM Quiulacocha y residuos mineros se realizó mediante la muestra duplicada<sup>4</sup>. La cantidad de muestras duplicadas corresponde al 10% del total de muestras.

El porcentaje de diferencia relativa (PDR) se calculó usando la ecuación 5.1:

$$PDR = \frac{\mu_i - STD_i}{STD_i} \times 100 \quad (5.1)$$

Donde:  $\mu_i$  = valor medio del elemento  $i$  en el estándar de varias corridas analíticas  
 $STD_i$  = Valor conocido de la referencia

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

### 5.1.1.6. Criterios de evaluación

La caracterización del PAM Quiulacocha y residuos mineros contempló la descripción litológica (fragmentos de rocas), mineralógica y contenido de metales totales para identificar los elementos contaminantes principales. Además, fue complementado con la prueba estática de balance ácido-base (ABA)<sup>5</sup> para determinar el potencial de generación de acidez, pruebas de SFE (*shake flask extraction*) y para determinar la movilidad de metales y aniones, así como la biodisponibilidad se usó la prueba de Tessier.

Adicionalmente, los elementos mayores y trazas tóxicos fueron analizados mediante diagramas de concentración y dispersión de metales, y comparados referencialmente con los valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995)<sup>6</sup>, para determinar su excedencia y considerarlo como valor anómalo.

## 5.1.2. Caracterización de agua residual industrial

### 5.1.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5.5 se presentan las guías de referencia para la caracterización de agua residual industrial.

**Tabla 5.5.** Guías de referencia para el muestreo

Matriz	Autoridad emisora	País	Dispositivo legal	Referencia	Año	Sección
Agua residual industrial	Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM) del Minem	Perú	Resolución Directoral N.º 004-94-EM/DGAA	Protocolo de monitoreo de calidad de agua subsector - minería	1994	2.0 Estaciones de muestreo
Medición de caudal	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	Perú	Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA	Protocolo nacional para el monitoreo de la	2016	Sección 6.12

<sup>4</sup> Se trata de una sola muestra dividida en dos muestras, tomadas al mismo tiempo y en el mismo lugar. Esta muestra asegura la precisión de los resultados.

<sup>5</sup> El análisis de este parámetro se realizó en función a dos criterios: el primero basado en el potencial neto de neutralización (PNN) y el segundo, en base a la relación entre PN/PA.

<sup>6</sup> Los valores de corteza continental fueron tomados del Geochemical Earth Reference Model (<https://earthref.org/GEMRD/>)



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

Matriz	Autoridad emisora	País	Dispositivo legal	Referencia	Año	Sección
				calidad de los recursos hídricos superficiales		

### 5.1.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

En la Tabla 5.6 se detallan los puntos de muestreo de caracterización de agua residual industrial, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.6.** Ubicación de los puntos de muestreo de aguas residuales industriales

N.º	Matriz ambiental	Puntos de muestreo	Agosto 2020	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		
1	Agua residual industrial	SJ-46	X	359256	8816942	4262	Agua de infiltración del depósito de relaves Quiulacocha que descarga en una poza para su recirculación
2	Agua residual industrial	ACHam-01	X	361178	8817570	4305	Ubicada a 50 m al noreste de la zona de parqueo. Agua de filtración proveniente de desmontes de mineral y residuos sólidos dispuesto en la avenida El Minero
3	Agua residual industrial	ACHam-02	X	361084	8817495	4117	Flujo de agua que llega al canal de la margen izquierda y ubicado en el punto de monitoreo E-03 de Cerro S.A.C
4	Agua residual industrial	ACHam-03	X	360841	8817210	4286	Flujo de agua que llega al canal de la margen izquierda, ubicado aproximadamente a 400 m al suroeste del punto ACham-02

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m  
Fuente: Reportes de campo RC-038-2020-STEC (Anexo 3)

### 5.1.2.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros evaluados se seleccionaron en función de la actividad del administrado, minería, y los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental (en adelante, ECA) para agua de la normativa vigente. En los puntos de muestreo según corresponda, se registró *in situ* la temperatura, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y caudal.

Todas las muestras fueron analizadas en laboratorios acreditados. En la Tabla 5.7 se presenta los parámetros y el método de análisis empleado por los laboratorios.

**Tabla 5.7.** Parámetros y métodos de análisis

N.º	Parámetros evaluados	Método de análisis/descripción
1	Acidez	SMEWW2310B. 23rd Ed,2017
2	Bicarbonato	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B. 22nd/Alkalinity: Titration Method SMEWW 2320 8.23rd Ed. 2017
3	Carbonato	
4	Cloruros	PE-2090 Rev.112019
5	Sulfatos	
6	Nitritos	
7	Nitratos	



N.º	Parámetros evaluados	Método de análisis/descripción
8	Sólidos totales disueltos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 C, 22nd Ed. 2012/Solids: Total Dissolved Solids Dried at 180 °C
9	Sólidos totales suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012/Solids: Suspended Solids Dried at 180 °C
10	Cianuro Wad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN IE, 23 rd Ed.2017, Cyanide. Weak Add Dissociable Cyanide. Colorimetric Method
11	Aceites y grasas	ASTM D7066-04 (Validado), 2011/Standar Test Method for dimer-trimer of chlorotrifluoroethylene (S-316) Recoverable Oil and Grease and Nonpolar Material by Infrared Determination
12	Metales totales	EPA Method 200.8 Rev. 5.4(1994). Espect ICP-MS
13	Metales disueltos	

#### 5.1.2.4. Equipos utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos como multiparámetro, correntómetro, bomba de filtrado y equipo de posicionamiento GPS; los detalles del modelo, marca, hojas de verificación, certificados de calibración y serie se encuentran en el reporte de campo N.º RC-038-2020-STEC (Anexo 3).

#### 5.1.2.5. Aseguramiento de la calidad

Para el aseguramiento de calidad del proceso de muestreo de agua residual industrial se realizaron los controles detallados en la Tabla 5.8.

**Tabla 5.8.** Controles realizados en el muestreo

Tipo de control	Contaminación evaluada
1 blancos de campo*	Contaminación en alguna parte del muestreo
1 blancos viajeros*	Contaminación durante el transporte

\*Estos blancos se realizaron en agosto 2020 para el muestreo de la matriz agua

Los resultados de los parámetros de control de calidad de agua se encuentran a detalle en el reporte de campo N.º RC-034-2020-STEC (Anexos 9).

#### 5.1.2.6. Procesamiento y análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (hojas de cálculo), para luego ser comparados. Asimismo, los resultados de iones y cationes se utilizaron para realizar la evaluación hidroquímica, además los resultados fueron sometidos a análisis multivariado, según se detalla a continuación:

##### a. Evaluación hidroquímica

Para caracterizar las aguas en función de la concentración de iones predominantes (cationes y aniones) e interacción con la parte orgánica y roca se elaboraron diagramas hidroquímicos (facies e índices) mediante el uso del software libre Diagrammes 6.61 del *Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon* del 2020 (Simler, 2020). Para establecer las facies hidroquímicas de cada punto de muestreo se tomaron en cuenta los criterios indicado en la Tabla 5.9.

**Tabla 5.9.** Criterios para establecer las facies hidroquímicas

Porcentaje de iones	Nombre simple	Nombre compuesto
< 40 %	-	2 iones con los máximos porcentajes
> 40 %	2 <sup>do</sup> ión < 35 %	-
	2 <sup>do</sup> ión > 35 % Diferencia entre 1 <sup>er</sup> y 2 <sup>do</sup> ión > 10 %	2 <sup>do</sup> ión > 35 % Diferencia entre 1 <sup>er</sup> y 2 <sup>do</sup> ión ≤ 10 %

(-): Sin datos

**Balance iónico**

El objetivo del balance iónico es evaluar el equilibrio de los iones en el agua en base a la comparación de las concentraciones molares de la suma de aniones ( $\Sigma$  aniones) y la suma de cationes ( $\Sigma$  cationes); este cálculo se realizó antes del análisis hidroquímica y se conoce como error balance iónico (en adelante, EBI). El EBI verifica la consistencia de los iones (Ecuación 5.2).

Los iones mayoritarios presentes en el agua son los cationes: calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) para el cálculo de la  $\Sigma$  cationes; y los aniones: bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), fluoruros ( $\text{F}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) para la  $\Sigma$  aniones<sup>7</sup>. Ambas sumas de concentraciones se expresaron en miliequivalentes por litro (meq/L). De esa manera, se estableció el EBI de acuerdo con la siguiente ecuación (Appelo y Postma, 2005):

$$\text{Error de Balance Iónico (EBI)} = 100 \frac{\Sigma_{\text{cat}} - \Sigma_{\text{an}}}{\Sigma_{\text{cat}} + \Sigma_{\text{an}}} \% \quad (5.2)$$

En el presente estudio el EBI aceptado estuvo en el rango de -10 % a +10 %, el cual fue considerado por Dinka *et al.* (2015) y López (2018). De otro lado, algunas muestras presentan valores de EBI fuera del rango óptimo de  $\pm 10$  %, con valores demasiado negativos ( $\ll -10\%$ ). Esto se da en la mayoría de los casos en muestras ácidas con altas concentraciones de metales, resultando un EBI negativo si no se toma en cuenta sobre todos los iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) del pH (de preferencia en base a su actividad y no concentración) y otras especies disueltas en mayor concentración como el aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ) y hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ).

Al respecto, los rangos del EBI están relacionados con la conductividad del agua de acuerdo con lo planteado por Custodio y Llamas (1976) en la Tabla 5.10. La interpretación de los porcentajes de error (EBI) se basa en la idea que el análisis debería ser más preciso cuanto más concentrada es la muestra analizada (Mariño y García, 2018).

**Tabla 5.10.** Valores aceptables de error en función a la conductividad eléctrica

Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	50	200	500	2000	>2000
Error aceptable (%)	$\pm 30$	$\pm 10$	$\pm 8$	$\pm 4$	$\pm 4$

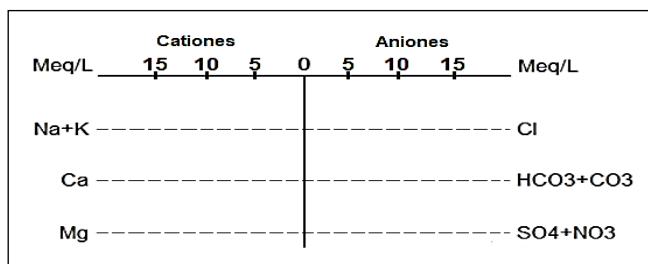
Fuente: Custodio y Llamas (1976)

<sup>7</sup> Los otros iones tomados en cuenta fueron en cuenta los cationes: aluminio ( $\text{Al}^{3+}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), manganeso ( $\text{Mn}^{2+}$ ), bario ( $\text{Ba}^{2+}$ ), estroncio ( $\text{Sr}^{2+}$ ), litio ( $\text{Li}^+$ ), y los iones hidronio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) del pH.

## Diagramas hidroquímicos

### - Diagrama de Stiff

El diagrama de Stiff consiste en 3 líneas horizontales<sup>8</sup> y muestra los iones mayoritarios en el agua. En el mismo los cationes están ubicados en el lado izquierdo (Ca, Mg, Na + K), y los aniones en el lado derecho ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$ ), tal como se muestra en la Figura 5.2.



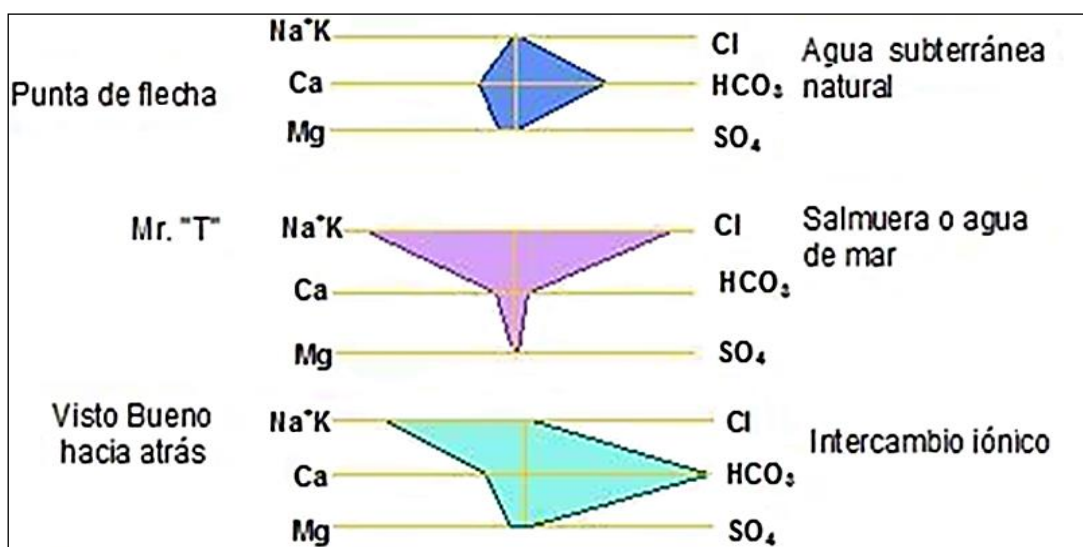
**Figura 5.2.** Diagrama de Stiff

Fuente: Simler, 2020

Estos triángulos diferencian las aguas según sus composiciones y así distinguen los diversos tipos de agua de diferentes unidades geológicas e hidrológicas (Figura 5.3), entre otros análisis indicados anteriormente.

Dos características sobresalen en este tipo de diagramas: por un lado, permite visualizar claramente diferentes tipos de agua y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica).

Los diagramas de Stiff pueden presentarse como numerosos polígonos pequeños distribuidos por coordenadas sobre un mapa conocido como «mapa hidroquímico», para dar una idea visual sobre la distribución de los diferentes tipos de agua.



**Figura 5.3.** Diagrama de Stiff en relación con la mineralización

Fuente: Villegas, 2011

<sup>8</sup> Una cuarta línea es opcional que pueden cambiar dependiendo del estudio (Appelo y Postma, 2005).



### - Diagrama de Piper

La evolución geoquímica del agua en general puede ser entendido mediante la construcción del diagrama trilinear de Piper. El diagrama de Piper es una gráfica multifacética en la que las concentraciones porcentuales de miliequivalentes de cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ) principales se representan en 2 campos triangulares, que luego se proyectan en el campo de diamante central (Ravikumar *et al.*, 2015).

Los diagramas de Piper han sido utilizados para identificar los diferentes tipos de facies hidroquímicas basados en los aniones y cationes mayoritarios (Kanagaraj *et al.*, 2018). Piper es el tipo de gráfico más utilizado que incluye aniones y cationes en forma simultánea y permite representar muchos análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares quedan agrupadas en áreas bien definidas (Custodio y Llamas, 1976).

El diagrama de Piper (Figura 5.4) también puede definir los patrones de cambio espacial en la química del agua entre unidades geológicas a lo largo de una línea de sección o trayectoria (Domenico y Schwartz, 1998 citado por Rekha, 2013). Por lo tanto, es útil para comprender el flujo y la calidad del agua, y cambios en los tipos de agua y sus mezclas, en base a las proporciones relativas de iones principales en lugar de las concentraciones (Rekha, 2013).

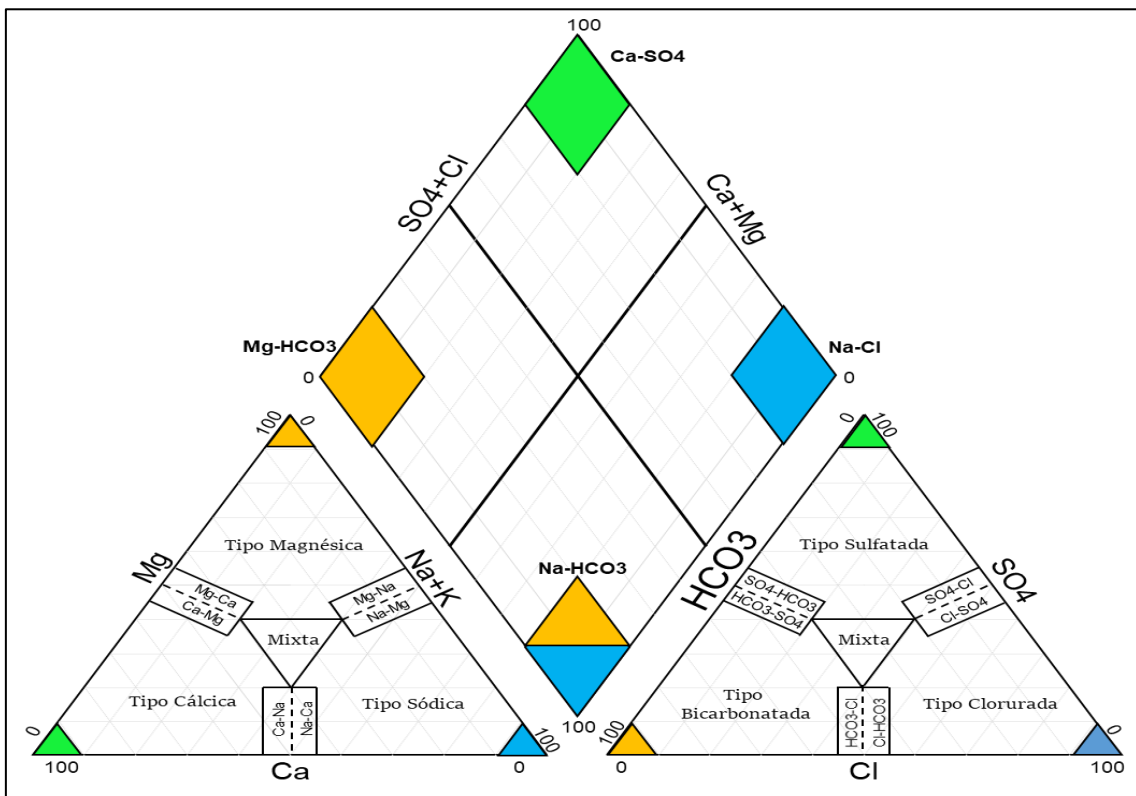
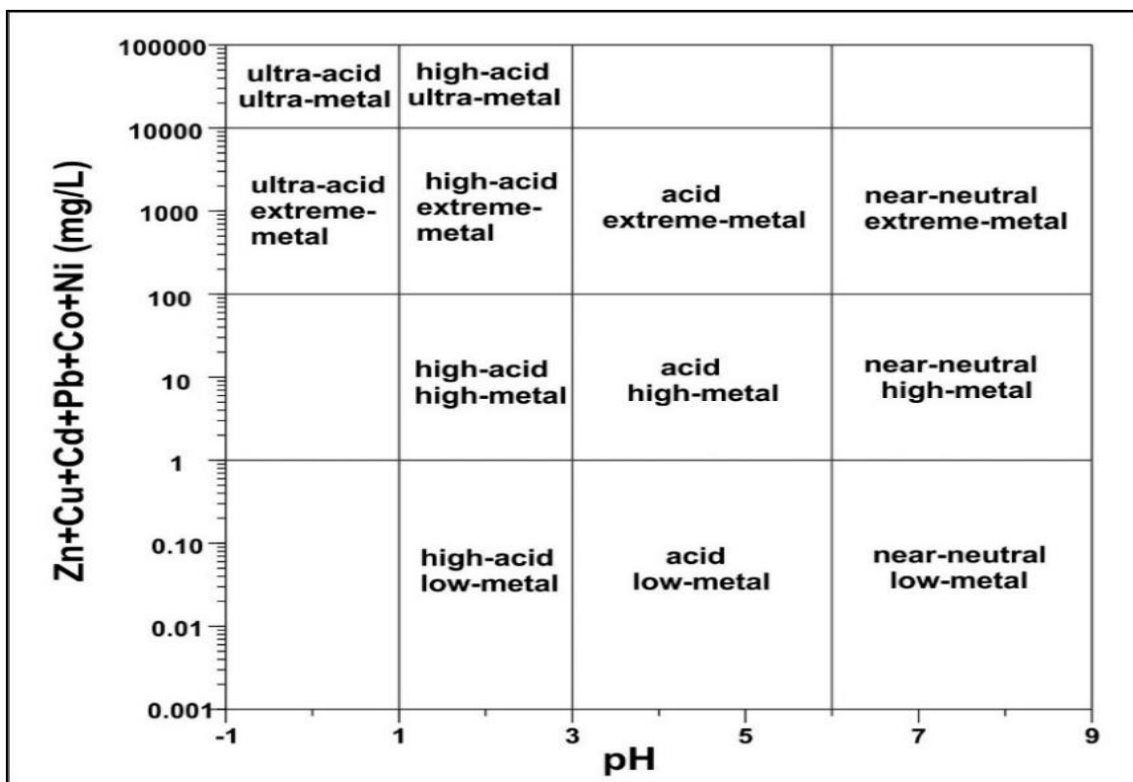


Figura 5.4. Diagrama trilinear de Piper  
Fuente: Modificado de Davis *et al.* (1971)

**- Índices hidrogeoquímicos - Diagrama de Ficklin**

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

El diagrama de Ficklin *et al.* (1992), se basa en la relación del pH y el contenido de metales disueltos (Zn, Cu, Cd, Pb, Co y Ni) contenidos en el agua. Es preciso señalar que, este diagrama (Figura 5.5) no considera a las concentraciones de manganeso, aluminio y hierro, debido a que estos elementos presentan comportamiento geoquímico muy diferente (Malar *et al.*, 2016).



**Figura 5.5.** Clasificación geoquímica (diagrama de Ficklin)

**a. Análisis multivariados**

Los análisis multivariados se realizaron con la finalidad de entender mejor los resultados de la calidad del agua y para determinar las interrelaciones entre los parámetros y los sitios de muestreo. Se utilizó la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), este análisis da como resultado un diagrama que resume espacialmente el grado de similitud en parámetros ambientales entre los puntos evaluados. Previamente, las variables ambientales fueron normalizadas y luego ordenadas en una matriz de similitud basada en la distancia euclidiana.

Se realizó el análisis de componentes principales (ACP), empleando los resultados de los variables ambientales de los puntos de muestreo de agua residual industrial y efluentes, para encontrar patrones en el agrupamiento. También se realizó una correlación de





Sperman para identificar aquellas variables que presentaron una longitud de vector igual o mayor a 0,5. Previamente al análisis se realizó una selección de los metales totales y parámetros fisicoquímicos cumpliendo las siguientes etapas: (i) retirar los parámetros que no fueron medidos en todos los puntos de muestreo, (ii) retirar los parámetros que tuvieron todos los valores por debajo del límite de cuantificación (LCC), (iii) retirar los parámetros con más del 30 % de los valores por debajo del LCC. Todos los análisis fueron realizados con el software PRIMER 6 + PERMANOVA (software package from Plymouth Marine Laboratory, UK) (Clarke y Warwick, 2001; Anderson *et al.*, 2008).

### 5.1.3. Estudio de tomografía de resistividad eléctrica (TRE)

A continuación, se detalla la metodología para el estudio de tomografía de resistividad en el PAM Quiulacocha a cargo de AMSAC se indica el protocolo utilizado, ubicación de líneas de tomografía eléctrica, equipos, adquisición y procesamiento de datos.

#### 5.1.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

Para la tomografía de resistividad eléctrica se utilizaron los documentos listados en la Tabla 5.11.

**Tabla 5.11.** Documentos técnicos empleados en la tomografía de resistividad eléctrica

Nombre	Dispositivo Legal	Entidad/Autor	País	Año
<i>Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation</i>	ASTM- D6431- 99	<i>American Society for Testing and Materials</i>	Estados Unidos	2010
<i>Use of Airborne Surface and Borehole Geophysical Techniques at Contaminated Sites</i>	EPA/625/R- 92/00	<i>U.S Environmental Protection Agency</i>	Estados Unidos	1993
<i>Electrical Imaging survey for environmental and engineering studies</i>	N.A.	Meng Heng Loke	Tailandia	2000

N.A.: No aplica

#### 5.1.3.2. Ubicación de líneas de muestreo

Se establecieron las líneas de tomografía de resistividad eléctrica para realizar la caracterización de acuerdo con el objetivo planteado. Las coordenadas de inicio y fin se resumen en la Tabla 5.12, las coordenadas intermedias se presentan en los reportes de campo N.º RC-040-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 4 y 5), y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.12.** Coordenadas de inicio y fin de cada línea del estudio de tomografía de resistividad eléctrica

Fecha	Líneas de tomografía de resistividad eléctrica	Estaciones	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18L		Separación de electrodos	Distancia total (m)	Descripción de la línea
			Este (m)	Norte (m)			
18/08/2020	LT-AM-01	Inicio 0	359331	8817001	0	300	Ubicado en la parte norte-oeste del Pasivo Ambiental Minero Depósito de Relaves Quiulacocha, paralelo a las líneas LT-AM-06 y LT-AM-07.
		Final 300	359294	8816819	10		
18/08/2020	LT-AM-02	Inicio 0	359296	8816832	0	430	Ubicado en la parte suroeste del Pasivo Ambiental Minero Depósito de Relaves Quiulacocha.
		Final 430	359503	8816454	10		
23/08/2020	LT-AM-06	Inicio 0	359302	8817060	0	220	Ubicado en la parte baja a 50 metros del Pasivo Ambiental Minero Depósito de Relaves Quiulacocha en dirección este.
		Final 220	359210	8816864	10		
23/08/2020	LT-AM-07	Inicio 0	359263	8817016	0	150	Ubicado en la parte baja a 55 metros del Pasivo Ambiental Minero Depósito de Relaves Quiulacocha en dirección este.
		Final 150	359204	8816879	10		
22/09/2020	LT-AM-10	Inicio 0	359351	8817108	0	76	Ubicado en la parte media del dique, norte-oeste del depósito de relaves Quiulacocha.
		Final 76	359299	8817048	4		
22/09/2020	LT-AM-11	Inicio 0	359333	8817111	0	68	Ubicado en la parte baja del dique, norte-oeste del depósito de relaves Quiulacocha.
		Final 68	359297	8817054	4		

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

### 5.1.3.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros de adquisición de datos en las líneas de tomografía se presentan en la Tabla 5.13

**Tabla 5.13.** Parámetros de adquisición del estudio de prospección geofísica

Parámetros	Modo de adquisición
Forma de medición	Dominio de Tiempo
Configuración de electrodos	Polo – Dipolo
Distancia del dipolo	10 metros (para las líneas LT-AM-01, LT-AM-02, LT-AM-06, LT-AM-07) y 4 metros (para las líneas LT-AM-10 y LT-AM-11)
Profundidad máxima de alcance	43 metros (para las líneas LT-AM-01, LT-AM-02, LT-AM-06, LT-AM-07) y 17 metros (para las líneas LT-AM-10 y LT-AM-11)
Niveles de investigación medidos (n)	Desde n=1 a n=10
Tiempo de sincronización	2 segundos
Stack (apilamiento)	4 – 6 por estación



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

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

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

#### 5.1.3.4. Equipos utilizados

Se utilizó un equipo de posicionamiento remoto (GPS), transmisor Econain 4.5 Kw y receptor Elrec pro 10 canales para la obtención de datos. Los equipos y materiales se detallan en los reportes de campo N.º RC-040-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 4 y 5).

#### 5.1.3.5. Aseguramiento de la calidad

El control de resultados se realizó antes de la adquisición de datos, en la calibración del equipo receptor, durante la adquisición de datos y en el proceso de inversión de los datos geofísicos, como se mencionó en el reporte de resultados N.º RRE-013-2020-STEC (Anexo 8).

#### 5.1.3.6. Procesamiento de datos

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

##### a. Base de datos

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

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

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

**b. Proceso de inversión**

**Primero:** La base de datos previamente validada y empleada para la generación de las pseudo secciones es exportada a un formato específico de software para el proceso de inversión.

**Segundo:** Se realiza el control de calidad (QC) de los datos de campo, en el software de procesamiento e inversión, tal como se indicó en el reporte de resultados N.º RRE-013-2020-STEC (Anexo 8).

**Tercero:** Se realiza el proceso de inversión; dicho proceso de inversión tiene por objetivo obtener un modelo 2-D de las resistividades reales a partir de los datos de las resistividades aparentes obtenida en campo. Esta técnica de inversión se basa en realizar todo un proceso iterativo con ello que obtener un modelo de resistividades reales.

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

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

**5.1.3.7. Criterios de evaluación**

Los perfiles de tomografía muestran la distribución de resistividades en profundidad, la interpretación de estos valores se ha realizado en base al conocimiento de resistividades características de distintos materiales, presentadas en la Tabla 5.14 y Figura 5.6.

**Tabla 5.14.** Resistividad característica de distintos materiales

Material	Resistividad (Ohm.m)
Rocas ígneas y metamórficas	
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basalto	$10^3 - 10^6$
Esquistos	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
Mármol	$10^2 - 2,5 \times 10^8$
Cuarcita	$10^2 - 2,5 \times 10^8$
Rocas sedimentarias	
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$
Pizarra	$20 - 2 \times 10^3$
Calizas	$50 - 4 \times 10^2$
Suelo y agua	
Arcillas	$1 - 100$
Aluvial	$10 - 800$
Agua subterránea (dulce)	$10 - 100$



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

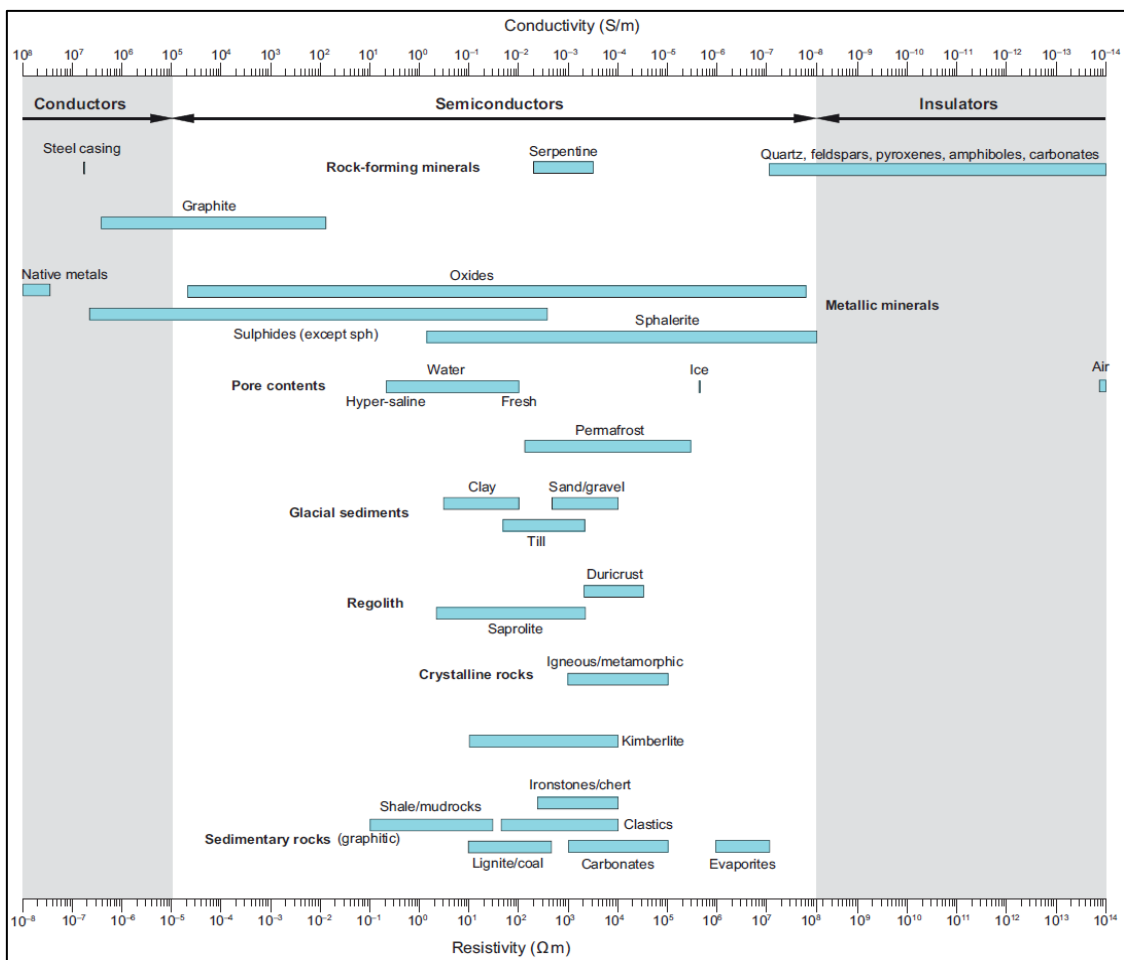
Material	Resistividad (Ohm.m)
Agua de mar	0,2
Compuestos químicos	
Hierro	9,074x10 <sup>-8</sup>
Cloruro potásico 0,01M	0,708
Cloruro sódico 0,01M	0,843
Ácido acético 0,01 M	6,13
Xyleno	6,998 x10 <sup>16</sup>

Fuente: Loke, 1996; Ravelo, 2007

También es importante mencionar que los factores geológicos pueden hacer subir y bajar la resistividad de las rocas y/o materiales presentes en la zona de estudio (Figura 5.6 y Figura 5.7).

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

Figura 5.6. Factores geológicos que incrementan o disminuyen la resistividad



**Figura 5.7.** Resistividad y conductividad característica de distintos materiales  
Fuente: Dentith y Mudge (2014)

#### 5.1.4. Aire

##### 5.1.4.1. Guías utilizadas para la evaluación

Para la colecta del material particulado sedimentable (polvo sedimentable) se tuvo en cuenta las consideraciones establecidas en el «Método de prueba estándar para recolección y medición de la caída de polvo (material particulado sedimentable) - 2010»<sup>9</sup>, de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés), donde se desarrollan pautas para la colecta incluyendo la confección de los sistemas receptores.

Por un periodo de  $30 \pm 2$  días, se colocaron 3 o 2 colectores por transecto (a 5 m, 15 m y 60 m); estos transectos fueron perpendiculares a las fuentes generadoras de material particulados.

##### 5.1.4.2. Ubicación de puntos de muestreo

En la comunidad de Quiulacocho y en zonas aledañas al PAM Quiulacocho se establecieron 5 transectos e instalaron 13 sistemas receptores de material particulado sedimentable. En

<sup>9</sup> Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (*American Society for Testing and Materials*) - 2010



la Tabla 5.15 se presenta los puntos de muestreo, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.15.** Transectos y puntos de muestreo de colecta de material particulado sedimentable

N.º	Transectos	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Descripción
			Este (m)	Norte (m)	
1	PS-1	PS-1-5	0359145	8816887	En este transecto se ubicaron tres puntos a 5, 15 y 60 m aproximadamente del margen izquierdo de la carretera, en la comunidad de Quiulacocha
		PS-1-15	0359130	8816873	
		PS-1-30	0359091	8816831	
2	PS-4	PS-4-5	0359274	8816749	En este transecto se ubicaron tres puntos a 5, 15 y 60 m aproximadamente del margen izquierdo de la carretera, en la comunidad de Quiulacocha
		PS-4-15	0359262	8816738	
		PS-4-60	0359218	8816698	
3	PS-7	PS-7-5	0360352	8816754	En este transecto se ubicaron dos puntos a 5 y 15 m del depósito de relaves Quiulacocha, en el barrio de Champamarca
		PS-7-15	0360360	8816740	
4	PS-10	PS-10-5	0360653	8817123	En este transecto se ubicaron dos puntos a 5 y 15 m del depósito de relaves Quiulacocha, en el barrio de Champamarca
		PS-10-15	0360665	8817121	
5	PS-13	PS-13-5	0360829	8817347	En este transecto se ubicaron dos puntos a 5 y 15 m del depósito de relaves Quiulacocha, en el barrio de Champamarca
		PS-13-15	0360843	8817339	
		PS-13-60	0360895	8817309	

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

Fuente: Reportes de campo N.º RC-038-2020-STEC (Anexo 3)

Los sistemas receptores de polvo sedimentable se distribuyeron principalmente a 3 diferentes distancias perpendiculares al depósito de relaves Quiulacocha aproximadamente a 5 m, 15 m y 60 m; así como, la misma distancia desde la carretera de la Avenida El Minero.

#### 5.1.4.3. Parámetros y métodos de análisis

El parámetro evaluado fue material particulado sedimentable con una unidad de medida  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$  y su método de análisis fue el gravimétrico, el cual fue realizado en un laboratorio acreditado por Inacal. Además, se realizó un análisis de caracterización (metales totales) del material particulado sedimentable en  $\text{mg}/\text{kg}$ .

#### 5.1.4.4. Equipos y herramientas utilizadas

Los equipos y herramientas utilizadas para la colecta del material particulado sedimentable se utilizó receptores de PVC teniendo en consideración las recomendaciones de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). Los equipos y herramientas utilizados adicionalmente se detallan en el reporte de campo N.º RC-038-2020-STEC (Anexo 3).

#### 5.1.4.5. Procesamiento de datos

Para determinar diferencias del peso colectado de polvo sedimentable entre los tratamientos (2 transectos, 3 distancias perpendiculares al PAM Quiulacocha) se empleó el análisis de varianza (ANOVA) de un factor; y para distinguir grupos de contraste se empleó el estadístico Tukey ( $p < 0,05$ ), mediante el uso del programa estadístico IBM SPSS Ver 20.



#### 5.1.4.6. Criterios de evaluación

Los resultados obtenidos de polvo sedimentable fueron comparados referencialmente según el criterio de deposición de polvo para zonas rurales de la New South Wales (NSW) de la EPA Australia (2016) de 0,4 mg/cm<sup>2</sup>/mes.

#### 5.2. Objetivo específico 2: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas aledañas al PAM Quiulacocha hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo.

Se realizó la caracterización geológica y litogeoquímica en el ámbito del PAM Quiulacocha para determinar las zonas mineralizadas y alteradas con presencia de drenaje ácido de roca y liberación de elementos metálicos y no metálicos hacia el agua superficial (canal margen derecha, canal margen izquierda y río Ragra), agua subterránea y suelo.

##### 5.2.1. Caracterización geológica y litogeoquímica

La caracterización geológica (mapeo geológico) consistió en la descripción litológica, estructural, alteraciones y mineralización en afloramientos rocosos y depósitos cuaternarios.

Las referencias de la geología regional corresponden al cuadrángulo de Cerro de Pasco - 22k, realizado por Cobbing *et al.*, (1996) y que formó parte de la carta geológica nacional (CGN) a escala 1:100 000 del Ingemmet. Asimismo, se consideró las actualizaciones a escala 1:50 000 de los cuadrantes 22k-4 realizado por Rodríguez (2000) y Rodríguez *et al.* (2011). La referencia local corresponde a los estudios realizados por el administrado, complementado con el cartografiado realizado por el OEFA en el presente estudio.

##### 5.2.1.1. Guías utilizadas para la caracterización

En la Tabla 5.16 se detalla la guía metodológica para la caracterización geológica y litogeoquímica

**Tabla 5.16.** 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	Todas	Perú	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet)	2016
<i>Basic Geological Mapping</i>	Todas	Reino Unido	Richard J. Lisle, Peter Brabham, y John Barnes	2011
<i>Geological field techniques</i>	Todas	Reino Unido	Angela L. Coe, Tom W. Argles, David A. Rothery y Robert A. Spicer	2010
FGDC <i>Digital Cartographic Standard for Geological Map Symbolization</i>	Todas	Estados Unidos	Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, en inglés <i>United States Geological Survey</i> )	2006
<i>Geological Structures and Maps</i>	Todas	Reino Unido	Richard J. Lisle	2004
Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos	Todas	Colombia	Servicio Geológico Colombiano (Ingeominas)	2001
Caracterización litogeoquímica				
Manual de inventario de recursos minerales	Todas	Perú	Dirección de Recursos Minerales y Energéticos - Ingemmet	2013





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

Referencia	Sección	País	Institución/autor	Año
<i>Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials</i>	Todas	Canadá	CANMET- <i>Mining and Mineral Sciences Laboratories</i>	2009
Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto	Todas	Chile	Angel Lambert B.	2006
Introducción al muestreo minero	Todas	Chile	Marco Antonio Alfaro Sironvalle	2002

### 5.2.1.2. Ubicación de zonas de caracterización

En la Tabla 5.17 se presenta la ubicación de las zonas de caracterización geológica y litogeoquímica, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.17.** Ubicación de las zonas de caracterización geológica y litogeoquímica

N.º	Código de punto de caracterización geológica	Coordenadas UTM WGS84 – Zona 18L		Altitud (m. s. n. m.)	Muestra de roca	Descripción
		Este (m)	Norte (m)			
1	CG-QUI0	360839	8817265	4288	---	Ubicado en el borde este del PAM depósito de relaves Quiulacocha, aproximadamente a 140 m al norte del grifo Piedras Gordas
2	CG-QUI1	359145	8816333	4286	1	Ubicado al sur del centro poblado Quiulacocha, aproximadamente a 330 m al este del cementerio Quiulacocha
3	CG-QUI2	359511	8816397	4276	1	Ubicado en el bordesur del PAM depósito de relaves Quiulacocha, aproximadamente a 70 m al sur del dique enrocado Quiulacocha
4	CG-QUI3	360499	8817990	4280	1	Ubicado en el borde norte del PAM depósito de relaves Quiulacocha, aproximadamente a 150 m al suroeste del piezómetro HG-04 de Activos Mineros S.A.C.
5	CG-QUI4	360636	8816893	4294	1	Ubicado en el borde este del PAM depósito de relaves Quiulacocha, aproximadamente a 280 m al suroeste del grifo Piedras Gordas
6	CG-QUI5	359050	8816838	4266	1	Ubicado al norte del centro poblado Quiulacocha, aproximadamente a 10 m al noreste del estadio Quiulacocha
7	CG-QUI6	359053	8816908	4255	1	Ubicado en la margen izquierda del río Ragra, aproximadamente a 190 m al oeste del dique enrocado Quiulacocha
8	CG-QUI7	358530	8816196	4281	1	Ubicado al sur del centro poblado Quiulacocha, aproximadamente a 200 m al sureste del centro educativo Nido de Amor
9	CG-QUI8	358675	8816134	4293	1	Ubicado al sur del centro poblado Quiulacocha, aproximadamente a 270 m al suroeste del cementerio Quiulacocha
10	CG-QUI9	359759	8817208	4296	---	Ubicado en la margen derecha del canal Ragra, aproximadamente a 240 m de la estación de recirculación de Activos Mineros S.A.C.

Fuente: Reporte de campo RC-051-2020-STEC (Anexo 5)

- La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

(X): Punto sin muestra de roca; (---): Punto sin muestra de roca



Los puntos de caracterización geológica donde se tomó muestra de roca, el código del punto de muestreo de roca presenta el prefijo «RC-» añadido sobre el código del punto de caracterización geológica.

### 5.2.1.3. Parámetros y métodos de análisis

En las Tablas 5.18 y 5.19 se presentan los parámetros evaluados en cada punto de muestreo y los métodos de análisis de cada parámetro, respectivamente.

**Tabla 5.18.** Parámetros evaluados en cada punto de caracterización litogeoquímica

Código OEFA	Parámetro						
	Metales totales y mercurio	Prueba ABA	Shake Flask metales	Shake Flask aniones	Tessier	Análisis mineralógico por petromineraografía	Análisis mineralógico por DRX
CG-QUI0	---	---	---	---	---	---	---
CG-QUI1	X	---	---	---	---	X	---
CG-QUI2	X	X	X	X	X	---	X
CG-QUI3	X	---	---	---	---	---	---
CG-QUI4*	X	---	---	---	---	---	---
CG-QUI5	X	---	---	---	---	---	---
CG-QUI6	X	X	X	X	X	---	X
CG-QUI7	X	---	---	---	---	X	---
CG-QUI8	X	---	---	---	---	---	---
CG-QUI9	---	---	---	---	---	---	---
Total	9	2	2	2	2	2	2

(---): Parámetros no considerados para este punto

(X): Parámetros considerados para este punto

(\*): Presenta muestra duplicada codificado como RC-DUP1

**Tabla 5.19.** 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	Azufre total	%	ASTM E1915-97. Azufre Total por Combustion mediante horno Leco y espectroscopia infrarroja
	Grado de Efervescencia	-	
	pH en Pasta	Unidades pH	
	Potencial de Acidez Máximo	t CaCO <sub>3</sub> /1000t	
	Potencial de Neutralización Neto	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	
	Potencial de Neutralización	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials - MEND Report 1.20.1, Chapter 13, Item 13.3.3, December 2009
	Relación NP/MPA	-	
3	Shake Flask metales	mg/L	Extracto SFE Leaching y drainage (1997) /EPA METHOD 6020 B Rev02, 2014
4	Shake Flask aniones	mg/L	Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials
5	Tessier	mg/kg	EPA 6020 B Rev. 2. July 2014
6	Análisis mineralógico por microscopía óptica (petromineraografía)	%	NA
7	Análisis mineralógico por DRX	%	NA

Fuente: Anexo de reporte de resultados N.º RRE-037-2020-STEC (Anexo 10).

(PS): Peso seco. (NA): No aplica. (-): Sin unidad



#### 5.2.1.4. Equipos y herramientas utilizadas

Los equipos utilizados para la evaluación ambiental se presentan en el reporte de campo N.º RC-051-2020-STEC (Anexo 5).

#### 5.2.1.5. Aseguramiento de la calidad

##### a. Caracterización geológica

Las descripciones mineralógicas y litológicas fueron comparadas con los resultados de los análisis mineralógicos por difracción de rayos X y microscopía óptica (petrominerografía).

##### b. Caracterización litogeoquímica

El control de calidad de los resultados de metales en roca se realizó mediante la muestra duplicada<sup>10</sup>. La cantidad de muestras duplicadas corresponde al 10 % del total de muestras.

El porcentaje de diferencia relativa (PDR) se calculó usando la ecuación 5.3:

$$PDR = \frac{\mu_i - STD_i}{STD_i} \times 100 \quad (5.3)$$

Dónde:  $\mu_i$  = valor medio del elemento  $i$  en el estándar de varias corridas analíticas  
 $STD_i$  = Valor conocido de la referencia

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

#### 5.2.1.6. Criterios de evaluación

##### a. Caracterización geológica

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, mantos y vetas). Estos datos fueron plasmados sobre un mapa topográfico a escala 1:10 000, obteniendo un mapa geológico de campo.

Los puntos de caracterización geológica y el mapa de campo fueron georreferenciados y digitalizados en el software ArcGIS 10.3, 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.

##### b. Caracterización litogeoquímica

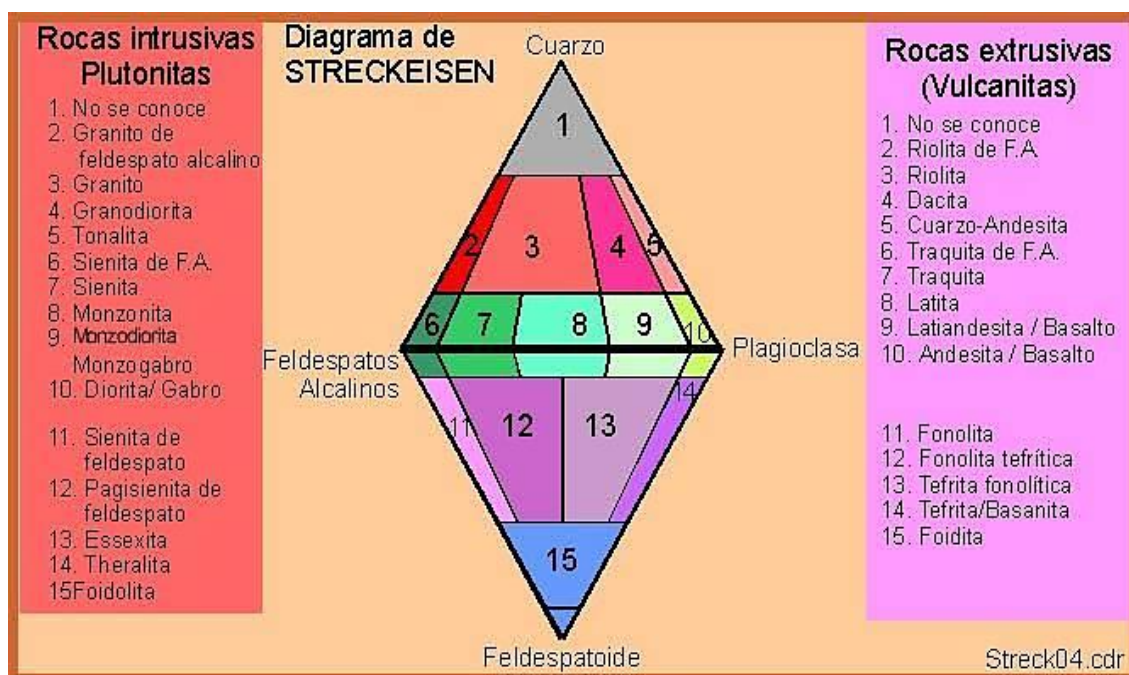
El análisis de datos geoquímicos y mineralógicos se realizó en función a las unidades geológicas identificadas en la caracterización geológica, y consistió en la descripción de la composición litológica, mineralógica y el análisis del contenido de metales totales, además fue complementada con la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para determinar el potencial de generación de ácidos, pruebas de SFE (*shake flask extraction*) para determinar

<sup>10</sup> 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.

la movilidad de metales y aniones, y pruebas de Tessier para determinar elementos biodisponibles presentes en las formaciones geológicas hacia el medio.

Adicionalmente, los elementos mayores y trazas fueron analizados mediante diagramas de concentración y dispersión de metales, y comparados referencialmente con los valores de corteza continental propuesto por Wedepohl (1994 y 1995).

La clasificación de las rocas volcánicas e intrusivas se realizó en los diagramas ternarios de Streckeisen (conocido también como QAPF), que se basa en el contenido de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y feldespatoideos, identificados en el análisis de microscopía óptica (Figura 5.8).



**Figura 5.8.** Diagrama de Streckeisen de clasificación de rocas ígneas

### 5.3. Objetivo específico 3: Determinar la influencia de los elementos de interés provenientes del PAM Quiulacocha y otras fuentes, en la calidad del agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea, suelo y tejido vegetal

Se realizó la evaluación de agua superficial y agua subterránea, suelo, la caracterización de tejido vegetal de pastos altoandinos y evaluación multiespectral en el ámbito del PAM Quiulacocha para determinar la influencia de los elementos de interés en estas matrices ambientales.

#### 5.3.1. Agua superficial y subterránea

##### 5.3.1.1. Guías utilizadas para la evaluación

En la Tabla 5.20 se presenta las guías de referencia para la toma de muestras de agua superficial y subterránea.



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

**Tabla 5.20.** Protocolos o guías utilizadas para el muestreo

Matriz	Referencia	País	Institución	Año	Sección
Agua superficial	Protocolo Nacional para el Muestreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales	Perú	Autoridad Nacional del Agua (ANA)	2016	Capítulo 6
	Manual de hidrometría	Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi)	2016	Manual completo
	Guía de prácticas hidrológicas (OMM No.168)	Países que integran la OMM	Organización Meteorológica Mundial (OMM)	2004	Capítulo 11
Agua subterránea	Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados muestreo de aguas subterráneas	Perú	Ministerio del Ambiente	2016	Parte 2

### 5.3.1.2. Ubicación de puntos de muestreo

En la Tabla 5.21 y Tabla 5.22 se detallan los puntos de muestreo de agua superficial y subterránea, respectivamente, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.21.** Ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial

N.º	Nombre cuerpo receptor	Código del punto de muestreo	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Agosto 2020	Setiembre 2020	Este (m)	Norte (m)		
1	Canal margen derecha	RRagr-1	x	x	359195	8816930	4250	Punto ubicado en el canal margen derecha, debajo del PAM depósito de relaves Quiulacocha, y aproximadamente a 100 m antes de la confluencia con el canal de la margen izquierda
2		RRagr-A	---	x	8817097	359315	4256	Canal margen derecha a 140 m aguas arriba de la estación de bombeo ubicado en el dique del PAM depósito de relaves Quiulacocha
3	Canal margen izquierda	SJ-9	x	---	359527	8816458	4272	Punto ubicado en el canal margen izquierda, a la altura del punto estación de control 215-2 de Activos Mineros SAC.
4		RRagr-2*	x	---	359173	8816898	4256	Punto ubicado en el canal margen izquierda, aproximadamente a 80 m antes de la confluencia con el canal de la margen derecha
5	Río Ragra	SJ-48	x	---	358828	8816961	4239	Punto ubicado en el río Ragra aproximadamente a 250 m aguas abajo de la unión de los canales izquierdo y derecho

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m  
(---): No se colectó muestra

**Tabla 5.22.** Ubicación de los puntos de muestreo de agua subterránea

N.º	Puntos de muestreo	Agosto 2020	Setiembre 2020	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
				Norte	Este		
Agua subterránea (piezómetros)							
1	P18 / PZ18	x	x	8816929	359238	4251	Piezómetro ubicado aguas abajo del dique del PAM depósito de relaves Quiulacocha
2	P4A / PZ-4A	x	x	8816517	359476	4265	Piezómetro ubicado sobre el dique del PAM depósito de relaves Quiulacocha en la zona este próximo a la carretera
3	P19 / PZ-19	x	x	8817089	359359	4270	Piezómetro ubicado sobre el dique del PAM depósito de relaves Quiulacocha en la zona oeste
4	P13	x	---	8817202	360787	4287	Piezómetro ubicado al este de la parte alta del PAM depósito de relaves Quiulacocha
5	NN1	x	x	8817026	359958	4279	Piezómetro ubicado en la parte central del depósito de relave Quiulacocha
6	PZ-9	---	x	8816890	359294	4259	Piezómetro ubicado en el dique del PAM depósito de relaves Quiulacocha a 5 m de la estación
7	NN2	---	x	8817257	359990	4271	Piezómetro ubicado en la parte oeste del PAM depósito de relaves Quiulacocha y a 250 m al Norte del punto NN1
Agua subterránea (manantiales)							
1	FCab1	---	x	8816702	360497	4298	Manantial ubicado en la zona de Casa Blanca
2	FQui1	---	x	8817346	361936	4350	Manantial ubicado en el poblado Quiulacocha 2, a 30 m de la carretera

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

(---): No se colectó muestra

### 5.3.1.3. Parámetros y métodos de análisis

Para la evaluación de calidad de agua superficial y subterránea, se priorizaron los parámetros relacionados con las actividades de explotación o beneficio de yacimientos mineros, así como los que están contemplados en las categorías correspondientes a los cuerpos de agua ubicados en el área de influencia de AMSAC; además, se consideraron parámetros adicionales que permitieron la interpretación de los resultados. La Tabla 5.23 y Tabla 5.24 presenta los parámetros que se evaluaron en agua superficial, agua subterránea y manantiales, así como la metodología usada para su análisis por el laboratorio acreditado por el Inacal.

Es importante señalar que, en los puntos de muestreo se midieron los parámetros de campo temperatura, potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, óxido-reducción y caudal.

**Tabla 5.23.** Parámetros y metodologías para agua superficial

Parámetros	Metodología	Descripción
Metales totales por ICP-MS + mercurio (Hg)**	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente
Metales disueltos por ICP-MS + mercurio (Hg)**	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente
Cianuro WAD*	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> I, E, 22nd Ed. 2012	Ácido débil de cianuro disociable

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

Parámetros	Metodología	Descripción
Sulfatos**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado). 2015	Cromatografía iónica
Fluoruros**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado).2015	Cromatografía iónica
Cloruros**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado). 2015	Cromatografía iónica
Carbonatos**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22nd Ed. 2012 y 23rd Ed. 2017	Método de titulación
Bicarbonatos**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22nd Ed. 2012 y 23rd Ed. 2017	Método de titulación
Acidez**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2310 B, 22nd Ed. 2012	Método de titulación
Nitritos**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado)3v 2015	Cromatografía iónica
Nitratos*	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado). 2015	Cromatografía iónica
Sólidos totales suspendidos (STS)**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012	Sólidos totales suspendidos secados a 103-105 ° C

Fuente: Reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC (Anexos 9 y 10)

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, SMEWW: Estándar Métodos para la Examinación de Agua y Agua Residuales, APHA-AWA-WEF: Asociación Americana de Trabajos en Agua – Salud Pública Americana – Federación Ambiental.

(\*) Parámetros analizados solo en el primer muestreo del mes de agosto

(\*\*) Parámetro analizado en ambos muestreos del mes de agosto y setiembre

**Tabla 5.24.** Parámetros evaluados y métodos de análisis de calidad de agua subterránea

Parámetros	Metodología	Descripción
Metales totales por ICP-MS + mercurio (Hg)**	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente
Metales disueltos por ICP-MS + mercurio (Hg)**	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente
Sulfatos**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado). 2015	Cromatografía iónica
Fluoruros**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado).2015	Cromatografía iónica
Cloruros**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado). 2015	Cromatografía iónica
Carbonatos**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22nd Ed. 2012 y 23rd Ed. 2017	Método de titulación
Bicarbonatos**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 22nd Ed. 2012 y 23rd Ed. 2017	Método de titulación
Acidez**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2310 B, 22nd Ed. 2012	Método de titulación
Nitritos**	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado)3v 2015	Cromatografía iónica
Nitratos*	EPA METHOD 300.1 Rev. 1, 1997 (Validado). 2015	Cromatografía iónica
Sólidos totales suspendidos (STS)**	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22nd Ed. 2012	Sólidos totales suspendidos secados a 103-105 ° C

Fuente: Reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC (Anexos 9 y 10)

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, SMEWW: Estándar Métodos para la Examinación de Agua y Agua Residuales, APHA-AWA-WEF: Asociación Americana de Trabajos en Agua-Salud Pública Americana-Federación Ambiental.

#### 5.3.1.4. Equipos y herramientas utilizadas

Los equipos utilizados, los certificados de calibración, los registros de verificación y las herramientas para la evaluación ambiental se muestran en los reportes de campo de los reportes de campo N.º RC-038-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 3 y 5).



### 5.3.1.5. Aseguramiento de la calidad

Para garantizar la representatividad de los resultados, se realizó como aseguramiento de la calidad una muestra duplicada por cada 10 muestra, un blanco viajero, un blanco de campo, un blanco de equipo y un blanco de materiales.

### 5.3.1.6. Procesamiento de datos

Los resultados obtenidos fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (hojas de cálculo), para luego ser comparados con las normativas correspondientes. Asimismo, los resultados de iones y cationes se utilizaron para realizar la evaluación hidroquímica. La metodología de la hidroquímica se encuentra detallada en el *ítem* 5.1.2.6 del presente estudio.

### Análisis multivariados

Los análisis multivariados se realizaron con la finalidad de entender mejor los resultados de la calidad del agua subterránea y para determinar las interrelaciones entre los parámetros y los sitios de muestreo.

- **Análisis de conglomerados (cluster) y escalamiento multidimensional no métrico (nMDS)**

El análisis de conglomerados se realizó para determinar el agrupamiento jerárquico de los puntos de muestreo, según el grado de similitud en las concentraciones de los parámetros evaluados, dando como resultado un dendograma. Por otro lado, se utilizó la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), que da como producto un diagrama que resume espacialmente el grado de similitud en parámetros ambientales entre los puntos evaluados. Previamente, las variables ambientales fueron normalizadas y luego ordenadas en una matriz de similaridad basada en la distancia euclidiana.

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

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), sobre las variables ambientales de los componentes de agua subterránea, para encontrar patrones en el agrupamiento. Previamente al análisis se realizó una selección de los metales totales y parámetros fisicoquímicos cumpliendo las siguientes etapas: (i) retirar los parámetros que no fueron medidos en todos los puntos de muestreo, (ii) retirar los parámetros que tuvieron todos los valores por debajo del límite de cuantificación (LCC), (iii) retirar los parámetros con más del 40 % de los valores por debajo del LCC.

Para este análisis se tomaron en cuenta los puntos de agua subterránea (piezómetros y manantiales) evaluados en agosto y setiembre, considerando 5 puntos de muestreo para agosto y 8 para setiembre. Se analizaron los parámetros tomados en campo (pH y conductividad eléctrica), así como sulfatos metales totales y disueltos. Para facilitar el análisis de estos parámetros se emplearon las abreviaciones descritas en la Tabla 5.25.



**Tabla 5.25.** Abreviaciones de los parámetros de agua subterránea empleados en el análisis de componentes principales (PCA)

Tipo	Parámetros
Agua subterránea	
En campo ( <i>in situ</i> )	Conductividad eléctrica [Cond]
Fisicoquímicos	Sulfatos [SO <sub>4</sub> -2]
Metales totales y disueltos*	Aluminio [Al], arsénico [As], bario [Ba], boro [B], cadmio [Cd], calcio [Ca], cobalto [Co], cobre [Cu], estroncio [Sr], hierro [Fe], magnesio [Mg], manganeso [Mn], níquel [Ni], plomo [Pb], potasio [K], selenio [Se], sodio [Na] y zinc [Zn]

\*Se agregó la terminación «T» para metales totales y «D» para metales disueltos

Cabe precisar que, se consideró en la evaluación los resultados del punto SJ-46 (agua residual industrial), el cual colecta las aguas de filtración del PAM Quiulacocha, para evaluar un posible agrupamiento entre este punto y algún piezómetro.

Asimismo, se realizó una correlación de Sperman para identificar aquellas variables que presentaron una longitud de vector igual o mayor a 0,5. Previamente, las variables ambientales fueron normalizadas y luego ordenadas en una matriz de similaridad basada en la distancia euclidiana. Todos los análisis fueron realizados con el software PRIMER 6 + PERMANOVA (software package from Plymouth Marine Laboratory, UK) (Clarke y Warwick, 2001; Anderson *et al.*, 2008).

### 5.3.1.7. Criterios de evaluación

En agua superficial y agua subterránea, los resultados obtenidos del muestreo fueron comparados referencialmente con los ECA para Agua, categoría 3, subcategoría D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo y subcategoría D2: Bebida de animales, según Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

### 5.3.2. Sedimento

La metodología utilizada para el muestreo de sedimentos se consideró 2 puntos de muestreo, asociados a cuerpos de agua que se encuentran en el área de influencia del PAM Quiulacocha contempla la ubicación de puntos de muestreo, los parámetros, los métodos de análisis, los equipos, el aseguramiento de la calidad, la toma de muestra, los criterios de comparación y el análisis de datos; estos procedimientos se detallan en los siguientes ítems.

#### 5.3.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

Debido a que actualmente no se cuenta con un protocolo nacional aprobado para la toma de muestras de sedimento se utilizó, a modo referencial, el manual técnico Métodos para colección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos de la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (*Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual*, 2001).

Este documento da a conocer consideraciones generales en el diseño de muestreos para sedimento, equipos/herramientas de campo y laboratorio, pautas de seguridad, procedimientos de almacenamiento y transporte de muestras, además de asuntos comunes a la manipulación de muestras para análisis químicos y toxicológicos. También, se tomaron



en cuenta las recomendaciones de los laboratorios donde se analizó las muestras, para la colecta, preservación, conservación y transporte de las muestras.

### 5.3.2.2. Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de sedimentos para la evaluación ambiental del PAM Quiulacocha se ubicaron en los mismos puntos de muestreo de calidad de agua superficial (Tabla 5.26), y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.26.** Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos

N.º	Nombre cuerpo de agua	Código	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Canal margen derecha	RRagr-1	359195	8816930	4250	Punto ubicado en el canal margen derecha, debajo del PAM depósito de relaves Quiulacocha, y aproximadamente a 100 m antes de la confluencia con el canal de la margen izquierda
2	Río Ragra	SJ-48	358828	8816961	4239	Punto ubicado en el río Ragra aproximadamente a 250 m aguas abajo de la unión de los canales izquierdo y derecho

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

### 5.3.2.3. Parámetros y métodos de análisis

En la matriz sedimento se contempló el parámetro metales totales (incluido el mercurio). En la Tabla 5.27 se presentan los parámetros y métodos de análisis.

**Tabla 5.27.** Parámetros y métodos de análisis

Parámetros	Métodos de análisis	Descripción
Metales totales	EPA 3050 B: 1996 / EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sediments, sludges and soils / Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Mercurio total	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)
Análisis Granulométrico	AS TMD422-63 (Reapproved 2007)	Particle-size analysis of soils

### 5.3.2.4. Parámetros y métodos de análisis

Los equipos y las herramientas utilizados para la evaluación ambiental de sedimento se muestran en el reporte de campo N.º RC-038-2020-STEC (Anexo 3).

### 5.3.2.5. Procesamiento de datos

Los resultados fueron comparados referencialmente con las *Sediment Quality Guidelines* (SQG), de la *Canadian Environmental Quality Guidelines* (CEQG) del *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME). Esta guía presenta un estándar científico para observar efectos biológicos adversos en sistemas acuáticos, para ello establece dos tipos de valores y un rango: (i) ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines*), que corresponde al límite por debajo del cual ocurre rara vez efectos biológicos adversos sobre los ecosistemas acuáticos, (ii) PEL (*Probable Effect Level*), que corresponde al límite por encima del cual ocurre frecuentemente efectos biológicos adversos sobre los ecosistemas acuáticos, y (iii) al valor que se encuentra entre los valores ISQG y PEL, corresponde al rango de efecto



posible dentro del cual ocurre ocasionalmente efectos biológicos adversos sobre los ecosistemas acuáticos.

Los resultados de los parámetros evaluados fueron digitalizados y ordenados en una base de datos (Excel), los que fueron comparados con los valores ISQG y PEL de la guía descrita.

### 5.3.3. Comunidades Hidrobiológicas

La metodología utilizada para el muestreo de comunidades hidrobiológicas (perifiton y bentos) en cuerpos de agua continentales contempla la ubicación de puntos de muestreo, los parámetros, los métodos de análisis, los equipos, el procesamiento de datos y los criterios de evaluación; estos procedimientos se detallan en los siguientes ítems.

#### 5.3.3.1. Guías utilizadas para la evaluación

La colecta de muestras de perifiton y macroinvertebrados bentónicos se realizó siguiendo la metodología estandarizada según la publicación «Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: perifiton, bentos (macroinvertebrados bentónicos) y necton (peces) en aguas continentales del Perú», donde se describen los criterios técnicos y los lineamientos generales, Tabla 5.28.

**Tabla 5.28.** Guía de referencia para el muestreo de comunidades hidrobiológicas

Guía de referencia	Autoridad emisora	País	Año	Sección
Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú	Ministerio del Ambiente (Minam)	Perú	2015	4.1.2 Técnicas de colecta – perifiton 5.1.2 Métodos de recolección cualitativos – bentos (macroinvertebrados)
Protocolo Simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S)	Universidad San Francisco de Quito y Universidad de Barcelona	Ecuador	2011	2. La ribera y el canal fluvial 3. Calidad biológica 4. Calidad ecológica

#### 5.3.3.2. Ubicación de puntos de muestreo

Se evaluó un total de 2 puntos de muestreo para el estudio de las comunidades hidrobiológicas. Los puntos de muestreo fueron designados en relación con los puntos de muestreo de agua superficial y sedimentos; teniendo en cuenta las condiciones de accesibilidad, importancia de uso, caudal del río y disponibilidad de mesohábitats.

En la Tabla 5.29 se presentan los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas, el mapa de ubicación de estos puntos se encuentra en el Anexo 1.

**Tabla 5.29.** Ubicación de los puntos de muestreo de comunidades hidrobiológicas

N.º	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
1	RRagr-1	359195	8816930	4250	Punto ubicado en el canal derecho, debajo del PAM depósito de relave Quiulacocha, y aproximadamente a 100 m antes de la confluencia con el canal de la margen izquierda
2	SJ-48	358828	8816961	4239	Punto ubicado en el río Ragra aproximadamente a 250 m aguas abajo de la unión de los canales izquierdo y derecho

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m



### 5.3.3.3. Parámetros y métodos de análisis

En la Tabla 5.30 se detallan las comunidades hidrobiológicas evaluadas, los métodos de análisis y técnicas empleadas.

**Tabla 5.30.** Parámetros y metodologías de análisis para las comunidades hidrobiológicas

N.º	Parámetros	Método de ensayo de referencia	Técnica Empleada	Laboratorio
1	Macroinvertebrados bentónicos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 10500 C. (partes 1 y 2). 23rd. Ed. 2017	Identificación taxonómica y análisis cuantitativo	OEFA*
2	Perifiton	SMEWW 10300 C (partes 1 y 2). 23rd. Ed. 2017		

\* Las muestras fueron evaluadas por especialistas taxónomos de la Dirección de Evaluación Ambiental del OEFA

### 5.3.3.4. Equipos utilizados

Para la evaluación se utilizó equipos y herramientas como: GPS (sistema de posicionamiento global), red surber y otros materiales los cuales se detallan en el reporte de campo N.º RC-038-2020-STEC.

### 5.3.3.5. Aseguramiento de la Calidad

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

### 5.3.3.6. Procesamiento de datos

En esta sección se describe los análisis realizados para las comunidades hidrobiológicas de composición, riqueza, abundancia e índices de diversidad alfa, en base a los reportes de identificación taxonómica; asimismo, se describen los indicadores biológicos de referencia para calidad de agua. Por último, se presentan los análisis estadísticos para determinar asociaciones y/o cambios específicos en los taxones de las comunidades hidrobiológicas.

#### a. Composición, riqueza y abundancia

La clasificación taxonómica (phylum, clase, orden, familia y especie) de las comunidades hidrobiológicas del perifiton, macroinvertebrados bentónicos y peces reportados en la evaluación se presenta en el reporte de resultados N.º RRE-034-2020-STEC (Anexo 9).

La evaluación de la riqueza y la densidad de perifiton, macroinvertebrados bentónicos se desarrollaron sobre la base de las categorías taxonómicas «phylum», «orden» y «especie» respectivamente. Es necesario indicar, que los resultados de la abundancia de macroinvertebrados bentónicos se analizaron con base en la abundancia total, representándose los resultados en individuos/0,27 m<sup>2</sup>, cabe indicar que se colectaron en un muestreo compuesto de 3 submuestras de los hábitats más dominantes. Por otro lado, la abundancia del perifiton se representó en organismos/cm<sup>2</sup>. Para evaluar la riqueza y abundancia de cada comunidad hidrobiológica se utilizó el programa Excel donde se sistematizó los nombres y números de cada especie por cada punto de muestreo, posteriormente se realizó las representaciones mediante gráficas acumuladas.



## b. Diversidad alfa

Para la evaluación de diversidad de especies (diversidad alfa) se utilizó 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). Se calculó los índices en base en el número de especies registrado en cada punto de muestreo y para cada comunidad hidrobiológica.

Adicionalmente, se utilizaron los siguientes índices ecológicos: el índice de Shannon-Wiener, que expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, midiendo el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo seleccionado al azar de una colección (Moreno, 2001).

Por último, el índice de dominancia de Simpson que es uno de los parámetros que nos permiten medir la diversidad de organismos. Este índice es inverso al concepto de equidad de la comunidad, ya que toma en cuenta las especies con mayor importancia sin considerar al resto de especies, siendo menos sensible con la riqueza de especies (Krebs, 1978; Magurran, 1988). El índice de Simpson representa la probabilidad de que 2 individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie.

## 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, donde la calidad biológica fue determinada utilizando el índice biótico andino (ABI).

### Calidad hidromorfológica

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

- i. Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
- ii. Continuidad de la ribera
- iii. Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje
- iv. Presencia de basuras y escombros
- v. Naturalidad del canal fluvial
- vi. Composición del sustrato
- vii. Regímenes de velocidad y profundidad del río
- viii. Elementos de heterogeneidad

El criterio de elección del puntaje para cada característica se detalla en el reporte de campo campo N.º RC-038-2020-STEC (Anexo 3). 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 escala presentada en la Tabla 5.31.

**Tabla 5.31.** 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. En la Tabla 5.32 se presenta los puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos para la obtención del índice ABI.

**Tabla 5.32.** Puntajes de sensibilidad asignadas a las familias de macroinvertebrados bentónicos

Orden / Clase	Familia	Puntaje	Orden / Clase	Familia	Puntaje
Turbellaria	*	5	Trichoptera	Polycentropodidae	8
Hirudinea	*	3		Xiphocentronidae	8
Oligochaeta	*	1		Glossosomatidae	7
Gasteropoda	Ancylidae	6		Limnephilidae	7
	Hydrobiidae	3		Hydroptilidae	6
	Limnaeidae	3	Hydropsychidae	5	
	Physidae	3	Lepidoptera	Pyrilidae	4
Planorbidae	3	Dryopidae		5	
Bivalvia	Sphaeriidae	3	Coleoptera	Elmidae	5
Amphipoda	Hyalaeiidae	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	*		

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

Fuente: Acosta *et al.* (2009)

Para obtener el respectivo valor de calidad biológica, los valores fueron comparados con la escala presentada en la Tabla 5.33.

**Tabla 5.33.** Valoración de la calidad biológica con el índice ABI

Puntuación	ABI	
>74	Excelente	Blue
45 – 74	Buena	Green
27 – 44	Moderada	Yellow
11 – 26	Mala	Orange
<11	Pésima	Red

Fuente: Acosta *et al.* (2009)

Se estimó también el grado de perturbación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos recategorizando las especies registradas a grupos bioindicadores, definidos referencialmente a partir de la clasificación de familias del índice ABI considerando 3 grupos: el primer grupo correspondió a las familias sensibles, que presentaron un alto nivel de sensibilidad que están en aguas limpias y bien oxigenadas según las categorías del ABI (entre 8 y 10). El segundo grupo correspondió a las especies que se agruparon dentro de familias facultativas, que según las condiciones pueden tener un grado intermedio de sensibilidad/tolerancia (entre 4 y 7). El tercer grupo correspondió a las especies que se agruparon dentro de familias tolerantes, que presentan un bajo nivel de sensibilidad (entre 1 y 3) que viven en ambientes alterados.

### Calidad ecológica

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. En la Tabla 5.34 se presenta la escala de calidad ecológica de un río.

**Tabla 5.34.** Escala de calidad ecológica de un río

Calidad ecológica		Calidad Biológica				
		Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
Calidad hidromorfológica	Excelente	Excelente	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Buena	Buena	Buena	Moderada	Mala	Pésima
	Moderada	Buena	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Mala	Moderada	Moderada	Moderada	Mala	Pésima
	Pésima	Moderada	Mala	Mala	Pésima	Pésima

Fuente: Encalada *et al.*, 2011.

### 5.3.4. Suelo

Para determinar el efecto de los contaminantes identificados en el componente PAM Quiulacocha sobre la calidad de suelo en áreas de potencial interés se ha seguido la siguiente metodología descrita en los siguientes ítems.

#### 5.3.4.1. Guías utilizadas para la evaluación

Las referencias de muestreos utilizados para la evaluación de suelo en áreas de potencial interés se detallan en la Tabla 5.35.

**Tabla 5.35.** Guías y documentos para el muestreo de suelo

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía para el Muestreo de Suelos	Todo el documento	Perú		R.M. N.º 085-2014-MINAM	2014

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

Referencia	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía para la Elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos	Sección 1. Fase de identificación	Perú	Ministerio del Ambiente – Minam	R.M. N.º 085-2014-MINAM	2014
Manual de Lineamientos y Procedimientos para la elaboración y evaluación de Informes de Identificación de Sitios Contaminados	Parte A del manual			Portal del MINAM	2015
Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente	Ítem 3.1 del Capítulo V			R.M. N.º 034-2015-MINAM	2015
Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados	Todo el documento			Decreto Supremo N.º 012-2017-MINAM	2017
Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor	Anexo N.º 4 del Decreto	Perú	Ministerio de Agricultura y Riego - Minagri	Decreto Supremo N.º 017-2009-AG	2009
Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos	Artículo 12 y Anexo único del Decreto			Decreto Supremo N.º 013-2010-AG	2010

**5.3.4.2. Ubicación de puntos de muestreo**

La Tabla 5.36 presenta los puntos para el muestreo de identificación en áreas de potencial interés (API) y nivel de fondo (NF), y en la Tabla 5.37 se presentan los puntos de ubicación de calicatas para la evaluación del perfil del suelo, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.36.** Ubicación de los puntos de muestreo de suelo

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
Puntos en el API CS-Q					
1	CS-Q-01	359240	8816830	4272	A 20 m aproximadamente desde la carretera, paralelo a la comunidad de Quiulacocha, lado este del dique del depósito de relaves Quiulacocha
2	CS-Q-02	359228	8816861	4272	A 45 m aproximadamente desde la carretera paralela de la comunidad de Quiulacocha, lado este del dique del depósito de relaves Quiulacocha
3	CS-Q-03	359215	8816893	4266	A 60 m aproximadamente desde la carretera paralela de la comunidad de Quiulacocha, lado este del dique del depósito de relaves Quiulacocha
4	CS-Q-04	359195	8816901	4273	A 30 m aproximadamente desde la carretera paralela de la comunidad de Quiulacocha, lado este del dique del depósito de relaves Quiulacocha
5	CS-Q-05	359229	8816940	4245	A 25 m aproximadamente noreste de la estación de bombeo de Activos Mineros S.A.C.
6	CS-Q-06	359255	8816992	4255	A 25 m aproximadamente sureste de la estación de bombeo de Activos Mineros S.A.C.
7	CS-Q-07	359285	8817026	4252	A 50 m sureste del dique del depósito de relaves Quiulacocha
8	CS-Q-08	359313	8817083	4232	A 120 m aproximadamente lado sur de la estación de bombeo
9	CS-Q-9	359198	8816917	4240	
10	CS-Q-10	359240	8816771	4259	
11	CS-Q-11	359193	8816739	4258	
12	CS-Q-12	359141	8816709	4261	



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

N.º	Punto de muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
13	CS-Q-13	359115	8816740	4261	Suelo ubicado a 20 m aproximadamente al oeste del dique principal del PAM depósito de relaves Quiulacocho
14	CS-Q-14	359082	8816778	4264	
15	CS-Q-15	359111	8816804	4257	
16	CS-Q-16	359133	8816864	4256	
17	CS-Q-17	359178	8816827	4252	
18	CS-Q-18	359155	8816774	4256	
19	CS-Q-19	359274	8817049	4253	
20	CS-Q-20	359249	8817068	4258	
21	CS-Q-21	359219	8817098	4260	
22	CS-Q-22	359242	8817006	4257	
23	CS-Q-23	359222	8817036	4259	
24	CS-Q-24	359188	8817063	4264	
25	CS-Q-25	359217	8816965	4256	
26	CS-Q-26	359191	8816991	4263	
27	CS-Q-27	359166	8817016	4262	
<b>Punto de nivel de fondo NFQ1</b>					
28	SQ-1	358488	8816221	4255	Suelo ubicado a 250 m aproximadamente al suroeste del cementerio del poblado de Quiulacocho
29	SQ-2	358490	8816086	4256	
30	SQ-3	358540	8815969	4256	
31	SQ-4	358638	8815841	4252	
32	SQ-5	358545	8815767	4245	
33	SQ-6	358467	8815896	4241	
34	SQ-7	358398	8816033	4242	
35	SQ-8	358373	8816217	4246	
36	SQ-9	358248	8816253	4234	
37	SQ-10	358250	8816125	4234	
38	SQ-11	358269	8816016	4230	
39	SQ-12	358325	8815878	4241	
40	SQ-13	358337	8816340	4241	
41	SQ-14	358865	8816100	4276	
42	SQ-15	358821	8816155	4274	
43	SQ-16	358177	8816182	4229	
<b>Punto de nivel de fondo NFQ2</b>					
44	SQ2-1	361499	8817771	4358	Suelo ubicado a 350 m aproximadamente al este del poblado de Champamarca
45	SQ2-2	361553	8817644	4353	
46	SQ2-3	361398	8817724	4339	Suelo ubicado en el paraje denominado «Montecarlo» a 1,4 km aproximadamente al sureste del poblado de Champamarca
47	SQ2-4	362087	8816509	4385	
48	SQ2-5	362070	8816618	4378	
49	SQ2-6	362069	8816731	4359	
50	SQ2-7	362053	8816809	4349	
51	SQ2-8	362024	8816910	4345	
52	SQ2-9	362135	8816832	4356	
53	SQ2-10	362088	8817011	4354	
54	SQ2-11	362046	8817032	4356	

Fuente: Reporte de campo N.º RC-038-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 3 y 5)

La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m



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

**Tabla 5.37. Ubicación de calicatas**

N.º	Calicatas	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
Calicata en el API CS-Q					
1	CS-Q-9	359198	8816917	4240	Calicata ubicada a 20 m aproximadamente al oeste del dique principal del PAM depósito de relaves Quiulacocho
2	CS-Q-18	359155	8816774	4256	
Calicata en las áreas de nivel de fondo NFQ1					
3	SQ-13	358337	8816340	4241	Calicata ubicada a 250 m aproximadamente al suroeste del cementerio del poblado de Quiulacocho
4	SQ-16	358177	8816182	4229	
Calicata en las áreas de nivel de fondo NFQ2					
5	SQ2-7	362053	8816809	4349	Calicata ubicada en el paraje denominado «Montecarlo» a 1,4 km aproximadamente al sureste del poblado de Champamarca

Fuente: Reporte de campo N.º RC-051-2020-STEC (Anexo 5)  
La precisión de la medición de las coordenadas fue de  $\pm 3$  m

### 5.3.4.3. Parámetros y métodos de análisis

Los parámetros y sus métodos de análisis para la evaluación de suelos se detallan en la Tabla 5.38.

**Tabla 5.38. Parámetros evaluados y métodos de ensayo**

Parámetros	Unidad	Método de referencia	Descripción
Metales	mg/kg PS	EPA 3050 B. 1996/EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sediments, sludges and soils / Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Mercurio	mg/kg PS	EPA 7474 B. Rev. 2, febrero 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor technique)
Tessier	mg/kg PS	GEO-9016-PE. Extracción secuencial.	Lectura por Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Shake flask extraction para metales	mg/L	Extracto SFE Leaching y drainage (1997) /EPA METHOD 6020 B Rev02, 2014	Lectura en extracto por ICP MS
Shake flask extraction para aniones	mg/L	Predictlon Manual for Dralnage Chemisby from Sulphidic Geologic Matariais MENO Report 1.20.1	Lectura en lixiviado por cromatografía iónica.
Análisis mineralógico por difracción de rayos X	%	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).)
pH	Unidades de pH	El método de análisis de referencia es de acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo N.º 013-2010-AG-. Art. 12 del Ministerio de Agricultura	Relación suelo: agua 1:1
Conductividad eléctrica	dS/m		Medida del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1
Carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> )	%		Método gaso-volumétrico en calcímetro
Materia orgánica	%		Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio
Clase textural	% arena, limo y arcilla		Método del hidrómetro

Fuente: Reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC (Anexos 9 y 10)



#### 5.3.4.4. Equipos utilizados

Los equipos utilizados para la ubicación de los puntos (equipo de geoposicionamiento), obtención de muestra de suelo (barreno), registro fotográfico (cámara) entre otros, se detallan en los reportes de campo N.º RC-038-2020-STEC y RC-051-2020-STEC (Anexos 3 y 5).

#### 5.3.4.5. Aseguramiento de la calidad

Para el control de calidad de metales totales en suelo se tomaron 2 duplicados; el criterio del aseguramiento de la calidad se basó en el apartado 1.3.1. de la Guía de muestreo de suelos, en la que menciona que en áreas menores o iguales a 20 ha se debe considerar hacer el control de calidad al 10 % de muestras a ser analizadas; por otro lado, para áreas mayores a 20 ha el control de calidad se realizó en el 5 % del total de las muestras a ser analizadas. Para tal efecto, el porcentaje de diferencia relativa (PDR) se calculó usando la siguiente ecuación 5.4:

$$\%PDR = \frac{x1-y1}{(x1+y1)/2} \times 100 \quad (5.4)$$

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

Se espera que las matrices no acuosas (por ejemplo, muestras de suelo), tengan una mayor variabilidad que las matrices acuosas debido a la heterogeneidad de la mayoría de las muestras no acuosas, lo que puede resultar en una RPD más alta; por lo tanto, se consideró que un PDR < a 20 % tiene una precisión buena (EPA, 2018).

#### 5.3.4.6. Procesamiento de datos

##### a. Análisis estadísticos para el tratamiento de los resultados

El análisis estadístico permitió una mejor interpretación de los resultados obtenidos, a través del análisis descriptivos y análisis estadísticos univariantes y multivariantes (análisis clúster). Los datos por debajo del límite de detección o cuantificación fueron pretratados para obtener valores aproximados que fueron utilizados en los diferentes análisis estadísticos utilizados.

##### b. Manejo de datos por debajo del límite de detección

Para el tratamiento de los valores por debajo del límite de detección del método de ensayo, se utilizó la técnica estadística del método de Kaplan Meier (KM), empleado normalmente en análisis de supervivencia; esta técnica estima el valor promedio de las concentraciones considerando censurados (Helsel, 2005). Esta técnica se utilizó para los cálculos de nivel de fondo y referencia. Por otro lado, para otros análisis y cálculos estadísticos se usó el método de imputación de los valores censurados por la mitad del límite de detección. Para la presente evaluación a todos los valores que se encontraron por debajo del límite de detección del método de ensayo se le asignó la mitad de su valor.

##### c. Análisis de clúster (AC) o conglomerado

El análisis de clúster se utilizó para agrupar los puntos de muestreo de la zona de estudio con relación a la diferencia y semejanzas de sus concentraciones, los cuales son visualizados mediante un dendrograma; para ello, se seleccionaron las variables



normalizadas, y de ser necesario, un auto escalado de los resultados de metales totales, parámetros edáficos.

Para este análisis se utilizó el método de agrupamiento de Ward y como medida de semejanza entre individuos la distancia euclidiana, a través del uso del software libre Past3 versión 3.20.

#### d. Análisis para la determinación de nivel de fondo y nivel de referencia

La determinación de los valores de nivel de fondo y de referencia se realizó mediante el uso del software estadístico ProUCL versión 5.1 desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA, 2002), el cálculo de estos valores requirió de un tratamiento previo de las variables.

A los datos obtenidos se les realizó pruebas clásicas para valores atípicos, el cual consistió en la prueba llamada Dixon para un conjunto de datos menores a 25 observaciones. Las pruebas de Dixon, suponen que el conjunto de datos sin los valores atípicos sigue una distribución normal. (Singh A. y Singh K., 2015)<sup>11</sup> Una vez realizada y evaluada las pruebas de bondad de ajuste con la finalidad de evaluar e identificar el tipo de distribución para cada variable, se calculó el nivel de fondo (*upper confidence limit*, UCL) y de referencia (*upper tolerance limit*, UTL). Los cálculos del nivel de fondo y nivel de referencia se presentan en el Anexo 13.

#### e. 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, es importante realizar mapas de isoconcentraciones a partir de herramientas y técnicas geoestadísticas. Para generar los mapas de distribución espacial de la concentración de metales se puso atención a los elementos potencialmente tóxicos (EPT) y a los elementos de interés ambiental o de preocupación. La elaboración de los mapas de distribución de parámetros fue desarrollada con la versión 2.1. del software SGeMS (Stanford Geostatistical Modeling Software).

El método utilizado para las interpolaciones son las técnicas geoestadísticas desarrollado 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  $Z_{ok}(x_0)$  de un valor real y desconocido  $Z(x)$ , consiste en una combinación lineal de pesos asociados a cada localización donde fue muestreado un valor  $Z(x_i)$  ( $i=1, \dots, n$ ) 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 5.5:

$$Z_{ok}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (5.5)$$

Donde:

- $Z(x_0)$  : Valor de la variable Z en el sitio no muestreado
- $Z(x_i)$  : Valor observado  $Z(x_i)$  de la variable Z en el sitio muestreado
- $\lambda_i$  : Ponderación asignada al valor observado  $Z(x_i)$

<sup>11</sup> Guía Técnica del Software «ProUCL Version 5.1.002» para la U.S. Environmental Protection Agency



$n$  : Número de valores observados alrededor

#### f. Metales totales

Los elementos mayores y trazas del suelo de las API fueron asociados con los resultados de la caracterización geoquímica en el material parental de la zona de estudio y con valores de nivel de fondo y de referencia determinados para el área de evaluación.

#### g. Ensayos de movilidad

##### Extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier

La extracción secuencial de los metales es esencial para ver la movilidad y las formas químicas del metal, para ello se utilizó la extracción secuencial de metales por el método de Tessier *et al.* (1979), con la finalidad de caracterizar la biodisponibilidad de metales en el suelo. De acuerdo con esta técnica, posteriormente modificada a seis fases, es posible identificar la concentración del metal asociado a las fracciones extraíble, en forma soluble y biodisponible, intercambiables, carbonatos, óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica y residual. Estas fracciones han sido definidas de la siguiente manera:

- Fracción 1: Extraíble, en forma soluble.
- Fracción 2: Intercambiable y adsorbida.
- Fracción 3: Ligado a carbonatos, cantidades significativas de metales traza pueden estar asociados a suelos carbonatados, esta fracción podría ser susceptible a cambios de pH.
- Fracción 4: Ligados a óxidos de hierro y manganesos, los óxidos de hierro y manganeso existen como concreción, cemento o simplemente revestimiento de partículas.
- Fracción 5: Ligados a materia orgánica, los metales traza pueden ser encontrados ligados a varias formas de materia orgánica: organismos vivos, detritus, revestimientos en partículas minerales, etc. Bajo condiciones oxidantes en aguas naturales, la materia orgánica puede ser degradada, conllevando a la liberación de trazas de metales solubles ligados a esta materia orgánica.
- Fracción 6: Residual, una vez que las primeras cinco fracciones han sido removidas, los sólidos residuales deberían contener principalmente minerales primarios y secundarios, los cuales pueden contener traza de metales dentro de su estructura cristalina. Estos metales no serían liberados durante un tiempo razonable bajo las condiciones encontradas en la naturaleza.

##### Determinación de metales en extractos acuosos

Para el análisis de la movilidad en base a pruebas de lixiviación de contaminantes en suelos se empleó la prueba de SFE (*shake flask extraction*), que consistió en evaluar la movilidad de metales y aniones de la fase sólida del suelo a la fase acuosa, usando agua desionizada; estos elementos en la solución del suelo estarán disponibles y representarán distintos



efectos sobre el ambiente y podrían generar diferentes riesgos en los receptores humanos y ecológicos (plantas y animales).

**h. Mineralogía en suelos**

Para el análisis de los resultados de mineralogía se sistematizó los datos reportados por el laboratorio; la evaluación consiste en caracterizar la composición mineralógica del suelo, obtenidos por DRX (difracción de rayos X), y su relación con la litología y su influencia en la concentración de los metales y metaloides en el suelo.

**i. Parámetros edáficos**

Los resultados de los parámetros edáficos fueron analizados y clasificadas tomando como referencia el Anexo IV «Guía de clasificación de los parámetros edáficos», del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 017-2009-AG, del Ministerio de Agricultura y de acuerdo con las tablas de rangos interpretativos propuestas por la Guía para la descripción de suelos (2009) de la FAO o la *Soil Survey Manual* (2017) de la USDA<sup>12</sup>. Los resultados de los parámetros edáficos se presentan en el Anexo 15.

**j. Índices de evaluación de la contaminación**

Se evaluó el índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ ) y el factor de enriquecimiento (FE), estos índices permiten comprender fácilmente la calidad del del suelo, además de comparar el estado de contaminación de diferentes áreas (Tomlinson *et al.*, 1980, citado por Aqeel *et al.* 2015).

**- Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ )**

Los valores de  $I_{geo}$  permiten evaluar la contaminación comparando las concentraciones actuales y predecir su grado de contaminación (Aqeel *et al.*, 2015). Este índice se calcula mediante la siguiente ecuación 5.6:

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \left( \frac{C_n}{1,5 \cdot B_n} \right) \tag{5.6}$$

Donde:

- $C_n$ : Concentración del elemento en el suelo
- $B_n$ : Fondo geoquímico
- 1,5: Constante

En la Tabla 5.39 se presenta la clasificación del índice de geoacumulación y grado de contaminación. El cálculo de este índice está en el Anexo 14.

**Tabla 5.39.** Clasificación del índice de geoacumulación y grado de contaminación

Valor de $I_{geo}$	Clases de $I_{geo}$	Grado de contaminación
0	$I_{geo} < 0$	No contaminado

<sup>12</sup> 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.



1	$0 < I_{geo} < 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < I_{geo} < 3$	De moderado a fuertemente contaminado
4	$3 < I_{geo} < 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < I_{geo} < 5$	De fuertemente contaminado a extremadamente contaminado
6	$5 < I_{geo}$	Extremadamente contaminado

Fuente: Muller, 1979

#### - Factor de enriquecimiento (EF)

El valor de FE informa acerca del origen natural o antropogénico de acuerdo con la escala propuesta por Sutherland (2000), para ello se utilizó al hierro como elemento normalizador, el cual fue calculado con la ecuación 5.7:

$$FE = \frac{\left\{ \left( \frac{C_n}{CFe} \right) \right\} Muestra}{\left\{ \left( \frac{C_n}{CFe} \right) \right\} Corteza} \quad (5.7)$$

Donde:

$C_n/CFe$  Muestra: Ratio entre el elemento de interés y el hierro presente en la muestra

$C_n/CFe$  Corteza: Ratio entre el elemento de interés y el hierro de un área sin contaminación o de la corteza terrestre

Un valor FE para un elemento  $<1$  se considera no enriquecido; de 1 y  $<3$ , enriquecimiento menor; de 6 a  $<5$ , enriquecimiento moderado; de 5 a  $<10$ , enriquecimiento moderadamente severo; de 10 a  $<25$ , enriquecimiento severo; de 25 a  $<50$ , enriquecimiento muy severo; y  $>50$ , enriquecimiento extremadamente severo (Serra *et al.*, 2014). El cálculo de este factor se presenta en el Anexo 14.

#### 5.3.4.7. Criterios de evaluación

Los resultados fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Suelos de uso agrícola y residencial, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM. En el caso de otros contaminantes de preocupación que no se encuentran reguladas en los ECA para suelo, la comparación se realizó con las pautas canadienses para suelos de uso agrícola y uso industrial/extractivo (CCME, 1999)<sup>13</sup>. Los resultados de estos metales también fueron comparados con valores de nivel de fondo determinados para la zona de evaluación en otros estudios ambientales.

#### 5.3.5. Evaluación multiespectral

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

Los datos espaciales se obtuvieron mediante la captura de información digital multiespectral con precisión milimétrica. El tratamiento de los datos fue realizado mediante el Sistema de

<sup>13</sup> Canadian Council of Minister of the Environment – CCME (1999). *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*. Recuperado de <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>.



Información Arcgis 10.7, el software SAGA (System for Automated Geoscientific), el software ENVI 5.3, el software pix4Di mapper y la plataforma web Google Earth Engine.

### 5.3.5.1. Ubicación de puntos

En la Tabla 5.40 se presenta la ubicación de los puntos de despegue para el sobrevuelo del levantamiento aerofotogramétrico con RPAS (Remotely Piloted Aircraft System).

**Tabla 5.40.** Ubicación de puntos

Código de Grilla	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)		
QUIU-03	25/09/2020	10:30	360852	8817078	4314	Punto de despegue para el sobrevuelo con RPAS, ubicado aproximadamente a 80 m al este del ámbito del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho
QUIU-01	24/09/2020	14:00	360742	8817110	4303	Punto de despegue del sobrevuelo con RPAS, ubicado al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho
QUIU-04	24/09/2020	13:19	360625	8816881	4300	Sobrevuelo de la cobertura vegetal tomando como punto de despegue aproximadamente a 175 m al este del ámbito del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho
QUIU-06	14/09/2020	12:23	360448	8816691	4291	Punto de despegue del sobrevuelo con RPAS, ubicado aproximadamente a 115 m al sureste del depósito de relaves Quiulacocho
QUIU-07	24/09/2020	12:30	360212	8816521	4300	Área de sobrevuelo realizado con el dron ubicado al este del ámbito del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho
QUIU-08	24/09/2020	12:04	360015	8816536	4280	Área de sobrevuelo de la cobertura vegetal adyacente al ámbito del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho, tomando como punto de despegue aproximadamente a 50 m al este del mismo.

La precisión de las coordenadas en todos los puntos de muestreo fue de  $\pm 3$  m

### 5.3.5.2. Equipos y materiales utilizados

Los equipos y materiales utilizados se encuentran en el reporte de campo N.º RC-061-2020-STEC (Anexo 7).

### 5.3.5.3. Procesamiento de datos

#### a. Captura de imágenes e información digital

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

La imagen de alta resolución espacial (0,13 metros) corresponde a un Ortomosaico multispectral de 4 bandas (GREEN, RED, RED\_EDGE y NIR) capturados en campo la fecha del 23 al 25 de setiembre del 2020, con el que se generaron índices de vegetación NDRE y NDVI.





## b. Imagen multiespectral del sensor Parrot Sequoia a precisión geodésica

Se realizaron sobrevuelos en las diferentes formaciones vegetales presentes en el área del ámbito del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha correspondientes a las grillas de código QUIU-03, QUIU-01, QUIU-04, QUIU-06, QUIU-07 y QUIU-08 siguiendo el «protocolo para la operación de los sistemas de aeronaves piloteadas a distancia (RPAS)<sup>14</sup>».

El área cubierta aproximada fue de 68,0763 ha a una altura de vuelo sobre el terreno de 150 m (condiciones del equipo por la altitud y peso de la cámara multiespectral acoplada), el cual cubrió toda el área y zonas aledañas. El horario fue diurno entre las 10:00 a 13:00 horas considerando la actividad fotosintética de la planta, incidencia solar, velocidad de vientos, nubosidad, altitud, etc.

Se posicionaron puntos de control geodésico previos a la ejecución del vuelo, teniendo en consideración la norma técnica para el procesamiento global estático con receptores GNSS<sup>15</sup> y el levantamiento geodésico vertical<sup>16</sup>.

## c. Ejecución del vuelo fotogramétrico

### Planificación de vuelo

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

### Medición de puntos DGPS por método estático

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

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

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

Se determinó el punto donde se colocó el equipo base o estación de referencia, y posteriormente, precisó el sitio más idóneo para colocar el nuevo punto a medir, es decir, la estación donde se colocó el equipo Rover. Para este trabajo se tomó 1 punto de estación base y 3 puntos de control como se describe en la siguiente Tabla 5.41. Teniendo en cuenta

<sup>14</sup> Resolución Jefatural N.º 051-2017-CENEPRED/J.

<sup>15</sup> Resolución Jefatural N.º 139-2015/IGN/UCCN

<sup>16</sup> Resolución Jefatural N.º 057-2016/IGN/UCCN



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

que para la selección del sitio se consideró un área despejada, geo espacialmente identificable y que no existieran instalaciones de gran altura en las adyacencias.

**Tabla 5.41.** Ubicación de puntos de posicionamiento Geodésico

Código	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m.s.n.m.)	Altura Medición* (m)	Descripción
	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)			
B-QUIU-01	14/09/2020	16:22	360443	8816683	4294	1,54	Punto de estación base geodésico tomado aproximadamente a 120 m al sureste del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
B-QUIU-02	23/09/2020	18:15	360445	8816686	4306	1,59	Punto de estación base geodésico tomado aproximadamente a 118 m al sureste del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
B-QUIU-03	24/09/2020	11:26	360445	8816687	4306	1,64	Punto de estación base geodésico tomado aproximadamente a 135 m al sureste del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
R-QUIU-01	14/09/2020	14:25	360420	8816727	4281	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 67 m al sureste del ámbito del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
R-QUIU-02	14/09/2020	15:32	360571	8816872	4288	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 60 m al sureste del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
R-QUIU-03	14/09/2020	15:57	360651	8816998	4281	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 60 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
R-QUIU-04	23/09/2020	17:40	360099	8817360	4314	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 179 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
R-QUIU-06	24/09/2020	09:24	360923	8817326	4304	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 105 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
R-QUIU-05	23/09/2020	17:54	360894	8817246	4312	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 124 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha
R-QUIU-07	24/09/2020	09:45	360846	8817194	4307	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 122 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocha

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

Código	Muestreo		Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m.s.n.m.)	Altura Medición* (m)	Descripción
	Fecha	Hora	Este (m)	Norte (m)			
R-QUIU-08	24/09/2020	10:00	360742	8817110	4303	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 112 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho
R-QUIU-09	24/09/2020	10:19	360674	8817040	4300	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 72 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho
R-QUIU-28	24/09/2020	10:46	360311	8816652	4297	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 113 m al este del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho
R-QUIU-29	24/09/2020	11:05	360015	8816537	4303	2	Punto de control geodésico tomado aproximadamente a 41 m al sur del pasivo ambiental minero depósito de relaves Quiulacocho

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

Se posicionó y niveló el trípode y se colocó el equipo DGPS sobre su base nivelante, haciendo coincidencia del punto a través de la plomada óptica. Este paso se realizó para preparar el equipo antes de iniciar la medición tanto en la estación base como en las estaciones Rover; en el caso de este trabajo, este procedimiento se realizó una en la estación base y en los tres puntos a determinar sus coordenadas (estaciones Rover).

Después del encendido de los equipos, que por lo general tardan unos minutos en rastrear los satélites, una vez que captan los satélites se verificaron los parámetros de medición, se midió la altura de la antena (estos datos fueron anotados en una libreta de campo) y se programaron para que comiencen a grabar, es indispensable que haya simultaneidad en las mediciones, es decir, que ambos equipos estén midiendo al mismo tiempo.

El apagado de los equipos una vez culminado el tiempo de medición; se realizó al finalizar el día, puesto que para la medición de los otros puntos no se necesita apagar el equipo y continuar con la medición vinculando a la estación base.

Posteriormente se descarga la información del DGPS Base, en los formatos por defecto (.job y .T02) para su posterior post-procesamiento.

Como resultados se obtuvieron coordenadas de 3 puntos tomados, medidos en el Datum WGS84, a través de la aplicación del software de postproceso Trimble Business Center (TBC); estos puntos GPS servirán de apoyo para la ejecución del Ortomosaico en RGB y multiespectral.

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

#### d. Lista de Chequeo

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



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

**e. Reconocimiento de sitios de interés y establecimiento de áreas de despegue y aterrizaje**

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

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

**f. Vuelo del sistema de aeronave piloteada remotamente (RPAS)**

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

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

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

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

**g. Validación de Información Obtenida de Misiones de Vuelo**

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



## **h. Lista de Chequeo Post-Vuelo**

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

## **i. Procesamiento de puntos de control geodésico**

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

## **j. Preprocesamiento de imágenes del sensor Parrot Sequoia**

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

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

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

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

El «Ag Multiespectral» ejecuta los siguientes pasos:

- Como paso inicial el algoritmo de la plantilla define puntos clave, los cuales fueron utilizados para realizar comparación y emparejamiento entre las imágenes del proyecto.
- El emparejamiento de imágenes se realizó mediante la comparación de los puntos clave. En este proceso se reconstruye la geometría mediante la solución de Pix4D Mapper para la metodología «Structure from motion».
- Después de reconstruir la geometría se realizó la Calibración de las imágenes multiespectrales mediante la importación de imágenes de calibración de irradiación solar tomadas en campo antes de la ejecución del plan de vuelo.
- Una vez calibradas las imágenes se realizó la georreferenciación mediante la identificación de los puntos de control en las imágenes.



- Por segunda vez se realiza el emparejamiento, pero utilizando las imágenes calibradas georreferenciadas.
- Terminado el emparejamiento se construyó la nube de puntos densa y posteriormente el Modelo de Elevación a Superficie (DSM) con el cual se orto-rectificaron las imágenes para finalmente construir el orto-mosaico multiespectral, producto sobre el cual se puede realizar el cálculo de índices radiométricos.

#### k. Análisis estadísticos para el tratamiento de los resultados

Se ha optado por seleccionar dos índices de vegetación para el análisis teniendo en consideración las bandas espectrales en las que trabajan los sensores Parrot sequoia. Los índices de vegetación seleccionados para el presente estudio han sido el NDVI y NDRE. Para ello, se ha basado en estudios y trabajos analizados en revisiones bibliográficas.

Los índices de vegetación son valores digitales, que tienden a medir la biomasa o vigor vegetal. Usualmente el índice de vegetación es producto de varios valores espectrales que son sumados, divididos, o multiplicados en una forma diseñada para producir un número que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un píxel. Los valores de índices de vegetación más cercanos a uno identifican píxeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable, mientras que valores próximos a cero corresponden a zonas de pasto seco o suelo.

NDRE (Índice Normalizado Diferencial de Borde Rojo): Este índice por otra parte, difiere con respecto al NDVI ya que se utilizan bandas a lo largo del borde rojo en lugar de los principales picos de absorción y reflectancia utilizados para el cálculo del NDVI, permitiendo así discriminar las unidades de observación sin que el indicador alcance niveles de saturación, según la ecuación 5.10.

$$\text{NDRE} = (\text{NIR}-\text{RED EDGE}) / \text{NIR}+\text{RED EDGE} \quad (5.10)$$

Dónde:

NDRE = Índice Normalizado Diferencial de Borde Rojo

NIR = Infrarrojo cercano RED

RED EDGE= Borde rojo

NDVI (Índice Normalizado de Vegetación): Es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja

Se calcula a partir de mediciones de reflectancia en la ecuación 5.11:

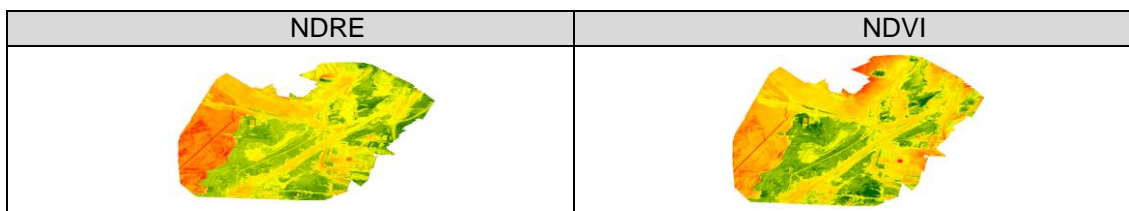
$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{RED}) / \text{NIR}+\text{RED} \quad (5.11)$$

Dónde:

NDVI = Índice Normalizado de Vegetación

NIR = Infrarrojo cercano.

RED = Rojo



**5.4. Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los posibles contaminantes producto de la actividad minera sobre la flora (tejido vegetal), fauna silvestre (anfibios y reptiles, aves, mamíferos menores y mamíferos mayores) presente en el ámbito del PAM depósito de relaves Quiulacocha.**

**5.4.1. Flora (Tejido vegetal)**

Esta sección proporciona la metodología aplicada para el muestreo de flora (tejido vegetal) en el ámbito del PAM Quiulacocha.

**5.4.1.1. Guías utilizadas para la evaluación**

Para el muestreo de flora (tejido vegetal), se utilizaron las referencias bibliográficas detalladas en la tabla 5.42.

**Tabla 5.42.** Guías de referencia para el muestreo de flora (tejido vegetal)

N.º	Nombre del Protocolo / Guía	Sección	Dispositivo legal	Entidad	País	Año
1	Guía de inventario de la flora y vegetación del Ministerio del Ambiente	Toda	R.M. N° 059-2015-MINAM	MINAM	Perú	2015
2	Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal	Toda (87 p.)	Mostacedo y Fredericksen	Bolfor	Bolivia	2000
3	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 Nro. 0007-2019-MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego	Perú	2019
4	Manual de pastos y forrajes altoandinos	Todas	NA	UNALM	Perú	2005
5	Protocolos de Muestreo en Cultivos para Análisis de Micronutrientes	Todas	Stangoulis y Sison	International Food Policy Research Institute	USA	2009

R.M.: Resolución Directoral

NA: No aplica

**5.4.1.2. Ubicación de puntos de muestreo**

Se evaluaron cuatro cuadrantes para la evaluación de la composición florística, restringida al pajonal ubicado al oeste del PAM Quiulacocha. Las cuales se detallan en la Tabla 5.43, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.43.** Ubicación de cuadrantes de evaluación de flora

Zona	Código de cuadrante evaluado*	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s.n.m)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
	AFL27	359243	8816836	4254	

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

Zona	Código de cuadrante evaluado*	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s.n.m)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
Quiulacocha (CS-Q)	AFL28	359195	8816877	4252	Puntos ubicados al oeste del PAM Depósito de Relaves Quiulacocha
	AFL29	359252	8816997	4246	
	AFL39	359311	8817082	4252	

Para el muestreo de tejido vegetal, se establecieron 15 puntos de muestreo, obteniéndose un total de 30 muestras en dos especies diferentes del género *Calamagrostis*, *C. rigida* y *C. vicunarum*. Las cuales se detallan en la tabla 5.44.

**Tabla 5.44.** Ubicación de puntos de colecta de tejido vegetal

Zona/API	Código de Tejido Vegetal	Coordenadas UTM WGS 84 - Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Especie	Número de muestras*	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
API CS-Q1	ATV01	359240	8816830	4212	<i>Calamagrostis rigida</i>	2	Puntos ubicados al oeste del PAM Depósito de Relaves Quiulacocha
	ATV02	359228	8816861	4233		2	
	ATV03	359215	8816893	4266		2	
	ATV04	359195	8816901	4273		2	
	ATV06	359255	8816992	4255		2	
	ATV07	359285	8817026	4252		2	
	ATV08	359313	8817083	4232		2	
Zona de Control	ATV09	362046	8817032	4356	<i>Calamagrostis rigida</i>	2	Ubicado en el ámbito de la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha
	ATV10	362088	8817012	4354			
API CS-Q2	TCS-Q	359240	8816771	4259	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	2	Tejido vegetal de pastos altoandinos ubicado a 20 m aproximadamente al oeste del dique principal del PAM depósito de relaves Quiulacocha
Zona Control	TSQ-COMP	358488	8816221	4255		2	Tejido vegetal de pastos altoandinos ubicado a 250 m aproximadamente al suroeste del cementerio del poblado de Quiulacocha
	TSQ2-COMP-A	361553	8817644	4353		2	Tejido vegetal ubicado a 350 m aproximadamente al este del poblado de Champamarca
	TSQ2-COMP-B	362087	8816509	4385		2	Tejido vegetal ubicado en el paraje denominado «Montecarlo» a 1,4 km aproximadamente al sureste del poblado de Champamarca
	TSQ2-COMP-C	362024	8816910	4345		2	
TSQ2-COMP-D	362088	8817011	4354	2			

\*Los puntos en donde se indican 2 muestras fueron aquellos en donde se realizó la división entre raíz y parte aérea de la misma especie, en cambio los puntos en donde se obtuvo 1 muestra hacen referencia solo a la parte aérea.





#### 5.4.1.3. Colecta de muestra

- **Cuadrante**

Este método se utiliza para muestrear vegetación herbácea y hace muestreos más homogéneos y de menos impacto de borde en comparación a los transectos<sup>17</sup>. Estos cuadrantes serán de 1 x 1 m<sup>2</sup> en donde se registrará la riqueza y abundancia.

- **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 en el tiempo de la evaluación. 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<sup>18</sup>. Se recolectaron solo especímenes en estadios de floración y fructificación, aquellas en vegetativo solo fueron registradas.

Las colecciones botánicas «voucher» se realizaron en el caso de que una especie no haya sido identificada y cuando existió cualquier incertidumbre para su identificación en campo. Todo individuo colectado tuvo un duplicado además del original, por otro lado, las colecciones repetidas de plantas estériles fueron usadas para distinguir confiablemente las morfoespecies.

- **Colecta de tejido vegetal**

Para la colecta de tejido vegetal, se realizó una selección de las especies a evaluar, tomando en cuenta dos criterios: especie dominante y especie representativa de la formación vegetal presente en el área de estudio.

Se seleccionaron 2 especies vegetales, para el muestreo de tejido vegetal, *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud., y *Calamagrostis vicunarium* (Wedd.) Pilg. Ambos de la familia Poaceae, las cuales se colectaron de la siguiente manera:

*Calamagrostis rigida*: cada muestra colectada de esta especie fue dividida en raíz y parte aérea.  
*Calamagrostis vicunarium*: cada muestra colectada de esta especie fue dividida en raíz y parte aérea.

Las muestras fueron depositadas en sobres de manila y guardadas en coolers, para su traslado hacia el laboratorio.

#### 5.4.1.4. Parámetros y métodos de análisis

En consideración con el objetivo planteado se ha tenido por conveniente contar con el análisis de metales totales en las muestras tomadas de tejido vegetal. Los resultados (expresados en mg/kg) fueron obtenidos mediante la técnica de espectrometría ICP-MS (PE-324), a cargo del laboratorio AGQ Perú S.A.C. Además, se consideró la riqueza de especies presente en el área de estudio.

<sup>17</sup> Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz- Bolivia, Ed. El País. 87 pp.

<sup>18</sup> Cerrate, E. (1969). Manera de preparar Plantas para el Herbario. Museo de Historia Natural, Serie de Divulgación, N°1. 10 pp.



#### 5.4.1.5. Equipos utilizados

Los equipos y materiales utilizados para la presente evaluación se muestran en los reportes de campo N.º RC-037-2020-STEC y RC-052-2020-STEC (Anexos 2 y 6).

#### 5.4.1.6. Procesamiento de datos

##### 5.4.1.7. Determinación de formaciones vegetales

Para la identificación de las formaciones vegetales en el área de estudio, se tomó en cuenta la fisionomía de las plantas, que toma en cuenta las formas de vida que predominan o que son más conspicuas en las comunidades (Weberbauer, 1945).

##### 5.4.1.8. Composición de especies

Las muestras colectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Florística del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), mediante el uso claves especializadas como las de Macbride *et al.*, (1936 y siguientes); 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 del Herbario San Marcos (USM) y 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).

##### 5.4.1.9. Correlación bivariada

Existen diversos coeficientes que miden el grado de correlación entre dos variables. No obstante, estos han sido adaptaciones a los distintos niveles de medición de la fórmula fundamental de Karl Pearson. El coeficiente de Spearman (introducido en realidad por Francis Galton), sintetiza de forma magistral la idea fundamental de la correlación. La misma define una razón entre la cantidad de covarianza de dos variables y el producto de sus desviaciones estándar. Se analizó la correlación existente entre los metales presentes en el tejido vegetal de 2 especies y los metales presentes en el suelo donde se desarrollan.

##### 5.4.1.10. Prueba de hipótesis

Una prueba de hipótesis es una regla que especifica si se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una población dependiendo de la evidencia proporcionada por una muestra de datos. Una prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula es el enunciado que se probará. Por lo general, la hipótesis nula es un enunciado de que «no hay efecto» o «no hay diferencia». La hipótesis alternativa es el enunciado que se desea poder concluir que es verdadero de acuerdo con la evidencia proporcionada por los datos de la muestra.

Para el desarrollo de la presente evaluación se definen las siguientes hipótesis:

Hipótesis Alternativa:

Hi: la concentración de metales totales presente en las muestras colectadas en el sitio control son diferentes a las colectadas en el API



Hipótesis Nula:

Ho: la concentración de metales totales presente en las muestras colectadas en el sitio control no son diferentes a las colectadas en el API

#### 5.4.1.11. Criterios de evaluación

En vista que los pastos naturales que son objeto de la presente evaluación son usados como alimento para ganado, y en el marco de la Resolución Directoral N.º 0027-2017-MINAGRI-SENASA-DIAIA<sup>19</sup>, 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 totales 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 procede de España y recoge las disposiciones legales establecidas en la Unión Europea.

Los parámetros de metales totales: arsénico, plomo, mercurio y cadmio; contenidos en la norma española mencionada líneas arriba, que servirán de comparación referencial, se presentan a continuación en la Tabla 5.45.

**Tabla 5.45.** Valores de comparación para la calidad de tejidos vegetales

Normativa de referencia	Parámetro	Unidad	Contenido Máximo
Real Decreto 465/2003	Arsénico	mg/kg*	2
	Plomo		30
	Mercurio		0,1
	Cadmio		1

\*Referido a un contenido de humedad del 12 %

#### 5.4.2. Fauna

A continuación, se describe las metodologías para la evaluación de fauna silvestre (anfibios, reptiles, aves y mamíferos).

##### 5.4.2.1. Guías utilizadas para la evaluación

###### a. Anfibios y reptiles

Para la evaluación de anfibios y reptiles se utilizaron las guías de referencia detalladas en la Tabla 5.46.

**Tabla 5.46.** 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	MINAM	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</i>	Todo	Hoffman Gerald L.	USGS	Estados Unidos	1996

<sup>19</sup> Resolución que aprueba el Plan Anual de Monitoreo de residuos químicos y otros contaminantes en Alimentos Agropecuarios Primarios y Piensos.



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

N.º	Protocolo/guía	Sección	Dispositivo legal/Autores	Entidad	País	Año
	<i>Quality Laboratory; preparation procedure for aquatic biological material determined for trace metals</i>					

### b. Aves

Para la evaluación de aves se utilizaron las guías de referencia detalladas en la Tabla 5.47.

**Tabla 5.47.** Guías de referencia para la evaluación de aves

N.º	Protocolo/guía	Sección	Dispositivo legal/Autores	Entidad	País	Año
1	Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 6	R.M. N° 057-2015-MINAM	MINAM	Perú	2015
2	<i>Field Guide Bird of Peru, Revised and Updated Edition</i>	Todas	Thomas S. Schulenberg, Douglas F. Stotz, Daniel F. Lane, John P. O'Neill y Theodore A. Parker III	<i>Princeton University Press</i>	Perú	2010
3	Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres	Todas	John Ralph, Geoffrey R. Geupel, Peter Pyle, Thomas E. Martin, David F. DeSante, Borja Milá	<i>United States Department of Agriculture. Forest Service</i>	Estados Unidos	1996
4	<i>American Kestrel Genoscape Project. Feather Sampling Protocol</i>	Todas	<i>The American Kestrel Partnership</i>	University of California Los Angeles, Boise State University, Hawk Watch International, The American Kestrel Partnership	Estados Unidos	2017

### c. Mamíferos menores

Para la evaluación de mamíferos menores se utilizaron las guías de referencia detalladas en la Tabla 5.48.

**Tabla 5.48.** Guías de referencia para la evaluación de mamíferos menores

N.º	Protocolo/guía	Sección	Dispositivo legal/Autores	Entidad	País	Año
1	Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 4	R.M. N° 057-2015-MINAM	MINAM	Perú	2015
2	<i>Mammals of South America: Vol.2 Rodents</i>	Todas	Patton, J. L., Pardiñas, U. F., y D'Elfa, G	<i>University of Chicago Press.</i>	Estados Unidos	2015
3	Diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú	Todas	Pacheco, V., Cadenillas, R., Salas, E., Tello, C., y Zeballos, H.	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	Perú	2009
4	<i>Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education</i>	Todas	The Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists	<i>Journal of Mammalogy</i>	Estados Unidos	2016
5	<i>A risk-assessment for toxic exposure of small mammalian to cadmium in contaminated natural environments</i>	Todas	Ma, W.C. y Van Der Voet, H.	<i>The Science of the Total Environment</i>	Estados Unidos	1993

### d. Mamíferos mayores

Para la evaluación de mamíferos mayores se utilizaron las guías de referencia detalladas en la Tabla 5.49.

**Tabla 5.49.** Guías de referencia para la evaluación de mamíferos mayores

N.º	Protocolo/guía	Sección	Dispositivo legal/Autores	Entidad	País	Año
1	Guía de inventario de la fauna silvestre	Capítulo 4	R.M. N° 057-2015-MINAM	MINAM	Perú	2015
2	Procedures for Collection and Submission of Specimens. National Veterinary Services Laboratories	Todo	National Veterinary Services Laboratories	United States Department of Agriculture	Estados Unidos	2006

**5.4.2.2. Ubicación de unidades de evaluación****a. Anfibios y reptiles**

La evaluación de anfibios y reptiles en el ámbito del PAM Quiulacocha se realizó entre el 18 de agosto del 2020 y entre el 16 y 19 de septiembre del 2020. Se lograron evaluar 18 búsquedas por encuentros visuales (VES) que se distribuyeron entre una posible zona de afectación y una zona control. Complementariamente se instalaron 5 grabadoras de monitoreo acústico para la detección de cantos de anuros en las zonas de evaluación (3 zona control y 2 zona de posible afectación). Las grabadoras realizaron grabaciones simultáneas de 1 minuto cada 10 minutos entre el 18 y 23 de setiembre del 2020. Las coordenadas de ubicación de las unidades de evaluación se detallan en la Tabla 5.50 y Tabla 5.51, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

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

Tabla 5.50. Ubicación de las búsquedas por encuentro visual (VES)

Zona	Cantidad	Código VES	Fecha	Coordenada Inicial UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Coordenada Inicial UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Hora inicio	Hora fin	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)				
Zona II	6	AM-He-V1	18/08/2020	360977	8817505	4245	360852	8817438	4240	09:05	09:35	Pajonal ubicado en la orilla sureste PAM depósito de relaves Quiulacocho
		AM-He-V2	18/08/2020	360874	8817337	4286	361008	8817429	4289	09:55	10:31	
		AM-He-V3	18/08/2020	360822	8817267	4291	360747	8817179	4291	10:53	11:35	
		AM-He-V4	18/08/2020	360653	8817124	4292	360628	8817022	4295	12:00	12:35	
		AM-He-V5	18/08/2020	360530	8816883	4298	360455	8816814	4299	13:40	14:10	
		AM-He-V6	18/08/2020	360393	8816726	4297	360092	8816608	4300	14:15	14:45	
Zona Control	12	AM-He-V15	16/09/2020	362235	8816480	4392	362097	8816498	4393	09:25	10:00	VES ubicado en la comunidad campesina Quiulacocho 02 a 2 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocho
		AM-He-V16	16/09/2020	362078	8816576	4383	362335	8816533	4379	10:07	10:40	
		AM-He-V17	16/09/2020	362379	8816532	4384	362335	8816563	4370	11:00	11:30	
		AM-He-V18	16/09/2020	362289	8816614	4364	362381	8816647	4361	12:00	12:30	VES ubicado en la comunidad campesina Quiulacocho 02 a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocho
		AM-He-V19	16/09/2020	362223	8816677	4360	362031	8816748	4357	12:45	13:15	
		AM-He-V20	16/09/2020	362096	8816801	4360	362142	8816959	4358	13:30	14:00	VES ubicado en la comunidad campesina Quiulacocho 02 a 1.2 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocho
		AM-He-V21*	17/09/2020	362403	8816768	4353	362386	8816705	4363	09:15	09:45	VES ubicado en la comunidad campesina Quiulacocho 02 a 2 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocho
		AM-He-V22*	17/09/2020	362371	8816674	4360	362334	8816546	4373	10:15	10:50	
		AM-He-V23	17/09/2020	362375	8816607	4364	362441	8816636	4375	11:25	12:00	
AM-He-V24	17/09/2020	362223	8816818	4360	362189	8816959	4357	12:45	13:25	VES ubicado en la comunidad campesina Quiulacocho 02 a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocho		

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

Zona	Cantidad	Código VES	Fecha	Coordenada Inicial UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Coordenada Inicial UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Hora inicio	Hora fin	Descripción
				Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)				
		AM-He-V25	18/09/2020	362387	8816668	4359	362266	8816707	4358	18:20	19:00	VES nocturno ubicado en la comunidad campesina Quiulacocha 02 a 2 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha
		AM-He-V26	18/09/2020	362214	8816703	4360	362094	8816833	4350	19:05	19:35	VES nocturno ubicado en la comunidad campesina Quiulacocha 02 a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha

**Tabla 5.51.** Ubicación de las grabadoras de monitoreo acústico

Zona	Código	Hábitat	Fecha Instalación	Fecha desinstalación	Hora instalación	Hora desinstalación	Número grabaciones*	Descripción
Zona Control	AM-He-G5	Bofedal	18/09/2020	22/09/2020	11:45	10:10	564	Grabadora ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02 a 1.8 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	AM-He-G6	Bofedal, poza	18/09/2020	22/09/2020	12:15	10:10	563	Grabadora ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02 a 1.6 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	AM-He-G7	Cesped de puna	18/09/2020	22/09/2020	12:30	10:20	570	Grabadora ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02 a 1.4 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
Zona II	AM-He-G8	Humedal	18/09/2020	23/09/2020	13:15	06:50	680	Grabadora ubicada en pajonal en la orilla este del PAM depósito de relaves Quiulacocha, a 160 m al sur del PAM depósito de desmontes Excelsior.
	AM-He-G9	Pajonal	18/09/2020	23/09/2020	13:30	06:50	682	Grabadora ubicada en pajonal en la orilla este del PAM depósito de relaves Quiulacocha, a 400 m al sur del PAM depósito de desmontes Excelsior.

**b. Aves**

Se utilizaron 15 redes de niebla, que fueron instaladas en 2 zonas de evaluación. Las coordenadas de ubicación de las redes de niebla se presentan en la Tabla 5.52, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.52.** Coordenadas de ubicación de las redes de niebla para la evaluación de aves en el área de estudio

Zona	Fecha de inicio	Fecha de fin	Hora de apertura	Hora de cierre	Código de evaluación	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
Zona II (PAM Depósito de Relaves Quiulacocha)	19/08/2020	26/08/2020	5:45	12:30	AMS_AV_RED_03	360903	8817445	4281	Red de niebla ubicada a 48 m al noreste del PAM Depósito de Relaves Quiulacocha, alrededor de pozas sin nombre definido. En la fotografía se puede observar que el ambiente es un césped de puna con presencia de ichu. Esta red de niebla se ubicó a 140 m al oeste de la carretera principal.
	19/08/2020	26/08/2020	5:50	12:35	AMS_AV_RED_04	360867	8817493	4279	Red de niebla ubicada a 12 m al noreste del PAM Depósito de Relaves Quiulacocha, alrededor de pozas sin nombre definido. El ambiente está predominado por ichu. Esta red de niebla se ubicó a 200 m al oeste de la carretera principal.
	19/08/2020	26/08/2020	6:05	12:50	AMS_AV_RED_05	360886	8817508	4282	Red de niebla ubicada a 20 m al noreste del PAM Depósito de Relaves Quiulacocha, alrededor de pozas sin nombre definido. El ambiente está predominado por ichu, aunque la vegetación está influenciada por el agua que hay alrededor. Esta red de niebla se ubicó a 200 m al oeste de la carretera principal.
	24/08/2020	26/08/2020	6:10	12:55	AMS_AV_RED_09	360857	8817477	4280	Red de niebla ubicada a 10 m al noreste del PAM Depósito de relaves Quiulacocha, alrededor de pozas sin nombre definido y detrás de una casa abandonada. El ambiente está predominado por ichu. Esta red de niebla se ubicó a 200 m al oeste de la carretera principal. El Depósito de Desmonte Excelsior se encuentra a 100 m.
	24/08/2020	26/08/2020	6:15	13:00	AMS_AV_RED_10	360902	8817507	4284	Red de niebla ubicada a 30 m al noreste del PAM Depósito de Relaves Quiulacocha, alrededor de pozas sin nombre definido. El ambiente está predominado por ichu con presencia de piedras. Esta red de niebla se ubicó a 190 m al oeste de la carretera principal.



**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 Universalización de la Salud

Zona	Fecha de inicio	Fecha de fin	Hora de apertura	Hora de cierre	Código de evaluación	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
						Este (m)	Norte (m)		
Zona control	17/09/2020	18/09/2020	5:15	11:00	AMS_ZC_AV_RED_01	362380	8816675	4368	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.7 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:17	11:05	AMS_ZC_AV_RED_02	362347	8816653	4369	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.7 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:20	11:10	AMS_ZC_AV_RED_03	362330	8816604	4368	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.7 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:23	11:15	AMS_ZC_AV_RED_04	362276	8816657	4367	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.6 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:26	11:20	AMS_ZC_AV_RED_05	362224	8816701	4366	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.55 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:29	11:25	AMS_ZC_AV_RED_06	362222	8816725	4365	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:33	11:30	AMS_ZC_AV_RED_07	362203	8816726	4365	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:36	11:35	AMS_ZC_AV_RED_08	362219	8816783	4361	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:40	11:40	AMS_ZC_AV_RED_09	362244	8816795	4360	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.
	17/09/2020	18/09/2020	5:43	11:45	AMS_ZC_AV_RED_10	362252	8816849	4365	Red de niebla ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.5 km al este del PAM depósito de relaves Quiulacocha.

**c. Mamíferos menores**

La Tabla 5.53 muestra los puntos donde se realizó la evaluación de mamíferos menores, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.53.** Ubicación de transectos para la evaluación de mamíferos menores

Zona	Código de evaluación	Coordenada Inicial UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Coordenada final UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		Este (m)	Norte (m)		
Zona II	Mm-AMSAC-T2	360770	8817220	4284	360675	8817144	4262	Transecto ubicado al sureste de la PAM Depósito de Relaves Quiulacocha. El transecto estuvo compuesto por 50 estaciones de trampas Sherman. Las trampas fueron instaladas en pajonal.
Zona control	Mm-AMSACZC	362131	8816732	4332	362366	8816673	4331	Transecto ubicado en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1.45 km al sur este del PAM depósito de desmonte Exclesior. las cuales fueron instaladas en césped de puna.

**d. Mamíferos mayores**

En la tabla 5.54 se muestran las coordenadas de ubicación de las cámaras trampa, las mismas que están distribuidas en los diferentes hábitats del área de estudio, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.54.** Coordenadas de ubicación de las cámaras trampa en los diferentes hábitats del área de estudio

N.º	Código de cámara trampa	Coordenada final UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Descripción
		Norte	Este		
1	CT-PASCO-25	360891	8817500	4274	Cámara instalada en la zona II al borde de dos piscinas cargadas de agua de color verde turquesa, la vegetación al borde de las piscinas es dominado por un pastizal andino y se observan rastros de actividad de fauna doméstica
2	CT-PASCO-26	360811	8817444	4277	Cámara ubicada en la zona II y está instalada al borde de la relavera Quiulacocha, cámara adherido a una mata de ichu y está dirigido a la propia relavera donde se observan huellas de animales domésticos.
3	CT-PASCO-27	360840	8816504	4315	Cámara instalada en la zona II, Cámara instalada al borde de la relavera y esta adherida a una mata de ichu y dirigida al centro de la relavera donde se observan huellas de fauna doméstica.
4	CT-PASCO-28	360770	8817215	4273	Cámara instalada en la zona II, Cámara instalada al borde de la relavera Quiulacocha, cámara adherida a una mata de ichu y está dirigida al centro de la relavera donde se observan huellas de fauna doméstica
5	CT-PASCO-29	360638	8817092	4277	Cámara instalada en la zona II, al borde de la relavera Quiulacocha, cámara adherida a una mata de ichu y está dirigida al centro de la relavera donde se observan huellas de fauna doméstica.

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

N.º	Código de cámara trampa	Coordenada final UTM WGS 84 Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Descripción
		Norte	Este		
6	CT-PASCO-30	360553	8816914	4281	Cámara instalada en la zona II, en un pajonal andino denso y esta adherido a una mata de ichu y está dirigido a un camino de roedores, se observa mucha actividad de roedores en el área
7	CT-PASCO-31 SITIO CONTROL	362357	8816847	4328	Cámara ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 30m de la carretera de acceso a la comunidad y a 1.74 km al sureste de la relavera Quiulacocha, la vegetación del sector es césped de puna, la cámara esta adherida a una gran roca y dirigido a un claro donde se observan heces de fauna doméstica
8	CT-PASCO-32 SITIO CONTROL	362380	8816719	4351	Cámara ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 70m de la carretera de acceso a la comunidad y a 1.79 km al sureste de la relavera Quiulacocha, la vegetación del sector es césped de puna, la cámara esta adherida a una roca y dirigido a un claro donde se observan heces de fauna doméstica
9	CT-PASCO-33 SITIO CONTROL	362390	8816608	4357	Cámara ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 60m de la carretera de acceso a la comunidad y a 1.86 km al sureste de la relavera Quiulacocha, la cámara esta adherida a una roca y dirigido al centro de un bofedal seco.
10	CT-PASCO-34 SITIO CONTROL	362343	8816556	4366	Cámara ubicada en la comunidad campesina Quiulacocha 60m de la carretera de acceso a la comunidad y a 1.76 km al sureste de la relavera Quiulacocha, la cámara está instalada en una ladera adherida a una mediana roca que está dirigido a un pequeño roquedal.

Las Tabla 5.55 y 5.56 se detallan las coordenadas de ubicación en donde se tomaron muestras de sangre en ganado ovino y colocación de rastreadores satelitales, y su distribución espacial se observa en el mapa de ubicación (Anexo 1).

**Tabla 5.55.** Ubicación de sitios de toma de muestras de sangre

Nro.	Código de muestras de sangre	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Fecha de inicio	Fecha final	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
1	TS-AMSAC	361275	8817819	4330	21/09/2020	21/09/2020	En la comunidad Champamarca, aproximadamente a 560 m del PAM depósito de relaves Quiulacocha, se tomaron 5 muestras de sangre de ovejas que tienen contacto con el PAM depósito de relaves Quiulacocha
2	TS-BLANCO	356544	8825608	4377	21/09/2020	21/09/2020	En la comunidad Condorcayan, aproximadamente a 9000m al norte del PAM depósito de relaves Quiulacocha, se tomaron 5 muestras de sangre de ovejas que no tienen contacto con el PAM depósito de relaves Quiulacocha

**Tabla 5.56.** Ubicación de sitios de muestreo para el uso de rastreadores satelitales

Nro.	Código de rastreadores satelitales	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Fecha de inicio	Fecha final	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
1	OEFA-01 OEFA-03 OEFA-05	361275	8817819	4330	21/09/2020	15/10/2020	En la comunidad Champamarca, aproximadamente a 560 m del PAM depósito de relaves



Nro.	Código de rastreadores satelitales	Coordenadas UTM WGS 84 – Zona 18 L		Altitud m s.n.m	Fecha de inicio	Fecha final	Descripción
		Este (m)	Norte (m)				
	OEFA-06 OEFA-07						Quiulacocha, se instalaron 5 rastreadores satelitales marca SPOP TRACE con los siguientes códigos OEFA-01 OEFA-03 OEFA-05 OEFA-06 y OEFA-07.
2	OEFA-12 OEFA-13 OEFA-19	356544	8825608	4377	21/09/2020	15/10/2020	En la comunidad Condorcayan, aproximadamente a 9000 m al norte del PAM depósito de relaves Quiulacocha, se instalaron 3 rastreadores satelitales marca SPOP TRACE con los siguientes códigos OEFA-12, OEFA-13 y OEFA-19

#### 5.4.2.3. Métodos de evaluación

##### Anfibios y reptiles

- **Búsquedas por encuentros visuales o «Visual Encounter Survey» (VES)**

Consiste en la búsqueda intensiva de anfibios y reptiles, mediante un desplazamiento constante, en la superficie del suelo, huecos, debajo de piedras, vegetación y cuerpos de agua que sirvan de refugio a estos organismos<sup>20</sup>. Cada VES estuvieron distanciados entre sí por al menos 20 y fue evaluado por 1 persona en un periodo de 30 minutos. Se tomaron datos de georreferenciación, hora de inicio y finalización de búsqueda efectiva, características y tipo de hábitat, condiciones meteorológicas y se indentificaron posibles fuentes de perturbación antrópica como ganadería, o pastero y la presencia de algún componente minero.

- **Toma de datos de individuos capturados**

Todos los individuos fueron capturados a mano y manipulados con guantes de nitrilo. Cada uno fue pesado con una balanza electrónica portátil de 0,1 gr de precisión, con un vernier electrónico de 0,1 mm se midió la longitud hocico – cloaca (LHC). Posteriormente se realizó la identificación taxonómica hasta el nivel de especie y se determinó el sexo y estado de madurez (juvenil, subadulto o adulto).

- **Colecta de tejido para el análisis de metales pesados**

Para la detección de metales pesados, algunos individuos de anfibios fueron sacrificados con una solución de lidocaína al 10%, en individuos grandes (> 10 gr) se extrajo el hígado y músculo de la parte anterior del muslo. Respecto a las especies pequeñas (< 10 gr) se consideró todo el cuerpo como una muestra, similar a lo realizado por Jofré et al. (2012). Las muestras fueron conservadas a una temperatura de 4 °C<sup>21</sup>, hasta su envío al laboratorio para el análisis. También se colectaron individuos para la identificación taxonómica, estos fueron fijados en formol al 10 % y preservados en etanol al 70%, para su posterior entrega a una institución depositaria.

<sup>20</sup> Crump, M.L. y N.J. Scott. (1994). Visual Encounter Surveys. En: W.M. Heyer, A. Donnelly, R.A. McDiarmid, L.C. Hayec y M.C. Foster (eds). Measuring and Monitoring Biological

<sup>21</sup> Williams, M., Ramos, D., Butrón, A., Gonzales-Zúñiga, S., Ortiz, N., La Torre, B. (2010). Concentraciones de metales pesados en murciélagos del lodge "Cock of the Rocks" y alrededores, Kosñipata, Cuzco, Perú. Ecología Aplicada. 9(2): 133-139.

## Aves

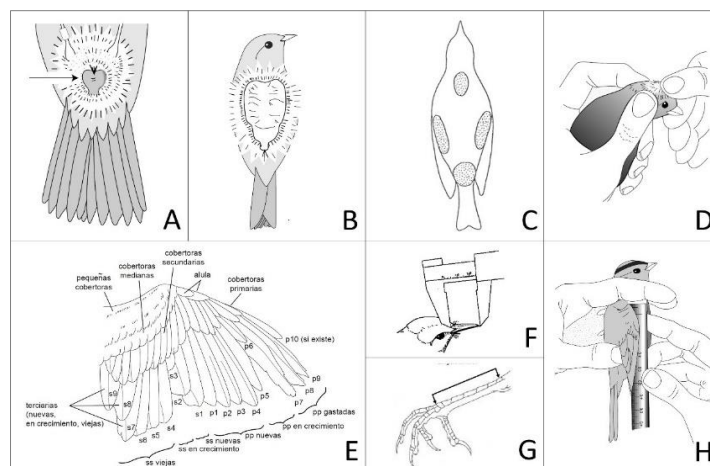
Se realizó reconocimiento del área de estudio en el área de influencia del PAM Quiulacocha con la finalidad de escoger los lugares más adecuados para realizar la captura de aves y toma de muestras. Para la captura de aves se utilizaron redes de niebla de 12x2,5 m. Mediante esta metodología se puede manipular individuos y evaluar diferentes variables (muda, sexo, edad, etc.) que permitan estimar la condición física de las aves<sup>22,23</sup>. Se utilizaron 15 redes de niebla, de las cuales, 5 estuvieron ubicadas en el borde del PAM Quiulacocha, y 10 en una zona control ubicada a 1,5 km, aproximadamente, del PAM Quiulacocha, en la comunidad campesina Quiulacocha 02. Las redes fueron monitoreadas cada 30 minutos entre las 5:45 h y las 13:30 h.

Para facilitar la captura de aves, de manera cautelosa se emplearon grabaciones de cantos de las especies observadas en la zona de muestreo, las cuales fueron obtenidas de la base de datos de cantos de aves Xeno-Canto<sup>24</sup>. Para la reproducción de los cantos se utilizó un reproductor de música y un pequeño parlante.

- **Toma de datos**

Para cada ave capturada se tomaron los siguientes datos: fecha, hora, localidad, ubicación de la red y nombre científico. Para la determinación de especies se usó la guía de campo Aves de Perú<sup>25</sup>. Adicionalmente, se evaluó el plumaje, condición fisiológica, medidas morfométricas, osificación del cráneo y otras características que permitan conocer el sexo y edad de las aves.

Las medidas morfométricas que se tomaron fueron las siguientes: longitud de ala, longitud de cola, longitud de tarso, longitud pico-narina. Las condiciones fisiológicas que se tomaron fueron: protuberancia cloacal, parche de incubación, cantidad de grasa. Asimismo, se evaluó la muda de cuerpo, muda de vuelo, desgaste de plumas, límite de muda, osificación del cráneo, peso, sexo y edad<sup>26</sup> (Figura 5.9).



<sup>22</sup> Ralph, J.; Geupel, G.; Pyle, P.; Martin, T.; DeSante, D.; & M. Borja. (1996). Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.

<sup>23</sup> Ministerio del Ambiente – MINAM. (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación.

<sup>24</sup> <http://www.xeno-canto.org/>

<sup>25</sup> Schulenberg T.S., Stotz, D.F., Lane D.F., O'Neill J. P. & Parker III, T. A. (2010). Aves de Perú. Serie Biodiversidad

<sup>26</sup> Pyle, P, S. Howell, R. Yunick & DeSante. (1987). Identification guide to North American passerines. Bolinas, CA: Slate Creek Press, P.O. Box 219.

**Figura 5.9.** Medidas morfométricas y condiciones fisiológicas que se medirán en aves capturadas. Dónde: A: protuberancia cloacal, B: parche de incubación, C: Cantidad de grasa, D: Osificación del cráneo, E: muda de ala, F: Longitud pico-narina, G: Longitud de tarso, H: Longitud de ala. Fuente: Ralph *et al.*<sup>22</sup> y Pyle *et al.*<sup>26</sup>.

- **Colecta de plumas**

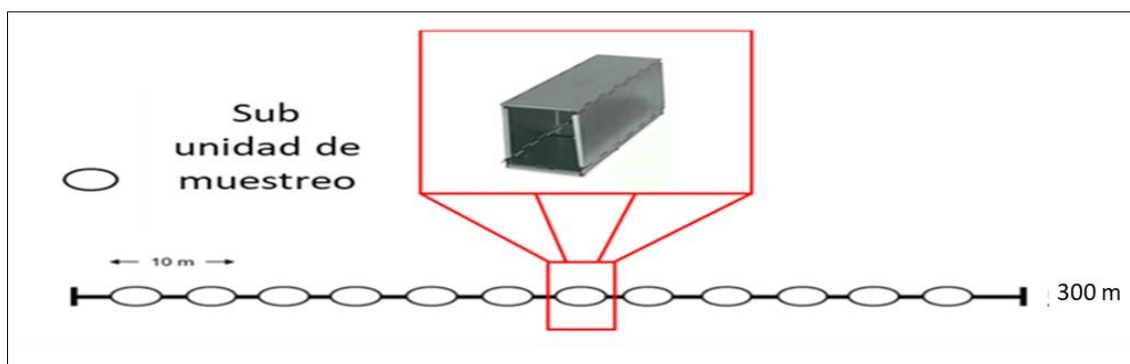
A cada una de las aves capturadas se le colectaron plumas, las cuales fueron depositadas en bolsas plásticas herméticas. Para la colecta de plumas se siguió como referencia el protocolo de muestreo de plumas del American Kestrel Genoscape Project<sup>27</sup>. Luego de la toma de muestras y colecta de plumas, cada ave fue liberada en el mismo sitio en el que se le capturó, de tal manera, que pudiese regresar rápidamente a su hábitat, disminuyendo así cualquier perturbación que se le pueda generar.

### Mamíferos menores

- **Captura con trampas viva tipo Sherman**

Para la evaluación de mamíferos menores (roedores) se utilizó el método de trampeo sistemático con trampas de captura viva tipo Sherman<sup>28</sup>, para ello se establecieron transectos de 300 metros (Figura 5.10). Se instalaron 25 estaciones de trampas Sherman en cada transecto, las trampas estuvieron separadas entre sí por 10 metros y fueron instaladas, colocadas en el piso, debajo de los arbustos, piedras o cualquier otro sitio donde se presuma la presencia de roedores, cada estación de captura fue señalizada y marcada con cinta flagging, donde se consignó el número de cada estación de muestreo.

Para asegurar el éxito de capturas, las trampas fueron cebadas con una mezcla de avena con mantequilla de maní, esencia de vainilla, pasas, diversos granos y miel, las trampas fueron revisadas al día siguiente de instalado. Los individuos capturados fueron identificados en campo con base en conocimiento previo ayudados por literatura especializada<sup>29</sup>, para la nomenclatura taxonómica en este estudio siguió a Patton *et al.* (2015)<sup>30</sup>.



**Figura 5.10.** Transecto de trampas Sherman

<sup>27</sup> The American Kestrel Partnership. (2017). American Kestrel Genoscape Project. Feather Sampling Protocol. University of California. United States of America.

<sup>28</sup> Guía de inventario de la fauna silvestre / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. -- Lima: MINAM, 2015.

<sup>29</sup> Pacheco, V., R. Cadenillas, E. Salas, C. Tello y H. Zeballos. (2009). Diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú. Revista Peruana de Biología, 16(1): 5-32.

<sup>30</sup> Patton L. J. Berkeley U. F. J. D'Elia P.G. 2015. Mammals of South America edited by Alfred L. Gardner. The University of Chicago Press, Ltd., London 2015 by The University of Chicago All rights reserved. Published 2015.



- **Colocación de trampas de vida tipo Sherman**

- Se preparó el cebo que constó de avena mezclada con mantequilla de maní, pasas, esencia de vainilla y miel.
- Se colocó y cebó todas las trampas durante el transcurso de la mañana.
- Se indicó cada estación de trampas con una cinta flagging atada y marcada con el número de estación al costado de la trampa de vida tipo Sherman. Se colocaron las trampas cada una lo más nivelado posible, con la boca a nivel del suelo. La tierra en algunos casos se removió y niveló raspándola con el pie. Al colocar cada trampa. Se controló el mecanismo disparador para comprobar su ajuste y sensibilidad.
- Se colocó las estaciones de trampas cerca de madrigueras u otros lugares que provean refugio a los roedores.
- En cada transecto de trampas se tomó coordenadas UTM inicial y final.
- Se realizó registro fotográfico de la metodología empleada.

- **Recolección de roedores capturados**

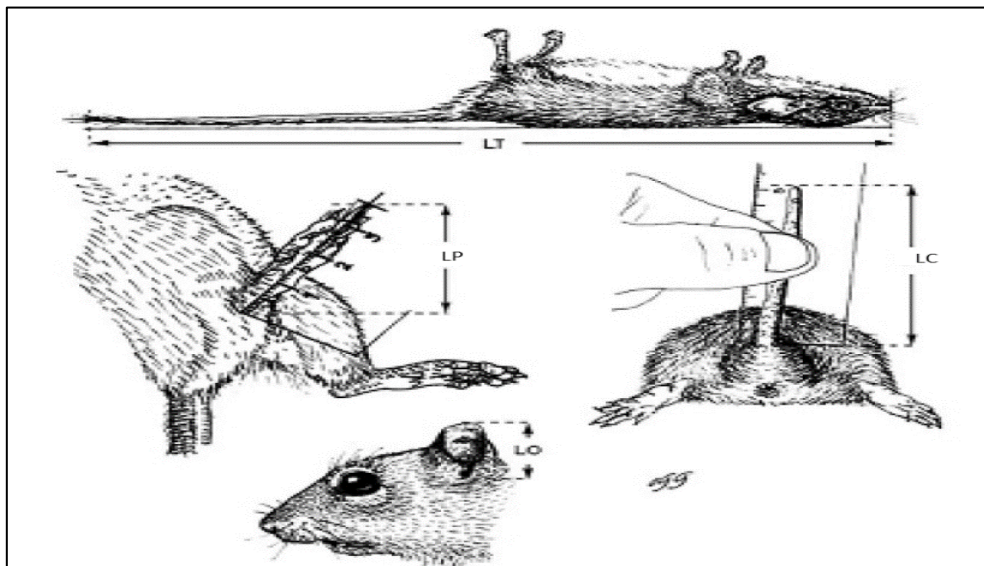
- Las trampas fueron revisadas lo más temprano posible a mañana siguiente de ser instalados.
- Cuando la trampa se encontró con la puerta cerrada, se alzó sin sacudirla. De pie, con el viento del lado izquierdo o derecho y la trampa tomada a una distancia igual al largo de un brazo, se empujó suave y cuidadosamente la puerta para confirmar la presencia de un roedor capturado. Si no hubo captura ni evidencia de visita, se controló el ajuste de la trampa y se volvió a poner en la línea correspondiente.
- Cuando la trampa contuvo un individuo capturado, se colocó cuidadosamente la trampa en una bolsa de tela para sacar al roedor capturado. Cuando el roedor estuvo en la bolsa de tela se colocó una cinta masking para indicar el número de estación donde fue capturado.
- Después de completar el revisado y recebado las estaciones de trampas, se procedió con la identificación de los individuos capturados.

- **Procesamiento de roedores capturados (Toma de medidas biométricas)**

El personal que participó en la manipulación de roedores o trampas utilizó guantes de látex. Las medidas de los individuos capturados fueron en milímetros (mm).

- Se anotó el sexo y la condición reproductiva del individuo. Para los machos, testículo escrotal o abdominal. Para las hembras, la vagina puede estar perforada o cerrada. Los pezones lactantes o no lactantes (esto se determinó apretando suavemente un pezón entre el pulgar y el dedo índice).
- La edad del individuo se registró (subjetivamente) según las medidas y características de pelaje como juvenil, adulto joven o adulto.

- Para medir el largo total (LT) se colocó el individuo sobre una superficie con la parte ventral hacia arriba, de modo que el cuerpo y la cola estén derechos y tirantes, pero no estirados. Se midió la distancia desde la punta de la nariz a la punta de la parte carnosa de la cola; se excluyó cualquier pelo que se proyecte más allá de la punta (Figura 5.11).
- Para medir el largo de cola (LC), se colocó el individuo con la parte ventral hacia abajo y la cola doblada hacia arriba en un ángulo recto. Se midió desde la curvatura de la base posterior de la cola hasta la punta de la parte carnosa, se excluyó los pelos que se proyectan más allá (Figura 5.11).
- Para medir el largo de pata posterior derecha (LP), se colocó el individuo tendido con la parte ventral hacia arriba, se colocó el dedo índice sobre la superficie dorsal de la pata y el pulgar sobre la superficie plantar y sostener la pata de modo que el tobillo forme un ángulo recto perfecto. Se midió la distancia desde la parte de atrás del «talón» hasta la punta más larga de la uña (Figura 5.11).
- Para medir el largo de oreja (LO): se insertó la punta de una regla en la muesca de la base de la oreja y se midió el largo máximo a la porción distal del pabellón de la oreja (apariciencia media); se excluyó los pelos que se proyectan más allá de la porción carnosa (Figura 5.11).
- Los individuos capturados fueron identificados en campo con base en conocimiento previo y posible presencia en el área (Pacheco *et al.*, 2009). La nomenclatura taxonómica en este estudio se basará principalmente en Patton *et al.*, (2015).



**Figura 5.11.** Toma de medidas biométricas de roedores (Voss y Emmons, 1996)

- Se realizó el registro fotográfico del espécimen capturado en posición lateral.

Cuando el roedor capturado no fue identificado en campo, fue sacrificado para su posterior identificación en gabinete dentro del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, la manera de preservar el espécimen fue a través de mota.





- **Toma de muestras para análisis de metales pesados**

Para la detección de metales pesados se sacrificó a los especímenes capturados. Los ratones fueron sacrificados de acuerdo con el protocolo de the Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists<sup>31</sup>. Se extrajo tejidos (hígado, riñón y musculo) de cada roedor y se depositó en bolsas ziploc hermetico y preservados a temperatura menor o igual a 4 °C<sup>32</sup>.

### **Mamíferos mayores**

- **Instalación de cámara trampa**

Para documentar de manera gráfica la diversidad y abundancia de mamíferos silvestre en el área evaluada, se instalaron 18 cámaras trampa de la marca Bushnell, Trophy Cam HD modelo Aggressor con sensores de movimiento y calor. En cada cámara se colocó una tarjeta de memoria de 32 GB y la energía fue proporcionada por ocho pilas alcalinas AA.

Las cámaras fueron ubicadas entre los 0,5m y un metro de altura y permanecieron fijadas en rocas, matorrales y arbolitos de delgado fuste, en todos estos casos las cámaras permanecieron con una posición contraria a la salida y ocaso del sol.

- **Programación de las cámaras trampa**

Las cámaras estuvieron operativas las 24 horas del día y fueron programadas para tomar una foto seguida de un video de 10 segundos con periodos de espera de seis segundos (una vez que la cámara realizó la primera foto, espera seis segundos para activarse nuevamente). A continuación, se presentan los datos de programación de la cámara:

- ❖ Modo: Híbrido
- ❖ Tamaño de imagen: 24 megapíxeles
- ❖ Formato de imagen: Full screen
- ❖ Numero de captura: 1 foto
- ❖ Control LED: Medio
- ❖ Tamaño de vídeo: 1920x1080
- ❖ Duración de vídeo: 10"
- ❖ Intervalo: 6"
- ❖ Nivel del sensor: Auto
- ❖ NV Shutter: Auto
- ❖ Camera Mode: 24 horas
- ❖ Sonido de video: Activado

- **Toma de muestra de sangre de animales del grupo ovino**

Se tomó muestra de sangre entera de la vena yugular del ovino, con aguja vacutainer N° 18 x1,5 G, y recepcionó en frasco estéril vacutainer de 10 ml hasta completar cantidad de 20 ml de sangre el cual fue rotulado con la identificación del animal, finalmente la muestra de

<sup>31</sup> Sikes, R.S., the Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. (2016). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. Journal of Mammalogy. 97 (3): 663-688. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw078>.

<sup>32</sup> Williams, M., Ramos, D., Butrón, A., Gonzales-Zúñiga, S., Ortiz, N., & La Torre, B. (2010). Concentraciones de metales pesados en murciélagos del Lodge" Cock of the Rocks" y alrededores, Kosñipata, Cuzco, Perú. Ecología Aplicada, 9(2), 133-139



sangre se colocó en la caja de tecnopor acompañado de cojines de hielo para mantener temperatura de conservación.

- **Instalación de rastreadores satelitales**

Los rastreadores satelitales utilizados para este estudio son de la marca SPOT modelo TRACE y constan de un dispositivo con GPS a batería, los rastreadores SPOT utilizan un sistema vía satélite GPS para transmitir datos por medio de la red de satélite de Globalstar del cual se obtiene la posición georreferenciada del animal por medio de su latitud y longitud. Los rastreadores se alimentan de cuatro pilas recargables del tipo AAA y fueron configurados para registrar la posición cada cinco (5) minutos.

Para el propósito de nuestro estudio se instalaron rastreadores en ocho animales (cinco en ovejas que habitan en zonas aledañas al PAM Quiulacocha y tres en ovejas de un sitio blanco ubicado a 9000m del PAM Quiulacocha) por un periodo de 18 días finalizados los mismos, se recogieron los rastreadores para evaluar la integridad de su estructura y descarga de la información.

#### 5.4.2.4. Parámetros de análisis

Para cumplir con los objetivos planteados se consideró el análisis de parámetros a nivel de comunidad de fauna silvestre (anfibios, reptiles, aves y mamíferos), los cuales fueron: composición y riqueza de especies, abundancia (número de individuos), diversidad alfa y diversidad beta. Estos parámetros se obtendrán de la evaluación cuantitativa y cualitativa.

A nivel de individuos se realizó un análisis de metales en muestras de tejido animal (anfibios y roedores), plumas (aves) y tejido sanguíneo (mamíferos mayores domésticos). 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 – TYPASA. También se realizó un análisis para la determinación de cianuro (expresado en mg CN/kg), mediante el método colorimétrico PNTE-LTG-93 (Tabla 5.57).

**Tabla 5.57.** Parámetros evaluados en los grupos de fauna

Parámetros	Fauna silvestre				Laboratorio
	Anfibios y reptiles	Aves	Mamíferos menores	Mamíferos mayores	
Composición de especies	x	x	x	x	Personal de OEFA
Riqueza de especies	x	x	x	x	
Abundancia	x	x	x	x	
Índices de diversidad alfa	Números de Hill	x	x	x	
	Índice de Shannon (H')	-	-	x	
Índices de diversidad beta	Índice de Jaccard	-	-	x	
	Índice de Morisita	-	x	x	
Metales totales y cianuro en tejido animal	x	-	x		Laboratorio TYPASA S.A
Plumaje, medidas morfométricas, condición fisiológica, sexo, edad, osificación del cráneo	-	x	-		Personal de OEFA
Metales totales en plumas de aves	-	x	-		Laboratorio TYPASA S.A
Metales totales en tejido sanguíneo				x	Laboratorio TYPASA S.A



#### 5.4.2.5. Equipos utilizados

Los equipos y materiales utilizados para la presente evaluación se muestran en los reportes de campo N.º RC-037-2020-STEC y RC-052-2020-STEC (Anexos 2 y 6).

#### 5.4.2.6. 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 y riqueza de especies

Para determinar estos dos parámetros se realizó la identificación taxonómica hasta el nivel de especie, para ello se utilizaron claves especializadas, descripciones científicas (Castillo y Aguilar 2020; Rodríguez et al. 2019, Sinsch, 1986, Sinsch y Lehr, 2010), 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. Para la clasificación taxonómica, respecto a los anfibios se siguió la taxonomía utilizada por Frost (2020) y en cuanto a los reptiles la utilizada por Uetz (2020).

Para la determinación taxonómica de aves, se usó la clasificación taxonómica del South American Classification Committee (SACC) de Remsen *et al.*, (2020), adoptando el criterio de inclusión modificado para Perú por Plenge (2020).

Para la determinación taxonómica de las especies de mamíferos menores registrados durante la evaluación, se utilizó bibliografía especializada, base de datos de museos nacionales, así como el apoyo de investigadores adscritos a diversas universidades y experiencia previa. Para la clasificación taxonómica se siguió la taxonomía propuesta por Patton *et al.* (2015) y las especies endémicas de mamíferos se determinaron utilizando la publicación de Pacheco *et al.* (2009).

##### b. Abundancia

La abundancia es la suma total de los individuos de una especie o especies obtenida mediante un muestreo (Bibby *et al.*, 1998). 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.

##### c. Diversidad de especies

Se realizó el análisis de diversidad debido a que en estudios previos no se registraron especies de anfibios o reptiles, siendo necesaria la caracterización de este grupo para el área de evaluación, para lo cual se realizarán los siguientes análisis:

##### **Diversidad alfa**

Número efectivo de especies o números de Hill es una medida estandarizada de los índices de diversidad clásicos, los cuales tienen propiedades únicas para aplicaciones específicas. De manera que los índices netos de diversidad (Riqueza S, Shannon H' y Simpson 1-  $\lambda$ .) pueden ser expresados en valores de una diversidad real o verdadera de una comunidad virtual en la que todas las especies tuvieran la misma abundancia relativa (Hill, 1973; Jost,



2007). Este índice de diversidad ( $qD$ ) muestra una medida del número de especies efectivas cuando cada especie es ponderada por su abundancia relativa (Hill, 1973; Jost, 2007). Valores diferentes del exponente  $q$  en cada cálculo da un peso diferencial a la abundancia relativa de especies (Jost *et al.*, 2011). El valor de  $0D$  corresponde a la riqueza de especies,  $1D$  muestra el número de especies comunes y  $2D$  representa el número de las especies dominantes y más abundantes (Chao *et al.*, 2014).

Se calcula a partir de la siguiente fórmula (Jost, 2006):

$$qD = \left( \sum_{i=1}^s p_i^q \right)^{\frac{1}{1-q}} \quad (5.1)$$

Donde:

$qD$ : Diversidad verdadera

$p_i$ : Abundancia de la especie  $i$  dividida entre la suma total de abundancias de las  $S$  especies que integran la comunidad

$q$ : Exponente de la diversidad

Estos análisis se realizaron en el paquete estadístico INext 2.0.12 (Hsieh *et al.*, 2016) con un bootstrap de 1000 repeticiones y un intervalo de confianza del 95%, en el programa R (R Core Team, 2018).

El índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), expresa la uniformidad de los valores de importancia de todas las especies de la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay una sola especie o comunidades poco diversas, y el logaritmo de  $S$ , cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos representando comunidades de máxima equidad (Magurran, 1988 citado en Moreno, 2001). Su fórmula es:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \quad (5.2)$$

Donde:

$H'$ : índice de diversidad de la muestra

$p_i$ : Proporción del total de la muestra que corresponde a la especie  $i$

#### d. 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.



### e. Análisis multivariado

El Análisis de Componentes Principales (PCA) es un método estadístico que permite simplificar la complejidad de espacios muestrales con muchas dimensiones a la vez que conserva su información. Supóngase que existe una muestra con  $n$  individuos cada uno con  $p$  variables ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ), es decir, el espacio muestral tiene  $p$  dimensiones. PCA permite encontrar un número de factores subyacentes ( $z < p$ ) que explican aproximadamente lo mismo que las “ $p$ ” variables originales.

Donde antes se necesitaban  $p$  valores para caracterizar a cada individuo, ahora bastan  $z$  valores. Cada una de estas  $z$  nuevas variables recibe el nombre de componente principal. Estos análisis se realizaron con el paquete Vegan (Oksanen *et al.*, 2017) en el programa R (R Core Team 2018).

### f. Prueba de Kruskal Wallis

Es una prueba estadística no paramétrica 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.

Supóngase que se dispone de “ $K$ ” grupos, cada uno con “ $n$ ” observaciones (total de datos). Si se ordenan todas las observaciones de menor a mayor y se le asigna a cada una de ellas su rango, cuando se obtenga la suma de rangos para cada uno de los grupos ( $R_i$ ) es de esperar que, si se cumple la hipótesis nula, todos los grupos tengan un valor similar. Partiendo de esta idea se calcula el estadístico  $H$  como:

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

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.

### g. Recolección de datos fotográficos y análisis de información de cámaras trampa

Los datos fotográficos fueron analizados con el programa Camera Base, una base de datos en el programa Access, específicamente diseñada para analizar fotos de cámaras trampa (Tobler, 2013). Para el análisis de datos se consideraron todas las fotos excepto aquellas en blanco o las que registraron a personas. Se calculó la frecuencia de captura de cada especie usando el número de apariciones en 1000 días-cámara.

La frecuencia de captura es el número de cámaras en las cuales aparece el animal. El número de apariciones cuenta los eventos independientes (cada evento tiene un intervalo de 30 minutos).



## h. Curva de acumulación de especies

Se realizó una curva de acumulación en base al número de transectos evaluados, calculando el modelo que mejor se ajusta a los datos para determinar la eficiencia del muestreo, que se mide comparando el número de especies observadas versus el número de especies esperadas. Los modelos predicen el número esperado de especies, si se incrementa el esfuerzo de muestreo, se calcularon mediante procesos estocásticos de nacimientos puros en el programa en el programa «Species Accumulation» (Días-Frances y Soberón, 2005), En la Tabla 5.58, se detallan las fórmulas de cálculo de los modelos de clench, exponencial y logarítmico.

**Tabla 5.58.** Fórmulas de los modelos para las curvas de acumulación de especies

Modelo	Fórmula	Formula de Asíntota (Especies esperadas)
Exponencial	$(a/b) (1 - e^{-bt})$	$a/b$
Clench	$at/(1+bt)$	$a/b$
Logarítmico	$(1 - e^{-b})^{-1} \log (1 + (1 - e^{-b}) at)$	-

Dónde: t representa el esfuerzo de muestreo y a y b los parámetros de ajuste de la curva

## i. Determinación de especies endémicas y amenazadas de fauna silvestre

### Anfibios y reptiles

La lista de especies endémicas se realizó en la base la información obtenida de fuentes bibliográficas que contienen información sobre puntos de presencia y rango de distribución de las especies registradas. Adicionalmente se consultaron bases de datos en línea como «Reptile Database» (Uetz *et al.*, 2020), «*Amphibian species of the world*» (Frost, 2020) y la base de datos de distribución de especies de la «*The IUCN Red List of Threatened species*» (IUCN, 2020).

Para determinar las especies amenazadas de fauna anfibios 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*»<sup>33</sup> (IUCN, 2020) y los apéndices «*The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*»<sup>34</sup> (CITES, 2019).

### Aves

Las especies de aves endémicas y migratorias de Perú se determinaron según Schulenberg *et al.* (2010) y Plenge (2020), las especies endémicas de los biomas según Stolz *et al.* (1996), y las especies endémicas a algún Área de Endemismo de Aves (EBA, por sus siglas en inglés) se determinaron de acuerdo con la lista de EBA de BirdLife International (Stattersfield *et al.*, 1998).

Para determinar las especies de aves amenazadas 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

<sup>33</sup> Traducido al español como Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

<sup>34</sup> Traducido al español como Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres



especies incluidas en «*The IUCN Red List of Threatened species*»<sup>35</sup> (IUCN, 2020), los apéndices «*The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*»<sup>36</sup> (CITES, 2019) y las especies incluidas en los apéndices de la Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals<sup>37</sup> (por sus siglas en inglés, CMS) del 2015.

### Mamíferos menores

Las especies endémicas de mamíferos se determinaron utilizando la publicación de Pacheco *et al.* (2009) sobre diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú.

Para determinar las especies amenazadas de fauna silvestre (mamíferos) 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*»<sup>38</sup> (IUCN, 2020), los apéndices «*The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*»<sup>39</sup> (CITES, 2019) y las especies incluidas en los apéndices de la Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals<sup>40</sup> (por sus siglas en inglés, CMS) del 2015.

### **j. Determinación de la contaminación de metales pesados en los tejidos de anfibios y reptiles**

#### Relación de la concentración de metales pesados detectados en el medio físico y tejidos de anfibios

Para determinar si existe relación entre la concentración de metales pesados hallados en el medio físico (suelo) y los hallados en el tejido de los anfibios colectados, se realizó una comparación entre los patrones de covarianza de las matrices de los niveles de concentración de metales pesados mediante un análisis de correlación bivariada calculando el índice de Spearman.

<sup>35</sup> Traducido al español como Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

<sup>36</sup> Traducido al español como Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres

<sup>37</sup> Traducido al español como Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres.

<sup>38</sup> Traducido al español como Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

<sup>39</sup> Traducido al español como Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres

<sup>40</sup> Traducido al español como Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres



## 6. RESULTADOS

El análisis de resultados del presente estudio se presenta por objetivos. Teniendo en cuenta las matrices evaluadas para dar respuesta a cada objetivo planteado, así como sus comparaciones con las normativas correspondientes.

### 6.1. Objetivo específico 1: Identificar los contaminantes presentes en el PAM Quiulacocha y otras fuentes; determinar su movilidad y los mecanismos de transporte hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo.

#### 6.1.1. Caracterización geoquímica y mineralógica del material de PAM y residuos mineros

La caracterización geoquímica y mineralógica del PAM Quiulacocha y residuos mineros ubicados aledaños al PAM, se realizó con la finalidad de conocer el contenido de metales totales, la capacidad de generar drenaje ácido y potencial de lixiviar metales hacia el medio. La distribución de puntos y parámetros analizados se presenta en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1.** Distribución de puntos y parámetros analizados en el PAM Quiulacocha y residuos mineros

N.º	Ubicación	Código de punto	Litología de fragmentos	Parámetros evaluados						
				Metales totales y mercurio	Test ABA	SF metales	SF aniones	Tessier	Análisis mineralógico por DRX	Análisis granulométrico
1	PAM depósito de relaves Quiulacocha	PAM-27-Q01	Relave de mineral compuesto por arcillas, óxidos y sulfuros	1	1	1	1	---	1	---
2		PAM-27-Q02		1	1	1	1	---	1	---
3		PAM-27-Q03		1	1	1	1	---	1	1
4		RM-QUI3	Costras alteradas en la superficie del relave, polvo oxidado de color naranja con evidencia de grietas de desecación.	1	---	---	---	---	---	---
5	Residuo minero – borde este del PAM Quiulacocha	RM-QUI1	Desmante de mineral compuesto por calizas y brecha calcáreas con mineralización de pirita y hematita, en matriz de arenas y óxidos.	1	---	---	---	---	---	---
6	Residuo minero – borde oeste del PAM Quiulacocha	RM-QUI2	Desmante de mineral con fragmentos de pirita masiva y óxidos endurecidos, en matriz de óxidos y polvo de mineral.	1	1	1	1	1	1	---

Fuente: Reporte de campo RC-032-2020-STEC y RC-047-2020-STEC  
(---): Parámetro no considerado para este punto

#### a. Metales totales

Los metales predominantes en el material del PAM Quiulacocha (nivel profundo y superficial) y residuos mineros se presentan en la Tabla 6.2. De igual modo, en la Figura 6.1 se muestra las concentraciones promedio con error estándar (Figura 6.1a y b) del PAM Quiulacocha y las concentraciones de los residuos mineros aledaños al PAM (Figura 6.1c).





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

Tabla 6.2. Metales predominantes en el PAM Quiulacocha y residuos mineros

Sector	Elementos predominantes (> 1000 mg/kg)	Elementos trazas (< 1000 mg/kg)
PAM depósito de relaves Quiulacocha	<b>Parte profunda:</b> Hierro, plomo, zinc, calcio, manganeso, arsénico, aluminio, magnesio y potasio	Sodio, fósforo, cobre, bario, antimonio, estroncio, plata y talio
	<b>Superficie alterada:</b> Hierro++, magnesio, manganeso, calcio, zinc, plomo y potasio	Arsénico, aluminio, sodio, fósforo, estroncio, cobre, bario, vanadio, talio y antimonio
Residuo minero – borde este del PAM Quiulacocha	Hierro, plomo++, calcio, zinc, aluminio y potasio	Arsénico, fósforo, cobre, manganeso, magnesio, estroncio, bario, sodio, plata, antimonio y cadmio
Residuo minero – borde oeste del PAM Quiulacocha	Hierro, calcio, aluminio, plomo, zinc, cobre, potasio, manganeso y fósforo	Arsénico, magnesio, bario, sodio, estroncio, vanadio y plata

(++): Elemento con concentración elevada con respecto al resto

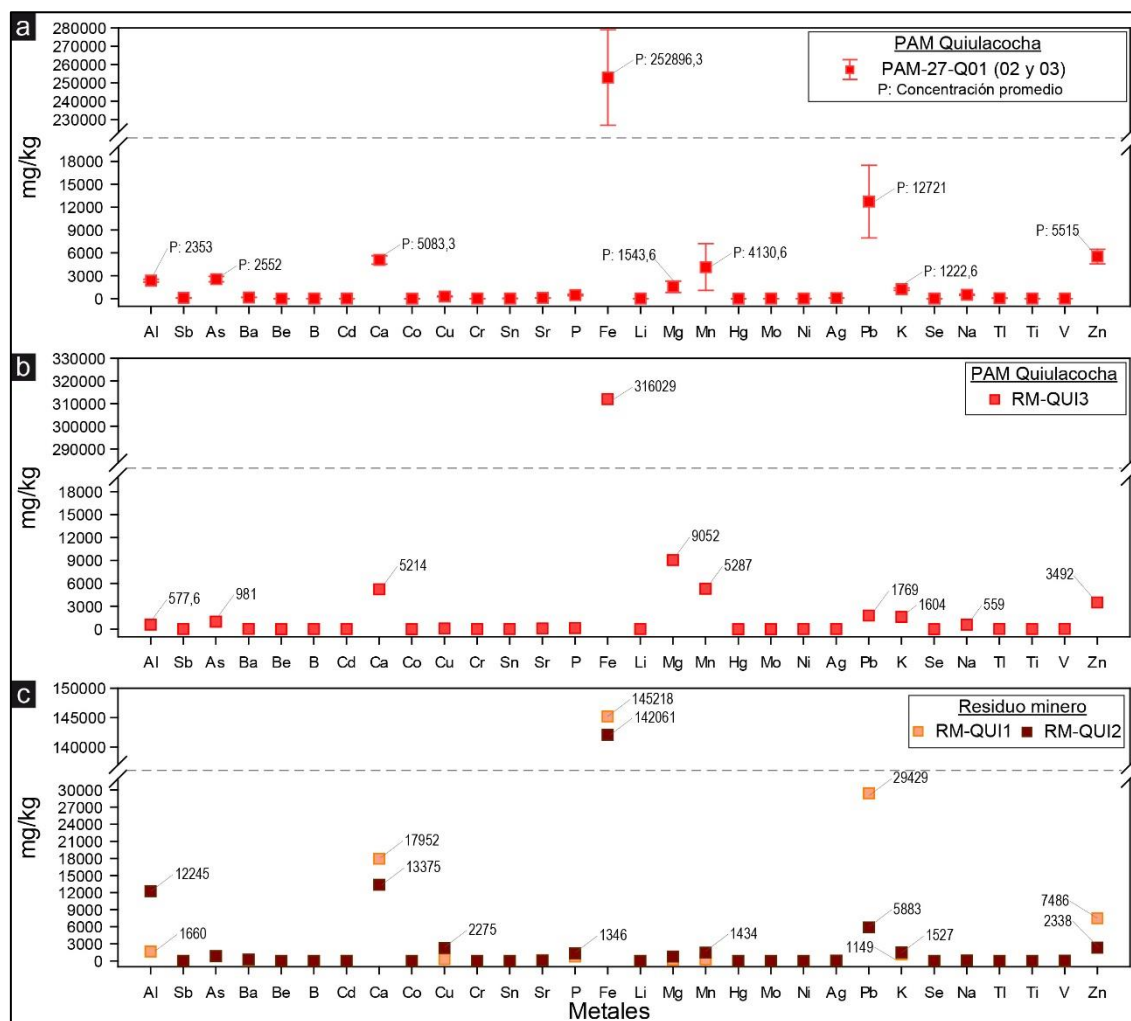


Figura 6.1. Concentración de metales totales en a) y b) PAM Quiulacocha y c) residuos mineros

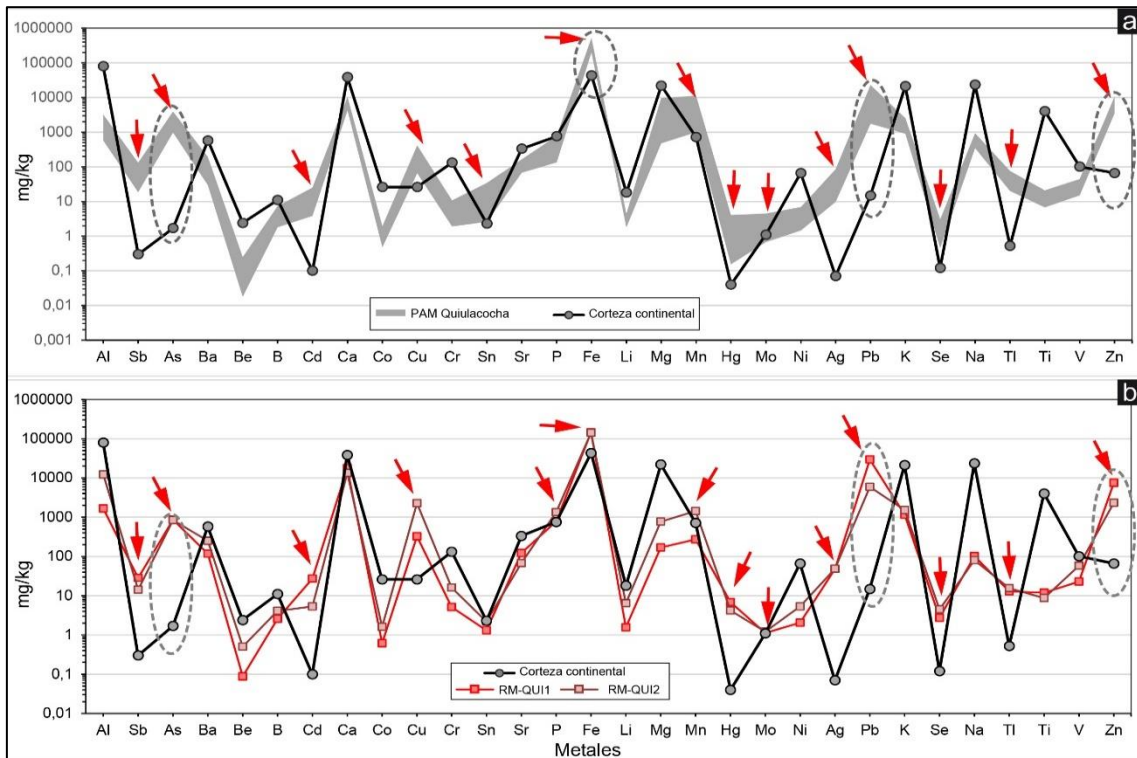
El material de relave del PAM Quiulacocha (parte profunda: puntos PAM-27-Q01, PAM-27-Q02 y PAM-27-Q03) presentan altas concentraciones de hierro, plomo, zinc, calcio, manganeso, arsénico, aluminio, magnesio y potasio, y trazas de sodio, fósforo, cobre, bario, antimonio, estroncio, plata y talio, asociados al contenido mineralógico del relave el cual está compuesto por pirita, cuarzo, melanterita, beudantita, yeso, jarosita, marcasita, caolinita, plumbogummita goethita y siderita (ver sección de análisis mineralógico). En tanto la

superficie alterada (punto RM-QUI3) las concentraciones son menores respecto a la parte profunda, a excepción del hierro, magnesio, potasio y vanadio.

El residuo minero dispuesto en el borde este del PAM Quiulacocho (RM-QUI1) presenta altas concentraciones de hierro, plomo, calcio, zinc, aluminio y potasio, y trazas de arsénico, fósforo, cobre, manganeso, magnesio, estroncio, bario, sodio, plata, antimonio y cadmio, resaltando la alta concentración de plomo (29429 mg/kg), calcio (17952 mg/kg), zinc (7486), cadmio (27,329 mg/kg) y mercurio (6,84 mg/kg), los cuales están asociados al desmante de mineral compuesto por calizas y brechas calcáreas con mineralización de sulfuros y óxidos.

Por otra parte, el residuo minero aledaño en el borde oeste del PAM Quiulacocho, ubicado específicamente en el pie del talud del dique de contención de este PAM (punto RM-QUI2), presentó alto contenido de hierro, calcio, aluminio, plomo, zinc, cobre, potasio, manganeso y fósforo, y trazas de arsénico, magnesio, bario, sodio, estroncio, vanadio y plata, los cuales se encuentran asociados al material de desmante de mineral con fragmentos de piritas masiva y óxidos endurecidos, en matriz de óxidos y polvo de mineral, cuya composición mineralógica consiste en cuarzo, goethita, moscovita, siderita, yeso, plagioclasa, calcita, caolinita, jarosita y sulfuros (pirita y galena).

Respecto a la comparación referencial de las concentraciones de metales con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1994 y 1995), el material del PAM Quiulacocho presentó concentraciones superiores de antimonio, arsénico, cadmio, cobre, estaño, hierro, magnesio, mercurio, molibdeno, plata, plomo, selenio, talio y zinc (Figura 6.2a). En cuanto al material de los residuos mineros dispuestos aledaños al PAM Quiulacocho, presentaron similares elementos anómalos, a excepción del estaño en ambos puntos, y el fósforo y manganeso que fueron inferiores al estándar de referencia (Figura 6.2b).



**Figura 6.2.** Comparación de las concentraciones de metales con los valores de corteza continental propuesta por Wedepohl (1994 y 1995), en a) PAM Quiulacocho y b) residuos mineros.

**b. Prueba de generación de acidez**

Los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para evaluar la generación de acidez y el potencial de neutralización del PAM Quiulacocha y residuos mineros, se presentan en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3.** Resultado de la prueba ABA en el PAM Quiulacocha y residuos mineros

Parámetros	Unidad	PAM Quiulacocha			Residuo minero – borde oeste del PAM Quiulacocha
		PAM-27-Q01	PAM-27-Q02	PAM-27-Q03	RM-QUI2
Azufre Total	%	25	20,7	14,8	3,61
Grado de Efervescencia	-	1	1	1	1
pH en Pasta	Unidades pH	2,510	2,590	3,740	3,770
Potencial de Acidez Máximo	t CaCO <sub>3</sub> /1000t	720,31	579,38	401,25	56,25
Potencial de Neutralización	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Potencial de Neutralización Neto	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	-720,31	-579,38	-401,25	-56,25
Relación NP/MPA	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA) <sup>(a)</sup>		PGA	PGA	PGA	PGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA) <sup>(b)</sup>		PGA	PGA	PGA	PGA

(a): **Criterio 1:** Para un PNN menor a cero, la muestra es «generadora neta de ácido». Sin embargo, para un PNN que varía entre -20 y +20 kg CaCO<sub>3</sub>/Ton de muestra, corresponde a un rango de «incertidumbre». Para valores mayores a +20 kg CaCO<sub>3</sub>/Ton, se considera a la muestra como «potencial no generador de ácido (PNGA)»; mientras que para valores menores a -20 kg CaCO<sub>3</sub>/Ton se considera como «potencial generador de ácido».

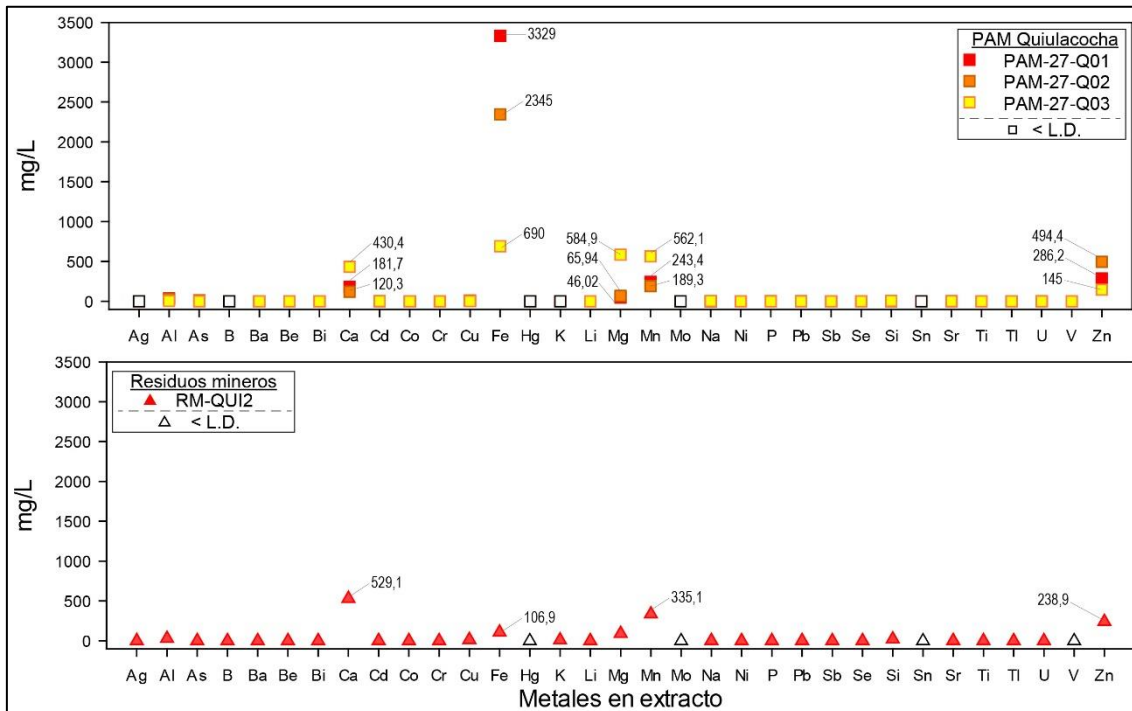
(b): **Criterio 2:** Para un RPN= PN/PA < 1:1 es «probable que se genere acidez», mientras que para el rango de PN/PA entre 1:1 y 3:1 corresponde a una zona de «incertidumbre». Cuando el PN/PA > 3:1, la muestra es «potencial no generador de acidez (PNGA)».

El material del PAM Quiulacocha y los residuos mineros, en general presentan pH en pasta ácido, con alto contenido de azufre total y alto potencial de acidez, en contraste con el potencial de neutralización bajo. Bajo estas condiciones, los criterios 1 y 2 determinaron que ambos materiales son potenciales generadores de acidez, resaltando que en el relave es mayor respecto al residuo minero ubicado al pie del talud del dique de contención del PAM.

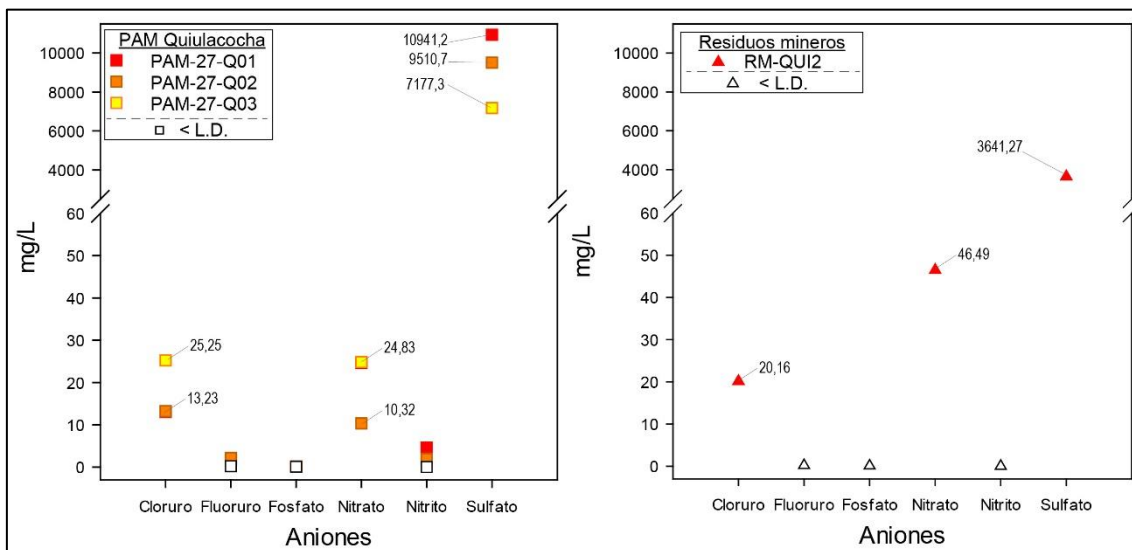
**c. Prueba de lixiviación de metales**

Las concentraciones de metales y aniones lixiviables mediante la prueba Shake Flask en el PAM Quiulacocha y residuos mineros se presentan en las Figuras 6.3 y 6.4, en donde, los íconos de color blanco corresponden a elementos con concentraciones menores al límite de detección (< L.D.).

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



**Figura 6.3.** Concentración de metales lixiviables por la prueba Shake Flask, en el PAM Quiulacocha y residuos mineros



**Figura 6.4.** Concentración de aniones lixiviables por la prueba Shake Flask, en el PAM Quiulacocha y residuos mineros

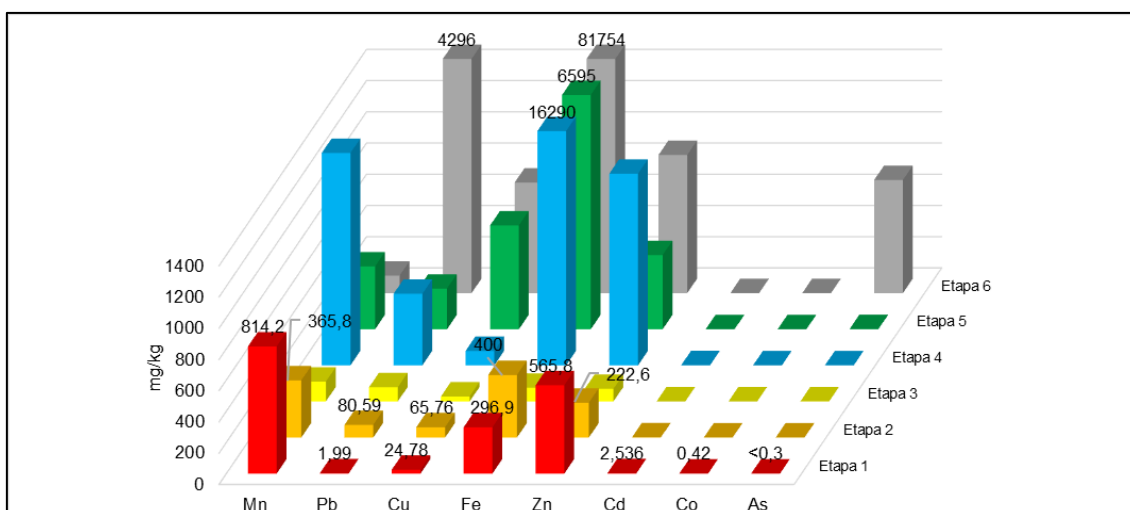
La prueba Shake Flask en laboratorio está diseñada para simular y medir los componentes solubles de la muestra (metales y aniones en mg/L), que son liberados por interacción del material con aguas de precipitación u otras formas de saturación.

El material de relave del PAM Quiulacocha posee la capacidad de lixiviar principalmente sulfato, hierro, magnesio, manganeso, zinc y calcio, y en menor proporción aluminio y arsénico. En tanto, los residuos mineros ubicados al pie del talud del dique de contención presentan capacidad de lixiviar sulfato, nitrato, calcio, manganeso, zinc, hierro y en menor proporción magnesio, aluminio silicio y cobre.

#### d. Extracción secuencial

Este método de extracción secuencial -modificado por ALS LS Perú S.A.C.- determina la especiación de los metales trazas en fragmentos de rocas, suelo y sedimento, y complementa al análisis de metales totales. Las etapas de metales pesados que comúnmente se suelen diferenciar en los sólidos mediante este tipo de metodologías son: extraíbles (etapa 1), intercambiable y adsorbida (etapa 2), ligado a carbonatos (etapa 3), reducibles y óxidos Fe (etapa 4), ligado a materia orgánica (etapa 5) y etapa residual (etapa 6); en donde, las dos primeras etapas son consideradas como biodisponibles.

Dentro de este análisis se priorizó a los elementos predominantes y potencialmente tóxicos como manganeso, hierro, plomo, zinc, cobre, cadmio, arsénico y cobalto. El resultado de las extracciones secuenciales de los elementos de interés del material de residuos mineros se presenta en la Figura 6.5.



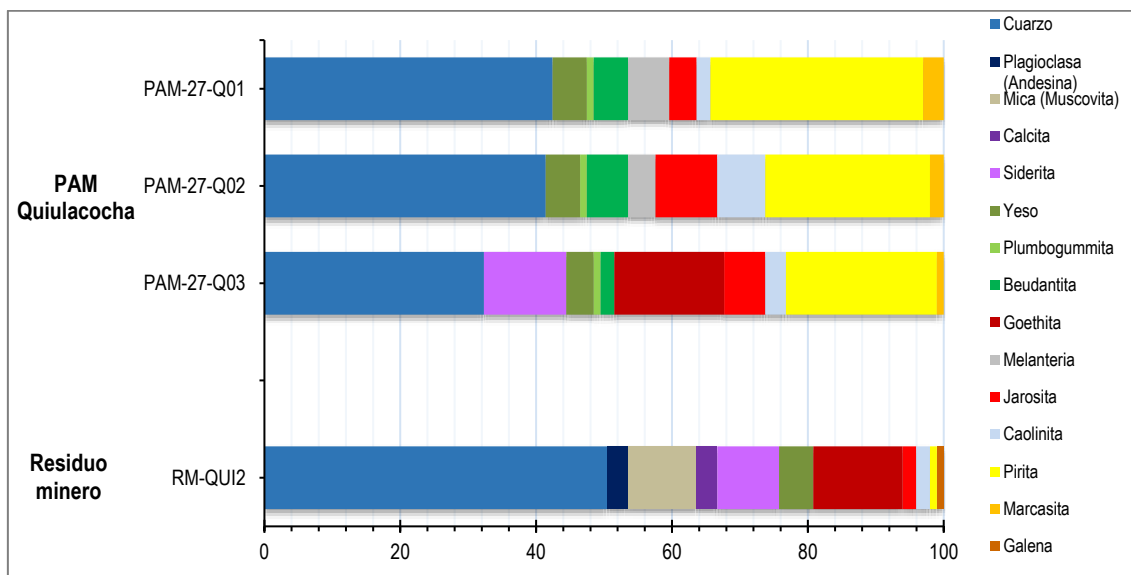
**Figura 6.5.** Resultado de las extracciones secuenciales de elementos trazas en el material del residuo minero, ubicado al pie del talud del dique de contención del PAM Quiulacocha

Los elementos biodisponibles en el material de residuos mineros, de forma extraíble son manganeso, zinc y hierro, y en menor proporción cobre, cadmio y plomo; en tanto, de forma intercambiable se tiene a hierro, manganeso, zinc, cobre y plomo, los cuales pueden estar biodisponibles en condiciones de desorción (cambios de elementos mayores en el agua).

Por otra parte, en la etapa 3 (ligados a carbonatos) se reportaron bajas concentraciones en casi todos los puntos, resaltando, entre ellos, el manganeso, plomo y zinc. De forma particular, el plomo y zinc resaltan por su asociación a los óxidos de hierro (etapa 4), incluso superando a la fracción residual (etapa 6).

#### e. Análisis mineralógico

El análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX) indica la composición mineralógica de forma semicuantitativa del material; en este caso, los minerales en concentraciones menores a 1 % fueron reportados como <L.D., por tanto, requieren otra escala de análisis. La composición mineralógica del material del PAM Quiulacocha y residuos mineros se presenta en la Figura 6.6.



**Figura 6.6.** Composición mineralógica en el material del PAM Quiulacocha y residuos mineros

El material de relave se encuentra compuesto principalmente por granos de cuarzo, sulfuros (pirita y marcasita), óxidos (goethita), sulfatos (yeso, jarosita, melanterita y caolinita), carbonatos (Calcita y siderita), caolinita y trazas de Plumbogummita; de estos, los minerales asociados a elementos potencialmente tóxicos son la beudantita ( $Pb(Fe,Al)_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$ ) y Plumbogummita ( $PbAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$ ) por el contenido de plomo en su estructura cristalina; al igual que pirita ( $FeS_2$ ), por su relación con procesos de generación de aguas ácidas.

El material de residuo minero se encuentra compuesto principalmente por cuarzo, goethita, muscovita y siderita, acompañado en menor proporción por yeso, plagioclasa, calcita, jarosita, caolinita y trazas de pirita y galena.

### 6.1.2. Caracterización de agua residual industrial

En la Tabla 6.4 se presenta los resultados de los puntos considerados como agua residual, los cuales presentan características ácidas y conductividades elevadas, asimismo presentaron concentraciones elevadas de sulfatos, arsénico, cadmio, plomo, selenio y zinc. Además, ACham-01 presentó concentraciones de mercurio de 0,000151 mg/L.

**Tabla 6.4.** Resultados de parámetros evaluados en agua residual industrial

Código		SJ-46	ACham-01	ACham-02	ACham-03
Fecha de muestreo		17/08/2020	22/08/2020	22/08/2020	22/08/2020
Parámetro	Unidad				
<b>Parámetros físico - químicos</b>					
Potencial de hidrógeno (pH)*	Unid. de pH	5,18	3,29	2,97	2,02
Conductividad eléctrica (CE)*	$\mu S/cm$	9970	2770	2980	8080
Oxígeno disuelto (OD)*	mg/L	4,56	6,31	6,81	4,83
Caudal (Q)*	L/s	0,193	---	0,165	0,198
Sulfatos	mg/L	> 5000	1748	1816	4191
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Aluminio Total	mg/L	4,49	40,6	2,73	77,3
Antimonio Total	mg/L	0,01307	0,01875	0,01755	0,28679



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

Código		SJ-46	ACham-01	ACham-02	ACham-03
Fecha de muestreo		17/08/2020	22/08/2020	22/08/2020	22/08/2020
Parámetro	Unidad				
Arsénico Total	mg/L	0,25121	0,02343	0,14794	15,92
Bario Total	mg/L	0,0058	0,0454	0,0084	0,0224
Boro Total	mg/L	0,027	0,007	< 0,002	0,016
Cadmio Total	mg/L	0,80987	0,2037	0,02761	0,27592
Cobre Total	mg/L	0,0932	2,182	0,1525	18,11
Cromo Total	mg/L	< 0,001	0,011	0,005	0,079
Hierro Total	mg/L	1756	147	75	1281
Litio Total	mg/L	0,1712	0,1057	0,0695	0,0669
Magnesio Total	mg/L	1403	76	107	105
Manganeso Total	mg/L	865,89	139,4	58,594	45,76
Mercurio Total	mg/L	< 0,000070	0,000151	< 0,000070	< 0,000070
Plomo Total	mg/L	0,51148	0,65388	1,4315	1,1808
Selenio Total	mg/L	0,00188	0,00882	0,00044	0,00414
Zinc Total	mg/L	452	46,7	17,3	102

(\*) Estos parámetros fueron medidos *in situ*

#### a. Caracterización hidroquímica

La caracterización hidroquímica se realizó en base a la información de los puntos de muestreo de agua residual industrial de los muestreos efectuados en agosto 2020. Además, se realizó el análisis de las concentraciones de cationes mayoritarios ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ), obtenidos a partir de los análisis de laboratorio (reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC: Anexos 9 y 10), con los cuales se elaboraron diagramas de Piper y Stiff (Anexo 12). Asimismo, se utilizó la suma de los metales disueltos: plomo, cobre, cadmio, níquel, cobalto y zinc, en un diagrama de Ficklin para la caracterización de las aguas.

- **Diagrama de Piper y diagrama de Stiff**

De acuerdo con el diagrama de Piper y al diagrama de Stiff mostrados en las Figura 6.7 y Figura 6.8, el punto ACham-01 presentó características de facies sulfatada sódica cálcica y los puntos ACham-02 y ACham-03 presentaron características de facies sulfatada cálcica.

- **Diagrama de Ficklin**

En la elaboración del diagrama de Ficklin además de los ACham-01, ACham-02 y ACham-03 se consideró también el punto SJ-48. En la Figura 6.9 se puede observar que el punto ACham-03 presentó características muy ácidas con concentraciones extremas de metales disueltos, el punto SJ-48 presentó características ácidas con concentraciones extremas de metales disueltos, el punto ACham-01 presentó características ácidas con concentraciones altas de metales disueltos y el punto ACham-02 presentó características entre muy ácidas con concentraciones altas de metales disueltos.



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

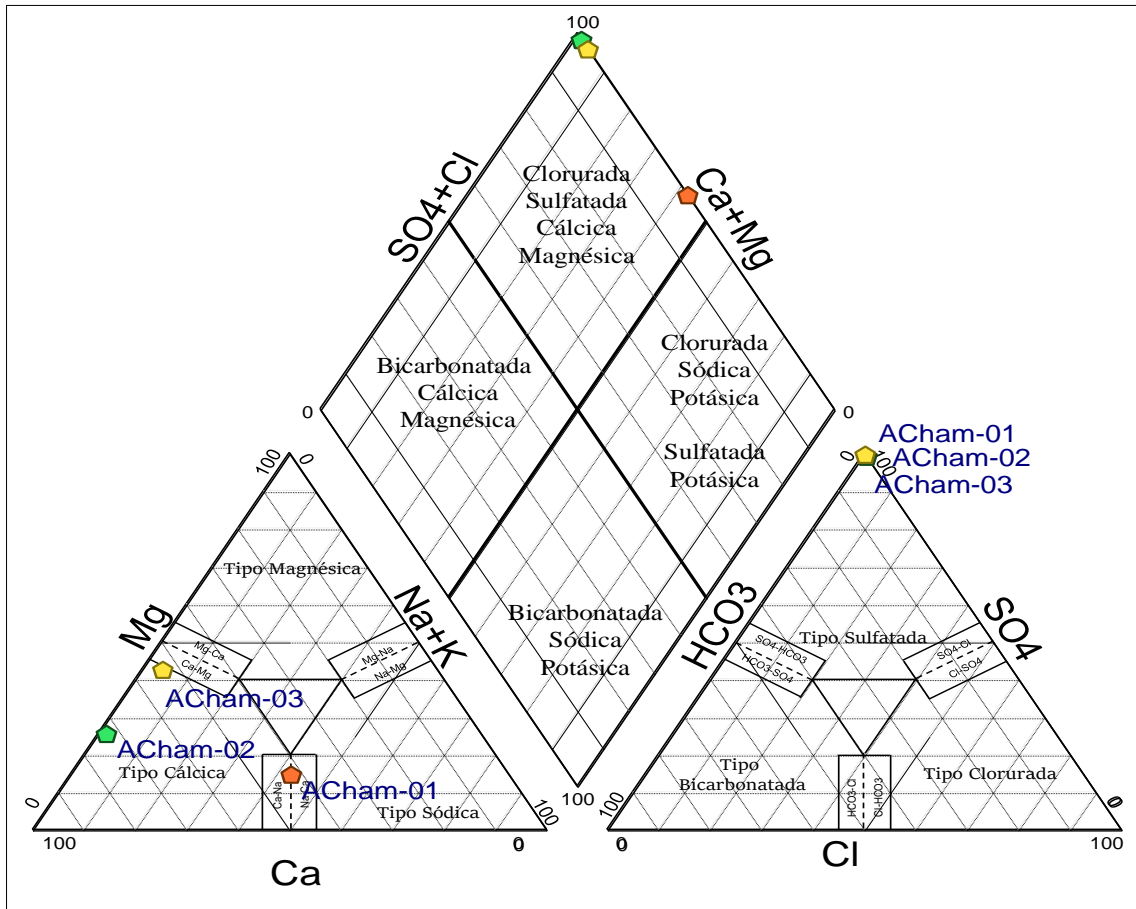


Figura 6.7. Diagrama de Piper para agua residual industrial

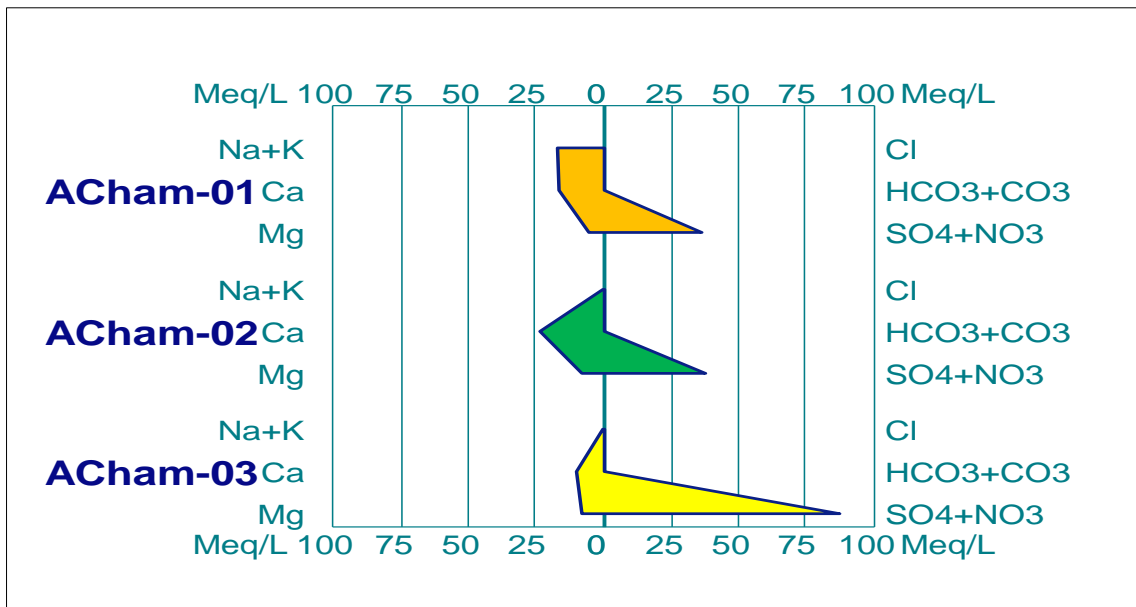


Figura 6.8. Diagrama de Stiff para agua residual industrial





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

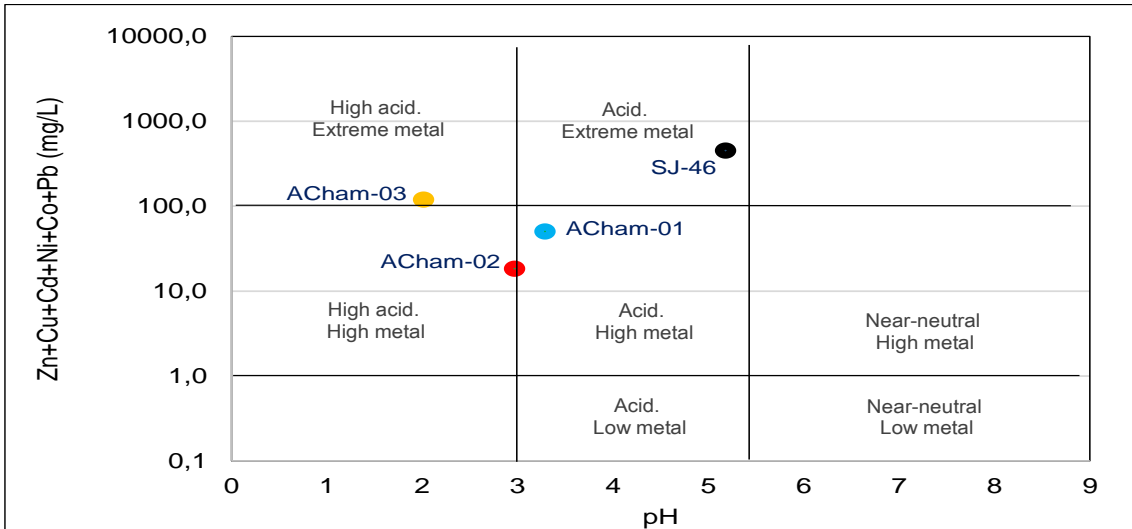


Figura 6.9. Diagrama de Ficklin para agua residual industrial

### 6.1.3. Tomografía de resistividad eléctrica (TRE)

Como parte del estudio de prospección geofísica, se ejecutaron 6 líneas de tomografía de resistividad eléctrica 2D, distribuidos al noroeste (LT-AM-01, LT-AM-06, LT-AM-07, LT-AM-10 y LT-AM-11) y suroeste (LT-AM-02) del PAM Quiulacocho.

La mayoría de las líneas de tomografía de resistividad eléctrica se realizaron sobre material de relleno, suelo y residuos de relaves del PAM, que cubre a depósitos cuaternarios de tipo fluvio-glacial y morrénicos sobreyacentes a rocas metamórficas del Grupo Excelsior (sector oeste y suroeste) (Figura 6.10).

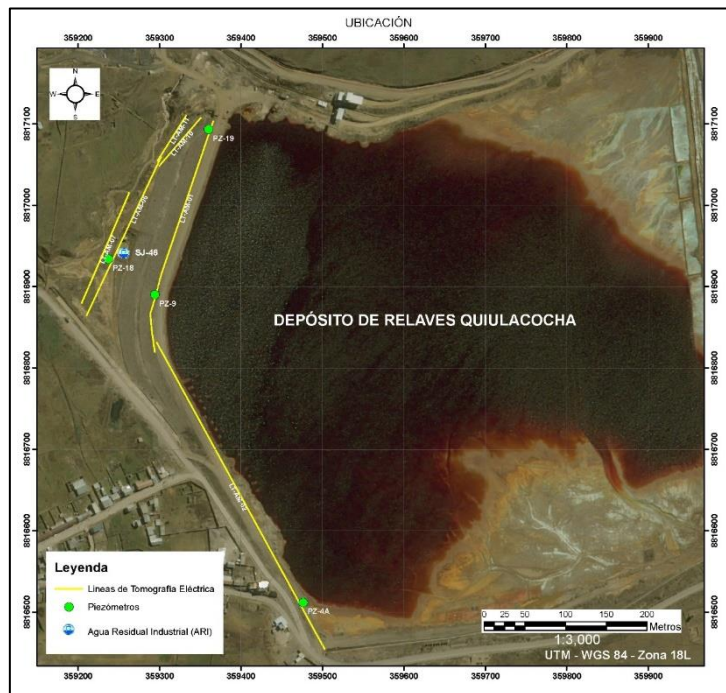


Figura 6.10. Ubicación de las líneas de tomografía de resistividad eléctrica en el borde del PAM depósito de relaves Quiulacocho



La interpretación de las secciones de tomografía de resistividad 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 6.5.

**Tabla 6.5.** Características de las líneas de tomografía de resistividad eléctrica ejecutadas en el ámbito del depósito de relaves Quiulacochoa

Ubicación	Línea de tomografía	Longitud (m)	Separación de electrodos (m)	Profundidad promedio de investigación (m)	Rango de resistividades (Ohm.m)		
					Zona A	Zona B	Zona C
Ámbito del depósito de relaves Quiulacochoa							
Sector suroeste del PAM	LT-AM-02	430	10	43	5 - 31	32 - 103	NA
Sector oeste del PAM	LT-AM-01	300	10	43	14 - 31	32 - 81	NA
	LT-AM-06	220	10	43	7 - 25	26 - 105	106 - 636
	LT-AM-07	150	10	43	8 - 25	26 - 105	106 - 368
	LT-AM-10	76	4	17	7.2 - 20	21 - 60	61 - 265
	LT-AM-11	68	4	17	14.2 - 20	21 - 60	61 - 425

(NA): No aplica

## Interpretación de la tomografía de resistividad eléctrica

### Sector suroeste: LT-AM-02

La sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-02 (Figura 6.11) presentó dos zonas (A y B). La zona A presentó resistividades en el rango de 5 a 31 Ohm.m, relacionado a material fluvio-glaciar compuesto de gravas, arenas y limos húmedos mezclados con una parte del material de relave residual (entre estaciones 70 y 400) que estaría saturando el material fluvio-glaciar y que probablemente estaría asociado a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente estos presentan valores de resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999).

Por otra parte, la zona B presentó resistividades de 32 a 103 Ohm.m. En la parte cercana a la superficie (entre las estaciones 0 y 70) se encuentra asociado a material de relleno (material cuerpo de presa) del depósito de relaves con cierto grado de humedad, y en la parte profunda entre las estaciones 50 y 430 (con profundidad variable entre 1 y 43 m de profundidad aproximadamente) estaría relacionado al mismo material fluvio-glaciar (compuesto de gravas, arenas y limos) en un estado seco a ligeramente húmedo y no influenciado por el depósito de relaves.

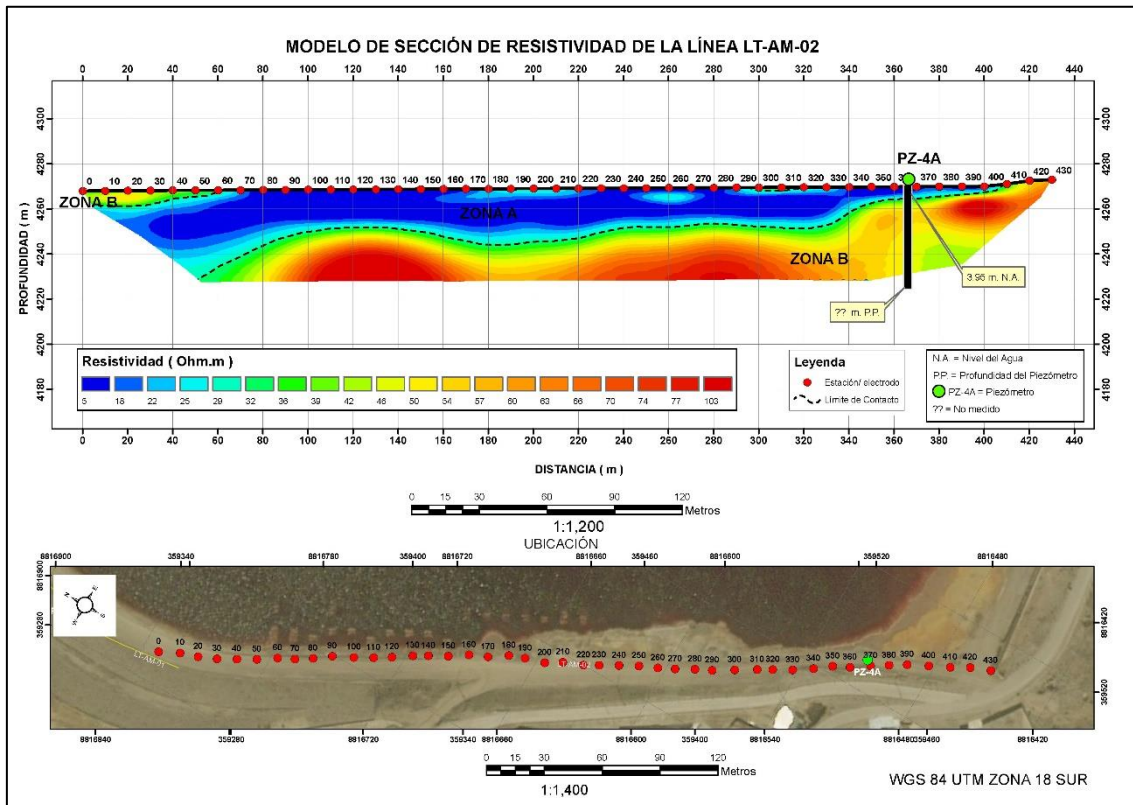
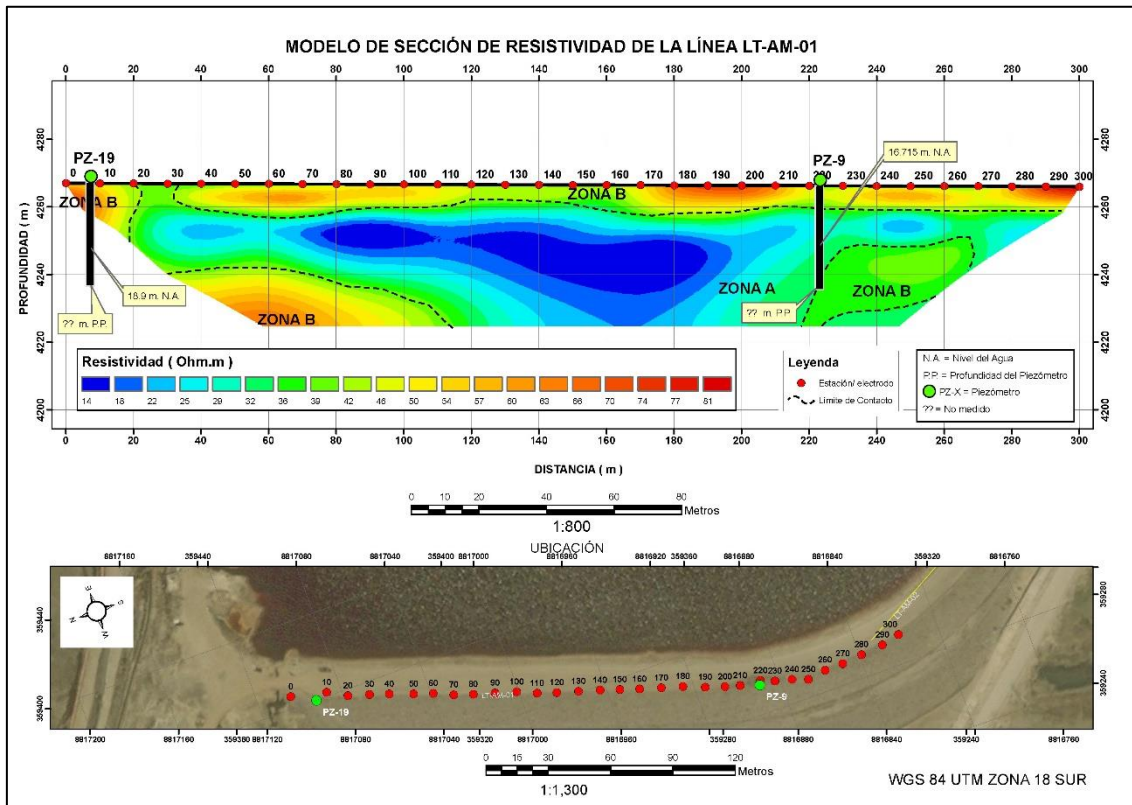


Figura 6.11. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-02

### Sector oeste: LT-AM-01, LT-AM-06, LT-AM-07, LT-AM-10 y LT-AM-11

La sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-01 (Figura 6.12) presentó dos zonas (A y B). La zona A presentó resistividades entre 14 a 31 Ohm.m, lo cual correspondería a material fluvioglaciario compuesto de gravas, arenas y limos saturados. Por otra parte, la zona A ubicado entre las estaciones 80 y 100, y 120 y 190 ubicado a una profundidad de 15 m aproximadamente con resistividades bajas de 14 Ohm.m que estaría asociado a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente estos presentan valores de resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999).

Y la zona B presentó resistividades de 32 a 81 Ohm.m. En la parte cercana a superficie entre las estaciones 0 y 20, se encuentra asociado a material fluvioglaciario con material de relleno disgregado (bloques, gravas, arenas y limos), además, entre las estaciones 30 y 300 (también cercano a superficie) corresponde a material de relleno (material cuerpo de presa) del depósito de relaves con cierto grado de humedad, y en la parte profunda (mayor a 20 m de profundidad aproximadamente) estaría relacionado al mismo material fluvioglaciario (compuesto de gravas, arenas y limos) en un estado seco a ligeramente húmedo y no influenciado por el depósito de relaves del PAM Quiulacocho.

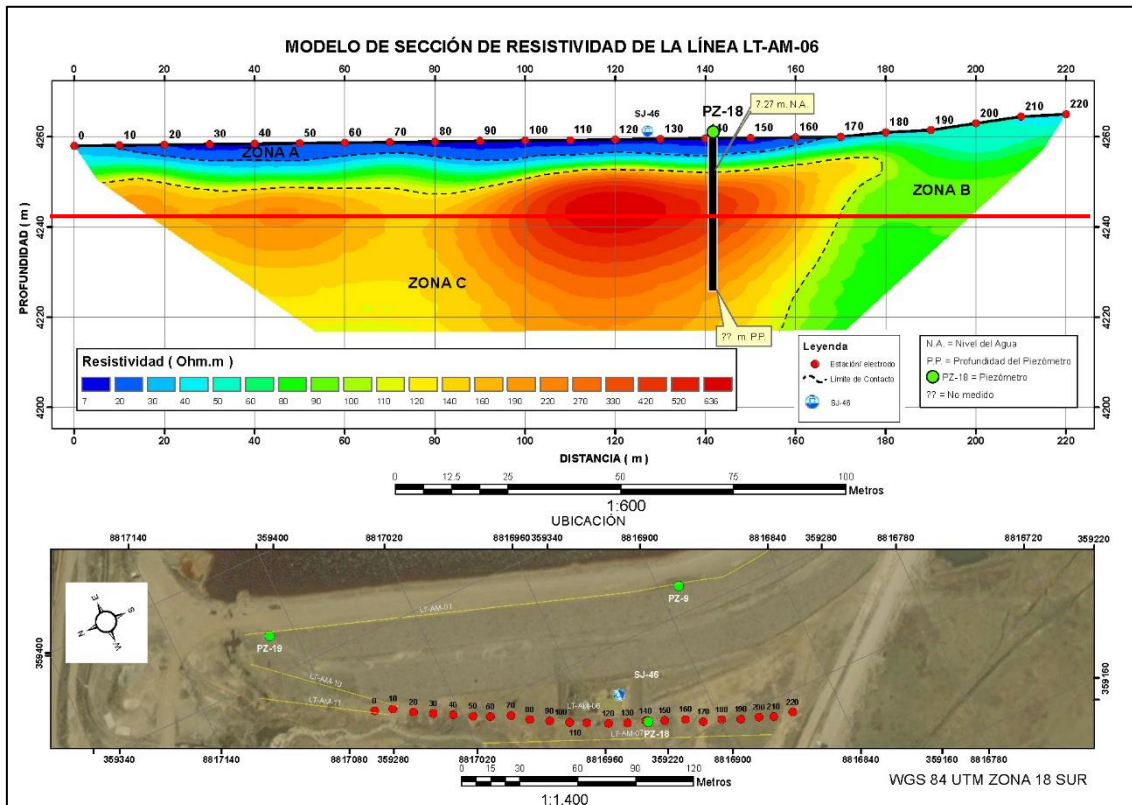


**Figura 6.12.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-01

En la sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-06 (Figura 6.13) presentó tres zonas (A, B y C). La zona A presentó resistividades de 7 a 25 Ohm.m lo cual correspondería a material de relleno con material mineralizado residual (material de relave disgregado), ubicado en la parte superficial entre las estaciones 10 y 170 (llegando hasta profundidades de 5 metros aproximadamente); Asimismo, se precisa que, dentro de esta zona, entre las estaciones 70 y 150 cercano a superficie menores a 1 metro de profundidad aproximadamente se presentó resistividades entre los 7 y 10 Ohm.m probablemente estaría asociado a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente estos presentan valores de resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999).

Y la zona B presentó resistividades de 26 a 105 Ohm.m, en la parte cercana a superficie entre las estaciones 0 y 180 (de 4 a 6 m de profundidad aproximadamente), y entre las estaciones 160 y 220 en todo el tramo mencionado. Esta zona B se encuentra asociado a sedimentos cuaternarios húmedos no consolidados de ambiente fluvio-glaciar estos constituido por gravas, arenas y limos con cierta homogeneidad horizontal (estaciones 0 y 180) de fragmentos de composición variable (estaciones 160 y 220).

Y la zona C presentó resistividades de 106 a 636 Ohm.m asociado a material cuaternario no consolidados de ambientes fluvio-glaciar estos constituidos por bloques, gravas, arenas y limos de fragmentos de composición variable.



**Figura 6.13.** Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-06

En la sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-07 (Figura 6.14) presentó tres zonas (A, B y C). La zona A presentó resistividades de 8 a 25 Ohm.m lo cual correspondería a material de relleno con material mineralizado residual (material de relave disgregado), ubicado en la parte superficial entre las estaciones 30 y 100 (llegando hasta profundidades de 5 metros aproximadamente); Asimismo, se precisa que, dentro de esta zona, entre las estaciones 40 y 90 cercano a superficie menor a 1 metro de profundidad aproximadamente se presentó resistividades entre los 8 y 10.5 Ohm.m probablemente estaría asociado a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente estos presentan valores de resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999).

Y la zona B presentó resistividades de 26 a 105 Ohm.m, se encuentra asociado a sedimentos cuaternarios húmedos no consolidados de ambiente fluvio-glaciar estos constituido por gravas, arenas y limos con cierta homogeneidad horizontal de fragmentos de composición variable.

Y la zona C presentó resistividades de 106 a 368 Ohm.m asociado a un material fluvio-glaciar (depósito cuaternario) constituido por bloques, gravas, arenas y limos de fragmentos de composición variable.

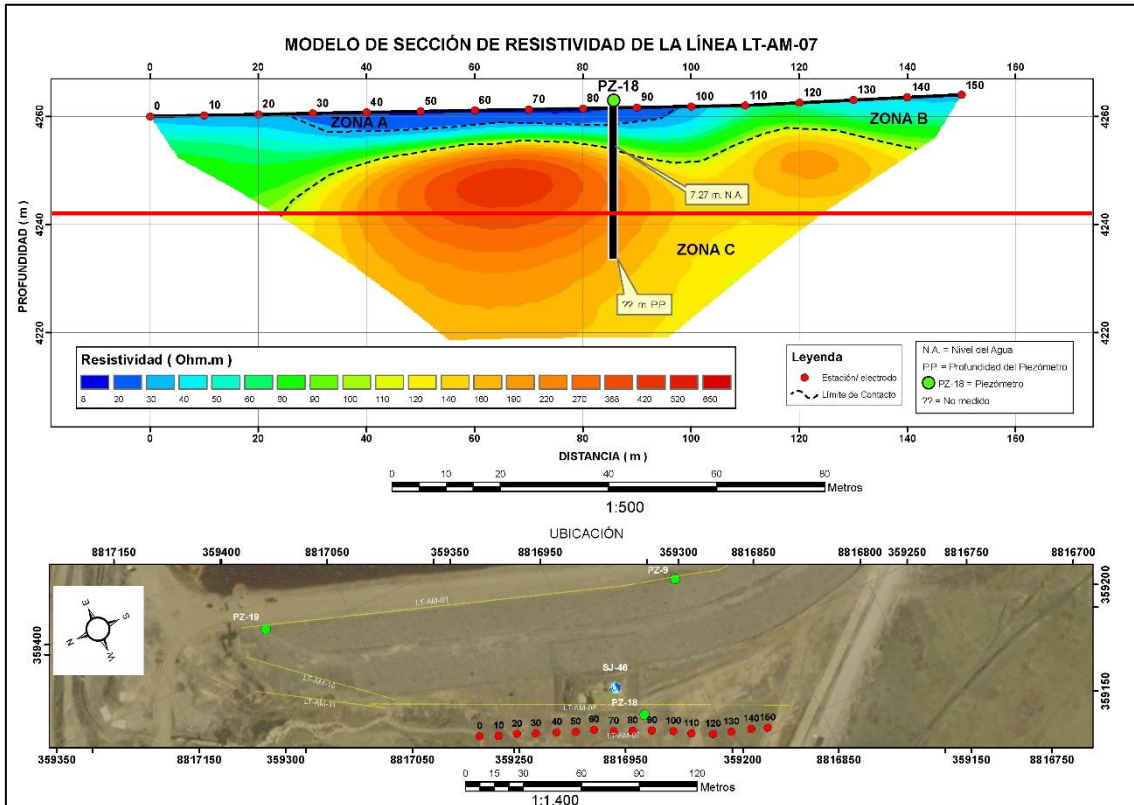


Figura 6.14. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-07

La sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-10 (Figura 6.15) presentó tres zonas (A, B y C). La zona A presentó resistividades de 7.2 a 20 Ohm.m lo cual correspondería a material de relleno con material mineralizado residual (material de relave disgregado), ubicado en la parte superficial entre las estaciones 0 y 12 (llegando hasta profundidades de 4 metros aproximadamente), 32 y 68 (llegando hasta los 2 metros aproximadamente) que probablemente estaría asociado a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente estos presentan valores de resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999).

Y la zona B presentó resistividades de 21 a 60 Ohm.m, se encuentra asociado a sedimentos cuaternarios húmedos no consolidados de ambiente fluvio-glaciar estos constituido por gravas, arenas y limos con cierta homogeneidad horizontal de fragmentos de composición variable.

Y la zona C presentó resistividades de 61 a 265 Ohm.m asociado a un material fluvio-glaciar (depósito cuaternario) constituido por bloques, gravas, arenas y limos de fragmentos de composición variable.

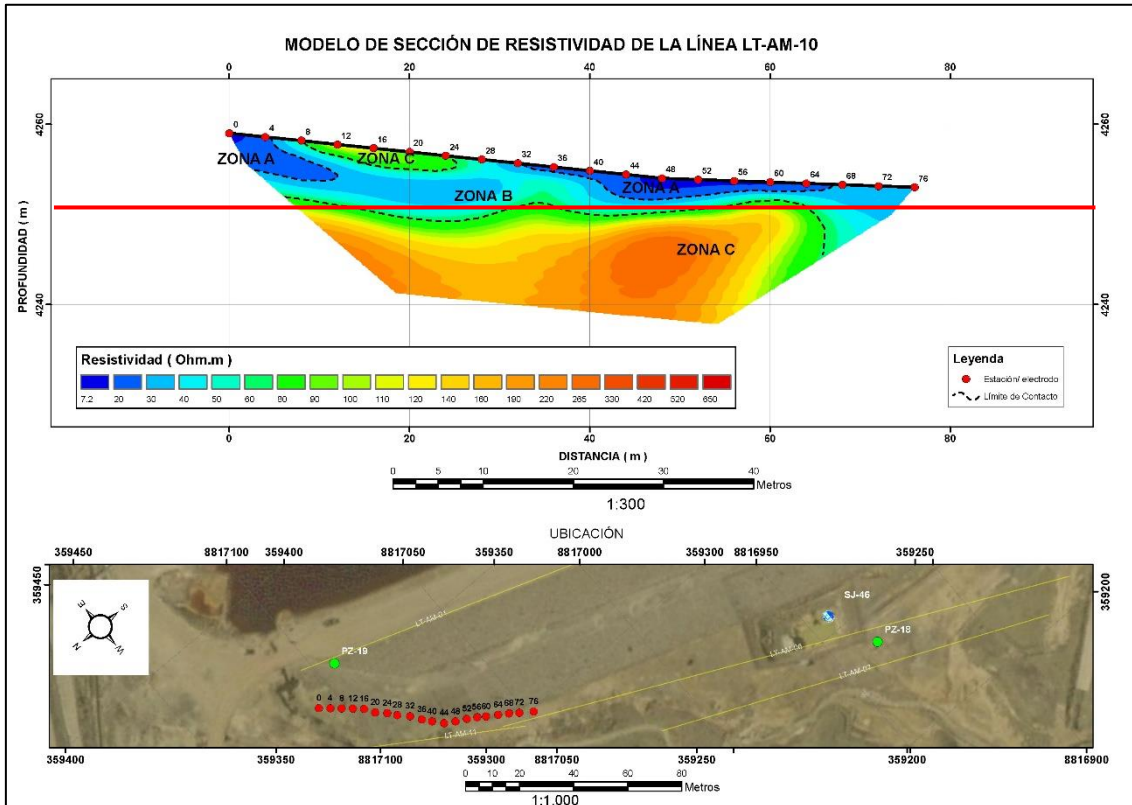


Figura 6.15. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-10

En la sección de la línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-11 (Figura 6.16) presentó tres zonas (A, B y C). La zona A presentó resistividades de 14.2 a 20 Ohm.m lo cual correspondería a material de relleno con material mineralizado residual (material de relave disgregado), ubicado en la parte superficial entre las estaciones 36 y 44 (llegando hasta profundidades de 1 metros aproximadamente), que probablemente estaría asociado a la presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas usualmente estos presentan valores de resistividades menores a 15 Ohm.m (Reynolds, 2011; Gasulla 1999).

Y la zona B presentó resistividades de 21 a 60 Ohm.m, se encuentra asociado a sedimentos cuaternarios húmedos no consolidados de ambiente fluvio-glaciar estos constituido por gravas, arenas y limos con cierta homogeneidad horizontal de fragmentos de composición variable.

Y la zona C presentó resistividades de 61 a 425 Ohm.m asociado a un material fluvio-glaciar (depósito cuaternario) constituido por bloques, gravas, arenas y limos de fragmentos de composición variable.

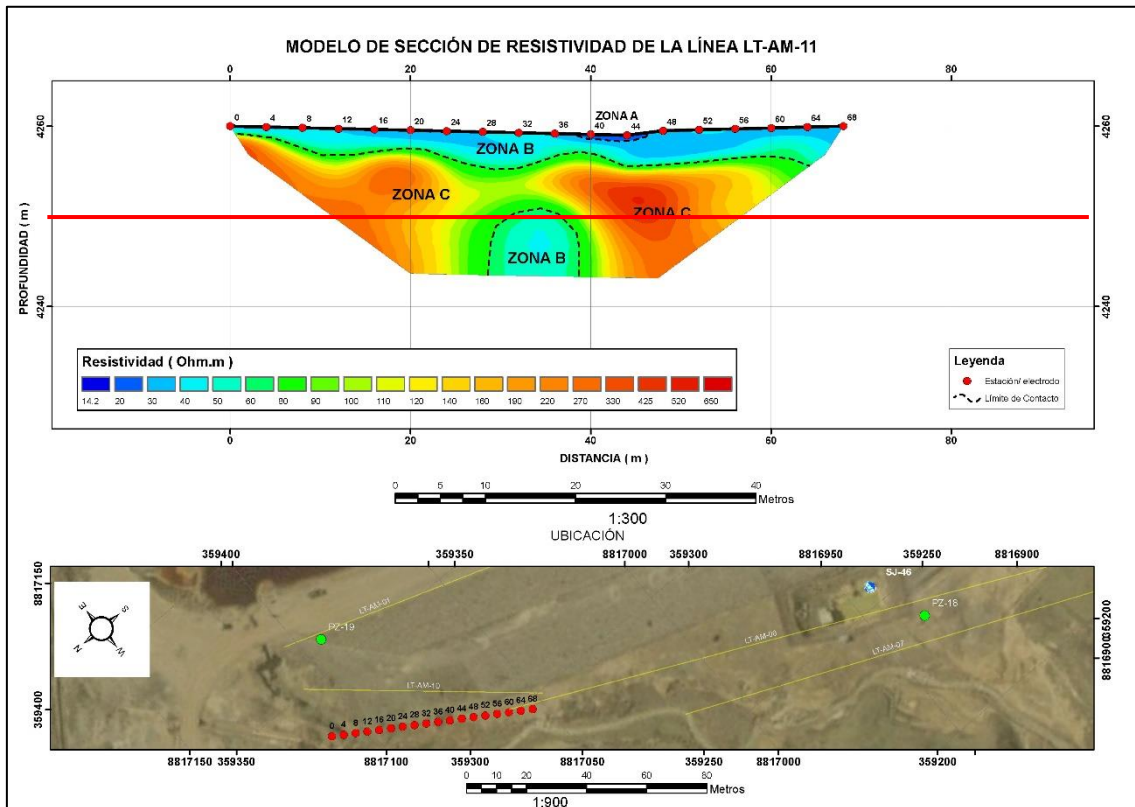


Figura 6.16. Línea de tomografía de resistividad eléctrica LT-AM-11

#### 6.1.4. Aire

En la Tabla 6.6 se analizaron las concentraciones de material particulado sedimentable en 13 puntos evaluados que se encuentran distribuidos en cinco transectos (PS-1, PS-4, PS-7, PS-10 y PS-13). Según los resultados se obtuvieron 2 puntos ubicados a 5 m, 2 puntos ubicados a 15 m y 1 punto ubicado a 60 m de distancia perpendicular al PAM Quiulacocha en los transectos (PS-10 y PS-13), (PS-4 y PS-10) y (PS-4) respectivamente, todos ellos superaron el valor referencial establecido por la EPA Australia (0,4 mg/cm<sup>2</sup>/mes). Con respecto a los metales totales en el material particulado sedimentable los 13 puntos evaluados presentaron mayoritariamente (>1000 mg/kg) concentraciones de sodio, hierro, calcio, bario, zinc, boro, potasio, magnesio, aluminio, manganeso y plomo y en menor proporción (<1000 mg/kg) cobre, titanio, arsénico, estroncio, cromo, antimonio, níquel, vanadio, plata, cobalto, mercurio, estaño, talio, selenio, molibdeno, litio, berilio y cadmio (Figura 6.17 y 6.18).





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

**Tabla 6.6.** Resultados de material particulado sedimentable (polvo sedimentable) comparados referencialmente con el valor establecido en el EPA (2016)

Transecto		PS-1			PS-4			PS-7		PS-10		PS-13			EPA Australia
Código		PS-1-5	PS-1-15	PS-1-60	PS-4-5	PS-4-15	PS-4-60	PS-7-5	PS-7-15	PS-10-5	PS-10-15	PS-13-5	PS-13-15	PS-13-60	
Parámetro	Unidad														mg/cm2/mes
<b>Material particulado</b>															
Material particulado sedimentable	g/(m <sup>2</sup> .mes)	1,21	3,72	2,87	3,98	4,3	4,57	3,01	2,12	4,11	4,43	4,7	6,08	9,63	---
Material particulado sedimentable	mg/cm <sup>2</sup> /mes	0,121	0,372	0,287	0,398	0,43	0,457	0,301	0,212	0,411	0,443	0,47	0,608	0,963	0,4
Peso	mg	21,3	55,6	39,3	61,4	66,8	71,7	41,2	27,3	58,1	72,7	70,6	99,9	169,3	---

: Parámetros que superan la norma de la EPA Australiana (2016)



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

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

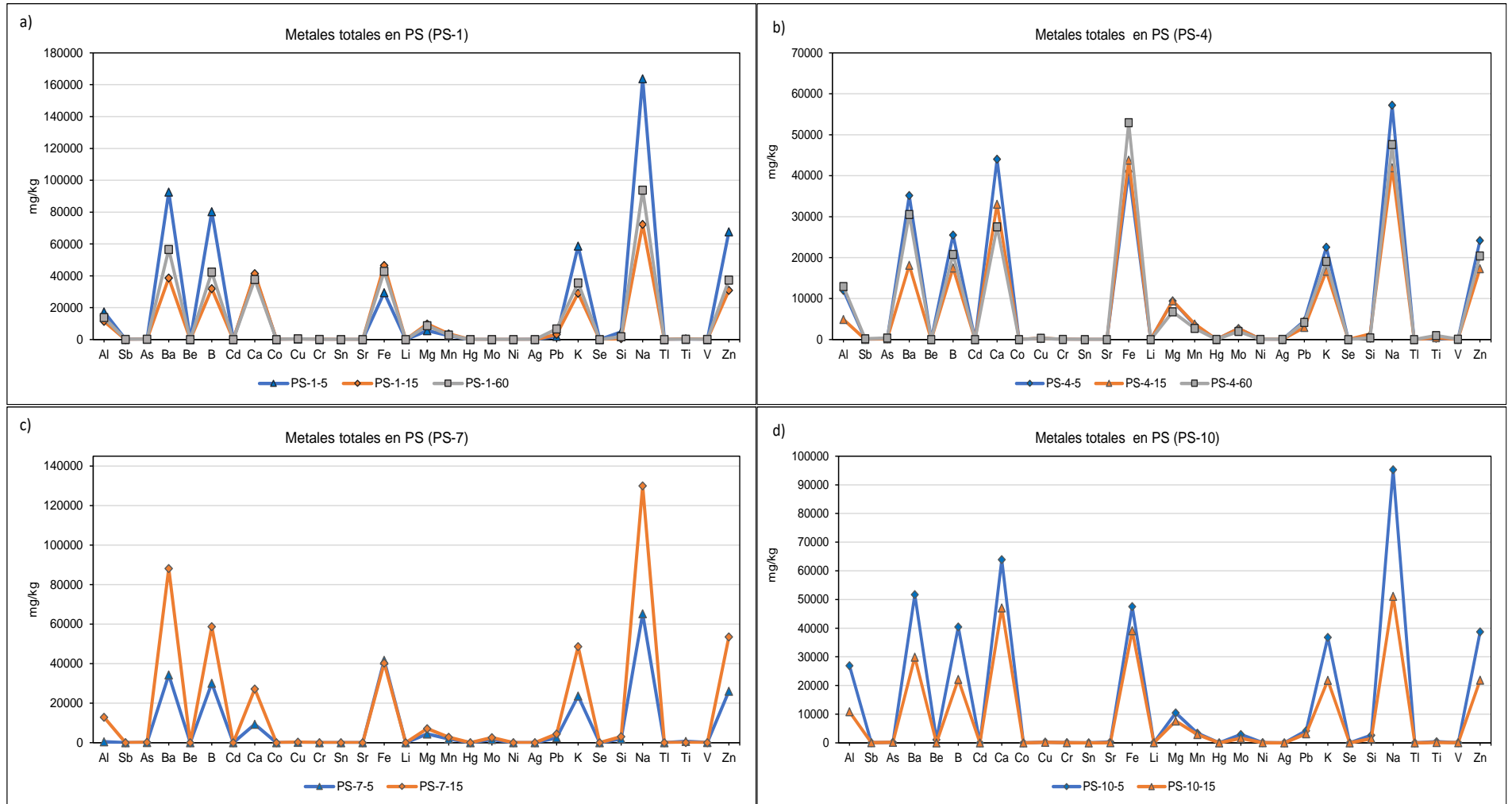


Figura 6.17. Metales totales en polvo sedimentable de los transectos a) PS-1, b) PS-4, c) PS-7 y d) PS-10

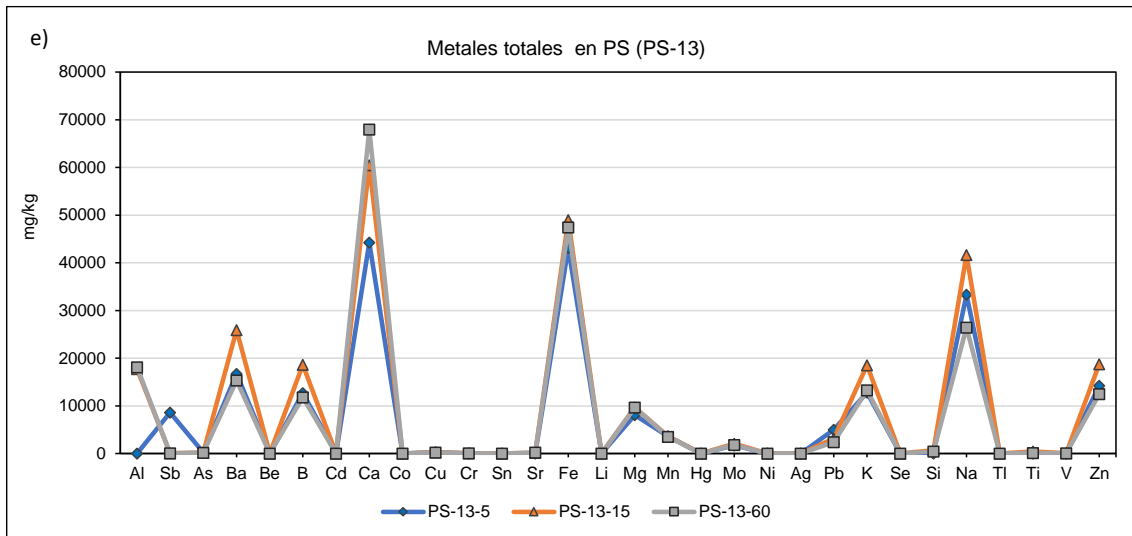


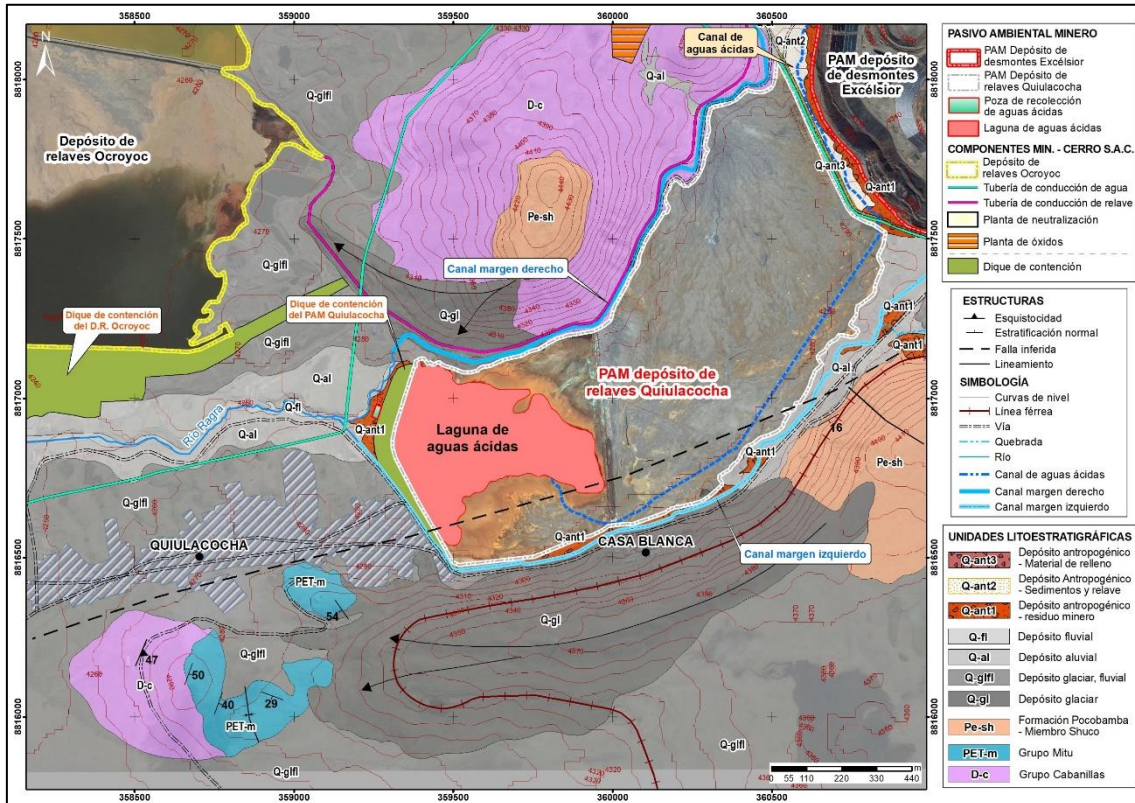
Figura 6.18. Metales totales en polvo sedimentable del transecto PS-13

## 6.2. Objetivo específico 2: Determinar el aporte de los elementos metálicos y no metálicos de las rocas aledañas al PAM Quiulacocha hacia el agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea y suelo

### 6.2.1. Caracterización geológica

El desarrollo de este ítem contiene la descripción de las unidades litoestratigráficas y el contexto estructural en el ámbito del PAM Quiulacocha.

El basamento corresponde a las rocas metamórficas del Grupo Cabanillas de edad Devónica, el cual se encuentra deformado debido al efecto de diferentes eventos tectónicos. Sobre estas rocas y en discordancia angular, yacen conglomerados y areniscas rojas del Grupo Mitu de edad Pérmico superior-Triásico inferior. Posteriormente, durante el Eoceno se depositaron sedimentos clásticos de la Formación Pocobamba – Miembro Shuco (conglomerados con clastos de calizas, y areniscas rojas). Finalmente, se depositó material cuaternario glaciar, glaciar-fluvial, aluvial, fluvial y antropogénico, este último asociado a material de desmonte de mineral y relaves (Figura 6.19).



**Figura 6.19.** Mapa geológico del ámbito de influencia del PAM depósito de relaves Quiulacocha

A continuación, se describen las unidades litoestratigráficas y estructuras identificadas en la caracterización geológica.

### Litoestratigrafía

- **Grupo Cabanillas (D-c)**

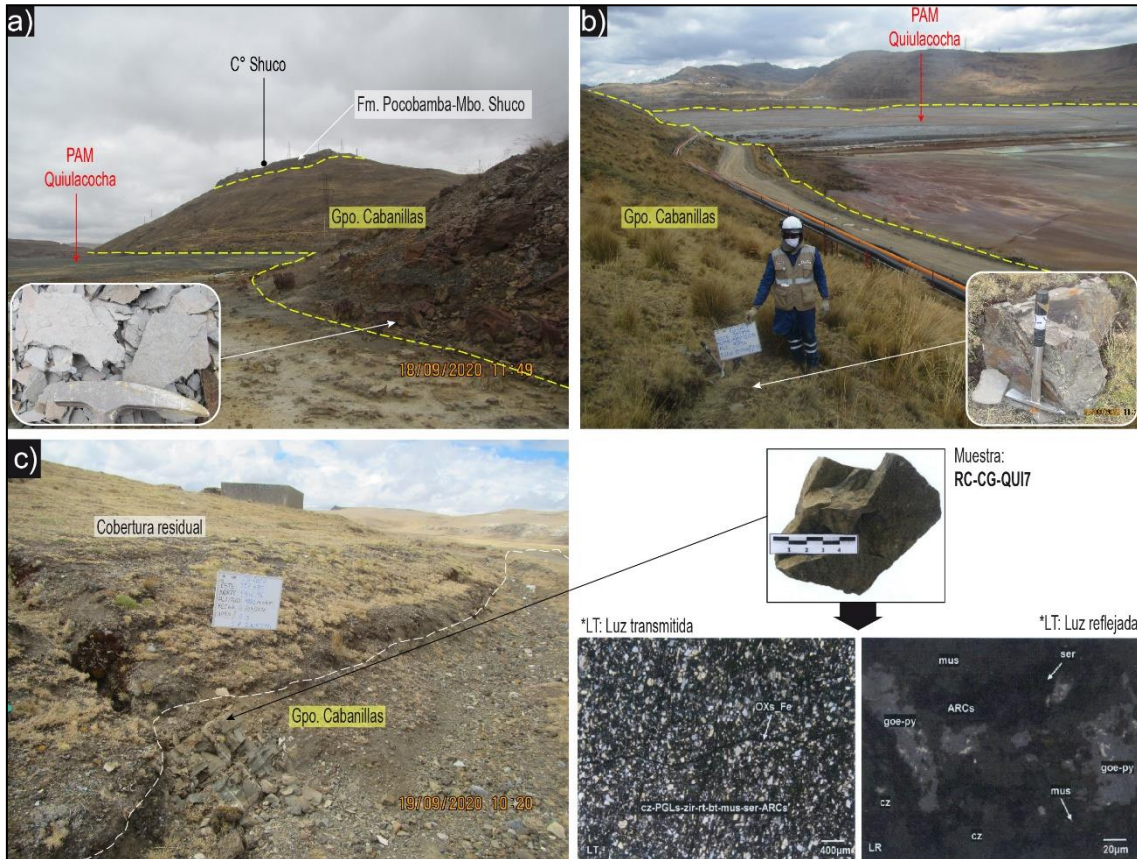
Mc Laughlin (1924), en la mina Excelsior, ubicada al sur de la mina Cerro de Pasco, definió como Formación Excelsior a una secuencia de lutitas negras pizarrosas con intercalaciones de areniscas cuarzosas. Al no contar con una columna tipo y contactos inferior y superior definidos. Rodríguez *et al.* (2011) le asignaron el nombre de Grupo Cabanillas en base a relaciones litológicas con sus contemporáneos del sur del Perú (Newell, 1949), donde si se cuenta con estudios detallados.

Los afloramientos de esta unidad se encuentran en las laderas bajas del cerro Shuco, la Planta de Óxidos de la Empresa Administradora Cerro S.A.C. (en adelante, Cerro S.A.C.) y aledaños al cementerio del C.P. Quiulacocha, de igual modo, se infiere que estas rocas predominan en la base del PAM depósito de desmontes Excelsior.

Litológicamente se encuentra compuesto por pizarras, areniscas, esquistos grises y lutitas negras, con abundantes venillas de cuarzo. En el borde norte y noroeste del PAM Quiulacocha (puntos CG-QUI3 y CG-QUI9) se identificaron pizarras grises foliadas, esquistos y areniscas grises con presencia pátinas de óxidos de hierro en los planos de fracturas. Mientras que, en el lado sur, aledaño al cementerio del C.P. Quiulacocha (punto CG-QUI7) afloran pizarras grises intercaladas con areniscas grises, esquistos y lutitas,



además presenta venillas de cuarzo cristalino en dirección N110°, micas, pirita cúbica y óxidos por reemplazamiento de sulfuros. El estudio petrominerográfico de la muestra CG-QUI7 realizado en la arenisca determinó que esta presenta textura granoblástica débilmente foliada (Figura 6.20).



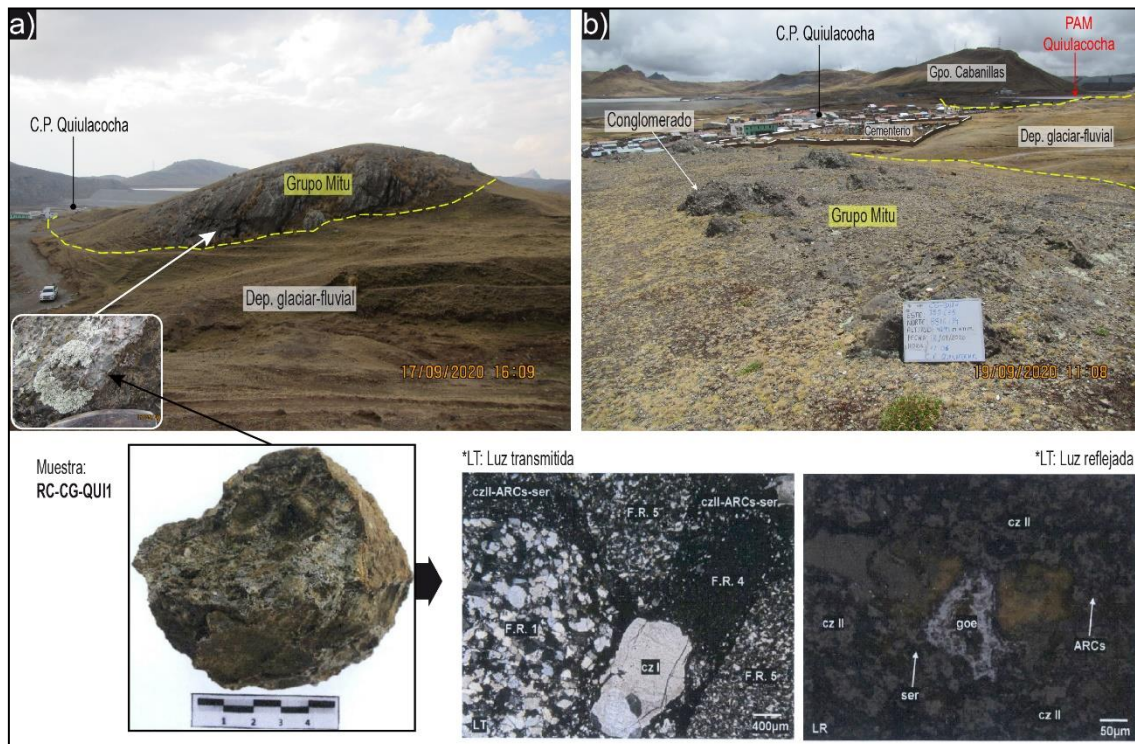
**Figura 6.20.** Afloramientos de rocas metamórficas del Grupo Cabanillas. En a) punto CG-QUI3, b) punto CG-QUI9 y c) Punto CG-QUI7 y fotomicrografías del análisis petrominerográfico

• **Grupo Mitu (PET-m)**

En el cuadrángulo de Ambo (21-k) Mc Laughlin (1924) definido como grupo Mitu a secuencias detrítica de color rojo que aflora en la localidad de Mitu. En el cuadrángulo de Cerro de Pasco la base de este grupo fue identificado en la hacienda Huanca, donde yace en discordancia angular sobre las rocas del Grupo Tarma-Copacabana y/o al Grupo Ambo; asimismo, al oeste del tajo norte de la UM Colquijirca, el Grupo Mitu yace directamente sobre las rocas metamórficas del Grupo Cabanillas, antiguamente considerado como Grupo Excelsior (Jenks, 1951; Ángeles, 1999; Cobbing *et al.*, 2006).

En la zona de estudio, el Grupo Mitu afloran en el lado sur y este del cementerio del C.P. Quiulacocha (300 m aproximadamente), descrito en los puntos CG-QUI1 y CG-QUI8. Se encuentra constituido principalmente por estratos masivos y compactos de conglomerados clasto soportado, heterométrico (0,5 a 15 cm de diámetro) y con presencia de clastos subredondeados de arenisca, cuarzo lechoso y cuarcitas (Figura 6.21).

Asimismo, el estudio petrominerográfico de la muestra RC-CG-QUI1 reportó que este conglomerado presenta fragmentos de metarenisca, cuarcita, metalimolita, limoita y arenisca de grano fino y cristales de cuarzo, englobados en matriz de cuarzo, arcillas y sericita, acompañado de cristales de rutilo, impregnaciones de óxidos de hierro y cavidades rellenas por cloritas (Figura 6.21).

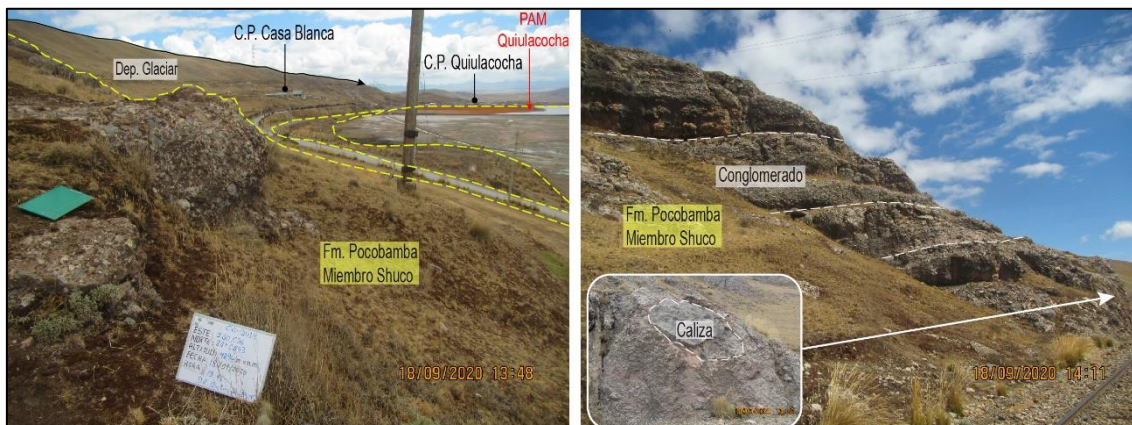


**Figura 6.21.** Afloramientos de rocas sedimentarias del Grupo Mitu. En a) punto CG-QUI1 y fotomicrografías del análisis petrominerográfico, y b) punto CG-QUI8

- **Formación Pocobamba – Miembro Shuco (Pe-sh)**

Esta formación fue descrita por Mc Laughlin (1924); luego, Jenks (1951) la asume como Formación Casapalca y la divide en tres miembros: miembro inferior, conglomerado Shuco y miembro Calera; posteriormente, Cobbing et al. (1996) siguen la nomenclatura de Jenks. Poco tiempo después, Ángeles (1999) redefine la estratigrafía cenozoica de Cerro de Pasco, la cual está conformada por la Formación Pocobamba (dividida en dos miembros: Cacuán y Shuco) y la Formación Calera. En la publicación del boletín del cuadrángulo de Cerro de Pasco 22-k, Rodríguez, Cueva y Carlotto (2011) mantienen la denominación de Ángeles (1999) en el sector de Cerro de Pasco y lo extienden hacia Huayllay y la laguna Punrún, en base a estudios de Cueva (2008) y Cueva *et al.* (2008).

Estas rocas afloran en el cerro Shuco y en el borde este del PAM Quiulacocha, y cubren en discordancia angular a las rocas metamórficas del Grupo Cabanillas y Mitu. Litológicamente están compuestos por conglomerados (clastos centimétricos de calizas) y brechas sedimentarias con esporádicos niveles de areniscas rojas. En el punto CG-QUI4 está compuesto por conglomerados matriz soportada distribuidos en estratos gruesos, compuesto por fragmentos métricos de calizas grises y blancas intercalados con niveles delgados de microconglomerados rojos, ambos englobados en matriz limoarenosa calcárea (Figura 6.22).



**Figura 6.22.** Afloramiento de conglomerados de la Formación Pocobamba – Miembro Shuco en el borde este del PAM Quiulacocha (punto CG-QUI4)

- **Depósitos cuaternarios**

El área de estudio presenta depósitos cuaternarios de origen glaciar, glaciar-fluvial, aluvial, fluvial y antropogénico dispuestas en laderas y en terrazas en el fondo de los valles, desarrollados las rocas precedentes descritas anteriormente.

El depósito **glaciar** se encuentra en el lado sur del C.P. Casa Blanca, formando una morrena extensa dispuesta de este a oeste, constituida por bloques y gravas heterométricos y subredondeados de calizas otros fragmentos clásticos, englobados en matriz arcillo-limosa y limo-arenosa, originados a partir de los procesos glaciares (avance y retroceso del hielo). Adicionalmente se ha identificado otra morrena menor en el lado norte del PAM Quiulacocha, dispuesta en la ladera sur del cerro Shuco, cuyo material fue depositado de este hacia el oeste y suroeste. La parte distal de la morrena (punto CG-QUI2<sup>41</sup>), ubicado en el sector Quiulacocha, presenta predominio de matriz respecto a los fragmentos (matriz soportada); los fragmentos son subredondeados de caliza, arenisca, chert y conglomerados, y se encuentran englobados en matriz limoarenosa gris a gris oscura (Figura 6.23).



**Figura 6.23.** Depósito glaciar distal muestreado en el punto RC-CG-QUI2, ubicado en el sector Quiulacocha

41

Este punto fue descrito en el reporte de campo como depósito fluvio-glaciar, no obstante, en función a las características litológicas y mineralógicas fue modificado a depósito Glaciar



El depósito **glaciar-fluvial** predomina ampliamente aledaño al depósito de relaves Ocroyoc, C.P. Quiulacocho y la laguna Jogo, formando laderas desnudas de pendiente moderada. Por otra parte, en ambas márgenes del río Ragra, aledaño a la confluencia de los canales de la margen Izquierda y Derecha (puntos CG-QUI5 y CG-QUI6<sup>42</sup>), el material es matriz soportada, polimícticas y heterométrica (0,2 a 10 cm de diámetro), compuesto por fragmentos subredondeados de calizas areniscas, pizarras, cuarcitas, en matriz limoarenosa (Figura 6.24).

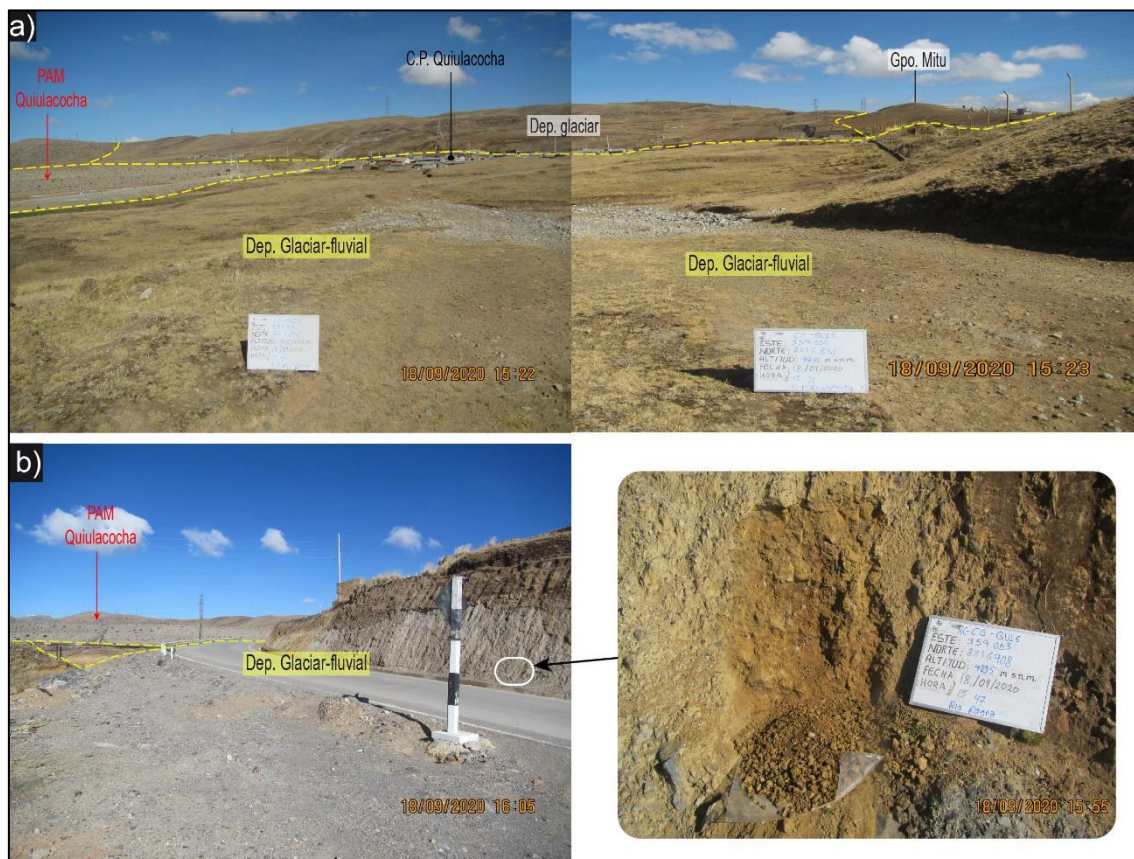


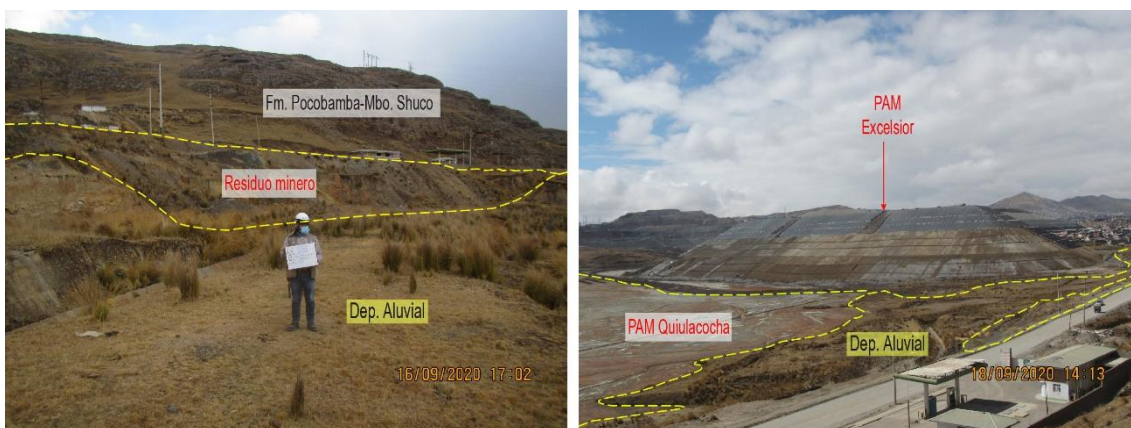
Figura 6.24. Depósito Glaciar-fluvial ubicado en el C.P. Quiulacocho

El depósito **aluvial**, se encuentra en el borde este y noroeste del PAM Quiulacocho, formando laderas moderadamente empinadas y asociadas a la erosión de material de las quebradas aportantes al cauce principal antiguo del río Ragra. En el punto CG-QUI0 este depósito es heterométrico compuesto por fragmentos de calizas y areniscas grises englobado en matriz arenosa, además está cubierto esporádicamente por desmonte de mineral antiguo (Figura 6.25).

42

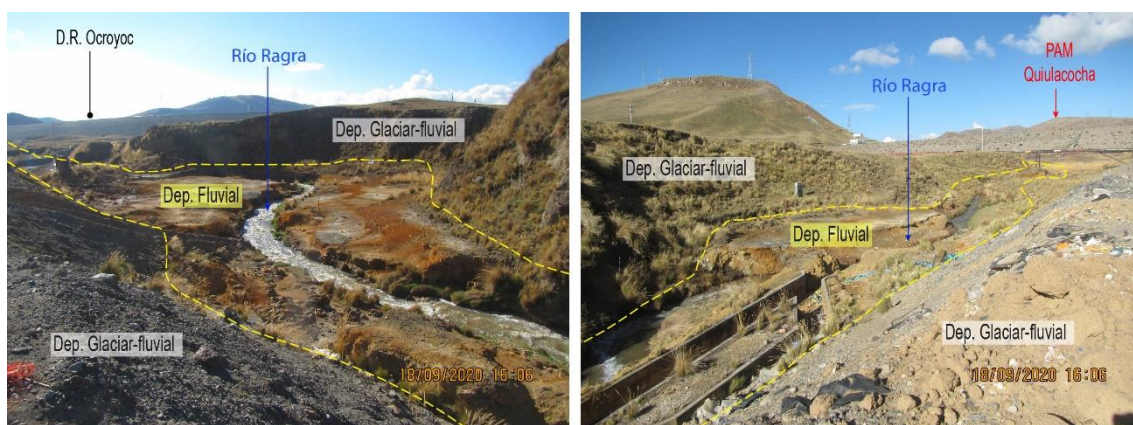
Estos puntos fueron descritos en el reporte de campo como depósito aluvial, no obstante, en función a las características litológicas y mineralógicas fueron modificados a depósito Glaciar-fluvial





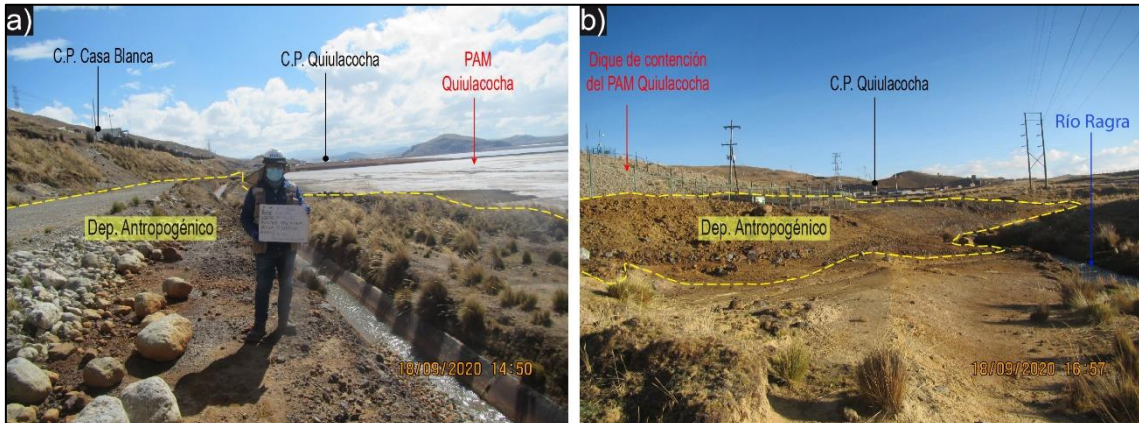
**Figura 6.25.** Depósito aluvial ubicado en el borde este del PAM Quiulacocha

El depósito **fluvial** se restringe al cauce del río Ragra (oeste del PAM Quiulacocha) en la cual se identificó fragmentos rocosos heterométricos redondeados a subredondeados transportados por la corriente del río, los cuales están depositados en forma de terrazas bajas. Este material presenta una coloración amarillenta a rojiza debido a la erosión de sedimentos provenientes del dique de contención del PAM Quiulacocha (Figura 6.26).



**Figura 6.26.** Depósito fluvial depositado en las terrazas bajas aledaños al río Ragra, al oeste del PAM Quiulacocha

Los depósitos antropogénicos corresponden al material mineralizado dispuestos aledaños al PAM Quiulacocha producto de las actividades mineras antiguas. En el borde este, sureste (C.P. Casa Blanca) y oeste (dique de contención) se encuentran los depósitos antropogénicos-residuos mineros (puntos RM-QUI1 y RM-QUI2) compuestos por desmonte de mineral con fragmentos de calizas, brechas calcáreas con mineralización de pirita, pirita masiva y óxidos de hierro endurecidos, en matriz de óxidos y polvo de mineral. Otros depósitos antropogénicos corresponden a sedimentos y relaves ubicados en el canal de aguas ácidas, y al material de relleno ubicado en la vía de acceso principal entre el PAM Quiulacocha y PAM Excelsior (Figura 6.27).



**Figura 6.27.** Depósito antropogénico. En a) residuo minero en el punto RM-QUI1, y b) residuo minero en el punto RM-QUI2

### Contexto estructural

Las estructuras identificadas en el área de estudio consisten en fallas, lineamientos y discordancias en el contacto de las unidades litoestratigráficas.

Durante el cartografiado no se han reconocido fallas principales debido a la gran cobertura de material cuaternario, sin embargo, se interpretó alineamientos de dirección NO y NE en los niveles clásticos de la Formación Pocobamba – Miembro Shuco. Adicionalmente, Ángeles (1999) interpretó un rasgo estructural complementario denominado falla Laguna Quiulacocha de orientación SO-NE, considerado como ramal de transferencia de movimiento entre las fallas principales FL (falla Longitudinal) y FRSJV (falla Río San Juan-Venenococha).

### 6.2.2. Caracterización litogeoquímica

Los puntos de muestreo de roca y material cuaternario se definieron en base a las unidades litoestratigráficas identificadas en la caracterización geológica, priorizando los sectores aledaños al PAM Quiulacocha y C.P. Quiulacocha (Figura 6.28).

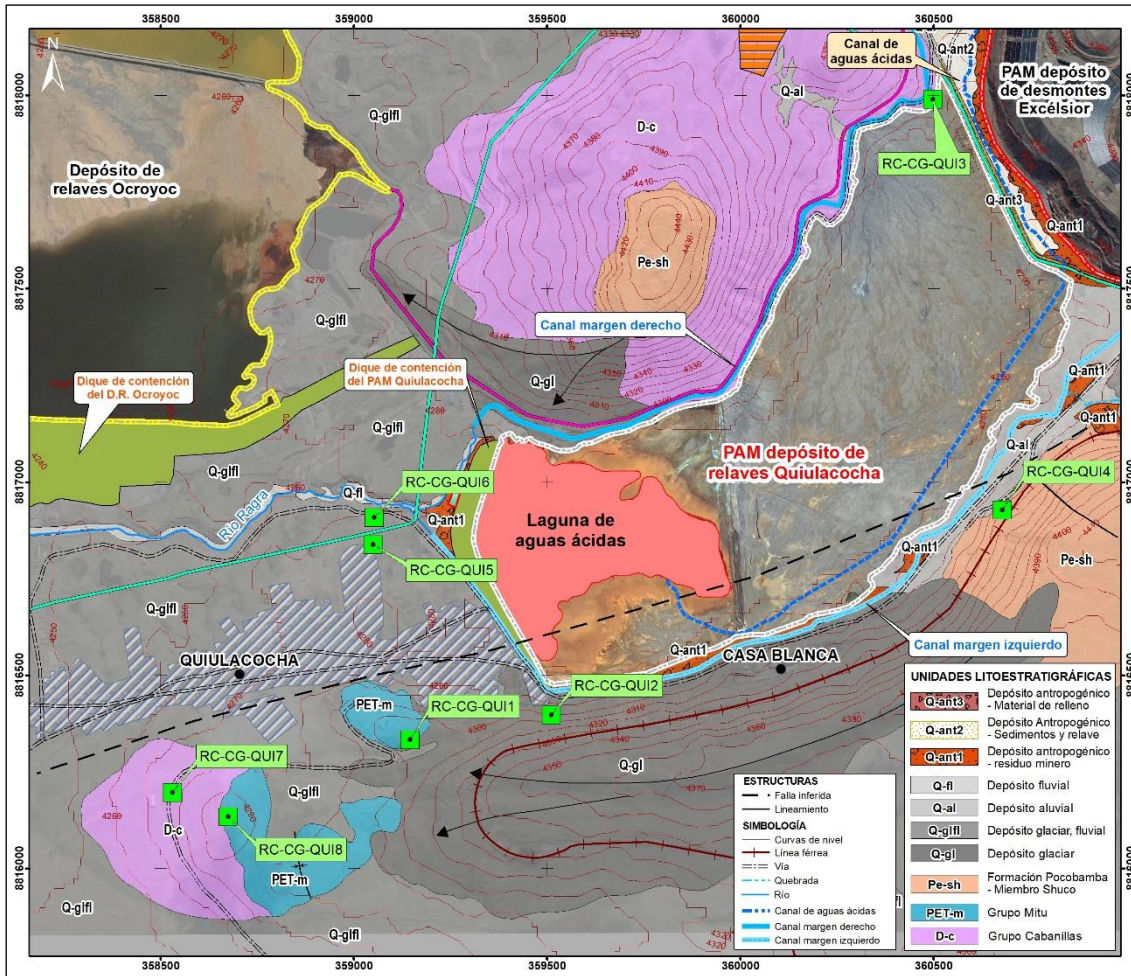


Figura 6.28. Ubicación de puntos de muestreo de roca asociado al contexto geológico

El análisis geoquímico y mineralógico de estas unidades, se realizó con la finalidad de conocer el contenido de metales, capacidad de lixiviar metales hacia el medio y el potencial de generar drenaje ácido. En total se tomaron 8 muestras, de las cuales 2 corresponden al Grupo Cabanillas, 2 al Grupo Mitu, 1 a la Formación Pocobamba – Miembro Shuco y 3 a depósitos cuaternarios (Tabla 6.7).

Tabla 6.7. Distribución de puntos y parámetros analizados en las unidades geológicas en el ámbito del PAM Quiulacocha

N.º	Unidad geológica	Código de punto	Litología	Parámetros evaluados						
				Metales totales y mercurio	Test ABA	SF metales	SF aniones	Tessier	Análisis mineralógico por DRX	Análisis mineralógico por microscopía óptica
1	Grupo Cabanillas	RC-CG-QUI3	Pizarras	1	---	---	---	---	---	---
2		RC-CG-QUI7	Pizarras, areniscas y esquistos	1	---	---	---	---	---	1
3	Grupo Mitu	RC-CG-QUI1	Conglomerado con clastos polimícticos	1	---	---	---	---	---	1
4		RC-CG-QUI8	Conglomerado con clastos polimícticos	1	---	---	---	---	---	---

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

N.º	Unidad geológica	Código de punto	Litología	Parámetros evaluados						
				Metales totales y mercurio	Test ABA	SF metales	SF aniones	Tessier	Análisis mineralógico por DRX	Análisis mineralógico por microscopía óptica
5	Formación Pocobamba - Miembro Shuco	RC-CG-QUI4	Conglomerado con clastos de calizas	1	---	---	---	---	---	---
6	Depósito Glaciar*	RC-CG-QUI2	Gravas, limos y arenas	1	1	1	1	1	1	---
7	Depósito Glaciar-fluvial*	RC-CG-QUI5	Gravas, limos y arenas	1	---	---	---	---	---	---
8		RC-CG-QUI6	Gravas, limos y arenas	1	1	1	1	1	1	---

Fuente: Reporte de campo RC-051-2020-STEC (Anexo 5)

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

(\*) Este punto fue descrito en el reporte de campo como depósito fluvio-glaciar, no obstante, en función a las características litológicas y mineralógicas fue modificado a depósito Glaciar

(\*) Estos puntos fueron descritos en el reporte de campo como depósito aluvial, no obstante, en función a las características litológicas y mineralógicas fueron modificados a depósito Glaciar-fluvial

**a. Metales totales**

Los metales predominantes en las unidades geológicas se presentan en la Tabla 6.8. De igual modo, en la Figura 6.29 se muestra las concentraciones promedio con error estándar, en donde, los íconos de color blanco corresponden a elementos con concentraciones menores al límite de detección (< L.D.).

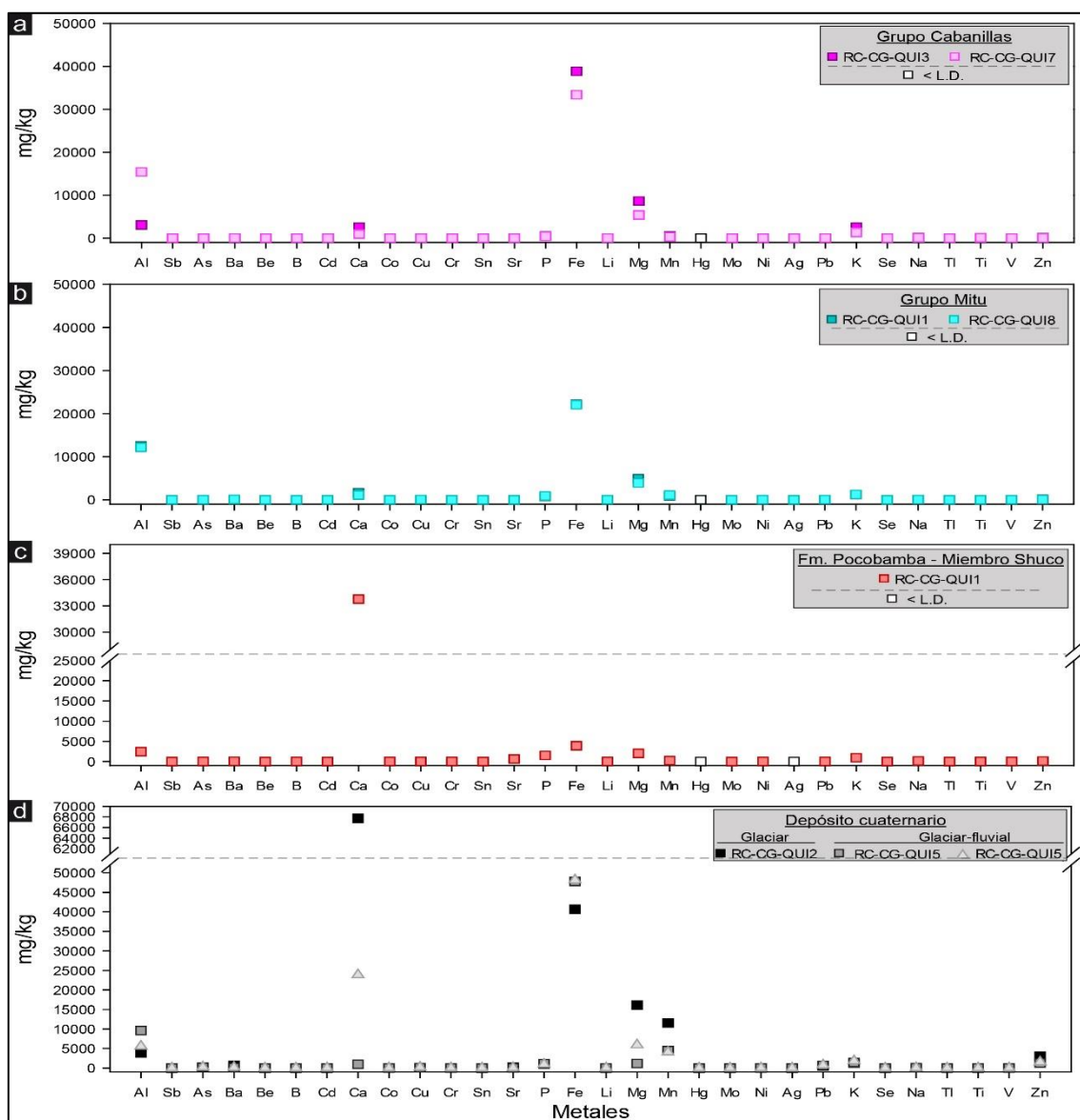
**Tabla 6.8.** Metales predominantes en las unidades geológicas

Unidad geológica		Elementos predominantes (> 1000 mg/kg)	Elementos trazas (< 1000 mg/kg)
Grupo Cabanillas		Hierro, magnesio, aluminio, calcio y potasio	Fósforo, manganeso, sodio, zinc y bario
Grupo Mitu		Hierro, aluminio, magnesio, calcio, potasio y manganeso	Fósforo, zinc, sodio, bario y plomo
Formación Pocobamba - Miembro Shuco		Calcio++, hierro, aluminio, magnesio y fósforo	Potasio, estroncio, manganeso, sodio, zinc y bario
Depósito cuaternario	Glaciar	Calcio, hierro, magnesio, manganeso, aluminio, zinc, potasio y fósforo	Bario, plomo, arsénico, estroncio y sodio
	Glaciar-fluvial	Hierro, calcio, magnesio, aluminio, manganeso, potasio, zinc y fósforo	Plomo, arsénico, cobre, bario, estroncio y sodio

(++) Elemento con concentración elevada con respecto al resto



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



**Figura 6.29.** Concentración de metales totales en las unidades geológicas. a) Grupo Cabanillas, b) Grupo Mitu, c) Formación Pocobamba – Miembro Shuco, d) depósitos cuaternarios.

Las rocas del Grupo Cabanillas presentaron mayoritariamente hierro, magnesio, aluminio, calcio y potasio, y en menor proporción fósforo, manganeso, sodio, zinc y bario; de forma similar, el Grupo Mitu presentó principalmente hierro, aluminio, magnesio, calcio, potasio y manganeso, y trazas de Fósforo, zinc, sodio, bario y plomo.

En tanto, las rocas de la Formación Pocobamba-Miembro Shuco presentaron las mayores concentraciones de calcio, seguido de hierro, aluminio, magnesio y fósforo, con trazas de potasio, estroncio, manganeso, sodio, zinc y bario. Los depósitos cuaternarios Glaciar y Glaciar-fluvial reportaron las mayores concentraciones de la mayoría de los elementos litófilos y calcófilos respecto a las rocas del basamento antes descritos. Es así que, el material Glaciar contiene mayoritariamente calcio, hierro, magnesio, manganeso, aluminio, zinc, potasio y fósforo; y el material Glaciar-fluvial reportó hierro, calcio, magnesio, aluminio, manganeso, potasio, zinc y fósforo, en ambos casos, acompañado de trazas de plomo, arsénico, cobre, bario, estroncio y sodio.

**b. Prueba de generación de acidez**

Los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para evaluar la generación de acidez y el potencial de neutralización de los depósitos cuaternarios, se presentan en la Tabla 6.9.

**Tabla 6.9.** Prueba ABA en depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocho

Parámetros	Unidad	Depósito Glaciar	Depósito Glaciar-fluvial
		RC-CG-QUI2	RC-CG-QUI6
Azúfre Total	%	0,46	0,44
Grado de Efervescencia	-	4	4
pH en Pasta	Unidades pH	8,220	8,060
Potencial de Acidez Máximo	t CaCO <sub>3</sub> /1000t	13,44	11,88
Potencial de Neutralización	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	307,89	112,72
Potencial de Neutralización Neto	t CaCO <sub>3</sub> /1000 t	294,45	100,84
Relación NP/MPA	-	22,91	9,49
Conclusión de criterio 1 (PNN=PN-PA) <sup>(a)</sup>		PNGA	PNGA
Conclusión de criterio 2 (ratio RPN=PN/PA) <sup>(b)</sup>		PNGA	PNGA

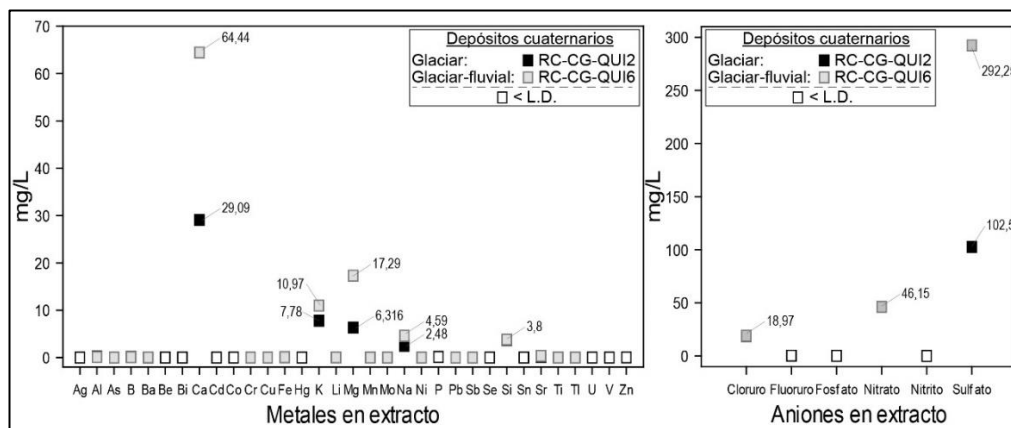
(a): **Criterio 1:** Para un PNN menor a cero, la muestra es «generadora neta de ácido». Sin embargo, para un PNN que varía entre -20 y +20 kg CaCO<sub>3</sub>/Ton de muestra, corresponde a un rango de «incertidumbre». Para valores mayores a +20 kg CaCO<sub>3</sub>/Ton, se considera a la muestra como «potencial no generador de ácido (PNGA)»; mientras que para valores menores a -20 kg CaCO<sub>3</sub>/Ton se considera como «potencial generador de ácido».

(b): **Criterio 2:** Para un RPN= PN/PA < 1:1 es «probable que se genere acidez», mientras que para el rango de PN/PA entre 1:1 y 3:1 corresponde a una zona de «incertidumbre». Cuando el PN/PA > 3:1, la muestra es «potencial no generador de acidez (PNGA)».

En ambas muestras la prueba ABA reportó bajas concentraciones de azufre total (0,44 a 0,46%), de igual modo, el pH en pasta fue ligeramente alcalino (8,22 a 8,06 unidades) y el potencial de neutralización mucho mayor respecto al potencial de acidez. Según los criterios de generación de acidez, ambas muestras fueron clasificadas como no generadores de acidez (PNN>20 y RPN>3:1).

**c. Prueba de lixiviación de metales**

Las concentraciones de metales y aniones lixiviables mediante la prueba Shake Flask en los depósitos cuaternarios se presentan en las Figura 6.30, en donde, los íconos de color blanco corresponden a elementos con concentraciones menores al límite de detección (< L.D.).

**Figura 6.30.** Concentración de metales y aniones lixiviables por la prueba Shake Flask de los depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocho

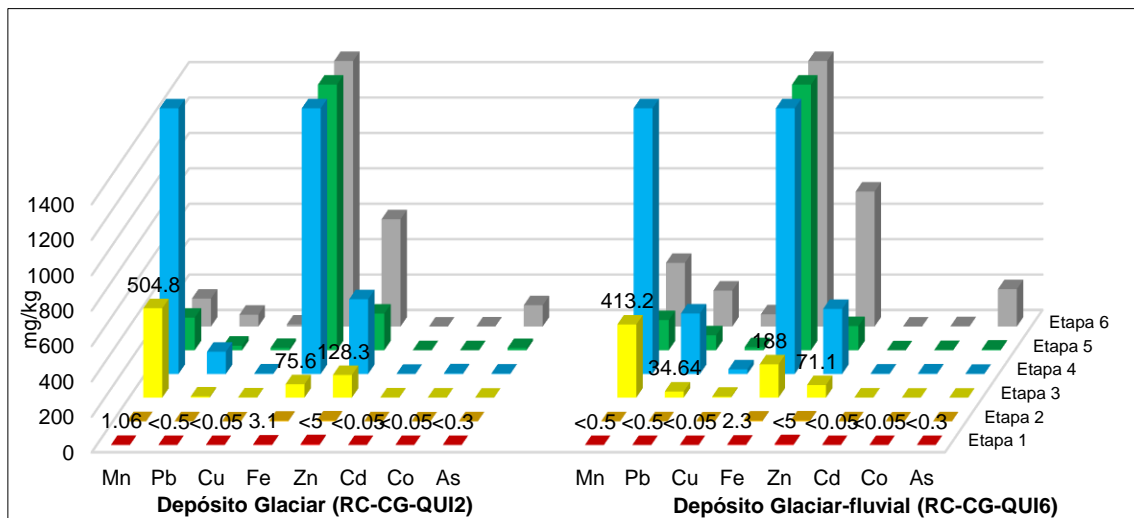
Los depósitos cuaternarios glacial y glacial-fluvial poseen la capacidad de lixiviar sulfato, calcio, magnesio, potasio, silicio y sodio. En cuanto a los elementos calcófilos (asociados a sulfuros), el arsénico, plomo y cobre presentaron bajas concentraciones, en tanto que el cadmio, zinc y mercurio se encontraron debajo del límite de detección (< L.D.). Se resalta que, el depósito Glacial-fluvial presentó mayor concentración que el depósito Glacial, del cual fue erosionado.

Se precisa que las concentraciones de los elementos calcófilos como arsénico, cadmio, plomo y zinc, elementos litófilos de interés como magnesio y manganeso, y el anión sulfato lixiviables del material cuaternario, descritas en el párrafo anterior, son muy bajas en relación con las concentraciones reportadas en el PAM Quiulacocha y residuos mineros aledaños.

#### d. Extracción secuencial

Este método de extracción secuencial -modificado por ALS LS Perú S.A.C.- determina la especiación de los metales trazas en rocas y complementa al análisis de metales totales. Las etapas de metales pesados que comúnmente se suelen diferenciar en los sólidos mediante este tipo de metodologías son: extraíbles (etapa 1), intercambiable y adsorbida (etapa 2), ligado a carbonatos (etapa 3), reducibles y óxidos Fe (etapa 4), ligado a materia orgánica (etapa 5) y etapa residual (etapa 6); en donde, las dos primeras etapas son consideradas como biodisponibles.

Dentro de este análisis se priorizó a los elementos predominantes y potencialmente tóxicos como manganeso, hierro, plomo, zinc, cobre, cadmio, arsénico y cobalto, analizados también en el PAM Quiulacocha y residuos mineros. El resultado de las extracciones secuenciales de los elementos de interés de los depósitos cuaternarios se presenta en la Figura 6.31.



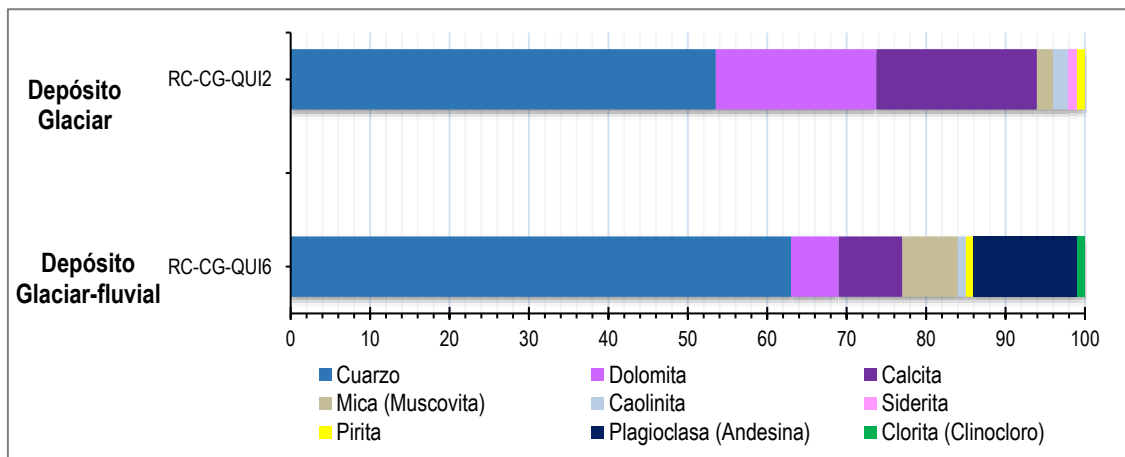
**Figura 6.31.** Resultado de las extracciones secuenciales de elementos trazas en los depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocha

De forma general se han identificado elementos biodisponibles en baja concentración en los depósitos cuaternarios. El depósito Glaciar presentó en etapa extraíble e intercambiable al manganeso y hierro, y a cadmio solo en la etapa intercambiable; en tanto que, el depósito Glaciar-fluvial presentó hierro de forma extraíble y hierro y cadmio en la etapa intercambiable. En la etapa 3 (ligado a carbonatos) resaltó las concentraciones de manganeso, hierro, zinc, plomo y cobre, los cuales pueden ser liberados con descensos de pH del medio.

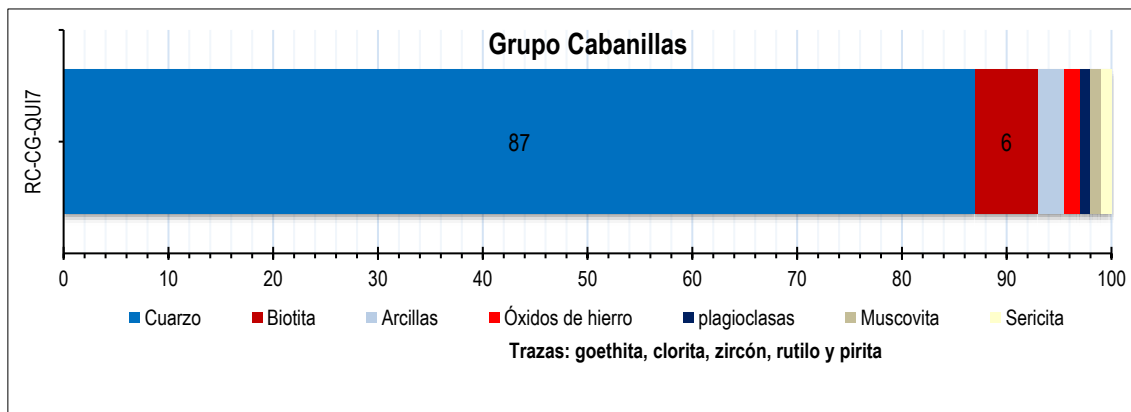


**e. Análisis mineralógico**

El análisis mineralógico se realizó por dos métodos distintos. Las muestras de depósitos cuaternarios (semiconsolidado) fueron analizadas por difracción de rayos X (DRX), el cual identifica la composición mineralógica de forma semicuantitativa al 100%, a excepción de los minerales en concentraciones menores a 1 %, los cuales requieren otra escala de análisis (Figura 6.32). El otro método corresponde al análisis por microscopía óptica aplicado en muestras sólidas que fueron analizadas en las rocas del Grupo Cabanillas y Grupo Mitu (Figuras 6.33 y 6.34).



**Figura 6.32.** Composición mineralógica por difracción de rayos X (DRX) en los depósitos cuaternarios aledaños al PAM Quiulacocha



**Figura 6.33.** Composición mineralógica por microscopía óptica en el Grupo Cabanillas



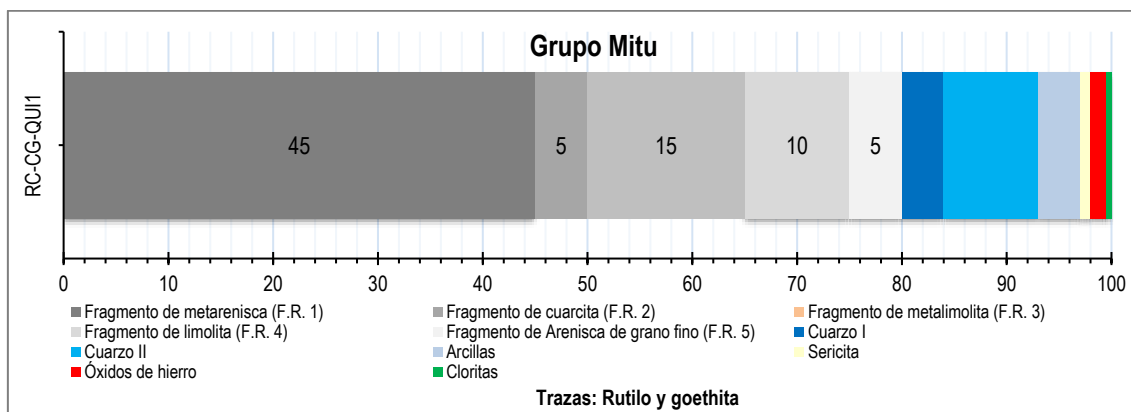


Figura 6.34. Composición mineralógica por microscopía óptica en el Grupo Mitu

La muestra RC-CG-QUI7 tomada en el Grupo Cabanillas fue clasificada como metarenisca, presenta textura granoblástica débilmente foliada y alteración con oxidación débil, sericitización débil, argilización débil y cloritización incipiente. Contiene principalmente cristales de cuarzo, biotita, arcillas, óxidos de hierro, plagioclasas, muscovita, sericita y trazas de goethita, clorita, zircón, rutilo y pirita.

El Grupo Mitu, analizado en el punto RC-CG-QUI1, fue clasificado como **conglomerado** de textura clástica y alteración con oxidación débil y cloritización muy débil. Esta roca se encuentra compuesto principalmente por fragmentos de rocas (metarenisca, cuarcita, metalimolita, limolita y arenisca de grano fino) y fragmentos de cristales de cuarzo, englobado en matriz de cuarzo, arcillas y sericita, adicionalmente presenta minerales secundarios como rutilo, goethita, cloritas y óxidos de hierro.

En tanto, el contenido mineral de los depósitos cuaternarios presentó principalmente cuarzo, dolomita, calcita, muscovita, caolinita y plagioclasa, acompañado de trazas (<1%) de siderita, pirita y clorita. Estos minerales provienen de la erosión de las rocas metamórficas del Grupo Cabanillas (pizarras, esquisto y areniscas) y clásticas del Grupo Mitu (areniscas y conglomerados) y Formación Pocobamba-Miembro Shuco (conglomerados con clastos de calizas).

### 6.3. Objetivo específico 3: Determinar la influencia de los elementos de interés provenientes del PAM Quiulacocha y otras fuentes en la calidad del agua superficial (canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra), agua subterránea, suelo y tejido vegetal

#### 6.3.1. Agua superficial

En agua superficial se evaluaron en agosto y setiembre puntos ubicados en los canales de la margen derecha (RRagr-1 y RRagr-A) e izquierda (RRagr-2 y SJ-9), así también un punto ubicado en el río Ragra (SJ-48). En la Tabla 6.10 se presentan los resultados de los parámetros evaluados en agua superficial y su comparación referencial con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, en las subcategorías D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales aprobados mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

En el canal margen derecha en el punto RRagr-1 en agosto, el manganeso total y plomo total superaron los ECA para Agua (2017) en ambas subcategorías, mientras el hierro total y el zinc total solo superaron en la subcategoría D1. Asimismo, en setiembre en los puntos



RRagr-1 y RRagr-A, el manganeso superó en ambas subcategorías y el hierro total superó la subcategoría D1 de la norma mencionada.

En el canal margen izquierda en los puntos RRagr-2 y SJ-9 el oxígeno disuelto se encontró por debajo de los ECA para Agua (2017), categoría 3, en ambas subcategorías: mientras que, el manganeso total, plomo total y arsénico total (solo en el punto RRagr-2) superaron los estándares mencionados en ambas subcategorías. Además, en el punto SJ-9 el arsénico total y hierro total y en el punto RRagr-2 el bicarbonato, cobre total, hierro total y zinc total superaron el estándar mencionado solo en la subcategoría D1. En el punto (SJ-48) los parámetros de sulfato y manganeso total superaron los ECA para Agua (2017), ambas categorías; mientras que, la conductividad eléctrica y hierro total solo superaron la mencionada norma en la subcategoría D1.

#### a. Caracterización hidroquímica

La caracterización hidroquímica se realizó en base a la información de los puntos de muestreo de agua superficial de los muestreos efectuados en agosto y setiembre 2020. Además, se realizó el análisis de las concentraciones de cationes mayoritarios ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ), obtenidos a partir de los análisis de laboratorio (Reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC: Anexo 9 y 10), con los cuales se elaboraron diagramas de Piper y Stiff (Anexo 12). Asimismo, se utilizó la suma de los metales disueltos: plomo, cobre, cadmio, níquel, cobalto y zinc, en un diagrama de Ficklin para la caracterización de las aguas.

En el canal margen derecho se evaluaron los puntos RRagr-1 (agosto y setiembre) y RRagr-A (setiembre), y en agosto se evaluó dos puntos canal margen izquierdo RRagr-2 y SJ-9, además del punto SJ-48 en el río Ragra.

- **Diagrama de Piper y diagrama de Stiff**

En la Figura 6.35 se presenta el diagrama de Piper donde se puede observar que los puntos RRagr-1 (agosto y setiembre) y RRagr-A (setiembre) presentaron características de facies sulfatada cálcica magnésica; mientras que, los puntos RRagr-2 y SJ-9 presentaron características de facies bicarbonatada sódica y bicarbonatada cálcica respectivamente y el punto SJ-48 del río Ragra presentó características de facies sulfatada magnésica cálcica. Estos resultados concordaron con lo que se presenta en el diagrama de Stiff (Figura 6.36) donde se observa que los puntos RRagr-1 y RRagr-A presentaron características sulfatada cálcica; pero los puntos RRagr-2 y SJ-9 presentaron características de bicarbonatada sódica cálcica y bicarbonatada cálcica sódica respectivamente y el punto SJ-48 del río Ragra presentó característica de sulfatada magnésica cálcica.

- **Diagrama de Ficklin**

En la Figura 6.37 se presenta el diagrama de Ficklin donde se observa que los puntos evaluados en el canal margen derecho, canal margen izquierdo y río Ragra, presentaron características neutras con baja concentración de metales disueltos. Sin embargo, el punto RRagr-2 (canal margen izquierdo) presentó características neutras y entre bajas y altas concentraciones de metales disueltos.

**Tabla 6.10.** Resultados de parámetros evaluados en agua superficial comparados referencialmente con los ECA para Agua – 2017

Cuerpo de agua		Canal margen derecha			Canal margen izquierda		Río Ragra	Estándares de Calidad Ambiental para Agua D.S. 004-2017-MINAM		
Código		RRagr-1		RRagr-A	RRagr-2	SJ-9	SJ-48	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales		
Fecha de muestreo		17/08/2020	28/09/2020	28/09/2020	17/08/2020	17/08/2020	17/08/2020	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
Parámetro	Unidad									
<b>Parámetros físico - químicos</b>										
Potencial de hidrógeno (pH)*	Unid. de pH	7,97	8,35	7,96	7,7	7,48	8,18	6,5 - 8,5	6,5 - 8,4	
Conductividad eléctrica (CE)*	µS/cm	1452	1677	1740	1155	778	3000	2500	5000	
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	5,52	6,45	6,54	0,26	2,05	6,38	≥4	≥5	
Temperatura (T)*	°C	16,6	10,60	12,10	17,6	18,4	13,5	Δ 3	Δ 3	
Caudal (Q)*	(L/s)	95	640,70	---	44	44	139	---	---	
Bicarbonato	mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	474,2	308	349	614,1	257,8	279,2	518	---	
Sulfatos	mg/L	404	852	920	101	145	2131	1000	1000	
<b>Parámetros inorgánicos</b>										
Arsénico Total	mg/L	0,02309	0,03404	0,03062	0,23728	0,14147	0,05380	0,1	0,2	
Cobre Total	mg/L	0,0450	0,0534	0,0476	0,4591	0,1701	0,0691	0,2	0,5	
Hierro Total	mg/L	8,9	6,7	5,8	21	14	6,3	5	---	
Manganeso Total	mg/L	3,4241	9,4690	10,440	2,8515	2,5835	29,025	0,2	0,2	
Plomo Total	mg/L	0,05864	0,04046	0,03781	0,14611	0,06661	0,01891	0,05	0,05	
Zinc Total	mg/L	2,28	1,37	1,29	3,32	1,44	1,28	2	24	

: Parámetros que superan o se encuentran debajo de los ECA para Agua Cat. 3 D1 y D2

: Parámetros que superan los ECA para Agua Cat. 3 D1 o D2

(\*) Este parámetro fue medido *in situ*



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

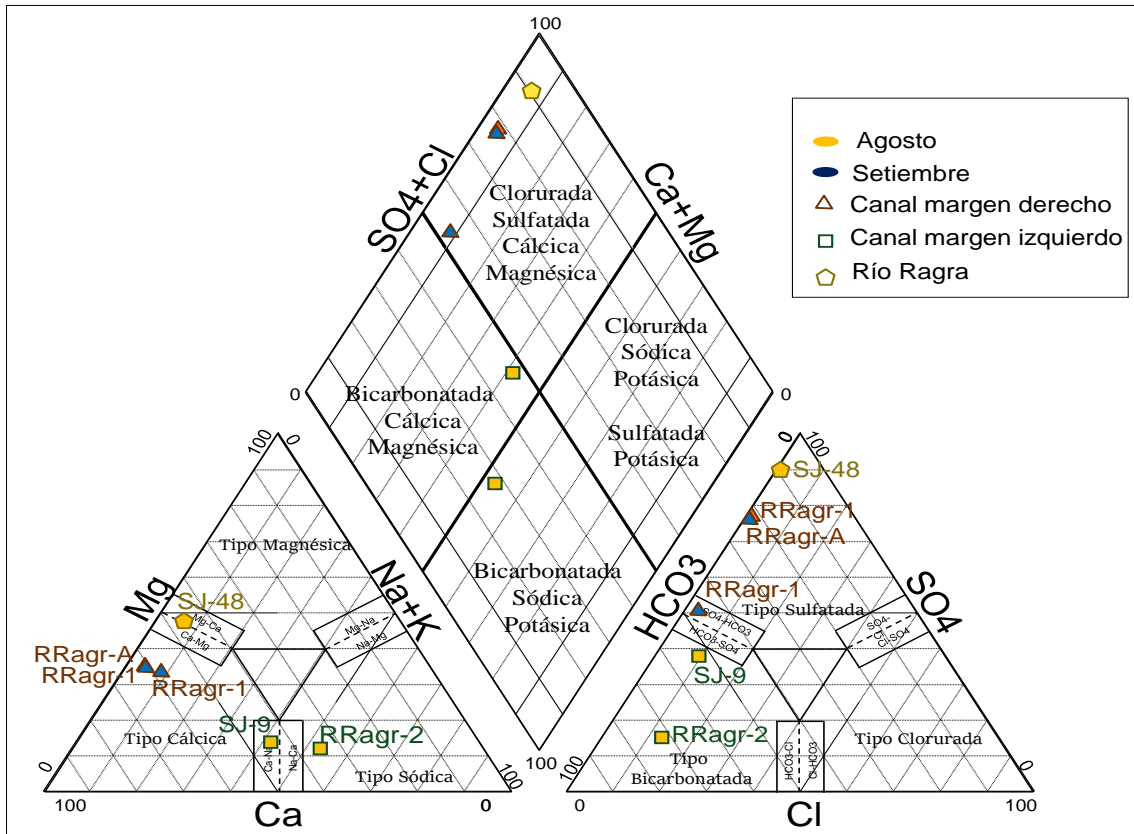


Figura 6.35. Diagrama de Piper para agua superficial

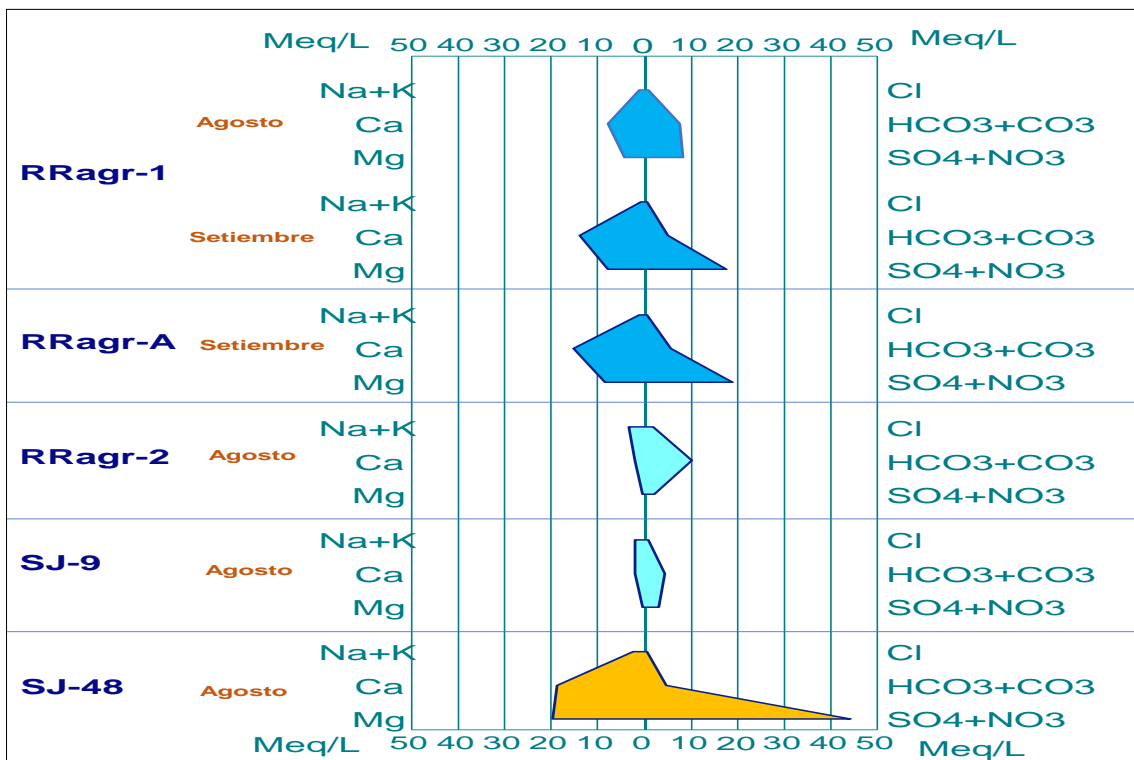


Figura 6.36. Diagrama de Stiff para las aguas superficial



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

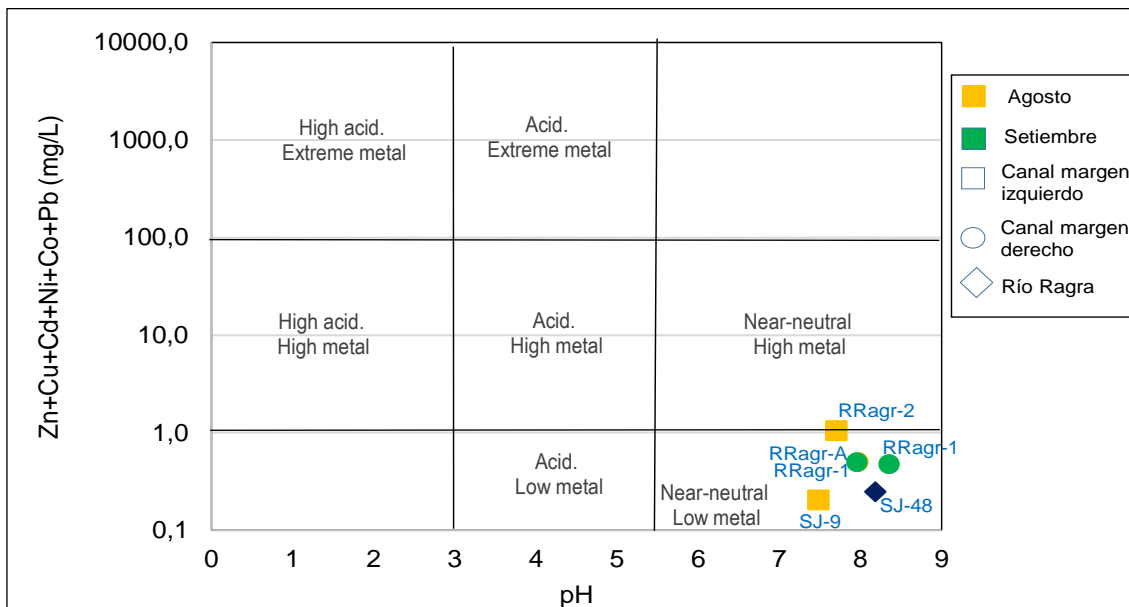


Figura 6.37. Diagrama de Ficklin para las aguas superficial

### 6.3.2. Agua subterránea

En el ámbito del PAM Quiulacocha se evaluaron 7 piezómetros (P4A / PZ-4A, P18 / PZ-18, P19 / PZ-19, NN1, P13, PZ-9 y NN2) y 2 manantiales (FCab1 y FQui1), en los meses de agosto y setiembre de 2020.

En la Tabla 6.11 se presentan los resultados de los parámetros evaluados en agua subterránea y su comparación referencial con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, en las subcategorías D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales aprobados mediante Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

El piezómetro P4A / PZ-4 (agosto y setiembre) presentó concentraciones de oxígeno disuelto y manganeso total que estuvieron por debajo y superó respectivamente los ECA para Agua (2017), categoría 3.

El piezómetro P18 / PZ-18 presentó oxígeno disuelto que se encontró por debajo del rango de los ECA para Agua (2017) categoría 3, asimismo las concentraciones de sulfato (setiembre), manganeso total y plomo total (setiembre) superaron los estándares mencionados. Además, en setiembre la conductividad eléctrica y el magnesio total superaron referencialmente la norma mencionada en la subcategoría D1 y D2 respectivamente.

En el piezómetro P19 / PZ-19 el pH y el oxígeno disuelto se encontraron por debajo del rango establecido para los ECA para Agua (2017) categoría 3, asimismo la conductividad eléctrica y las concentraciones de sulfatos, arsénico total, cobalto total, manganeso total, níquel total, plomo total y zinc total, superaron referencialmente los estándares mencionados. También las concentraciones de hierro total y selenio total superaron referencialmente solo la subcategoría D1 (Riego de vegetales) y el magnesio solo en la subcategoría D2 (Bebida de animales) de la norma mencioanda.



El piezómetro NN1 reportó concentraciones de oxígeno disuelto se encuentran referencialmente debajo del rango establecido para los ECA para Agua (2017), en ambas subcategorías, además los valores del sulfato, arsénico total, manganeso total y plomo total superaron los estándares mencionados; asimismo la conductividad eléctrica, hierro total y zinc total superaron la norma mencionada en categoría 3 - subcategoría D1.

En el piezómetro P13 las concentraciones de aluminio total, manganeso total y plomo total superaron referencialmente los ECA para Agua (2017) categoría 3; mientras que, arsénico total y hierro total solo superaron la mencionada norma en la subcategoría D1 (Riego de vegetales).

El piezómetro PZ-9 presentó concentraciones de oxígeno disuelto que se encuentran referencialmente por debajo de los ECA para Agua (2017) categoría 3, asimismo el sulfato, manganeso total y plomo total superaron los estándares mencionados. Además, la conductividad eléctrica, arsénico total y hierro total superaron categoría 3 en la subcategoría D1 (Riego de vegetales) y el magnesio solo superó la subcategoría D2 (Bebida de animales).

En el piezómetro NN2 el oxígeno disuelto se encuentran referencialmente por debajo de los ECA para Agua (2017) categoría 3, en ambas subcategorías, mientras que el manganeso total y plomo total superaron los estándares mencionados. Además, el boro total superó la norma mencionada en categoría 3 - subcategoría D1. Finalmente, los resultados de los parámetros evaluados en los manantiales FCab1 y FQui1 se encontraron cumpliendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, categoría 3, en las subcategorías D1: Riego de vegetales y D2: Bebida de animales.

**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 Universalización de la Salud**Tabla 6.11.** Resultados de parámetros evaluados en agua subterránea comparados referencialmente con los ECA para Agua – 2017

Cuerpo de agua		Agua subterránea (piezómetros)										Agua subterránea (Manantiales)		Estándares de Calidad Ambiental para Agua		
Código		P4A / PZ-4A		P18 / PZ-18		P19 / PZ-19		NN1		P13	PZ-9	NN2	FCab1	FQui1	D.S. 004-2017-MINAM	
Fecha de muestreo		23/08/2020	27/09/2020	23/08/2020	27/09/2020	23/08/2020	27/09/2020	23/08/2020	27/09/2020	23/08/2020	27/09/2020	27/09/2020	28/09/2020	28/09/2020	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	
Parámetro	Unidad														D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
<b>Parámetros físico - químicos</b>																
Potencial de hidrógeno	Unid. de pH	6,84	7,28	7,04	7,45	5,81	5,85	6,78	6,64	7,76	7,00	8,39	7,73	7,68	06,5 - 8,5	6,5 - 8,4
Conductividad eléctrica	µS/cm	1719	1698	1574	2700	7660	6780	3100	2900	463	3050	840	421	462	2500	5000
Oxígeno disuelto	mg/L	2,6	2,53	2,5	2,96	3,52	3,48	3,84	0,29	5,39	2,41	2,40	5,89	6,21	≥4	≥5
Sulfatos	mg/L	606	766	607	1753	4589	5268	1850	2249	49	2043	4,9	36	50	1000	1000
<b>Parámetros inorgánicos</b>																
Aluminio Total	mg/L	0,095	0,227	0,063	0,532	1,19	0,724	0,228	0,072	5,59	0,120	0,585	< 0,002	< 0,002	5	5
Arsénico Total	mg/L	0,01976	0,01598	0,03984	0,02493	0,57452	0,41663	1,9599	1,7519	0,13995	0,15085	0,01618	0,00421	0,00871	0,1	0,2
Boro Total	mg/L	0,102	0,152	0,017	0,062	0,056	0,065	0,052	0,155	0,226	0,02	2,23	< 0,002	< 0,002	1	5
Cobalto Total	mg/L	0,00214	0,00185	0,00069	0,00092	3,1214	2,1509	0,00114	0,00086	0,00635	0,00998	0,00097	< 0,00003	< 0,00003	0,05	1
Hierro Total	mg/L	3,2	5	1,2	2,4	742	500	114	104	20	6,6	3,5	< 0,03	< 0,03	5	--
Magnesio Total	mg/L	68,1	71,6	86,9	253	1001	778	148	150	25,9	327	4,82	8,47	16,1	--	250
Manganeso Total	mg/L	3,3065	3,8378	2,6675	4,9085	1021	844,61	6,2299	7,1896	2,0212	10,743	0,35335	0,00632	0,00233	0,2	0,2
Níquel Total	mg/L	0,0027	0,0022	0,0045	0,0021	3,727	2,727	0,007	0,0049	0,0144	0,016	0,0018	< 0,0009	< 0,0009	0,2	1
Plomo Total	mg/L	0,03255	0,03331	0,02898	0,05858	0,71114	0,44748	0,74334	0,60754	1,0192	0,06204	0,17844	< 0,00006	< 0,00006	0,05	0,05
Selenio Total	mg/L	0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	0,04516	0,02422	0,00011	< 0,00004	0,00119	< 0,00004	< 0,00004	0,00007	0,00015	0,02	0,05
Zinc Total	mg/L	0,258	0,22	0,645	0,303	302	201	13,2	11,1	1,71	1,09	0,163	0,019	0,117	2	24

: Parámetros que superan, se encuentran fuera del rango o se encuentran por debajo de los ECA para Agua Cat. 3 D1 y D2

: Parámetros que superan los ECA para Agua Cat. 3 D1 o D2

(\*) Este parámetro fue medido *in situ*



### a. Caracterización hidroquímica

La caracterización hidroquímica se realizó en base a la información de los puntos de muestreo de agua subterránea de los muestreos efectuados en agosto y setiembre 2020. Además, se realizó el análisis de las concentraciones de cationes mayoritarios ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ) y aniones ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Cl}^-$ ), obtenidos a partir de los análisis de laboratorio (Reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC: Anexo 9 y 10) con los cuales se elaboraron diagramas de Piper y Stiff (Anexo 12). Asimismo, se utilizó la suma de los metales disueltos: plomo, cobre, cadmio, níquel, cobalto y zinc, en un diagrama de Ficklin para la caracterización de las aguas.

- **Diagrama de Piper**

De acuerdo con el diagrama de Piper mostrado en la Figura 6.38a, el punto P4A (agosto y setiembre), NN1 (agosto y setiembre) y P18 (agosto) presentaron características de facies sulfatada cálcica magnésica, pero los puntos P19 (agosto y setiembre), PZ-9 (setiembre) y P18 (setiembre) presentaron características de facies sulfatadas magnésica cálcica. Mientras que, el punto P13 (agosto) presentó características de facies bicarbonatada cálcica sódica magnésica, el punto NN2 (setiembre) presentó características de facies bicarbonatada sódica y los puntos FCab1 y FQui1, ambos en setiembre, presentaron características de facies bicarbonatada cálcica.

- **Diagrama de Stiff**

Estas características se concuerdan con el diagrama de Stiff mostrado en la Figura 6.38b, donde se puede observar que el punto P4A en agosto y setiembre, presentó característica sulfatada cálcica y sulfatada cálcica magnésica sódica respectivamente. Los puntos NN1 (agosto y setiembre) y P18 (agosto) presentaron características de sulfatadas cálcica, pero los puntos P19 (agosto y setiembre), PZ-9 (setiembre) presentaron características de sulfatadas magnésica y el punto P18 en setiembre presentó características de sulfatada magnésica cálcica. Por otra parte, el punto P13 (agosto) presentó características de facies bicarbonatada cálcica sódica magnésica, el punto NN2 (setiembre) presentó características de bicarbonatada sódica y los puntos FCab1 y FQui1 ambos en setiembre presentaron características de facies bicarbonatada cálcicas.

- **Diagrama de Ficklin**

En el diagrama de Ficklin de la Figura 6.39 se puede observar que el punto P19 (agosto y setiembre) presentó características ácidas con concentraciones extremas de metales disueltos, así el punto NN1 (agosto y setiembre) presentó características neutras con concentraciones altas de metales disueltos; mientras que, los puntos PZ-9 (setiembre), P18 (agosto y setiembre), P4A (agosto y setiembre), P13 (agosto), NN2 (setiembre), FQui1 (setiembre) y FCab1 (setiembre) presentaron características neutras con concentraciones bajas de metales disueltos.





PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

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

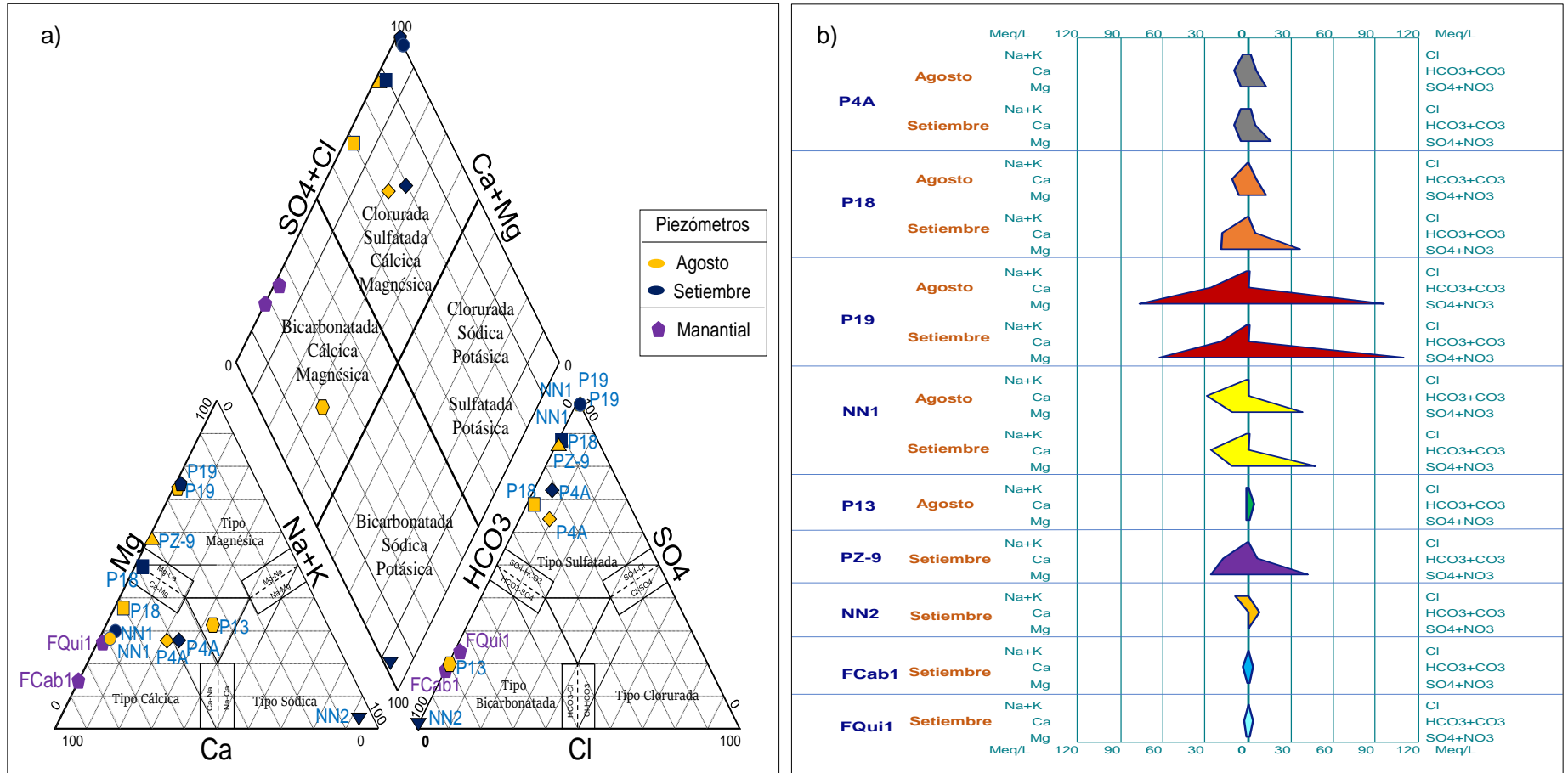


Figura 6.38. a) Diagrama de a) Piper y b) Stiff para agua subterránea



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

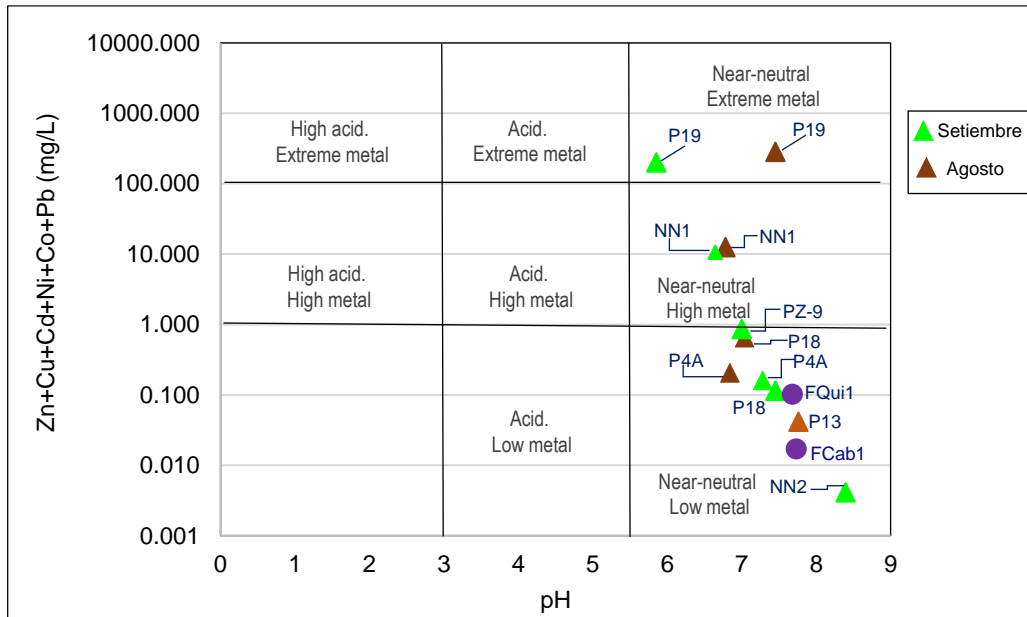


Figura 6.39. Diagrama de Ficklin para las aguas subterránea

b. Análisis multivariado

El dendograma del análisis de conglomerados (Figura 6.40) agrupó los puntos de muestreo en 3 grupos. El primer grupo conformado por los piezómetros ubicados encima del dique (PZ-9 y PZ-4A), debajo del dique (PZ-18), y por los manantiales FCab-1 y FQui-1, el piezómetro PZ-19 evaluado en agosto y setiembre (PZ-19\*) conforma el segundo grupo, mientras que el tercer grupo agrupa al piezómetro NN1 evaluado en ambas temporadas. Cabe precisar que los piezómetros P13 y NN2 no conforman un grupo definido debido a que presentan las mayores concentraciones de mercurio y aluminio de la zona evaluada y por eso no se asocian con el resto de los piezómetros de este grupo (reporte de resultados RRE N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC: Anexos 9 y 10).

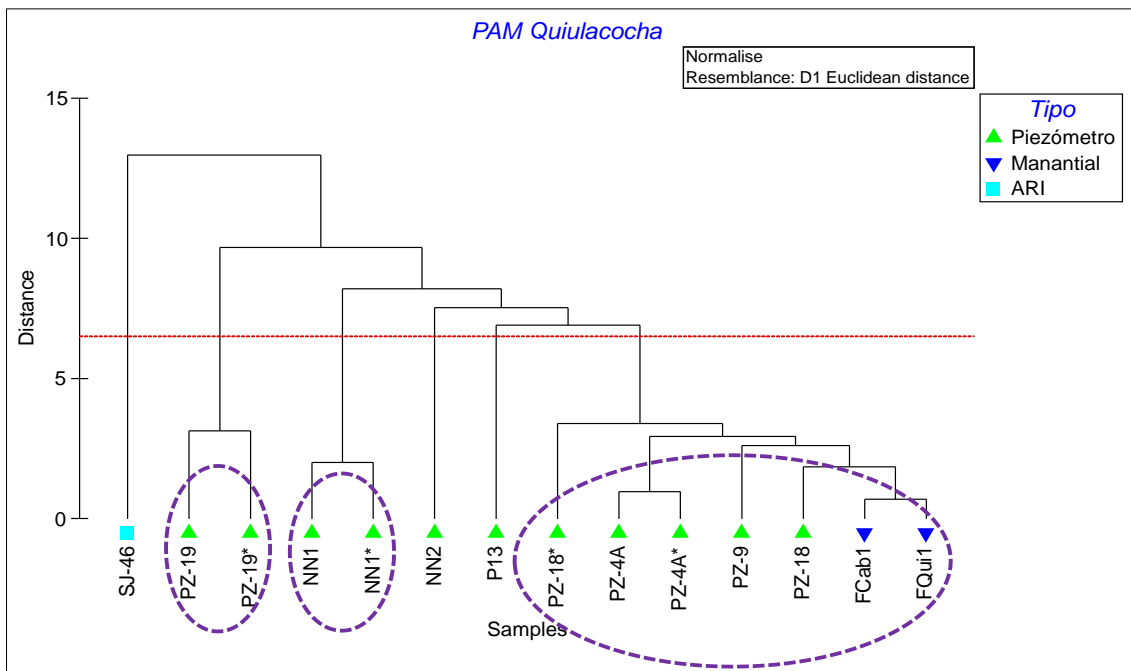


Figura 6.40. Dendograma de los puntos de muestreo de agua subterránea y el punto SJ-46



En la Tabla 6.12 el análisis de componentes principales (ACP) realizado para las variables del agua subterránea (n=13) y un punto de agua residual industrial (n=1), agrupa en dos componentes principales a la mayoría de las variables ambientales utilizadas en el análisis, el eje 1 explica el 41,6 % de la variabilidad (% de la varianza) y el eje 2 el 21,2 %, y entre los dos explican el 62,8 % de la variabilidad total del sistema. Las abreviaciones de las variables ambientales se encuentran detalladas en la Tabla 5.25.

**Tabla 6.12.** Resultados de los coeficientes de correlación de los parámetros ambientales de subterránea y residual industrial evaluadas en el PAM Quiulacocha

Variables	Componentes	
	PC1	PC2
CE	0.253	0.001
Mg_D	0.252	0.061
Mg_T	0.252	0.06
Zn_T	0.249	0.087
Zn_D	0.248	0.091
Sulfatos	0.242	-0.05
Mn_D	0.241	0.051
Mn_T	0.24	0.049
Fe_T	0.239	0.096
Fe_D	0.22	0.111
Cd_D	0.176	0.147
Cd_T	0.176	0.146
Al_D	0.175	0.155
Pb_D	0.174	0.108
Ni_D	0.166	-0.036
Ni_T	0.165	-0.037
Ca_T	0.162	-0.26
Se_T	0.161	-0.038
Co_T	0.16	-0.041
Co_D	0.16	-0.041
Ca_D	0.159	-0.259
Cu_T	0.133	0.041
Pb_T	0.12	-0.119
Al_T	0.104	0.156
As_T	0.06	-0.321
K_T	0.046	-0.33
Sr_D	0.035	-0.326
Sr_T	0.034	-0.326
As_D	0.013	-0.311
K_D	0.046	-0.334
Valores propios (Eigenvalues)	15	7,61
Porcentaje de varianza explicada (%)	41,6	21,2
Varianza acumulada (%)	41,6	62,8

### 6.3.3. Sedimento

En la Tabla 6.13 se presenta los resultados de sedimento obtenidos en el canal margen derecha (RRagr-1) y el río Ragra (SJ-48), donde se puede observar que, en los dos puntos el arsénico total, cadmio total, cobre total, plomo total, zinc total y mercurio total superaron referencialmente, los valores de ISQG y PEL de la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG) - Calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática – agua dulce.

**Tabla 6.13.** Resultados de metales en sedimentos comparados referencialmente con la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG)

Cuerpo de agua		Canal margen derecha	Río Ragra	Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG) para la Calidad de Sedimentos para la Protección de la Vida Acuática – Agua Dulce	
Código		RRagr-1	SJ-48		
Fecha de muestreo		17/08/2020	17/08/2020		
Parámetro	Unidad			ISQG	PEL
<b>Metales</b>					
Arsénico (As)	mg/kg (PS)	787	584	5,9	17
Cadmio (Cd)	mg/kg (PS)	44,927	34,566	0,6	3,5
Cobre (Cu)	mg/kg (PS)	1689	821	35,7	197
Plomo (Pb)	mg/kg (PS)	2208	1520	35	91,3
Zinc (Zn)	mg/kg (PS)	10063	8457	123	315
Mercurio Total (Hg)	mg/kg (PS)	14,4	2,20	0,17	0,486
: Resultados que superan el valor ISQG y PEL de la CEQG					

### 6.3.4. Comunidades Hidrobiológicas

#### 6.3.4.1. Perifiton

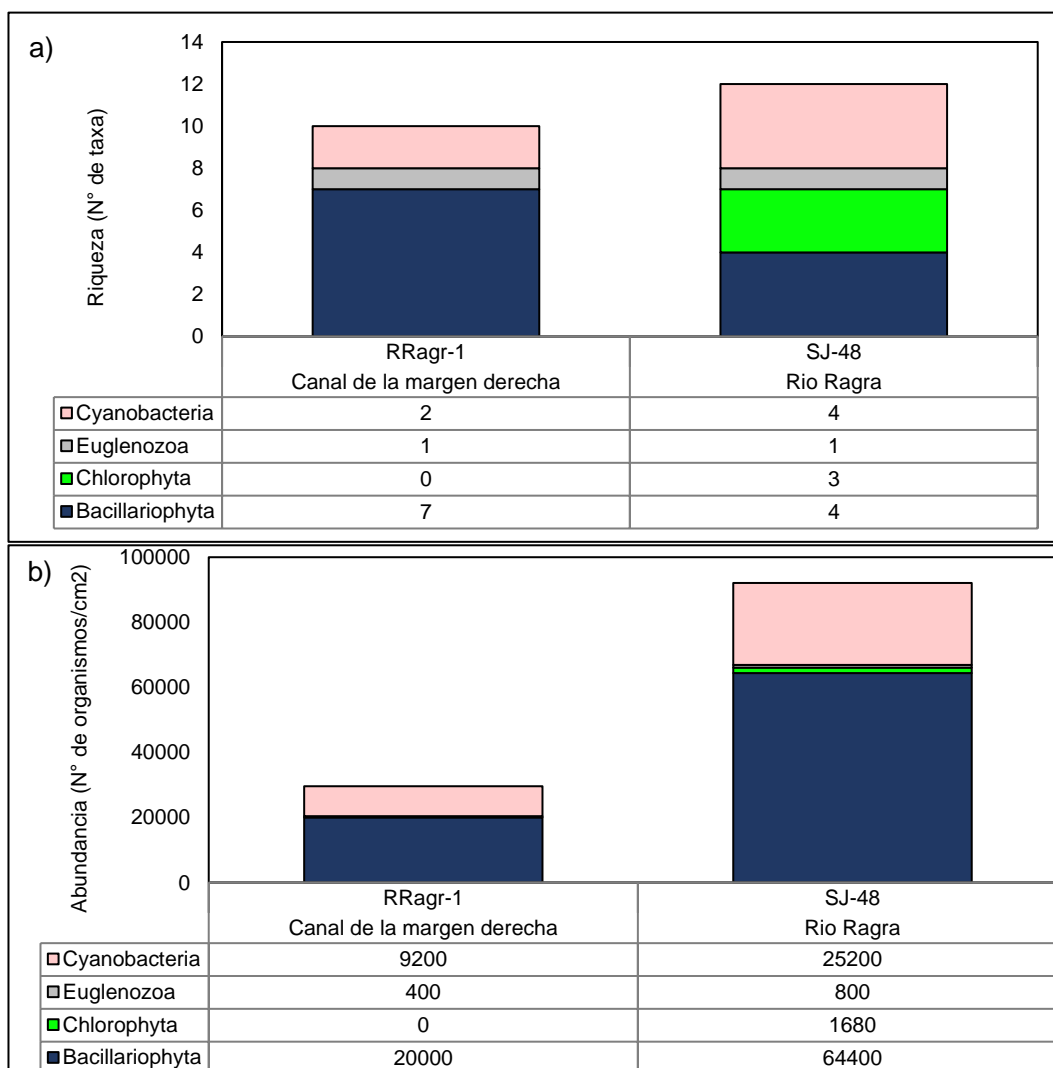
La comunidad del perifiton se analizó en sus dos componentes: perifiton vegetal y animal.

#### Perifiton vegetal

##### a. Riqueza y abundancia

En la Figura 6.41 se reporta la riqueza y abundancia de microalgas. Se reportó 18 especies de perifiton vegetal, la mayor riqueza fue reportada en el punto ubicado en el río Ragra (SJ-48), con 12 especies, mientras que, el canal de la margen derecha reportó 10 especies. El phylum Bacillariophyta fue dominante con 11 especies (50 % del total), seguido de Cyanobacteria con 6 especies (27,3 % del total), por otro lado, Chlorophyta y Euglenozoa registraron menos del 23% del número de especies totales.

Con respecto a la abundancia de microalgas, se registraron un total de 121 680 organismos en la evaluación. Los valores de abundancia más altos fueron reportados por el punto ubicado en el río Ragra (SJ-48), con 92 080 organismos, en contraste con el punto del canal de la margen derecha que registró 29 600 organismos. El phylum Bacillariophyta fue dominante con 84 400 organismos (69,4 % del total), seguido de Cyanobacteria con 34 400 (28,3 % del total), mientras que, Chlorophyta y Euglenozoa fueron escasos registrando juntos menos del 3% del número de individuos totales.



**Figura 6.41.** a) Riqueza y b) abundancia de perifiton vegetal por phylum en los puntos evaluados aledaños al PAM Quiulacocho

### b. Diversidad alfa

Los números de Hill N1 y N2 indicaron un número bajo de especies efectivas ( $4,13 \geq N1 \geq 7,84$ ;  $2,89 \geq N2 \geq 7,02$ ), tanto en el punto de muestreo ubicado en el canal de la margen derecha (RRagr-1) como el punto ubicado en el río Ragra (SJ-48). Estos puntos presentaron equidades menores a 0,89 debido a altas dominancias de *Fragilaria capuccina* en SJ-48, y *Nitzschia* sp. 1PAS en RRagr-1 (Reporte de resultados N.º RRE-034-2020-STEC: Anexo 9).

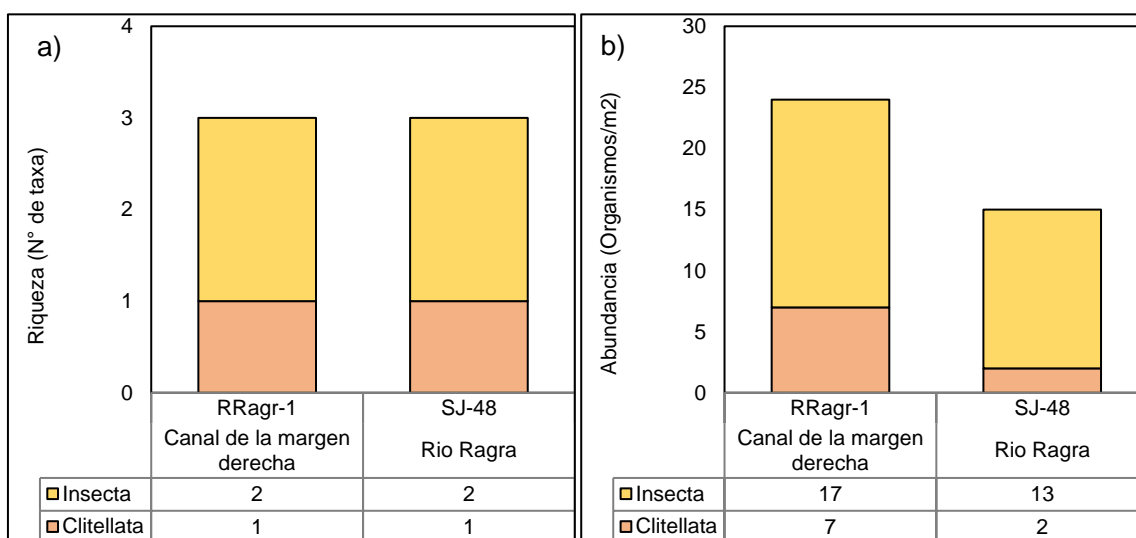
### Perifiton animal

Se reportaron cuatro especies de microorganismos: *Amoeba proteus*, *Chaos* sp., *Paramecium* sp. y una especie de nematodo no identificado. La abundancia fue mayor en el punto RRagr-1 con 272 individuos.

### 6.3.4.2. Macroinvertebrados bentónicos

#### a. Riqueza y abundancia

La riqueza de macroinvertebrados bentónicos en el área estudiada fue baja, conformada por 3 especies tolerantes, agrupadas en dos clases, Insecta con 2 especies, seguido de Clitellata con una especie. Con respecto a la abundancia se registró un total de 39 organismos, el punto RRagr-1 presentó 24 organismos y el punto SJ-48 con 15 organismos. La clase Insecta fue la dominante con 30 organismos (76,9 % del total), seguido de Clitellata con 9 (23,1 % del total) (Figura 6.42).



**Figura 6.42.** a) Riqueza y b) abundancia de macroinvertebrados bentónicos en los puntos evaluados aledaños al PAM Quiulacocho

#### b. Diversidad alfa

Los números de Hill N1 y N2 indicaron un menor número de especies efectivas ( $2,14 \geq N1 \geq 2,15$ ;  $1,74 \geq N2 \geq 1,88$ ), tanto en el punto de muestreo ubicado en el canal de la margen derecha (RRagr-1) como el punto ubicado en el río Ragra (SJ-48). Estos puntos presentaron equidades menores a 0,70 debido a la dominancia de individuos de la familia Psychodidae con 27 organismos, cabe precisar que las familias Lumbriculidae y Chironomidae presentaron sólo 9 y 3 organismos respectivamente (Reporte de resultados N.º RRE-034-2020-STEC: Anexo 9).

#### c. Calidad ecológica

Los resultados de la calidad ecológica determinados según el protocolo CERA-S, relacionado a la calidad biológica de acuerdo con el índice ABI y a la calidad hidromorfológica, indican que los puntos RRagr-1 y SJ-48 presentaron una pésima calidad ecológica debido al bajo número de organismos registrados y a la presencia de taxones tolerantes de las familias Chironomidae, Psychodidae y Lumbriculidae (Tabla 6.14).

**Tabla 6.14.** Calidad biológica para los puntos evaluados, según el Andean Biotic Index (ABI)

Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Calidad Biológica (ABI)	Calidad hidromorfológica	Calidad ecológica
Canal margen derecha	RRagr-1	Pésima (6)	Moderada (26)	Pésima



Cuerpo de agua	Puntos de muestreo	Calidad Biológica (ABI)	Calidad hidromorfológica	Cálidad ecológica
Río Ragra	SJ-48	Pésima (6)	Moderada (27)	Pésima

### 6.3.5. Suelo

#### 6.3.5.1. Descripción general del área de estudio

Según el Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA (1995). El área de estudio está ubicada en una zona de vida páramo muy húmedo Subalpino Tropical (pmh-SaT), que se sitúa sobre los 4000 m s.n.m. y está dentro de la provincia de humedad denominada perhúmeda.

El paisaje de las áreas de potencial interés y áreas de nivel de fondo está conformadas por un gran paisaje de colinas altas y bajas, además de planicies; el paisaje de las colinas son laderas largas y cortas, con relieves ligeramente empinados a moderadamente empinados, con valores de pendientes menores a 10%; las planicies están representadas por depósitos glacial-fluvial.

Respecto al material parental del cual se formaron los suelos, se distingue al material residual, ubicado en las laderas de las colinas, proveniente de la meteorización en el mismo lugar a partir de las rocas metamórficas del Grupo Cabanillas y Grupo Mitu; los suelos formados por el material transportado por diversos agentes son materiales fluviales y glaciales (transportado por las aguas de las cabeceras de cuenca). Hay que precisar que entre los depósitos producto de los eventos naturales, se distingue los depósitos transportados por el hombre, como son residuos mineros al pie del dique del PAM Quiulacocha. En la Tabla 6.15, se describen algunas características asociados a los suelos evaluados.

**Tabla 6.15.** Características generales de los suelos evaluados en las API

API <sup>a</sup> /ANF <sup>b</sup>	Uso actual del suelo	Vegetación	Material parental	Litología	Paisaje	Pendiente	Fuente potencial	Receptor
CS-Q1	Pastoreo	Césped de puna	Glacial-fluvial	Brechas, calizas y pizarras	Planicie intercolinoso	2 %	PAM Quiulacocha	Flora y fauna
CS-Q2	Pastoreo	Césped de puna	Glacial-fluvial	Calizas, esquistos y pizarras	Planicie intercolinoso	2 - 5%	PAM Quiulacocha	Flora y fauna
NFQ1	Pastoreo	Césped de puna	Residual, glacial-fluvial	Esquistos y pizarras	Planicie y pie de monte	2 - 5 %	--	--
NFQ2	Pastoreo	Césped de puna	Residual, glacial-fluvial	Calizas y pizarras	Laderas de colina y valle intercolinoso	2 – 10%	--	--

(a) área de potencial interés

(b) área de nivel de fondo

El drenaje interno de los suelos de las API es bueno a moderado en las laderas por la pendiente y la existencia de fragmentos gruesos en el perfil edáfico; mientras que en las superficies hidromórficas (pie de montes y pequeños valles intercolinosos) el drenaje es de imperfecto a pobre, predominando el segundo tipo debido a la influencia del agua subterránea cerca de la superficie.

Aledaños a las zonas del dique del PAM Quiulacocha, lado suroeste, se ubica el centro poblado de Quiulacocha, quienes tienen como actividad principal la actividad minera y comercial, además de dedicarse a la actividad pecuaria como la cría de ganados de ovinos y auquénidos.



La evaluación del suelo consistió en describir el perfil del suelo a través de sus capas u horizontes genéticos (1 en el API CS-Q1, 1 en el API CS-Q2 y 3 en áreas de nivel de fondo). En cada horizonte se le asignó una letra mayúscula y en casos especiales un subíndice consistente en letras minúsculas (según los rasgos o características que presentó) y números arábigos (para subdividir verticalmente las capas). La nomenclatura utilizada para nombrar a los estratos se basó en la Soil Taxonomy del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2014).

En cada horizonte se tomó muestras para determinar los parámetros fisicoquímicos y geoquímicos; asimismo, superficialmente se tomaron 23 muestras en el API CS-Q1, 9 en el API CS-Q2, además de 27 muestras en áreas de nivel de fondo, 16 de los cuales corresponden al área NFQ1 y el restante al NFQ2. Cabe precisar que el NFQ1 es contraparte de las API CS-Q1 y CS-Q2, con las cuales se comparó; respecto al NFQ2, debido a que corresponden a suelos ubicados en otra zona influenciados por una característica litogénica de mayor mineralización en algunos elementos, no formó parte de este análisis, presentando solo los resultados.

Las muestras superficiales obtenidas fueron tomadas del primer horizonte (0 – 0,30 cm aproximadamente), equivalente al horizonte A y/o al horizonte O según el tipo de suelo, esto con la finalidad de determinar el contenido de metales totales y cianuro libre; por otra parte, se tomaron muestras compuestas para determinar el contenido de mineralogía y determinación de la movilidad de metales y aniones a través de extracciones secuenciales y lixiviación, además de la caracterización de suelos (pH, CaCO<sub>3</sub>, conductividad, materia orgánica y textura), tal como se detalla en la Tabla 6.16.

**Tabla 6.16.** Parámetros evaluados en cada punto y en sus muestras compuestas

N°	Código	Muestra compuesta	MT	CN libre	SFM	ESMT	MDRX	SFA	CS	API/NF
1	CS-Q-01	CS-Q-08A	1	--	--	1	1	--	1	API: Suelo Quiulacocha 1 (CS-Q1)
2	CS-Q-02		1							
3	CS-Q-03		1							
4	CS-Q-04		1							
5	CS-Q-05		1							
6	CS-Q-06		1							
7	CS-Q-07		1							
8	CS-Q-08		1							
9	CS-Q-9a	--	1	1	1	1	0	1	1	
10	CS-Q-9b	--	1	1	--	--	1	--	1	
11	CS-Q-9c	--	1	1	--	--	--	--	1	
12	CS-Q-9d	--	1	1	--	--	--	--	1	
13	CS-Q-9e	--	1	1	--	--	--	--	1	
14	CS-Q-9f	--	1	1	--	--	--	--	1	
15	CS-Q-19	--	1	1	--	--	--	--	--	
16	CS-Q-20	--	1	1	--	--	--	--	--	
17	CS-Q-21	--	1	1	--	--	--	--	--	
18	CS-Q-22	--	2	1	--	--	--	--	--	
19	CS-Q-23	--	1	1	--	--	--	--	--	
20	CS-Q-24	--	1	1	--	--	--	--	--	
21	CS-Q-25	--	1	1	--	--	--	--	--	
22	CS-Q-26	--	1	1	--	--	--	--	--	
23	CS-Q-27	--	1	1	--	--	--	--	--	
24	CS-Q-10	--	1	1	--	--	--	--	--	API: Suelo Quiulacocha 2 (CS-Q2)
25	CS-Q-11	--	1	1	--	--	--	--	--	
26	CS-Q-12	--	1	1	--	--	--	--	--	
27	CS-Q-13	--	1	1	--	--	--	--	--	
28	CS-Q-14	--	1	1	--	--	--	--	--	
29	CS-Q-15	--	1	1	--	--	--	--	--	
30	CS-Q-16	--	1	1	--	--	--	--	--	



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

N°	Código	Muestra compuesta	MT	CN libre	SFM	ESMT	MDRX	SFA	CS	API/NF
31	CS-Q-17	--	1	1	--	--	--	--	--	
32	CS-Q-18a	--	1	1	1	1	--	1	1	
33	CS-Q-18b	--	1	1	--	--	--	--	1	
34	SQ-1	SQ-COMP	1	1	1	1	1	-	1	NFQ1
35	SQ-2		1	1						
36	SQ-3		1	1						
37	SQ-4		1	1						
38	SQ-5		1	1						
39	SQ-6		1	1						
40	SQ-7		2	1						
41	SQ-8		1	1						
42	SQ-9		1	1						
43	SQ-10		1	1						
44	SQ-11		1	1						
45	SQ-12		1	1						
46	SQ-14		1	1						
47	SQ-15		2	1						
48	SQ-13a	--	2	1	1	1	--	--	1	
49	SQ-13b	--	1		--	--	--	--	1	
50	SQ-16a	--	1	1	1	1	--	1	1	
51	SQ-16b	--	1	1	--	--	--	--	1	
52	SQ-16c	--	1		--	--	--	--	1	
53	SQ-16d	--	1	1	--	--	--	--	1	
54	SQ2-1	SQ2-COMP-A	1	1	1	1	1	--	1	NFQ2
55	SQ2-2		1	1	--	--	--	--	--	
56	SQ2-3		1	1	--	--	--	--	--	
57	SQ2-4	SQ2-COMP-B	2	1	1	1	1	--	1	
58	SQ2-5		1	1	--	--	--	--	--	
59	SQ2-6	SQ2-COMP-C	1	1	1	1	1	--	1	
60	SQ2-8		1	1	--	--	--	--	--	
61	SQ2-9	SQ2-COMP-D	2	1	1	1	1	--	1	
62	SQ2-10		1	1	--	--	--	--	--	
63	SQ2-11		2	1	--	--	--	--	--	
64	SQ2-7a	--	1	1	--	--	--	--	--	
65	SQ2-7b	--	1	--	--	--	--	--	1	
66	SQ2-7c	--	1	--	--	--	--	--	1	
67	SQ2-7d	--	1	1	--	--	--	--	1	
68	SQ2-7e	--	1	--	--	--	--	--	1	
Total			75	55	9	10	7	3	24	

(--): Parámetros no considerados para este punto

(\*)): Presenta muestra duplicada codificada como DUP-3, DUP-4, DUP-5, DUP-6, DUP-7, DUP-8 y DUP-9

(MT): Metales totales

(SFM): Shake flask metales

(ESMT): Extracción secuencial por la metodología de Tessier

(SFA): Shake flask aniones

(MDRX): Mineralogía por difracción de rayos X

(CS): Caracterización de suelos

### 6.3.5.2. Resultados de la evaluación

Los resultados de metales totales fueron comparados con los Estándares de calidad ambiental para suelo de uso agrícola, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM (en adelante, ECA para suelo agrícola 2017) y referencialmente, con la guía de la *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health* de uso agrícola (en adelante, CSQG para suelo agrícola) de la *Canadian Council of Minister of the Environment*; Adicionalmente, se comparó con los valores de nivel de fondo y referencia determinados para el ámbito de influencia del PAM depósitos de relaves Quiulacocho. Respecto a los demás resultados de los parámetros indicados en la Tabla 6.12, al no tener normativas o estándares de comparación, fueron analizados o



clasificados según lo indicado en la parte de metodología, según corresponda. En los reportes de resultados N.º RRE-034-2020-STEC y RRE-037-2020-STEC (Anexos 9 y 10) se encuentran los resultados de todos los parámetros evaluados.

### 6.3.5.3. Resultado de los valores de nivel de fondo (NF) y referencia (NR)

En la Tabla 6.17, se presentan los estadísticos descriptivos de las concentraciones de metales totales y los valores de nivel de fondo y referencia del suelo NFQ1 calculados para el ámbito de estudio del PAM Quiulacocha, los mismos que son comparados con los ECA para suelo de uso agrícola 2017 y, referencialmente con el CSQG para suelo de uso agrícola. De estos resultados se indica que los valores de NF y NR para arsénico, boro, cobre, plomo y talio presentaron concentraciones que superaron a los valores de las normativas indicadas, asimismo, respecto al zinc solo el valor de NR es mayor a las normativas.

**Tabla 6.17.** Resultados de los estadísticos descriptivos y valores de NF y NR de metales totales del suelo NFQ1, comparados con el ECA y CSQG para suelo de uso agrícola

Nº	Metal	N	Mínima	Mediana	Media	Máximo	Desviación estándar	Distribución	NF	NR	ECA para*	CSQG**
1	Al	16	17077	27469	25711	32352	4016	Normal	27471	35847	--	--
2	Sb	12	0,111	0,195	0,199	0,313	0,0492	Normal	0,224	0,334	--	20
3	As	13	54,1	82,8	85,75	142	24,87	Normal	98,04	152,2	50	12
4	Ba	16	61,86	113,7	112	175,3	27,43	Normal	124	181,2	750	750
5	Be	16	0,383	0,829	0,782	1,04	0,183	Normal	0,862	1,243	--	4
6	B	16	2,072	4,062	4,584	9,224	2,259	Normal	5,574	10,28	--	2
7	Cd	14	0,317	0,583	0,696	1,103	0,252	Normal	0,816	1,356	1,4	1,4
8	Ca	15	628,4	2100	2305	5347	1522	Normal	2997	6211	--	--
9	Co	16	1,782	3,969	4,033	6,01	1,308	Normal	4,606	7,334	--	40
10	Cu	15	37	79	81,87	120	20,71	Normal	91,28	135	--	63
11	Cr	16	8,367	16,1	15,08	20,7	3,571	Normal	16,65	24,1	--	64
12	Sn	14	0,0348	0,119	0,125	0,237	0,0638	Normal	0,155	0,292	--	5
13	Sr	11	11,99	27,2	29,4	59,8	15,86	Normal	38,06	74,04	--	--
14	P	16	755	1121	1249	2131	374,5	Normal	1413	2194	--	--
15	Fe	16	15238	21223	21942	31028	4739	Normal	24019	33903	--	--
16	Li	16	13,94	30,34	27,57	38,91	8,185	Normal	31,16	48,23	--	--
17	Mg	16	1128	1839	1811	2328	339	Normal	1959	2666	--	--
18	Mn	12	152	814	812,1	1946	531,2	Normal	1087	2265	--	--
19	Hg	12	0,742	2,22	1,961	2,91	0,774	No paramétrica	2,306	2,91	6,6	6,6
20	Mo	15	0,002	0,246	0,248	0,825	0,207	Normal	0,346	0,797	--	5
21	Ni	13	8,14	10,6	10,55	12,6	1,275	Normal	11,18	13,96	--	45
22	Ag	11	1,453	3,128	3,394	6,076	1,539	Normal	4,235	7,727	--	20
23	Pb	15	197	260	275,9	398	64,04	Normal	305	440,2	70	70
24	K	14	2247	2675	2731	3326	277,3	Normal	2862	3456	--	--
25	Se	16	0,006	0,211	0,209	0,481	0,113	Normal	0,26	0,505	--	1
26	Na	16	33,3	134,5	131,4	217	60,6	Normal	158	284,4	--	--
27	Tl	15	1,115	1,309	1,47	2,261	0,357	Normal	1,632	2,385	--	1
28	Ti	16	5,5	9,4	13,39	33	8,226	Lognormal	18,1	31,25	--	--
29	V	14	31	35,5	35,79	40	2,751	Normal	37,09	42,98	--	130
30	Zn	16	102	191	200,1	397	83,62	Normal	236,7	411,1	--	250

Concentración del NF y NR que supera al ECA para suelo residencial 2017 o CSQG para suelo agrícola

(N) Tamaño de la muestra

(\*) ECA para suelo agrícola 2017

(\*\*) CSQG para suelo agrícola. (--) Parámetro no contemplado en el ECA para suelo



En la Tabla 6.18, se presentan los estadísticos descriptivos de las concentraciones de metales totales y los valores de NF y NR del suelo NFQ2 calculados para el ámbito de estudio del Pasivo Ambiental Minero Depósito de Desmontes Excelsior, los mismos que son comparados con los ECA para suelo de uso agrícola 2017 y, referencialmente con el CSQG para suelo de uso agrícola. De estos resultados se indica que los valores de NF y NR para arsénico, boro, cobre, plomo, talio y zinc, presentaron concentraciones que superaron a los valores de las normativas indicadas, excepto en antimonio, que solo superó en el valor de NR.

**Tabla 6.18.** Resultados de los estadísticos descriptivos y valores de NF y NR de metales totales del suelo NFQ2, comparados con el ECA y CSQG para suelo de uso agrícola

N°	Metal	N	Mínima	Mediana	Media	Máximo	Desviación estándar	Distribución	NF	NR	ECA para*	CSQG**
1	Al	15	5614	8560	10212	20686	4152	Normal	12100	20865	--	--
2	Sb	9	1,003	4,671	7,396	18,2	5,884	Normal	11,04	25,23	--	20
3	As	15	64,4	135	148,2	246	63,36	Normal	177	310,8	50	12
4	Ba	14	34,1	59,32	66,15	132,5	30,02	Normal	80,36	144,6	750	750
5	Be	15	0,419	0,876	0,869	1,557	0,266	Normal	0,989	1,55	--	4
6	B	15	0,4	4,697	4,498	9,105	2,779	Normal	5,762	11,63	--	2
7	Cd	11	0,466	1,537	1,583	2,415	0,73	Normal	1,982	2,784	1,4	1,4
8	Ca	10	2709	11997	13343	27453	9442	Normal	18816	40827	--	--
9	Co	15	1,657	3,294	3,723	6,89	1,649	Normal	4,473	7,954	--	40
10	Cu	14	21,7	97,5	96,79	195	54,25	Normal	122,5	238,6	--	63
11	Cr	15	5,856	10,4	10,53	16	2,854	Normal	11,83	17,85	--	64
12	Sn	14	0,0664	0,25	0,291	0,61	0,166	Normal	0,37	0,726	--	5
13	Sr	14	20,87	86,05	90,6	187	47,15	Normal	112,9	213,8	--	--
14	P	15	1320	2066	2027	2558	379,1	Normal	2199	3000	--	--
15	Fe	15	7997	15780	22501	56471	15720	Lognormal	31176	83630	--	--
16	Li	15	3,4	5,51	6,118	9,307	1,853	Normal	6,961	10,87	--	--
17	Mg	10	551	1008	1193	2274	627,5	Normal	1556	3019	--	--
18	Mn	9	581	890	835,2	1019	166,3	Normal	938,3	1339	--	--
19	Hg	9	1,06	1,79	1,894	2,96	0,52	Normal	2,217	3,47	6,6	6,6
20	Mo	15	0,024	0,561	0,495	0,944	0,274	Normal	0,62	1,199	--	5
21	Ni	13	4,68	8,25	8,013	11,7	2,043	Normal	9,023	13,47	--	45
22	Ag	13	0,006	3,904	4,012	10,63	2,99E+00	Normal	5,562	12	--	20
23	Pb	15	85,2	402	437,9	999	282,1	Normal	566,2	1162	70	70
24	K	15	516	1208	1303	2852	663	Gamma	1683	3398	--	--
25	Se	13	0,049	0,279	0,304	0,586	0,179	Normal	0,392	0,781	--	1
26	Na	13	17,2	30,5	32,1	52,1	10,34	Normal	37,21	59,71	--	--
27	Tl	15	3,059	11,9	14,31	31,01	8,514	Normal	18,18	36,16	--	1
28	Ti	15	4,9	8,9	10,1	17	4,402	Normal	12,1	21,39	--	--
29	V	15	13	26,9	26,05	32	5,456	Normal	28,53	40,05	--	130
30	Zn	15	142	559	713,5	2063	512,4	Normal	946,5	2028	--	250

Concentración del NF y NR que supera al ECA para suelo residencial 2017 o CSQG para suelo agrícola

(N) Tamaño de la muestra

(\*) ECA para suelo agrícola 2017

(\*\*) CSQG para suelo agrícola

(--) Parámetro no contemplado en el ECA para suelo

#### 6.3.5.4. Resultados de las áreas de potencial interés CS-Q y de las áreas de nivel de fondo

Para la presentación de los resultados y facilitar el análisis, el API CS-Q se dividió en dos grupos, de acuerdo con su cercanía al dique de relaves Quiulacocha: API CS-Q1 y API CS-Q2. Por otra parte, se presentaron los resultados de los parámetros evaluados en áreas de nivel de fondo integrados a los resultados de las API para facilitar su análisis.

**a. Metales totales**

En la Tabla 6.19, se presenta los resultados de las concentraciones de metales totales en las calicatas CS-Q-9 (API CS-Q2) y CS-Q-18 (API CS-Q2) con 6 y 2 horizontes respectivamente, las cuales al ser comparadas con los ECA para suelo agrícola 2017 y CSQG estas concentraciones lo superaron en arsénico, boro, cadmio (excepto en la muestra CS-Q-9b), cobre, plomo, talio y zinc en todos los horizontes de ambas calicatas; asimismo, antimonio, estaño, mercurio, plata y selenio de la calicata CS-Q-9, y mercurio, plata y selenio de la calicata CS-Q-18 lo superan en al menos en una muestra. Por otra parte, al comparar con los valores de NF y NR antimonio, arsénico, bario, boro, cadmio, cobalto, cobre, estaño, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio, talio y zinc lo superaron en uno o ambos valores en al menos en una muestra de ambas calicatas. Respecto a cianuro libre, éstas presentaron concentraciones menores al límite de cuantificación del método de ensayo en todas las muestras evaluadas.

**Tabla 6.19.** Resultados de cianuro libre y metales totales en la calicata CS-Q-9 y CS-Q-18

API	CS-Q1						CS-Q2		ECA <sup>(a)</sup> y CSQG <sup>(b)</sup>	NF <sup>(c)</sup> y NR <sup>(d)</sup>
	CS-Q-9						CS-Q-18			
Calicata	A	C1	Oe	AB	BC	2C2	A	Cd		
Horizonte	A	C1	Oe	AB	BC	2C2	A	Cd		
Profundidad (m)	0-0,15	0,15-0,28	0,28-0,33	0,33-0,60	0,60-1,20	1,20-1,60	0-0,15	0,15-1,25		
Código	CS-Q-9a	CS-Q-9b	CS-Q-9c	CS-Q-9d	CS-Q-9e	CS-Q-9f	CS-Q-18a	CS-Q-18b		
Parámetros inorgánicos (mg/kg PS)										
Cianuro Libre	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,9 <sup>(a)(b)</sup>	--
Antimonio	6,727	110,4	96,42	3,411	2,466	2,022	17,62	4,341	20 <sup>(b)</sup>	0,224 <sup>(c)</sup> ; 0,334 <sup>(d)</sup>
Arsénico	308	5 054	839	169	144	125	422	156	50 <sup>(a)(b)</sup>	98,04 <sup>(c)</sup> ; 152,2 <sup>(d)</sup>
Bario	222,9	124,0	228,9	229,6	122,1	197,1	339,0	213,8	750 <sup>(a)(b)</sup>	124 <sup>(c)</sup> ; 181,2 <sup>(d)</sup>
Berilio	0,850	0,044	0,083	0,885	0,401	0,894	0,481	0,528	4 <sup>(b)</sup>	0,862 <sup>(c)</sup> ; 1,243 <sup>(d)</sup>
Boro	9,961	4,528	6,411	7,027	6,037	6,305	5,688	6,907	2 <sup>(b)</sup>	5,574 <sup>(c)</sup> ; 10,28 <sup>(d)</sup>
Cadmio	8,0640	0,43381	2,0877	18,508	1,5536	41,302	4,6966	6,5320	1,4 <sup>(a)(b)</sup>	0,816 <sup>(c)</sup> ; 1,356 <sup>(d)</sup>
Cobalto	8,591	0,092	0,589	7,138	2,191	5,845	3,858	10,0	40 <sup>(b)</sup>	4,606 <sup>(c)</sup> ; 7,334 <sup>(d)</sup>
Cobre	180	1 035	571	151	260	221	592	95	63 <sup>(b)</sup>	91,28 <sup>(c)</sup> ; 135 <sup>(d)</sup>
Cromo	9,803	12,3	7,128	10,3	12,8	11,0	9,576	10,6	64 <sup>(b)</sup>	16,65 <sup>(c)</sup> ; 24,1 <sup>(d)</sup>
Estaño	1,444	11,26	2,809	0,5292	0,5834	0,5247	1,660	0,5760	5 <sup>(b)</sup>	0,155 <sup>(c)</sup> ; 0,292 <sup>(d)</sup>
Mercurio	5,94	1,62	35,5	3,23	0,782	0,888	163	2,26	6,6 <sup>(a)(b)</sup>	2,306 <sup>(c)</sup> ; 2,91 <sup>(d)</sup>
Molibdeno	1,038	1,725	1,247	0,709	0,801	0,463	0,913	0,639	5 <sup>(b)</sup>	0,346 <sup>(c)</sup> ; 0,797 <sup>(d)</sup>
Níquel	14,4	0,308	2,04	16,3	6,10	8,13	7,04	20,3	45 <sup>(b)</sup>	11,18 <sup>(c)</sup> ; 13,96 <sup>(d)</sup>
Plata	14,20	5,504	23,69	7,233	4,980	6,178	72,96	10,04	20 <sup>(b)</sup>	4,235 <sup>(c)</sup> ; 7,727 <sup>(d)</sup>
Plomo	2861	6695	2597	914	863	760	2583	1021	70 <sup>(a)(b)</sup>	305 <sup>(c)</sup> ; 440,2 <sup>(d)</sup>
Selenio	1,179	1,161	1,674	0,933	0,841	0,952	2,843	0,864	1 <sup>(b)</sup>	0,26 <sup>(c)</sup> ; 0,505 <sup>(d)</sup>
Talio	9,355	16,09	16,65	4,991	4,120	3,185	2,770	3,475	1 <sup>(b)</sup>	1,632 <sup>(c)</sup> ; 2,385 <sup>(d)</sup>
Vanadio	20	25	13	20	21	21	20	22	130 <sup>(b)</sup>	37,09 <sup>(c)</sup> ; 42,98 <sup>(d)</sup>
Zinc	1684	810	179	2774	1139	1288	1211	1677	250 <sup>(b)</sup>	236,7 <sup>(c)</sup> ; 411,1 <sup>(d)</sup>

■ Concentración que supera al ECA para suelo agrícola 2017 o CSQG para suelo agrícola

(<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

(a) Estándares de calidad ambiental para suelo, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM

(b) *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health - Canadian Council of Ministers of the Environment. (1999).* (c) Nivel de fondo para el ámbito de estudio del PAM depósito de relaves Quiulacocha. (d) Nivel de referencia para el ámbito de estudio del PAM depósito de relaves Quiulacocha

En la Tabla 6.20, se presenta los resultados de las concentraciones de metales totales en los puntos del suelo del API CS-Q1, los cuales al ser comparados con los ECA para suelo de uso agrícola 2017 y CSQG estas concentraciones lo superan en arsénico (excepto en la muestra CS-Q-20, para el ECA 2017), boro, plomo y talio en todos los puntos; asimismo, cadmio, estaño, mercurio, plata, selenio y zinc lo superan en al menos en un punto. Por otra parte, al comparar con los valores de NF y NR antimonio, arsénico, bario, boro, cadmio, cobalto, cobre, cromo, estaño, mercurio, molibdeno, níquel, plata, plomo, selenio, talio y zinc lo superaron en uno o ambos valores en al menos en uno o más puntos del API. Respecto a cianuro libre, éstas presentaron concentraciones menores al límite de cuantificación del método de ensayo en todas las muestras evaluadas.

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

Tabla 6.20. Resultados de cianuro libre y metales totales en el suelo superficial del API CS-Q1

Código	CS-Q-01	CS-Q-02	CS-Q-03	CS-Q-04	CS-Q-05	CS-Q-06	CS-Q-07	CS-Q-08	CS-Q-19	CS-Q-20	CS-Q-21	CS-Q-22	CS-Q-23	CS-Q-24	CS-Q-25	CS-Q-26	CS-Q-27	ECA <sup>(a)</sup> /CSQG <sup>(b)</sup>	NF <sup>(c)</sup> y NR <sup>(d)</sup>
Cianuro Libre	--	--	--	--	--	--	--	--	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,9 <sup>(a)(b)</sup>	--
Antimonio	3,576	0,5722	3,313	19,09	7,337	1,931	12,68	16,96	1,445	0,9005	1,235	31,00	1,094	2,008	28,88	0,4737	1,016	20 <sup>(b)</sup>	0,224 <sup>(c)</sup> ; 0,334 <sup>(d)</sup>
Arsénico	187	40,6	141	249	642	165	313	515	141	36,8	60,1	1 557	116	88,9	2855	51,5	25,5	50 <sup>(a)</sup> 12 <sup>(b)</sup>	98,04 <sup>(c)</sup> ; 152,2 <sup>(d)</sup>
Bario	464,0	96,73	36,18	299,2	140,1	164,2	179,3	209,4	150,3	112,4	132,8	387,2	88,04	80,03	391,0	88,01	95,33	750 <sup>(a)(b)</sup>	124 <sup>(c)</sup> ; 181,2 <sup>(d)</sup>
Berilio	0,805	0,557	0,374	0,425	0,262	0,833	0,704	0,784	0,727	0,438	0,668	0,147	0,317	0,337	0,094	0,453	0,427	4 <sup>(b)</sup>	0,862 <sup>(c)</sup> ; 1,243 <sup>(d)</sup>
Boro	4,507	3,924	3,219	22,30	5,241	5,322	6,771	5,979	5,198	6,827	6,481	5,398	3,646	5,280	4,174	4,604	4,442	2 <sup>(b)</sup>	5,574 <sup>(c)</sup> ; 10,28 <sup>(d)</sup>
Cadmio	10,356	0,9866	0,4193	14,483	1,6954	3,8496	10,582	34,544	1,3228	1,6103	1,2848	7,1939	0,5038	0,8409	0,7404	0,4930	1,0826	1,4 <sup>(a)(b)</sup>	0,816 <sup>(c)</sup> ; 1,356 <sup>(d)</sup>
Cobalto	6,697	2,241	4,573	11,6	1,843	7,146	4,501	8,041	5,460	3,083	3,018	1,801	2,060	1,549	0,949	3,128	0,731	40 <sup>(b)</sup>	4,606 <sup>(c)</sup> ; 7,334 <sup>(d)</sup>
Cobre	164	20	62	646	307	148	820	557	192	92	78	341	72	142	657	17	52	63 <sup>(b)</sup>	91,28 <sup>(c)</sup> ; 135 <sup>(d)</sup>
Cromo	12,9	11,2	14,5	44,3	10,5	14,9	14,0	14,8	11,4	9,143	13,3	5,009	8,134	9,555	5,594	8,298	8,207	64 <sup>(b)</sup>	16,65 <sup>(c)</sup> ; 24,1 <sup>(d)</sup>
Estaño	0,5437	0,2766	0,4982	379,5	4,900	1,351	2,579	2,947	0,5740	0,3524	0,4204	5,670	0,4123	0,2330	3,869	0,2833	0,3280	5 <sup>(b)</sup>	0,155 <sup>(c)</sup> ; 0,292 <sup>(d)</sup>
Mercurio	11,6	0,375	1,55	2,68	2,22	0,702	39,2	1,14	1,81	1,48	1,06	1,50	1,41	5,65	1,31	0,410	2,00	6,6 <sup>(a)(b)</sup>	2,306 <sup>(c)</sup> ; 2,91 <sup>(d)</sup>
Molibdeno	0,387	0,251	0,870	4,990	0,761	0,325	0,777	1,536	0,204	0,133	0,058	1,550	0,234	0,173	2,425	0,150	0,204	5 <sup>(b)</sup>	0,346 <sup>(c)</sup> ; 0,797 <sup>(d)</sup>
Níquel	14,8	4,27	5,90	32,5	4,72	11,3	11,6	16,4	8,70	5,73	8,79	5,13	3,59	3,91	2,64	3,47	3,53	45 <sup>(b)</sup>	11,18 <sup>(c)</sup> ; 13,96 <sup>(d)</sup>
Plata	4,821	3,175	2,503	12,31	17,52	10,56	14,82	22,71	3,426	2,415	1,901	48,27	10,03	8,334	31,90	1,445	3,517	20 <sup>(b)</sup>	4,235 <sup>(c)</sup> ; 7,727 <sup>(d)</sup>
Plomo	706	279	416	3841	1651	1096	1857	3429	653	290	285	8304	409	401	10114	419	399	70 <sup>(a)(b)</sup>	305 <sup>(c)</sup> ; 440,2 <sup>(d)</sup>
Selenio	1,371	0,267	0,582	0,798	1,129	0,818	1,561	1,351	0,442	0,089	0,200	1,294	0,008	0,032	1,278	< 0,006	0,199	1 <sup>(b)</sup>	0,26 <sup>(c)</sup> ; 0,505 <sup>(d)</sup>
Talio	4,534	3,041	3,094	4,340	9,671	5,827	5,084	5,768	3,330	1,119	1,047	12,69	1,684	1,082	26,97	4,487	2,028	1 <sup>(b)</sup>	1,632 <sup>(c)</sup> ; 2,385 <sup>(d)</sup>
Vanadio	25	23	19	20	27	27	26	26	32	24	36	21	29	29	31	27	27	130 <sup>(b)</sup>	37,09 <sup>(c)</sup> ; 42,98 <sup>(d)</sup>
Zinc	1946	554	705	5812	899	1149	5173	10979	515	220	337	2794	174	128	699	196	160	250 <sup>(b)</sup>	236,7 <sup>(c)</sup> ; 411,1 <sup>(d)</sup>

Concentración que supera al ECA para suelo agrícola 2017 o CSQG para suelo agrícola

(<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

(a) Estándares de calidad ambiental para suelo, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM

(b) *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health - Canadian Council of Ministers of the Environment. (1999).*

(c) Nivel de fondo para el ámbito de estudio del PAM depósito de relaves Quiulacocho

(d) Nivel de referencia para el ámbito de estudio del PAM depósito de relaves Quiulacocho



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

En la Tabla 6.21, se presenta los estadísticos descriptivos de los metales regulados (con normativa) y los metales no regulados de las muestras superficiales del API CS-Q1; del análisis de los estadísticos de dispersión se observó que hay un alta ( $0,4 < CV < 0,5$ ) y muy alta ( $CV > 0,5$ ) variabilidad en la mayoría de los metales. Asimismo, se observó que los elementos mayoritarios ( $> 1000$  mg/kg) son el aluminio, arsénico, calcio, hierro, magnesio, manganeso, plomo y zinc; y los metales traza ( $< 1000$  mg/kg) fueron, entre lo más destacables, antimonio, bario, cadmio, cobalto, cromo, mercurio, entre otros (Figura 6.43).

**Tabla 6.21.** Estadísticos descriptivos de metales totales en suelos del API CS-Q1

Nº	Metal	N	<LD	Mínimo	Máximo	Media	SD	CV
1	Al	18	0	3302	25840	13021	5954	0,457
2	Sb	18	0	0,474	31	7,791	9,861	1,266
3	As	18	0	25,5	2855	416,2	708	1,701
4	Ba	18	0	36,18	464	185,4	122,6	0,662
5	Be	18	0	0,094	0,85	0,511	0,239	0,467
6	B	18	0	3,219	22,3	6,293	4,28	0,68
7	Cd	18	0	0,419	34,54	5,558	8,439	1,518
8	Ca	18	0	374,4	74869	8711	18450	2,118
9	Co	18	0	0,731	11,6	4,278	3,054	0,714
10	Cu	18	0	17	820	252,6	249,6	0,988
11	Cr	18	0	5,009	44,3	12,53	8,48	0,677
12	Sn	18	0	0,233	379,5	22,57	89,1	3,948
13	Sr	18	0	9,586	109,5	35,71	29,37	0,823
14	P	18	0	395	1562	871,3	321,3	0,369
15	Fe	18	0	7773	195930	56038	56904	1,015
16	Li	18	0	3,064	24,52	12,34	5,934	0,481
17	Mg	18	0	240	6457	1704	1578	0,926
18	Mn	18	0	49,3	6360	1816	2087	1,149
19	Hg	18	0	0,375	39,2	4,558	9,067	1,989
20	Mo	18	0	0,058	4,99	0,893	1,207	1,352
21	Ni	18	0	2,64	32,5	8,966	7,333	0,818
22	Ag	18	0	1,445	48,27	11,88	12,27	1,033
23	Pb	18	0	279	10114	2078	2845	1,369
24	K	18	0	1173	2480	1807	386,2	0,214
25	Se	18	1	0,006	1,561	0,7	0,558	0,797
26	Na	18	0	41,7	305	116,7	73,58	0,631
27	Tl	18	0	1,047	26,97	5,842	6,175	1,057
28	Ti	18	0	11	102	27	21,8	0,807
29	V	18	0	19	36	26,06	4,491	0,172
30	Zn	18	0	128	10979	1896	2816	1,485

N: Tamaño de la muestra

<LD: Menor al límite de detección

SD: Desviación estándar

CV: Coeficiente de variabilidad



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

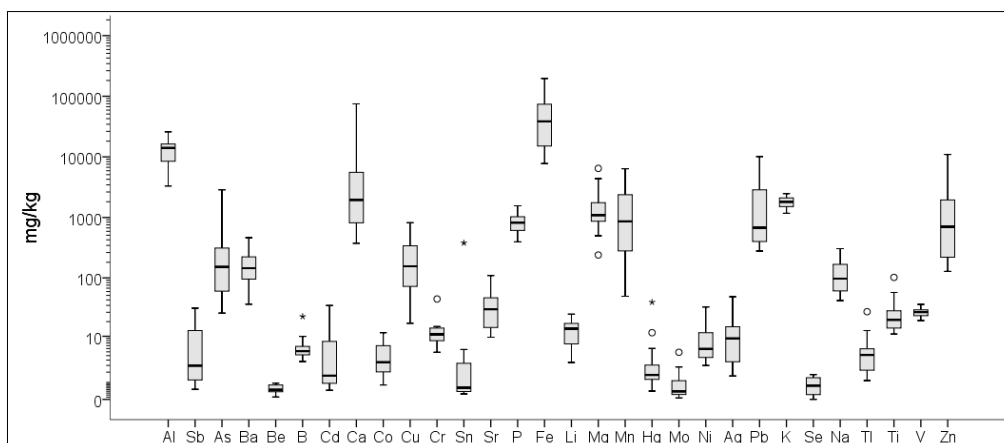


Figura 6.43. Box plot de concentración de metales totales en el API CS-Q1

En la Tabla 6.22, se presentan los resultados de las concentraciones de metales totales en los puntos del suelo del API CS-Q2, los cuales al ser comparados con los ECA para suelo de uso agrícola 2017 y CSQG lo superaron en arsénico, boro (excepto en el punto CS-Q-17) cadmio, cobre, mercurio, plata, talio y zinc en todos los puntos; asimismo, antimonio, bario, estaño y selenio lo superaron en al menos en un punto. Por otra parte, al comparar con los valores de NF y NR el antimonio, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plata, selenio, talio y zinc; asimismo, los metales bario, berilio, boro, cobalto, molibdeno y níquel lo superaron en uno o ambos valores en al menos en uno o más puntos. Respecto a cianuro libre, éstos presentaron concentraciones menores al límite de cuantificación del método de ensayo en todas las muestras evaluadas.

Tabla 6.22. Resultados de cianuro libre y metales totales en el suelo superficial del API CS-Q2

Código	CS-Q-10	CS-Q-11	CS-Q-12	CS-Q-13	CS-Q-14	CS-Q-15	CS-Q-16	CS-Q-17	CS-Q-18a	ECA <sup>(a)</sup> /CSQG <sup>(b)</sup>	NF <sup>(c)</sup> y NR <sup>(d)</sup>
CN libre	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,9 <sup>(a)(b)</sup>	--
Antimonio	31,66	4,289	5,944	5,289	3,675	7,754	11,82	137,5	17,62	20 <sup>(b)</sup>	0,224 <sup>(c)</sup> ; 0,334 <sup>(d)</sup>
Arsénico	849	195	204	240	193	323	556	955	422	50 <sup>(a)</sup> 12 <sup>(b)</sup>	98,04 <sup>(c)</sup> ; 152,2 <sup>(d)</sup>
Bario	355,5	176,3	212,1	183,3	139,9	114,0	515,8	1361	339,0	750 <sup>(a)(b)</sup>	124 <sup>(c)</sup> ; 181,2 <sup>(d)</sup>
Berilio	0,381	0,611	0,74	0,714	0,632	0,514	0,407	0,062	0,481	4 <sup>(b)</sup>	0,862 <sup>(c)</sup> ; 1,243 <sup>(d)</sup>
Boro	5,859	6,173	9,873	8,651	6,760	6,567	4,912	1,661	5,688	2 <sup>(b)</sup>	5,574 <sup>(c)</sup> ; 10,28 <sup>(d)</sup>
Cadmio	3,3372	4,5721	2,3335	1,9597	1,7508	1,6030	2,9183	3,4765	4,6966	1,4 <sup>(a)(b)</sup>	0,816 <sup>(c)</sup> ; 1,356 <sup>(d)</sup>
Cobalto	3,733	6,971	6,227	6,183	7,0060	7,533	2,683	0,968	3,858	40 <sup>(b)</sup>	4,606 <sup>(c)</sup> ; 7,334 <sup>(d)</sup>
Cobre	391	172	223	273	259	364	743	844	592	63 <sup>(b)</sup>	91,28 <sup>(c)</sup> ; 135 <sup>(d)</sup>
Cromo	4,737	6,658	11,2	11,2	9,133	7,555	4,272	< 0,008	9,576	64 <sup>(b)</sup>	16,65 <sup>(c)</sup> ; 24,1 <sup>(d)</sup>
Estaño	2,636	0,800	1,192	0,9730	0,6321	0,6455	1,339	5,776	1,660	5 <sup>(b)</sup>	0,155 <sup>(c)</sup> ; 0,292 <sup>(d)</sup>
Mercurio	115	22,0	22,00	47,3	37,4	46,3	119	194	163	6,6 <sup>(a)(b)</sup>	2,306 <sup>(c)</sup> ; 2,91 <sup>(d)</sup>
Molibdeno	0,666	0,173	0,789	1,330	0,831	0,892	0,493	0,399	0,913	5 <sup>(b)</sup>	0,346 <sup>(c)</sup> ; 0,797 <sup>(d)</sup>
Níquel	6,56	15,7	10,5	8,98	9,39	6,43	4,25	1,78	7,04	45 <sup>(b)</sup>	11,18 <sup>(c)</sup> ; 13,96 <sup>(d)</sup>
Plata	207,4	35,11	27,87	44,04	42,38	46,54	117,3	296,9	72,96	20 <sup>(b)</sup>	4,235 <sup>(c)</sup> ; 7,727 <sup>(d)</sup>
Plomo	3077	764	1137	1514	1188	1630	3205	8385	2583	70 <sup>(a)(b)</sup>	305 <sup>(c)</sup> ; 440,2 <sup>(d)</sup>
Selenio	2,007	0,343	0,553	1,103	0,690	0,940	2,447	3,952	2,843	1 <sup>(b)</sup>	0,26 <sup>(c)</sup> ; 0,505 <sup>(d)</sup>
Talio	3,307	3,278	3,029	2,622	2,629	2,355	2,370	1,268	2,770	1 <sup>(b)</sup>	1,632 <sup>(c)</sup> ; 2,385 <sup>(d)</sup>
Vanadio	18	18	31	31	27	25	19	5	20	130 <sup>(b)</sup>	37,09 <sup>(c)</sup> ; 42,98 <sup>(d)</sup>
Zinc	843	1161	791	665	666	520	687	576	1211	250 <sup>(b)</sup>	236,7 <sup>(c)</sup> ; 411,1 <sup>(d)</sup>

■ Concentración que supera al ECA para suelo agrícola 2017 o CSQG para suelo agrícola  
(<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo. (a) Estándares de calidad ambiental para suelo, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM. (b) *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health - Canadian Council of Ministers of the Environment. (1999).* (c) Nivel de fondo para el ámbito de estudio del PAM depósito de relaves Quiulacocho. (d) Nivel de referencia para el ámbito de estudio del PAM depósito de relaves Quiulacocho



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

Los estadísticos descriptivos de los metales regulados (con normativa) y los metales no regulados de las muestras superficiales del API CS-Q2 indicaron que según el análisis de los estadísticos de dispersión presentaron un alta ( $0,4 < CV < 0,5$ ) y muy alta ( $CV > 0,5$ ) variabilidad en la mayoría de los metales (Tabla 6.23). Asimismo, se observó que los elementos mayoritarios ( $>1000$  mg/kg) son el aluminio, arsénico, calcio, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, plomo, potasio y zinc; y los metales traza ( $<1000$  mg/kg) fueron, entre lo más destacables, antimonio, arsénico, bario, cadmio, cobalto, cromo, mercurio, entre otros (Figura 6.44).

**Tabla 6.23.** Estadísticos descriptivos de metales totales en suelos del API CS-Q2

N°	Metal	N	<LD	Mínimo	Máximo	Media	SD	CV
1	Al	9	0	1899	19238	12407	5359	0,432
2	Sb	9	0	3,675	137,5	25,06	43,1	1,72
3	As	9	0	193	955	437,4	290,8	0,665
4	Ba	9	0	114	1361	377,4	390,5	1,035
5	Be	9	0	0,062	0,74	0,505	0,209	0,413
6	B	9	0	1,661	9,873	6,238	2,307	0,37
7	Cd	9	0	1,603	4,697	2,961	1,158	0,391
8	Ca	9	0	1576	3462	2553	748,9	0,293
9	Co	9	0	0,968	7,533	5,018	2,285	0,455
10	Cu	9	0	172	844	429	241	0,562
11	Cr	9	1	0,004	11,2	7,148	3,678	0,514
12	Sn	9	0	0,632	5,776	1,739	1,638	0,942
13	Sr	9	0	17,6	43,51	29,21	9,236	0,316
14	P	9	0	294	2432	1304	771,4	0,592
15	Fe	9	0	35890	49140	42590	4633	0,109
16	Li	9	0	1,029	15,01	10,02	4,399	0,439
17	Mg	9	0	218	1299	1019	368,4	0,362
18	Mn	9	0	580	3502	2244	1113	0,496
19	Hg	9	0	22	194	85,11	64,37	0,756
20	Mo	9	0	0,173	1,33	0,721	0,338	0,469
21	Ni	9	0	1,78	15,7	7,848	3,975	0,507
22	Ag	9	0	27,87	296,9	98,94	93,57	0,946
23	Pb	9	0	764	8385	2609	2337	0,896
24	K	9	0	367	2988	1835	790,5	0,431
25	Se	9	0	0,343	3,952	1,653	1,231	0,745
26	Na	9	0	32,6	77,3	49,86	13,54	0,272
27	Tl	9	0	1,268	3,307	2,625	0,618	0,235
28	Ti	9	0	12	50	23,33	12,06	0,517
29	V	9	0	5	31	21,56	8,126	0,377
30	Zn	9	0	520	1211	791,1	244,4	0,309





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

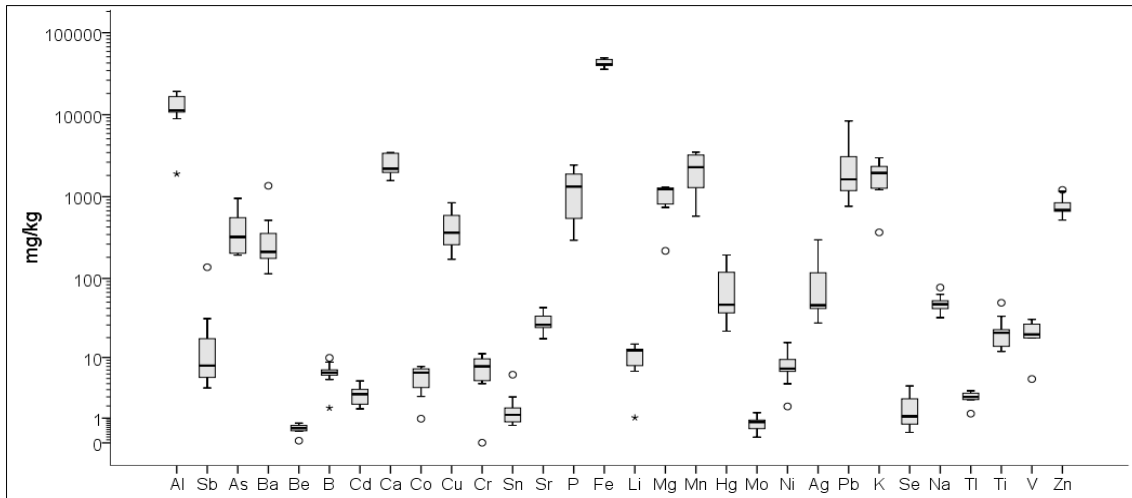
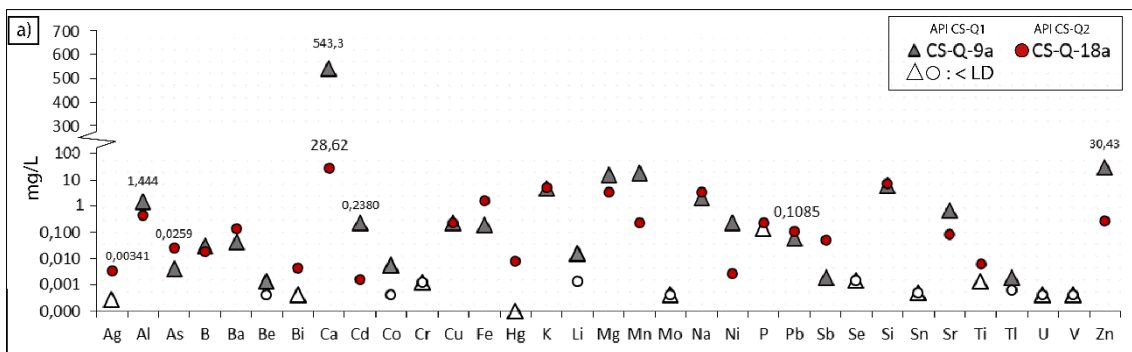


Figura 6.44. Box plot de concentración de metales totales en el API CS-Q2

**b. Prueba de lixiviación de metales**

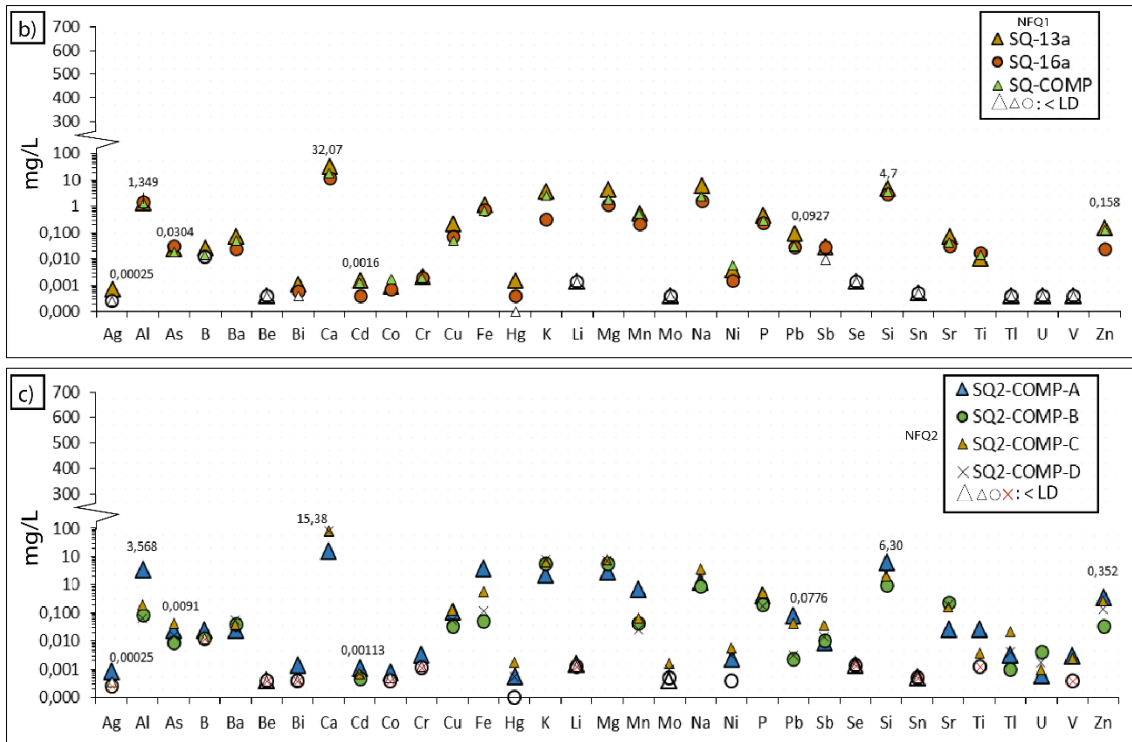
La prueba por extracción por agitación (shake flask extraction) para metales realizados en suelos de los horizontes superficiales de calicatas del API CS-Q1 y CS-Q2; indicaron, sobre todo, la movilización de bases solubles (calcio, magnesio, potasio y sodio) así como elementos considerados como macronutrientes (fósforo y potasio) y micronutrientes (boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, silicio y zinc); por otro lado, los elementos contaminantes de preocupación, que se movilizaron a la fase acuosa (en trazas) son arsénico, bario, cadmio, níquel y plomo, tal como se detalla en la Figura 6.45a. Por otra parte, los resultados provenientes de horizontes superficiales de calicatas de áreas de nivel de fondo presentaron lixiviación de metales en menores concentraciones en comparación a las muestras de las API (Figura 6.45b). Cabe precisar que las mayores concentraciones de aluminio, calcio, cadmio, magnesio manganeso, zinc, entre otros se presentó en la muestra CS-Q-9.

Las muestras provenientes del área de nivel de fondo NFQ2 (Figura 6.45c) presentaron concentraciones menores con respecto a las concentraciones de las API CS-Q1 y API CS-Q2 (Figuras 6.45a y 6.45b); cabe indicar que, los resultados del NFQ2 no fueron considerados para el análisis de las API CS-Q1 y CS-Q2, debido a que corresponden a suelos ubicados en otra zona influenciados por una característica litogénica de mayor mineralización en algunos elementos.





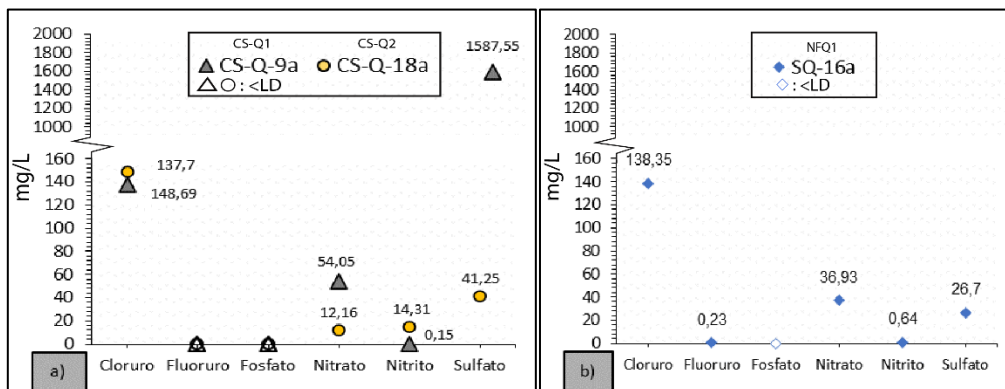
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Universalización de la Salud



**Figura 6.45. Concentración de metales solubles en el extracto de lixiviación:** a) API CS-Q1 y CS-Q2; y áreas de nivel de fondo b) NFQ1 y c) NF-Q2

**c. Prueba de lixiviación de aniones solubles**

La prueba por extracción por agitación (shake flask extraction) para aniones solubles realizados en suelos de las muestras CS-Q-9a y CS-Q18a (horizontes superficiales del API CS-Q1 y CS-Q2 respectivamente); indicaron, sobre todo, la movilización de sulfatos, seguido de cloruros; en menores proporciones lixiviaron nitratos y nitritos. Por otro lado, los aniones fluoruro y fosfatos presentaron concentraciones por debajo del límite de detección del método de ensayo en ambas muestras evaluadas, tal como se observa en la Figura 6.46a; asimismo, la única muestra proveniente del área de nivel de fondo (SQ-16a) presentó menores concentraciones de sulfatos y concentraciones intermedias de cloruros, nitrato y nitrito respecto a las muestras de las API; cabe indicar que la muestra SQ-16a presentó concentraciones de fluoruros de 0,23 mg/L (Figura 6.46b).



**Figura 6.46. Concentraciones de aniones solubles en el extracto de lixiviación:** a) API CS-Q1 y API CS-Q2; y b) NFQ1

**d. Extracción secuencial**

En la Tabla 6.24, se presentan los resultados de la extracción secuencial de metales por la metodología de Tessier (modificado) en 2 muestras de suelo del API CS-Q1 y una muestra del API CS-Q2; los mismos que indicaron que el arsénico (en las tres muestras), y bario (muestra CS-Q-08A) y mercurio (muestras CS-Q-08A y CS-Q-9a) se encuentran asociadas a fracciones más estables (etapa 3 al 6), y en las fracciones disponibles (etapa 1 y etapa 2) presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo. Por otra parte, los metales cadmio, cobre, hierro, plomo, zinc y mercurio (solo en la muestra CS-18a), presentaron concentraciones asociadas a formas disponibles, es decir, a la fracción extraíble o intercambiable del suelo (etapa 1 y 2); el resto de las concentraciones se encuentran asociadas mayormente a los carbonatos, óxidos de hierro, materia orgánica y a formas cristalinas de minerales primarios.

**Tabla 6.24.** Resultados de extracción secuencial de metales solubles en suelos del API CS-Q1 y API CS-Q2

Parámetro (mg/kg)	Etapas de las extracciones secuenciales					
	1 Extraíble	2 Intercambiable	3 Ligado a carbonatos	4 Óxidos de hierro	5 Materia orgánica	6 Residual
<b>CS-Q-08A (API CS-Q1)</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	< 0,30	1,98	0,36	208,1
Bario	< 0,25	< 0,50	16,18	58,05	8,94	16,96
Cadmio	< 0,050	1,498	0,531	4,07	0,352	0,572
Cobre	0,18	0,32	0,646	19,25	144,3	93,74
Hierro	3,7	5	< 2,0	9793	2663	38283
Mercurio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,073	0,18	3,312
Plomo	< 0,50	1,1	13,24	1703	4342	2261
Zinc	5,5	17,7	84,43	1649	< 5,00	< 5,00
<b>CS-Q-9a (API CS-Q1)</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	< 0,30	2,70	1,62	365,4
Bario	0,40	< 0,50	16,57	30,70	83,94	50,58
Cadmio	0,856	2,508	0,373	2,725	0,311	0,507
Cobre	1,04	2,46	11,24	53,49	100,8	86,02
Hierro	3,5	< 2,0	16,7	5819	5418	38886
Mercurio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,068	4,365	1,075
Plomo	0,50	12,96	15,12	433,0	535,9	1778
Zinc	106,5	93,9	37,55	391,7	279,1	907,6
<b>CS-Q-18a (API CS-Q2)</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	0,88	26,39	41,81	460,7
Bario	0,43	48,58	38,67	71,04	50,87	71,26
Cadmio	< 0,050	2,158	0,494	1,212	0,194	0,411
Cobre	1,78	2,40	55,79	165,6	407,4	105,5
Hierro	13,4	< 2,0	64,8	9516	5869	24172
Mercurio	0,063	0,031	0,027	0,503	30,80	129,5
Plomo	1,08	37,04	194,0	758,7	748,8	917,1
Zinc	< 5,0	67,5	92,44	333,5	205,3	439,5

(<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

(\*): Calicatas

En la Tabla 6.25, se presentan los resultados de 3 muestras de suelo provenientes de áreas de nivel de fondo (NFQ1); los mismos que indicaron que el arsénico (en las tres muestras) y mercurio (muestras SQ-16a y SQ-COMP) se encuentran asociadas a fracciones más estables, y en las fracciones disponibles (etapa 1 y etapa 2) presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo. Por otra parte, los metales cadmio, cobre, hierro, plomo, zinc y mercurio (solo en la muestra SQ-13a), presentaron concentraciones asociadas a formas disponibles, es decir, a la fracción extraíble o intercambiable del suelo (etapa 1 y 2); el resto de las concentraciones se encuentran asociadas mayormente a los carbonatos, óxidos de hierro, materia orgánica y a formas cristalinas de minerales primarios.

Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Universalización de la Salud**Tabla 6.25.** Resultados de extracción secuencial de metales solubles en suelos de áreas de nivel de fondo NFQ1

Parámetro (mg/kg)	Etapas de las extracciones secuenciales					
	1	2	3	4	5	6
	Extraíble	Intercambiable	Ligado a carbonatos	Óxidos de hierro	Materia orgánica	Residual
<b>SQ-13a</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	0,77	21,57	49,89	161,3
Bario	< 0,25	12,78	19,00	43,33	33,85	20,27
Cadmio	< 0,050	1,172	0,185	0,504	0,095	0,146
Cobre	1,22	0,64	5,317	24,09	134,1	28,56
Hierro	8,6	< 2,0	62,8	7418	5939	11818
Mercurio	0,014	< 0,010	< 0,010	0,205	5,592	6,243
Plomo	0,53	19,65	46,04	168,7	282,4	224,6
Zinc	< 5,0	27,3	19,95	98,20	71,53	125,4
<b>SQ-16a</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	0,78	14,59	22,71	137,0
Bario	< 0,25	6,36	17,37	36,14	30,32	27,96
Cadmio	< 0,050	0,339	0,053	0,169	< 0,050	0,076
Cobre	0,44	0,39	3,480	17,03	80,53	23,52
Hierro	7,9	< 2,0	158,3	6861	3754	11778
Mercurio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,102	4,040	6,054
Plomo	< 0,50	21,53	32,83	105,7	121,0	152,5
Zinc	< 5,0	< 5,0	< 5,00	31,10	42,05	106,3
<b>SQ-COMP</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	0,60	7,81	16,59	81,28
Bario	< 0,25	6,71	12,77	22,88	20,89	25,12
Cadmio	< 0,050	0,471	0,055	0,184	0,057	< 0,050
Cobre	0,28	0,56	2,651	8,833	57,26	19,51
Hierro	7,9	< 2,0	163,3	5631	3487	9527
Mercurio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,045	1,095	1,828
Plomo	< 0,50	21,87	19,45	49,84	67,42	95,01
Zinc	< 5,0	13,2	< 5,00	26,53	52,65	87,41

(&lt;): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

(\*): Calicatas

En la Tabla 6.26, se presentan los resultados de 4 muestras de suelo provenientes de áreas de nivel de fondo (NFQ2); los mismos que indicaron que el arsénico y bario (en las cuatro muestras), mercurio (muestras SQ2-COMP-C y SQ2-COMP-D) y plomo mercurio (muestras SQ2-COMP-B y SQ2-COMP-D) se encuentran asociadas a fracciones más estables, y en las fracciones disponibles (etapa1 y etapa 2) presentaron valores por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo. Por otra parte, los metales cadmio, cobre, hierro, plomo (muestras SQ2-COMP-B y SQ2-COMP-D), zinc y mercurio (muestras SQ2-COMP-A y SQ2-COMP-B), presentaron concentraciones asociadas a formas disponibles, es decir, a la fracción extraíble o intercambiable del suelo (etapa 1 y 2); el resto de las concentraciones se encuentran asociadas mayormente a los carbonatos, óxidos de hierro, materia orgánica y a formas cristalinas de minerales primarios.

**Tabla 6.26.** Resultados de extracción secuencial de metales solubles en suelos de áreas de nivel de fondo NFQ2

Parámetro (mg/kg)	Etapas de las extracciones secuenciales					
	1	2	3	4	5	6
	Extraíble	Intercambiable	Ligado a carbonatos	Óxidos de hierro	Materia orgánica	Residual
<b>SQ2-COMP-A</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	< 0,30	5,73	13,05	270,3
Bario	< 0,25	< 0,50	6,53	19,42	16,23	19,60
Cadmio	< 0,050	0,724	0,121	0,636	0,147	0,328
Cobre	0,45	0,53	4,173	26,42	77,86	0,45
Hierro	5,6	< 2,0	33,7	7049	5175	5,6
Mercurio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,063	1,338	< 0,010



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

Parámetro (mg/kg)	Etapas de las extracciones secuenciales					
	1	2	3	4	5	6
	Extraíble	Intercambiable	Ligado a carbonatos	Óxidos de hierro	Materia orgánica	Residual
Plomo	< 0,50	7,15	14,22	175,4	221,1	330,5
Zinc	< 5,0	46,8	23,68	135,2	115,9	688,3
<b>SQ2-COMP-B</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	0,54	9,93	16,09	84,49
Bario	< 0,25	< 0,50	9,61	12,49	5,26	15,54
Cadmio	< 0,050	0,566	0,213	0,357	0,104	0,128
Cobre	0,30	0,29	2,224	5,740	46,15	26,43
Hierro	5,00	< 2,0	9,4	2414	634,7	10457
Mercurio	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,033	1,224	3,725
Plomo	< 0,50	< 0,50	15,51	44,06	26,78	163,5
Zinc	< 5,0	5,8	32,11	92,08	69,84	107,0
<b>SQ2-COMP-C</b>						
Arsénico	0,37	< 0,300	3,49	59,23	63,70	24,85
Bario	< 0,25	< 0,50	5,02	10,49	24,42	7,17
Cadmio	< 0,050	1,003	0,256	0,786	0,709	0,188
Cobre	1,01	0,82	3,329	10,26	223,7	26,60
Hierro	5,2	< 2,0	21,6	2159	5196	1845
Mercurio	0,016	< 0,010	0,019	0,147	0,060	0,016
Plomo	< 0,50	2,34	14,85	31,05	270,2	82,24
Zinc	< 5,0	44,3	82,65	273,8	243,0	62,34
<b>SQ2-COMP-D</b>						
Arsénico	< 0,30	< 0,300	1,62	20,57	31,14	157,5
Bario	< 0,25	< 0,50	18,82	24,85	15,27	46,07
Cadmio	< 0,050	1,443	1,043	1,314	0,315	0,344
Cobre	0,68	0,76	3,664	11,99	118,8	24,89
Hierro	6,4	< 2,0	13,8	2842	2046	12697
Mercurio	0,010	< 0,010	< 0,010	0,136	6,505	97,54
Plomo	< 0,50	< 0,50	36,75	111,4	61,77	345,5
Zinc	< 5,0	14,0	203,9	525,7	257,6	274,7

(<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

(\*): Calicatas

### e. Análisis mineralógico

El análisis de mineralogía por difracción de rayos X (DRX), indicó que la composición porcentual de minerales de una muestra de suelo en superficie (CS-Q-08A) del API CS-Q1 predominaron el cuarzo, seguido de micas, plagioclasas y calcita, y en menores proporciones minerales yeso, dolomita, clorita y hematita; sin embargo, en un horizonte subsuperficial realizado en la calicata CS-Q-9 (muestra CS-Q-9b) indicaron que el material está conformado mayormente por goethita (78%) seguido de yeso, jarosita, cuarzo y beudantita (Tabla 6.27 y Figura 6.47). Asimismo, la muestra obtenida el área de nivel de fondo (SQ-COMP) se observa predominio de cuarzo seguido de micas, plagioclasas y cloritas, además de minerales laminares.

**Tabla 6.27.** Resultados de mineralogía por DRX en suelo del API CS-Q1 y de áreas de nivel de fondo NFQ1

API/ANF			CS-Q1		NFQ1
Horizonte			A	C1	A
Profundidad (m)			0-0,30	0,15-0,28	0-0,30
Parámetro	Unidad	Fórmula general	CS-Q-08A	CS-Q-9b*	SQ-COMP
Cuarzo	%	SiO <sub>2</sub>	56	4	74
Goethita	%	FeO(OH)	-	78	-
Mica (Muscovita)	%	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH, F) <sub>2</sub>	11	-	10
Yeso	%	CaSO <sub>4</sub> ·2(H <sub>2</sub> O)	3	8	-
Clorita (Clinocloro)	%	(Mg, Fe) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	2	-	6
Plagioclasa (Andesina)	%	(Ca, Na)(Al, Si) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	-	-	4

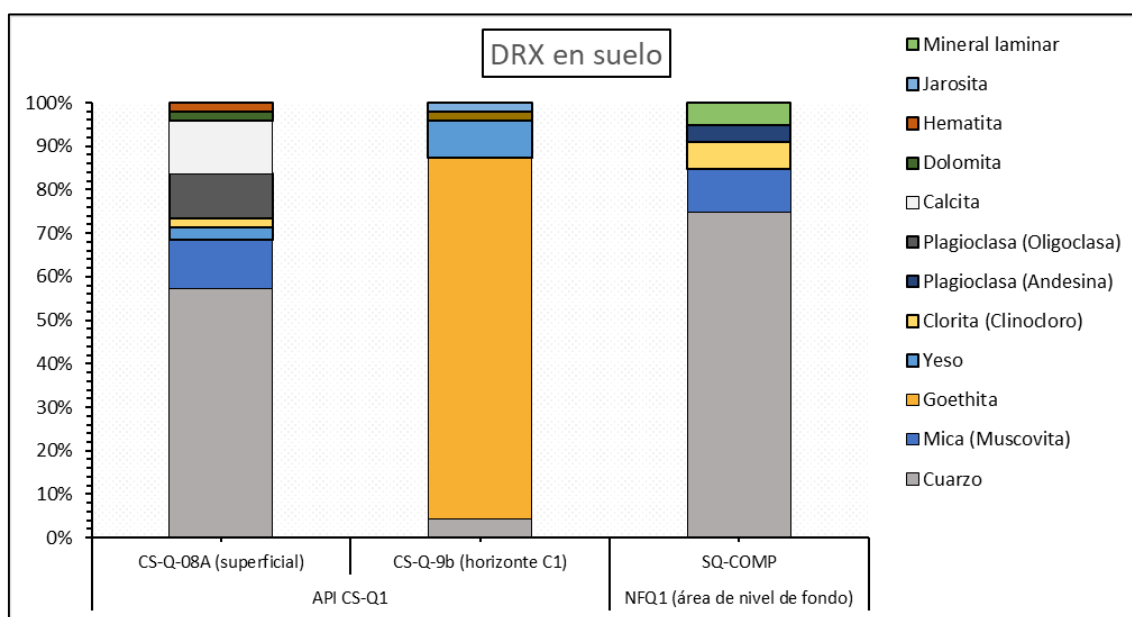
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Universalización de la Salud

API/ANF			CS-Q1		NFQ1
Horizonte			A	C1	A
Profundidad (m)			0-0,30	0,15-0,28	0-0,30
Parámetro	Unidad	Fórmula general	CS-Q-08A	CS-Q-9b*	SQ-COMP
Plagioclasa (Oligoclasa)	%	(Ca, Na)(Al, Si) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	10	-	-
Calcita	%	CaCO <sub>3</sub>	12	-	-
Beudantita	%	PbFe <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> )(SO <sub>4</sub> )(OH) <sub>6</sub>	-	2	-
Dolomita	%	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2	-	-
Jarosita	%	KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>	-	7	-
Hematita	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	-	-
Mineral Laminar**	%	---	-	-	5

(< L.D.): Resultado por debajo del límite de detección de 1 % / (---): Mineral no determinado/No reportado

(\*): Calcitas

(\*\*): Fase probable de mica y/o arcilla, que requiere de otra técnica complementaria para ser determinada.



**Figura 6.47.** Distribución porcentual de la mineralogía por DRX en suelos del API CS-Q1 y área de nivel de fondo NFQ1

En la Tabla 6.28, se observa la composición porcentual de minerales de cuatro muestras de suelo en superficie obtenido en las áreas de nivel de fondo NFQ2, en estos suelos predominaron el cuarzo, seguido de micas, plagioclasas y calcita, y en menores proporciones de calcita, dolomita, goethita, caolinita y minerales laminares, las cuales varían en cada muestra (Figura 6.48).

**Tabla 6.28.** Resultados de mineralogía por DRX en suelo del área de nivel de fondo NFQ2

ANF			NFQ2			
Horizonte			A	A	A	A
Profundidad (m)			0-0,30	0-0,30	0-0,30	0-0,30
Parámetro	Unidad	Fórmula general	SQ2-COMP-A	SQ2-COMP-B	SQ2-COMP-C	SQ2-COMP-D
Cuarzo	%	SiO <sub>2</sub>	82	85	88	81
Goethita	%	FeO(OH)	3	-	-	-
Mica (Muscovita)	%	Kal <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH, F) <sub>2</sub>	9	< L.D.	< L.D.	2
Clorita (Clinodoro)	%	(Mg, Fe) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	< L.D.	-	-	-
Calcita	%	CaCO <sub>3</sub>	-	3	-	8
Dolomita	%	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	-	-	< L.D.	4



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

Table with 7 columns: ANF, Horizonte, Profundidad (m), Parámetro, Unid. d, Fórmula general, and NFQ2 (A, A, A, A). Rows include Caolinita, Mineral Laminar\*\*, Rutilo, and Pirita.

(< L.D.): Resultado por debajo del límite de detección de 1 % / (---): Mineral no determinado/No reportado
(\*): Calicatas

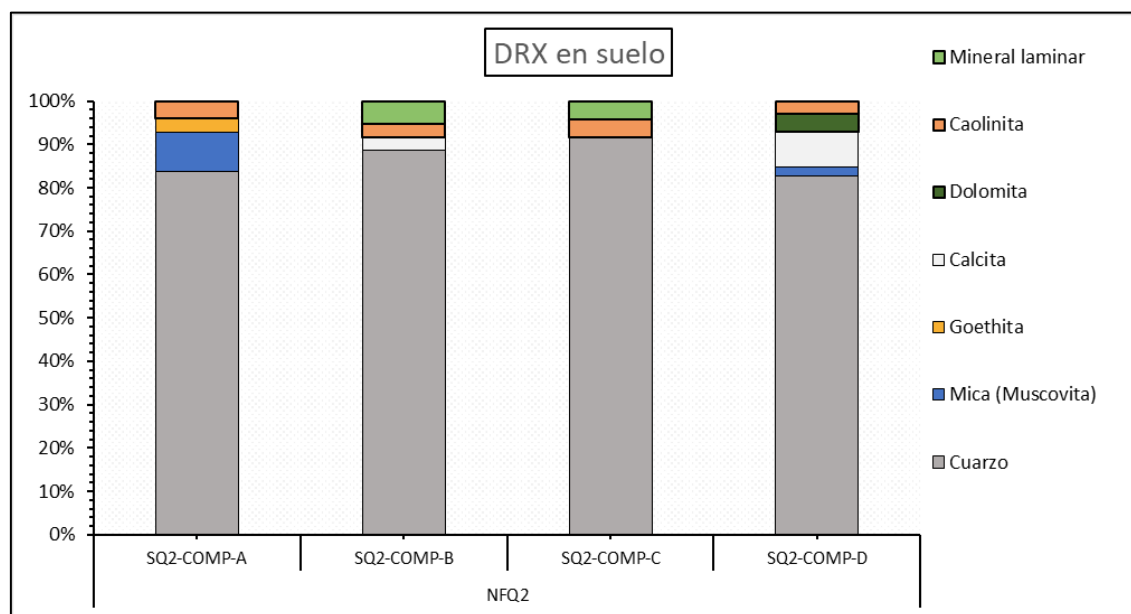


Figura 6.48. Distribución porcentual de la mineralogía por DRX en suelos del área de nivel de fondo NFQ2

f. Parámetros edáficos

Los parámetros edáficos fueron clasificados con los valores indicados en la Soil Survey Manual de la USDA (2017) para la textura, pH y conductividad eléctrica (salinidad); con la Guía de clasificación de suelos de la FAO (2009) para el contenido de carbonatos; y con el Decreto Supremo N.º 0017-2009-AG para el contenido de materia orgánica.

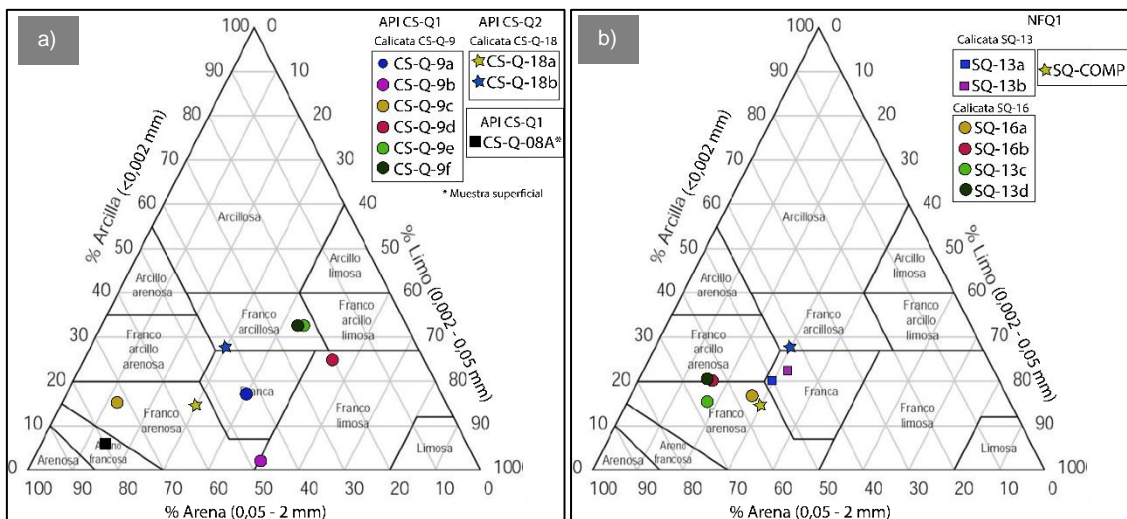
Los resultados de los parámetros edáficos (físicoquímicos) de una muestra superficial (CS-Q-08A) descritos en la Figura 6.49a indicaron que tienen una textura gruesa, con alto contenido de arena y bajos contenidos de arcillas (arena franca), pH ligeramente ácido y muy ligeramente salino (Figura 6.50). Los porcentajes de materia orgánica es bajo y respecto al porcentaje de carbonato de calcio reportó valores por debajo del límite de detección del método de ensayo, excepto en la muestra CS-Q-18b (Figura 6.51).

Por otro lado, la evaluación de un perfil de suelo en la calicata CS-Q-9, indicó que presentó una textura de franca, en el horizonte A, a franco arcillosa en los horizontes más profundos. Por otra parte, el pH se caracterizó por ser de fuertemente ácidos a ultra ácidos (<3,5) con baja salinidad con valores de 609 hasta 1540 µS/cm (Figura 6.50), siendo el horizonte C1 (muestra CS-Q-9b) el más ácido y con alto valor de conductividad eléctrica. El porcentaje de materia orgánica es de madio a alto, y respecto al porcentaje carbonato de calcio, estos

fueron menores al límite de detección del método de ensayo. Cabe precisar que el horizonte Oe (muestra CS-Q-9c) presentó el mayor porcentaje de materia orgánica (Figura 6.50).

La evaluación de un perfil de suelo en la calicata CS-Q-18, indicó que presentó una textura de franco arcillo en el horizonte A (muestra CS-Q-18a), y de franco arcillosa en el horizonte Cd (muestra CS-Q-18b) (Figura 6.49b). Por otra parte, presentó un pH de ligeramente ácido a ligeramente alcalino con valores de hasta 2580  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando un suelo ligeramente salino (Figura 6.50). El porcentaje de materia orgánica es alto y respecto al porcentaje de carbonato de calcio, estos fueron menores al límite de detección del método de ensayo en el horizonte A (muestra CS-Q-18a) y en el horizonte Cd (muestra CS-Q-18b), presentó un porcentaje de 17,78 % considerado como moderadamente calcáreo (Figura 6.51).

Las muestras de las calicatas (SQ-13 y SQ-16) y muestra superficial (SQ-COMP) provenientes de las áreas de nivel de fondo presentaron texturas de franco, franco arcillosas y franco arenosas, con granulometrías más homogéneas (Figura 6.49b). Asimismo, los valores de pH indicaron suelos de fuertemente ácidos a ligeramente ácidos (4,85 a 5,99) y no salinos, con valores de 81,3 a 222  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 6.52). Respecto al porcentaje de materia orgánica estos presentaron altos contenidos y el carbonato de calcio fue menor al límite de detección del método de ensayo (Figura 6.53).



**Figura 6.49.** Clasificación de la textura según la distribución porcentual de arena, limo y arcilla en el triángulo textural (USDA): a) API CS-Q1 y CS-Q2 y, b) NFQ1





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

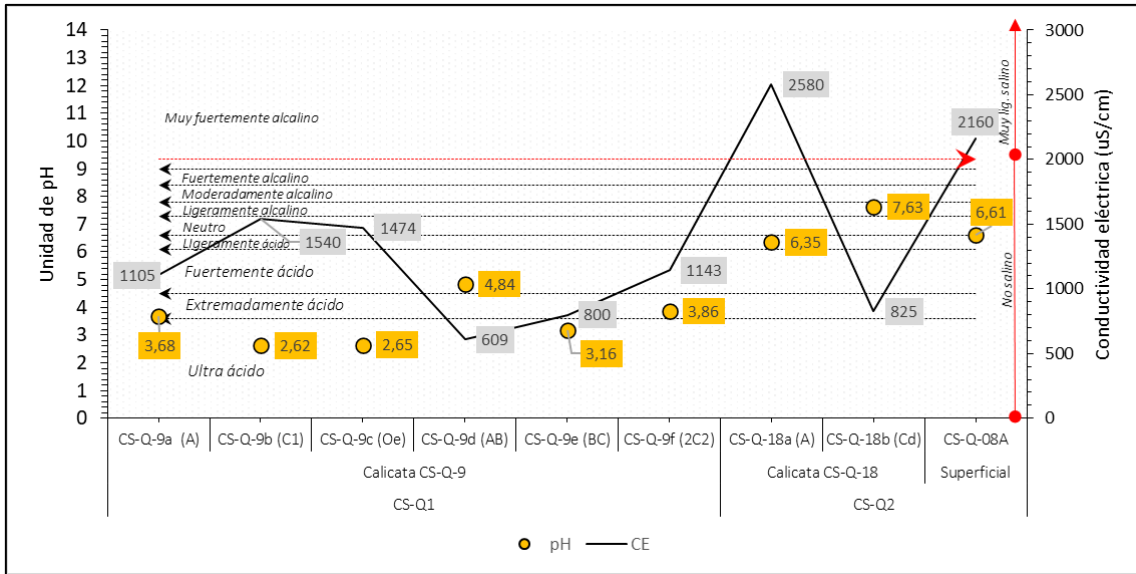


Figura 6.50. Clasificación de la reacción y salinidad del suelo (Soil Manual Survey, 2017) en calicatas y muestras superficiales del API CS-Q1 y CS-Q2

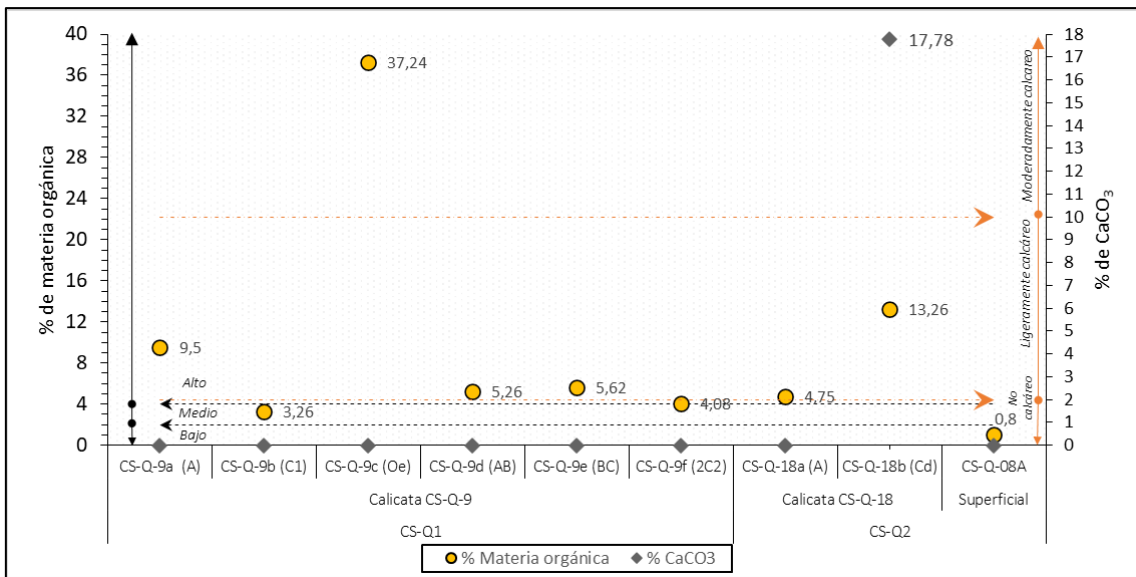


Figura 6.51. Clasificación de la materia orgánica (D.S. N.º 017-2009-AG) y carbonatos del suelo (FAO, 2009) en calicatas y muestras superficiales del API CS-Q1 y CS-Q2



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

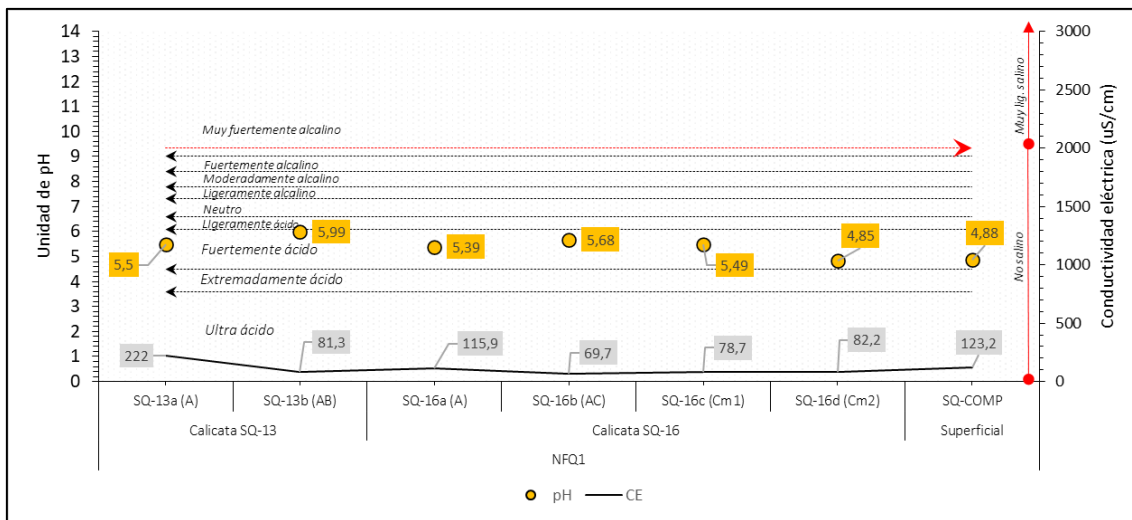


Figura 6.52. Clasificación de la reacción y salinidad del suelo (Soil Manual Survey, 2017) en calicatas y muestras superficiales del área de nivel de fondo NFQ1

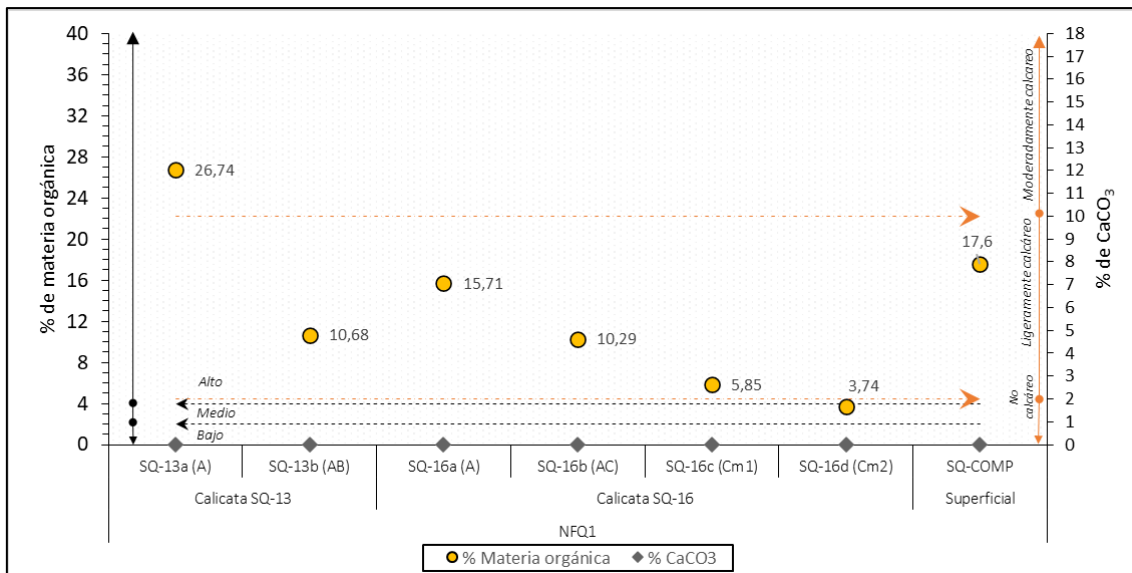


Figura 6.53. Clasificación de la materia orgánica (D.S. N.º 017-2009-AG) y carbonatos del suelo (FAO, 2009) en calicatas y muestras superficiales del área de nivel de fondo NFQ1

Por otra parte, las muestras de las calicatas (SQ2-7) y muestra superficial (SQ-COMP) provenientes de las áreas de nivel de fondo NFQ2 presentaron texturas de franca y franco arcillosas, con granulometrías más homogéneas (Figura 6.54a y 6.54b). Asimismo, los valores de pH indicaron suelos fuertemente ácidos hasta neutros (5,37 a 7,49) y no salinos con valores de 114,3 a 574 μS/cm, excepto en la muestra SQ2-COMP-C, que presentó un valor de 2000 μS/cm indicando un suelo muy ligeramente salino (Figura 6.55). Respecto al porcentaje de materia orgánica estos presentaron contenidos altos, además de porcentajes de 13,53% (muestra de SQ2-COMP-D) y 17,73% (muestra SQ2-7e) indicando suelos moderadamente calcáreos; en el resto de las muestras el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> presentó valores menores al límite de detección (Figura 6.56).



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

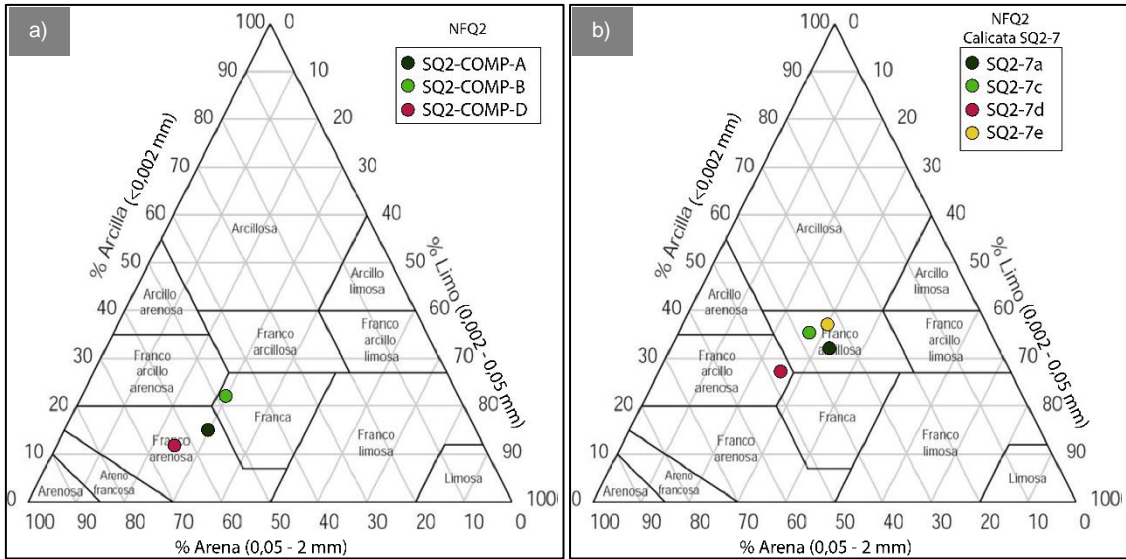


Figura 6.54. Clasificación de la textura según la distribución porcentual de arena, limo y arcilla en el triángulo textural (USDA) en el área de nivel de fondo NFQ2: a) muestra superficial y b) muestras en calicata

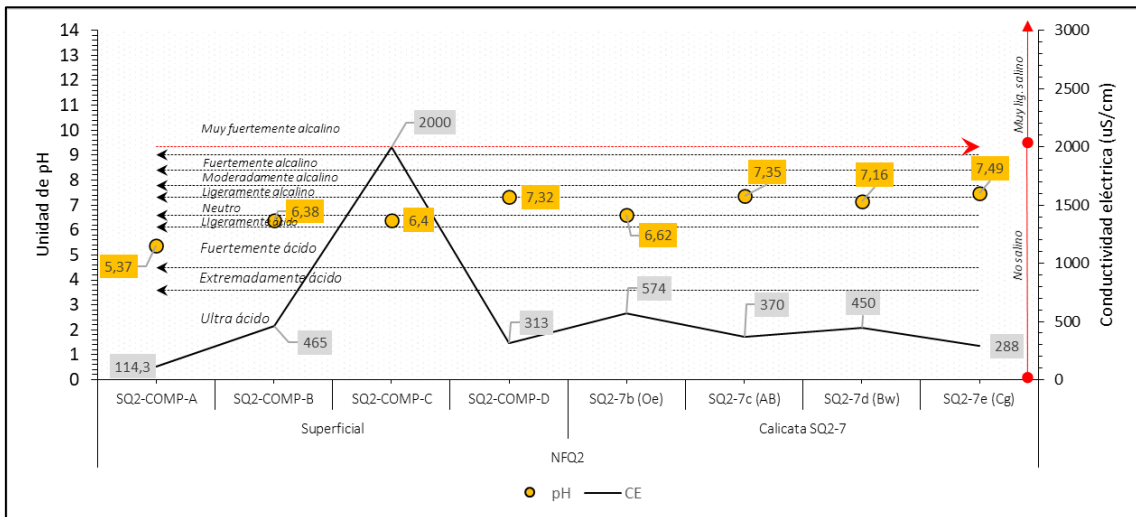
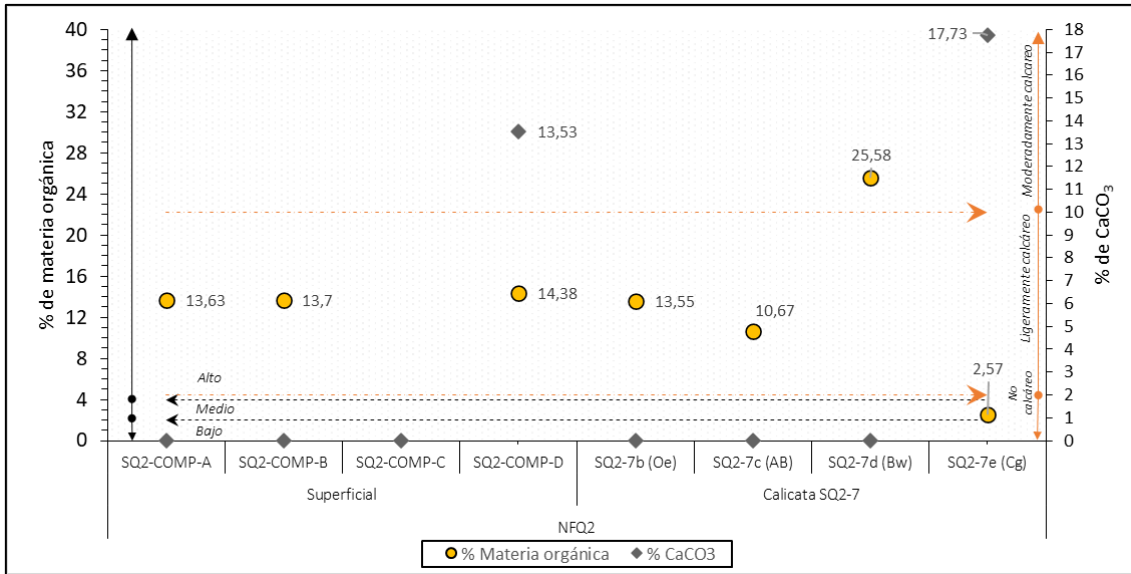


Figura 6.55. Clasificación de la reacción y salinidad del suelo (Soil Manual Survey, 2017) en calicatas y muestras superficiales en el área de nivel de fondo NFQ2

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



**Figura 6.56.** Clasificación de la materia orgánica (D.S. N.° 017-2009-AG) y carbonatos del suelo (FAO, 2009) en calicatas y muestras superficiales en el área de nivel de fondo NFQ2

### 6.3.6. Evaluación multiespectral

Los resultados de evaluación en el área de estudio, respecto a los índices de vegetación con relación a la posible alteración en la cobertura vegetal por agentes y/o actividades externas están en el Anexo 11. La ubicación y descripción de las áreas de sobrevuelo se detallan en el reporte de campo N.° RC 061-2020-STEC (Anexo 7). La información de los datos obtenidos se presenta en la (Tabla 6.29, Tabla 6.30 y Tabla 6.31).

**Tabla 6.29.** Información de sobrevuelo fotogramétrico con RPAS por grillas simples

Código de grillas	Tipo de procesamiento	Cantidad de imágenes procesadas (Sensor Multiespectral)	Cantidad de imágenes calibradas (Sensor Multiespectral)	Cantidad de imágenes procesadas (Sensor RGB)	Cantidad de imágenes calibradas (Sensor RGB)	Productos generados (Sensor Multiespectral)	Productos generados (Sensor RGB)
QUIU-03	2D	2404	2404	240	240	NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)	Ortomosaico
QUIU-01							
QUIU-04							
QUIU-06							
QUIU-07							
QUIU-08						NDRE (Índice de diferencia normalizada de borde rojo)	Modelo digital de elevación

**Tabla 6.30.** Datos de procesamiento (sensor multiespectral)

Detalle de calibración y posición de puntos	
Superposición de imágenes	Posiciones iniciales de imágenes
Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico. Las áreas rojas y amarillas indican una baja superposición para la cual se pueden generar resultados pobres. Las áreas verdes indican una superposición de más de 5 imágenes por	Vista superior de la posición inicial de la imagen. La línea verde sigue la posición de las imágenes en el tiempo a partir del punto azul grande.

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

cada píxel. Se generarán resultados de buena calidad siempre que el número de coincidencias de puntos clave también sea suficiente para estas áreas.					
<p>Número de imágenes superpuestas:</p>	<p>Número de imágenes procesadas: 2404 Área cubierta: 0,681 km<sup>2</sup></p>				
Cámara					
Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	GSD	Georreferenciación	Área
Sequoia	1280x960(Green), 1280x960(Red), 1280x960(Red edge), 1280x960(NIR),	4.88 mm	16,00 cm	yes, 6 GCPs (6 3D), mean RMSerror = 1.421 m	68,07 63 ha

**Tabla 6.31. Datos de procesamiento (Sensor RGB)**

Detalles iniciales de procesamiento (Sensor RGB)	
Información del sistema	
Software	Agisoft Metashape
Hardware	CPU: Intel (R) Core (TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz RAM: 31.86GB GPU: GeForce GTX 1060
Sistema operativo	Windows 64-bit
Sistema de coordenadas	
Sistema de coordenadas de las imágenes	WGS 84 / UTM zone 18S + EGM2008
Sistema de coordenadas de los productos	WGS 84 / UTM zone 18S + EGM2008
Posicionamiento de cámaras y solapamiento de imágenes	
Número de imágenes	240
Imágenes alineadas	240
Altitud media de vuelo	155 m
Resolución en terreno	3,85 cm/px
Área de cubierta	0,417 km <sup>2</sup>
Modelo de cámara	FC6310S (8,8 mm)
DSM, ortomosaico	
Punto de control terrestre	
Puntos de apoyo	6
Error en X (m)	0,445647
Error en Y (m)	0,82887
Error en Z (m)	1,13959
Resolución MDE	15,4 cm/pixel
Tiempo aproximado de procesamiento	40 m :41s



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

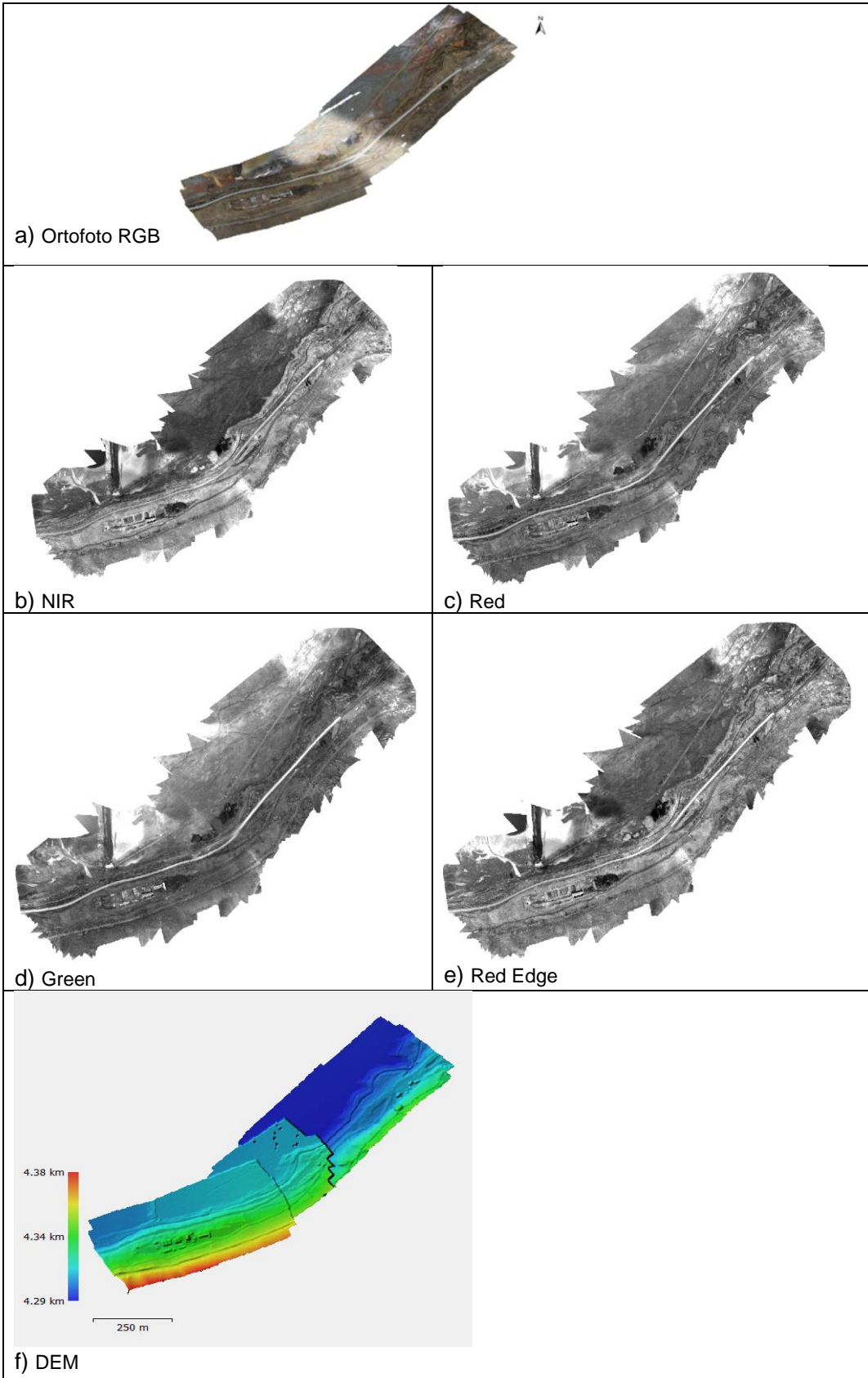
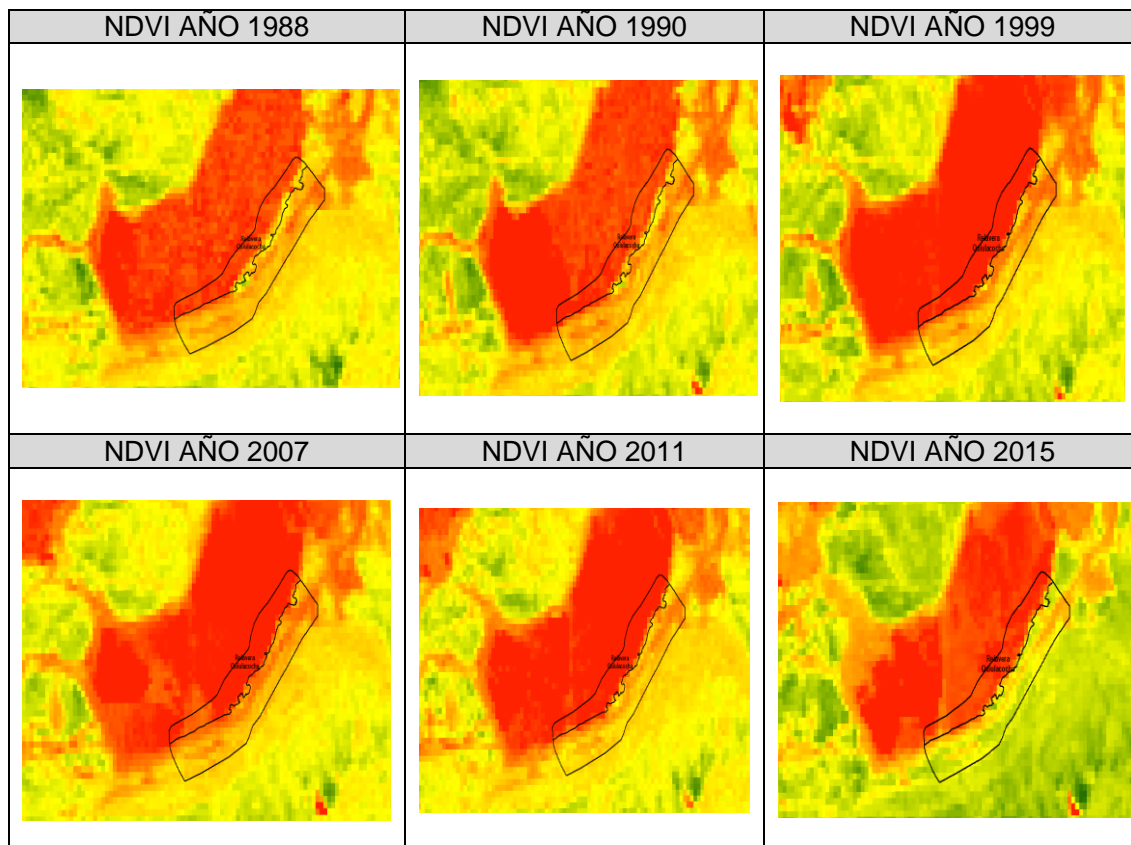


Figura 6.57. Ortomosaico RGB, imágenes monocromas y modelo digital del terreno

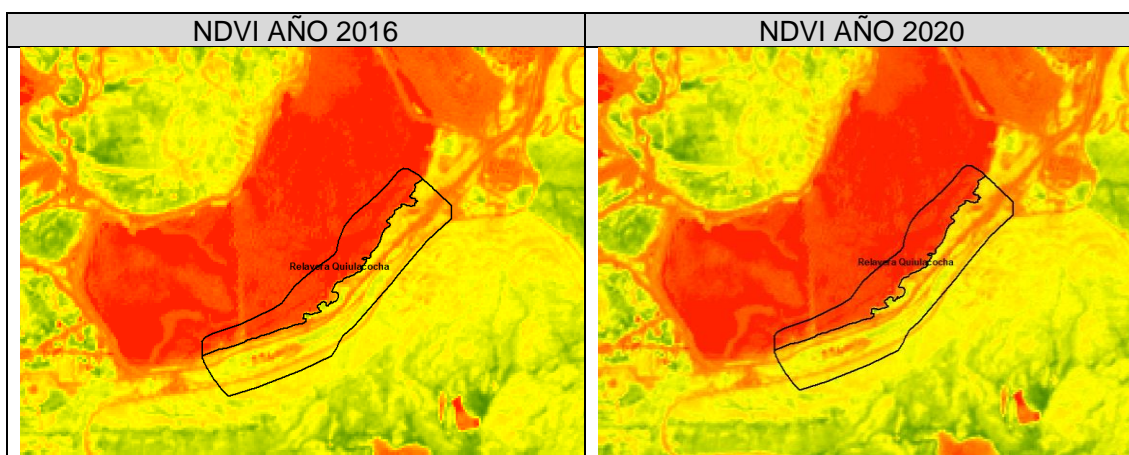
La degradación del suelo se mide a través del «cambio en la productividad del suelo» utilizando, como proxy, la productividad primaria neta (PNP) que se estima a través del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) detectado de forma remota (Dent *et al.*, 2015).

Para poder determinar las variaciones en la cobertura vegetal por actividades externas se realizó el análisis multitemporal con imágenes satelitales<sup>43</sup> en las áreas adyacente a la relavera Quiulacocha de los años 1989, 1990, 1999, 2007, 2011, 2015, 2016 y 2020 donde se empleó el índice NDVI (Figuras 6.58 y 6.59).



**Figura 6.58.** Imágenes de índice de vegetación NDVI de los meses julio a setiembre años: 1988, 1999, 2007, 2011 y 2015

<sup>43</sup> Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS-Glovis): Landsat 5 (1988, 1990, 1999, 2007 y 2011), Landsat 8 (2015).


**Figura 6.59.** NDVI de las imágenes satelitales Landsat 5 y 8 y Sentinel 2A

Nota: Imagen satelital Sentinel 2A del mes de abril año 2016 y del mes de junio año 2020

### Índices de la formación vegetal

En esta área se hizo un sobrevuelo de un área de 68,0763 ha (Figura 6.48) que conforma la formación de cobertura vegetal mixta y/o alterada en la que se realizó el análisis de los índices de vegetación de NDVI y NDRE. Obteniéndose una media de 0,0338 de NDVI y 0,086 de NDRE (Tablas 6.32 y 6.33).

**Tabla 6.32.** Información estadística de los índices de vegetación NDVI por cobertura

Descripción	Código	Count_NDVI	Sum_NDVI	Mean_NDVI	Stdev_NDVI	Min_NDVI	Max_NDVI	Área (m <sup>2</sup> )
Área sin cobertura vegetal	Scv	224694	24234,518	0,108	0,113	-0,172	0,457	4182,865
Canal de flujo de agua	Ca	207078	-6218,046	0,003	0,413	-0,834	1,234	3855,626
Carreteras y trochas	Ct	1693828	-170780,888	-0,101	0,318	-0,777	0,657	31534,702
Cobertura vegetal mixto	Cv_M	7936318	118867,303	0,034	2,641	-6,532	6,998	147857,928
Relavera Quiulacocho	RQ	6788501	-1951607,198	-0,287	0,287	-0,854	0,611	126418,297
Vías férrea	Vf	455266	22190,315	0,095	0,380	-0,763	1,213	8493,847
Viviendas	Viv	1163096	194598,177	0,347	0,206	-0,466	1,207	21678,628

**Tabla 6.33.** Información estadística de los índices de vegetación NDRE por cobertura

Descripción	Código	Count_NDRE	Sum_NDRE	Mean_NDRE	Stdev_NDRE	Min_NDRE	Max_NDRE	Área (m <sup>2</sup> )
Área sin cobertura vegetal	Scv	224694	45472.724	0.202	0.048	0.014	0.395	4182.865
Canal de flujo de agua	Ca	207078	-7102.860	-0.026	0.364	-0.773	0.523	3855.626
Carreteras y trochas	Ct	1693989	-161176.007	-0.095	0.313	-0.771	0.392	31534.702
Cobertura vegetal mixto	Cv_M	7942409	-231140.553	-0.133	2.457	-5.946	4.286	147857.928
Relavera Quiulacocho	RQ	6790931	-1294486.229	-0.191	0.290	-0.778	0.391	126418.297
Vías férrea	Vf	456302	33734.187	0.149	0.383	-0.736	0.790	8493.847
Viviendas	Viv	1164498	130068.856	0.364	0.084	-0.235	0.997	21678.628





Determinación de los índices de vegetación NDVI y NDRE obtenidos del total del área de sobrevuelo como se muestra en la Figura 6.60.

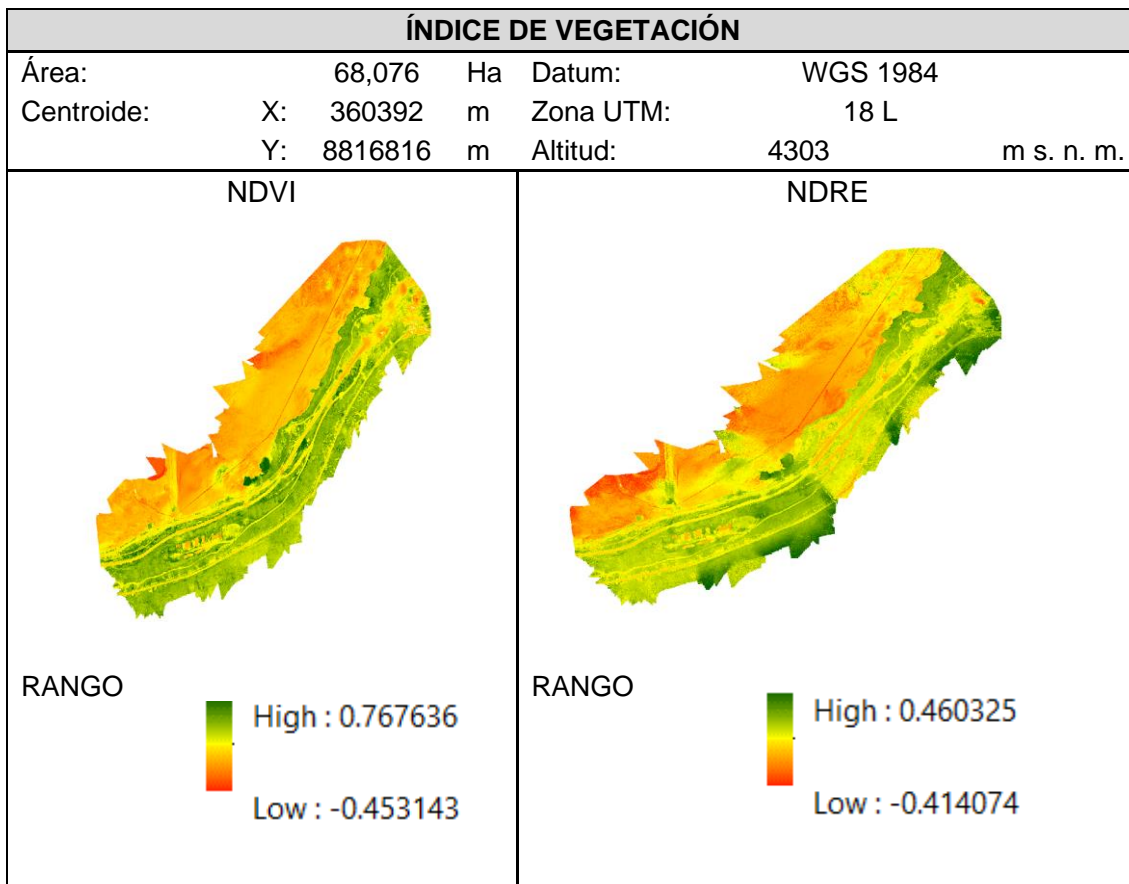


Figura 6.60. Índice de vegetación (NDVI y NDRE) de la formación vegetal mixta

Se observa la clasificación de la cobertura vegetal obtenidos del total del área de sobrevuelo, dividiéndose en 7 tipos de cobertura (Figura 6.61).

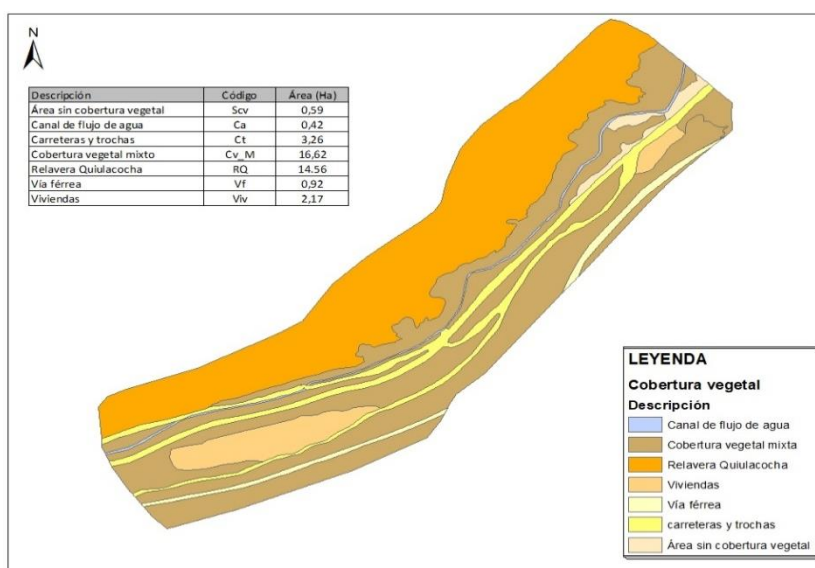


Figura 6.61. Cobertura vegetal de área sobrevolada



**6.4. Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los posibles contaminantes producto de la actividad minera sobre la flora (tejido vegetal), fauna silvestre (anfibios y reptiles, aves, mamíferos menores y mamíferos mayores) presente en el ámbito del PAM depósito de relaves Quiulacocha.**

**6.4.1. Flora**

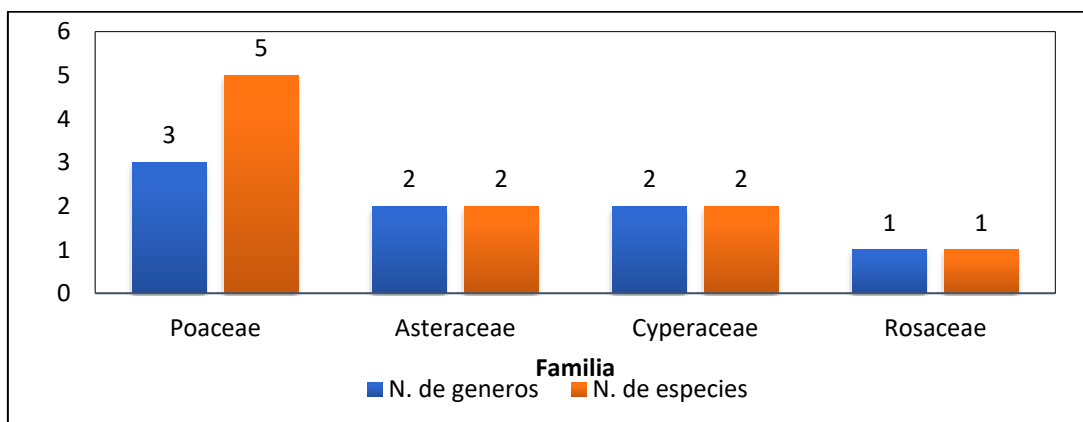
**6.4.1.1. Composición florística**

Se muestran los resultados de la composición florística presente en el API Quiulacocha, ubicada al suroeste del depósito de desmontes Quiulacocha. Se han identificado 10 especies de plantas vasculares, agrupadas en 2 clases, 4 familias botánicas y 8 géneros. La clase Liliopsida (angiospermas) representa el grupo dominante con 7 especies (70 %), seguida de la clase Magnoliopsida (angiospermas) con 3 especies (30 %) (Tabla 6.34).

**Tabla 6.34.** Especies registradas en el API Quiulacocha

Clase	Familia	Especie
Liliopsida	Poaceae	<i>Calamagrostis vicunarium</i> (Wedd.) Pilg.
Liliopsida	Poaceae	<i>Calamagrostis rigida</i> (Kunth) Trin. ex Steud.
Liliopsida	Poaceae	<i>Calamagrostis rigescens</i> (J.Presl) Scribn.
Liliopsida	Poaceae	<i>Agrostis breviculmis</i> Hitchc.
Liliopsida	Poaceae	<i>Poa</i> cf. <i>annua</i>
Liliopsida	Cyperaceae	<i>Carex</i> sp.
Liliopsida	Cyperaceae	<i>Eleocharis albibracteata</i> Nees y Meyen ex Kunth
Magnoliopsida	Rosaceae	<i>Lachemilla pinnata</i> (Ruiz y Pav.) Rothm.
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Lucilia kunthiana</i> (DC.) Zardini
Magnoliopsida	Asteraceae	<i>Senecio nutans</i> Sch. Bip.

La familia más diversa fue Poaceae con 5 especies en 3 géneros representando el 50 % del total de especies, así mismo Asteraceae y Cyperaceae registraron 2 especies en 2 géneros para cada uno (Figura 6.62) representando el 20 % para ambas familias, mientras que la familia Rosaceae registró un género con una especie representando el 10 % del total de especies.



**Figura 6.62.** Familias más diversas, indicando número de géneros y especies, registradas en el área de estudio



La riqueza de especies por cuadrante varía entre 2 y 6 especies, siendo mayor en el punto AFL27 con 6 especies. La cobertura vegetal en los cuadrantes evaluados en el área de estudio presenta valores que varían entre 25 a 73 %, con una cobertura promedio de 45,25%. La mayor cobertura se registró en el cuadrante AFL28 con 73 % (Tabla 6.35).

**Tabla 6.35.** Riqueza y cobertura por cuadrante evaluado

Cuadrante	Riqueza	cobertura
AFL28	4	73
AFL27	6	48
AFL39	5	35
AFL29	2	25
Promedio	4,25	45,25

#### 6.4.1.2. Análisis de tejido vegetal

Se tomaron muestras de tejido vegetal de la especie representativa de la zona de estudio. Tanto en las áreas de potencial interés como en la de nivel de fondo (llamadas zona control). Las especies seleccionadas fueron *Calamagrostis rigida* y *Calamagrostis vicunarum*. Los resultados se muestran a continuación.



### Metales totales en tejido vegetal

#### a. *Calamagrostis rigida*

Los resultados de la concentración de metales totales en el tejido de *Calamagrostis rigida*, muestra una concentración variada en los diferentes puntos de evaluación, siendo relativamente menor para todos los casos en la zona control. Además, se muestra una mayor concentración en la raíz con respecto a la parte aérea. Los resultados para ocho de los metales evaluados se muestran en las Figuras 6.63 y 6.64.

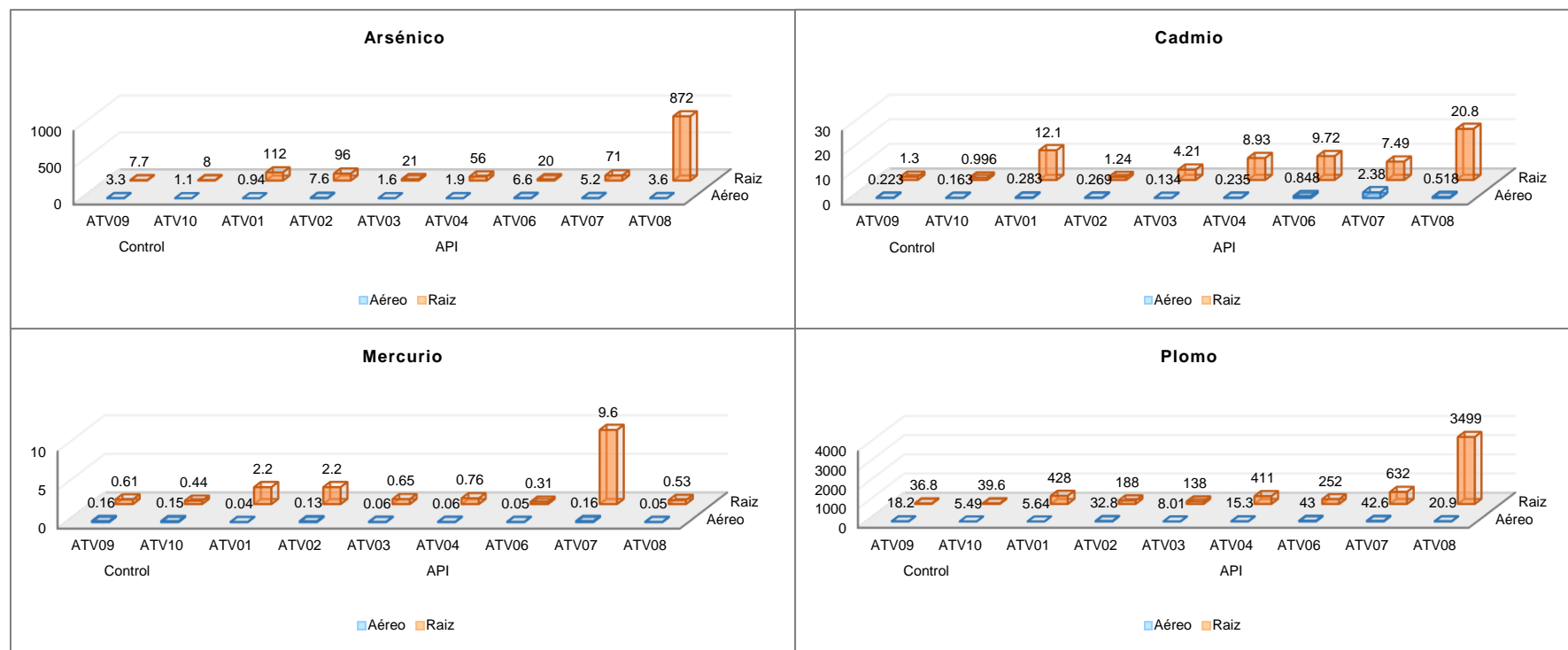


Figura 6.63. Concentración de los metales arsénico, cadmio, mercurio y plomo (mg/kg) registrados en *Calamagrostis rigida*



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

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

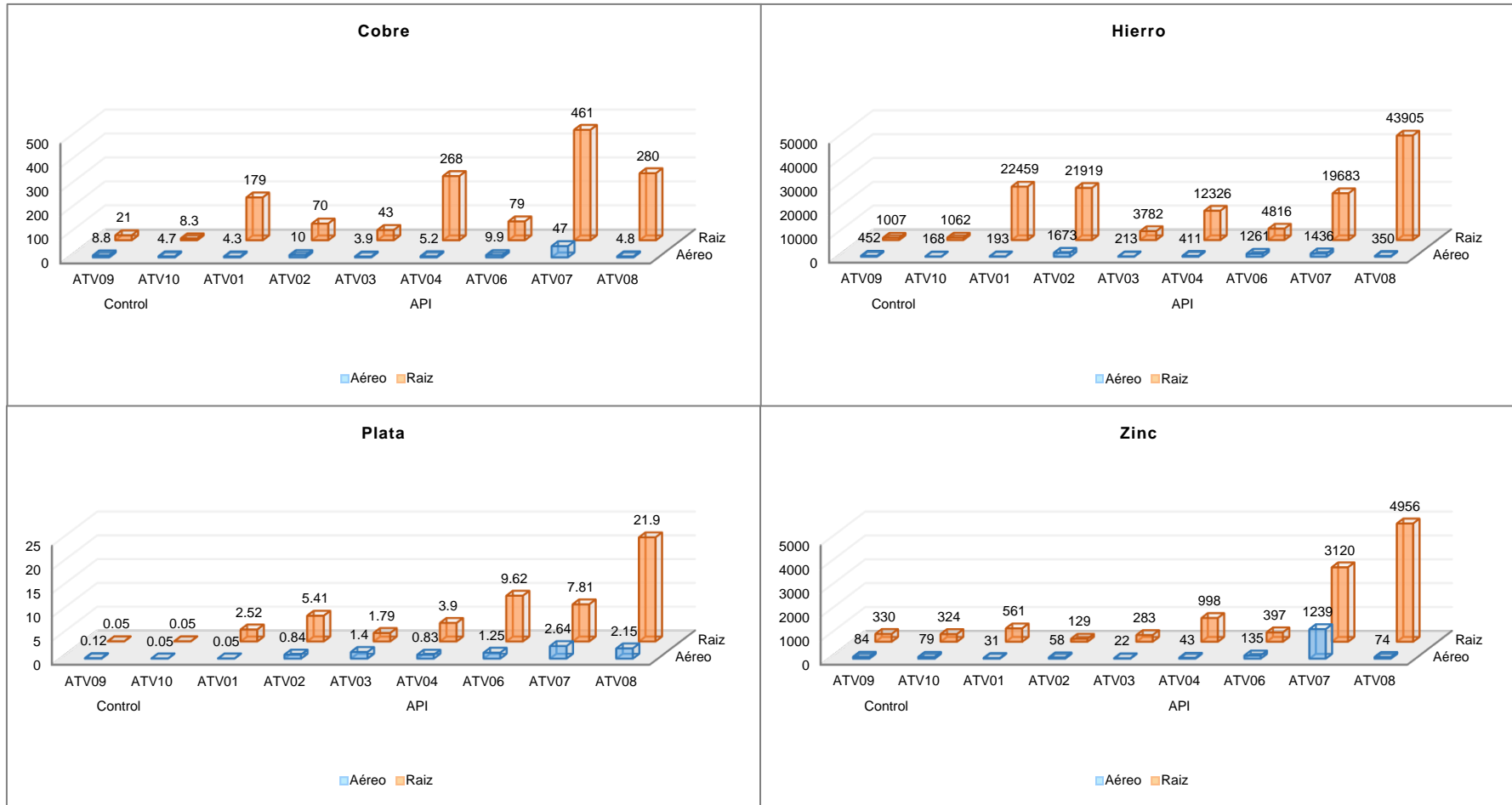


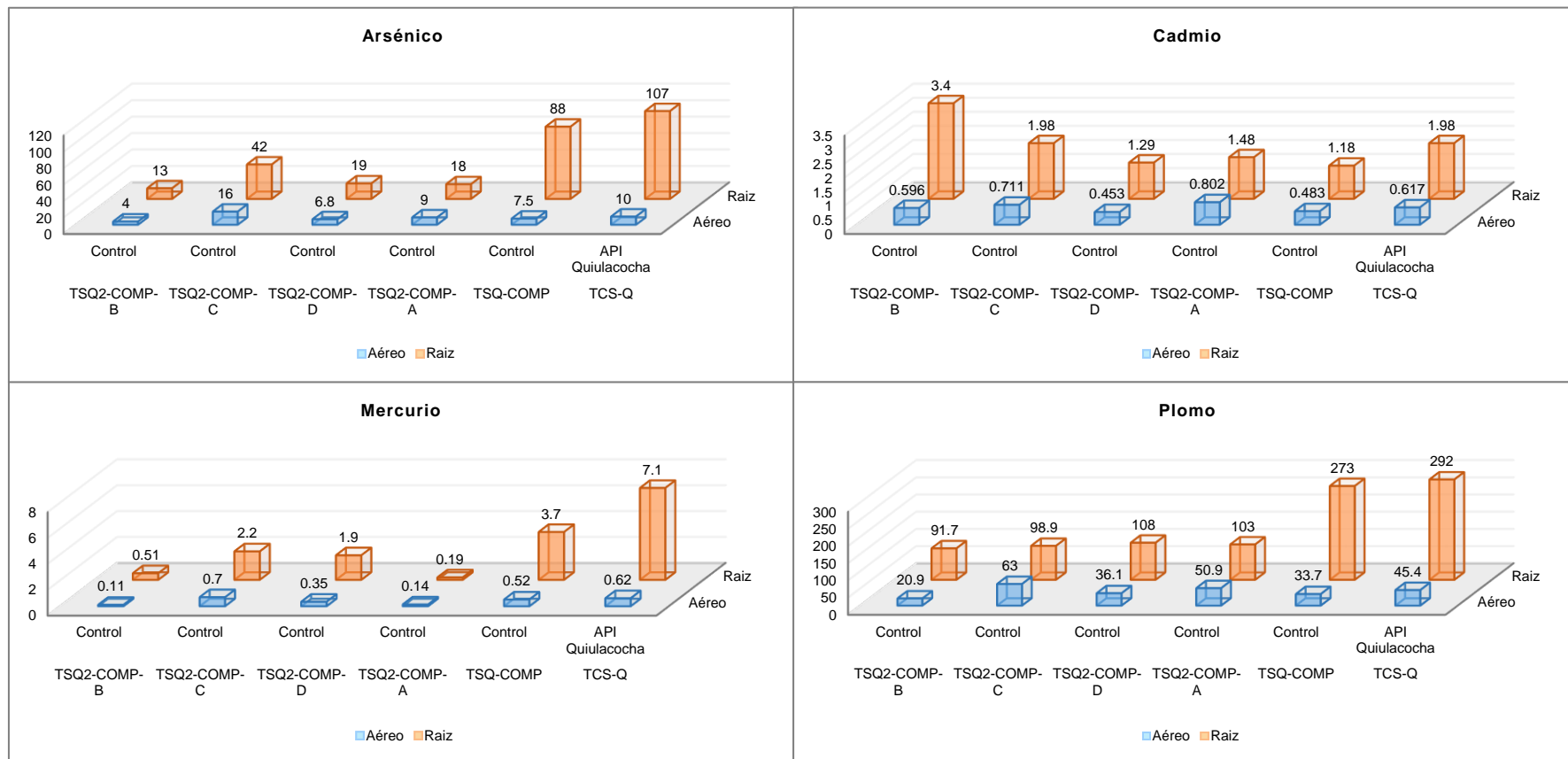
Figura 6.64. Concentración de los metales cobre, hierro, plata y zinc (mg/kg) registrados en *Calamagrostis rigida*



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

**b. Calamagrostis vicunarium**

Los resultados de la concentración de metales totales en el tejido de *Calamagrostis vicunarium*, muestra una concentración variada en los diferentes puntos de evaluación. Los resultados para ocho de los metales evaluados se muestran en las Figuras 6.65 y 6.66.



**Figura 6.65.** Concentración de los metales arsénico, cadmio, mercurio y plomo (mg/kg) registrados en *Calamagrostis vicunarium*



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

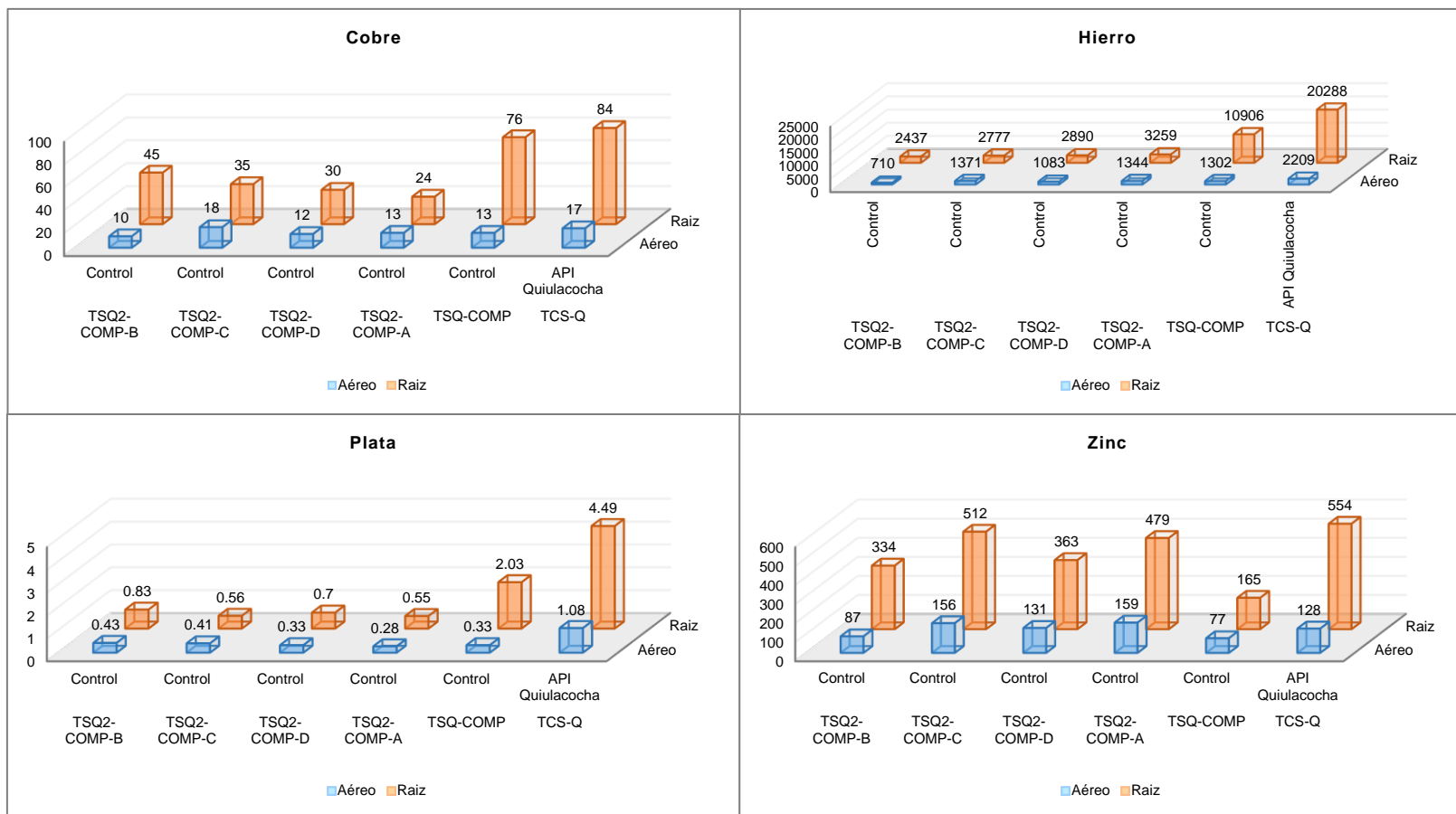


Figura 6.66. Concentración de los metales cobre, hierro, plata y zinc registrados en *Calamagrostis vicunarum*



### Análisis de correlación

Se realizó el análisis de correlación entre las muestras de tejido vegetal y el suelo donde desarrolla. Se determinó que metales analizados en la raíz de *Calamagrostis rigida* y suelo, tienen correlación positiva con valores del coeficiente de Spearman que varían desde 0,11 hasta 0,96; sin embargo, los metales cobre ( $r = 0,93$ ,  $p < 0.05$ ), plata ( $r = 0,75$ ,  $p < 0.05$ ) y zinc ( $r = 0,96$ ,  $p < 0.05$ ) presentan una correlación estadísticamente significativa (Tabla 6.36).

**Tabla 6.36.** Relación entre la concentración de metales detectados en la raíz de *Calamagrostis rigida* y suelos

Parámetros	Metales								
	Arsénico	Bario	Cadmio	Cobre	Hierro	Mercurio	Plata	Plomo	Zinc
Coeficiente de correlación de Spearman	0,43	0,71	0,68	0,93	0,11	0,56	0,75	0,68	0,96
Significancia p	0,34	0,07	0,09	0	0,82	0,19	0,05	0,09	0

La correlación entre los metales analizados en la parte aérea de *Calamagrostis rigida* y suelo, no presentan una correlación estadísticamente significativa en ninguna de los metales analizados (Tabla 6.37).

**Tabla 6.37.** Relación entre la concentración de metales detectados en la parte aérea de *Calamagrostis rigida* y suelos

Parámetros	Metales								
	Arsénico	Bario	Cadmio	Cobre	Hierro	Mercurio	Plata	Plomo	Zinc
Coeficiente de correlación de Spearman	-0,21	-0,32	0,61	0,25	-0,07	0,07	0,43	0,11	0,29
Significancia p	0,64	0,48	0,15	0,59	0,88	0,88	0,34	0,82	0,53

### Contenido de sustancias indeseables según el Real Decreto 465/2003 en el análisis de tejido vegetal

Los resultados de concentración de metales fueron comparados referencialmente con valores de estudios mencionados en el ítem 5.4.1.11 Criterios de evaluación, donde se detalla el contenido máximo de los metales de arsénico, cadmio, mercurio y plomo establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española. La comparación solo se realizó con los resultados de metales obtenidos en la parte aérea (hojas y tallo).

Los resultados de metales totales de *Calamagrostis rigida*, superaron referencialmente el contenido máximo del metal arsénico, cadmio, mercurio y plomo, establecidos en el Real Decreto 465/2003, en el punto ATV07; arsénico mercurio y plomo en el punto ATV02; arsénico y plomo en el punto ATV06; y arsénico en el punto ATV08 (Tabla 6.38).





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

**Tabla 6.38.** Metales totales en la parte la parte aérea de *Calamagrostis tarmensis* en relación con los valores de arsénico, cadmio, mercurio y plomo establecidos en el Real Decreto 465/2003

Zona de muestreo	API Quiulacocho							Control		Real Decreto 465/2003 <sup>(1)</sup>
Código	ATV01	ATV02	ATV03	ATV04	ATV06	ATV07	ATV08	ATV09	ATV10	Sustancias indeseables en la alimentación animal (mg/kg) <sup>(2)</sup>
Arsénico Total	0,94	7,6	1,6	1,9	6,6	5,2	3,6	3,3	1,1	2
Cadmio Total	0,28 3	0,26 9	0,13 4	0,23 5	0,84 8	2,38	0,51 8	0,22 3	0,163	1
Mercurio Total	0,04	0,13	0,06	0,06	0,05	0,16	0,05	0,16	0,15	0,1
Plomo Total	5,64	32,8	8,01	15,3	43	42,6	20,9	18,2	5,49	30
Exceden los valores del Real Decreto 465/2003										

(<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

(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 %

Las concentraciones de metales totales de la parte aérea (hojas y tallos) de *Calamagrostis vicunarum*, superaron referencialmente el contenido máximo del metal arsénico, cadmio, mercurio y plomo, establecidos en el Real Decreto 465/2003, en el punto ATV07; arsénico mercurio y plomo en el punto ATV02; arsénico y plomo en el punto ATV06; y arsénico en el punto ATV08 (Tabla 6.39).

**Tabla 6.39.** Metales totales en la parte la parte aérea de *Calamagrostis vicunarum* en relación con los valores de arsénico, cadmio, mercurio y plomo establecidos en el Real Decreto 465/2003

Zona de muestreo	API Quiulacocho	CONTROL					Real Decreto 465/2003 <sup>(1)</sup>
Código	TCS-Q	TSQ-COMP	TSQ2-COMP-B	TSQ2-COMP-C	TSQ2-COMP-D	TSQ2-COMP-A	Sustancias indeseables en la alimentación animal (mg/kg) <sup>(2)</sup>
Arsénico Total	10	7,5	4	16	6,8	9	2
Cadmio Total	0,617	0,483	0,596	0,711	0,453	0,802	1
Mercurio Total	0,62	0,52	0,11	0,7	0,35	0,14	0,1
Plomo Total	45,4	33,7	20,9	63	36,1	50,9	30
Exceden los valores del Real Decreto 465/2003							

(<): Resultado por debajo del límite de cuantificación del método de ensayo

(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 %



### 6.4.2. Fauna

#### 6.4.2.1. Anfibios y reptiles

##### Composición y abundancia de las especies de anfibios y reptiles

En las evaluaciones realizadas en el ámbito del PAM Quiulacocha se registraron 2 especies de anfibios (Clase Amphibia) que pertenecen al orden Anura y se distribuyen entre las familias Hemiphractidae y Leptodactylidae, cada una con una especie (Tabla 6.40). No se registró ningún reptil (Clase Reptilia).

**Tabla 6.40.** Especies de anfibios y reptiles registrados en el área de estudio

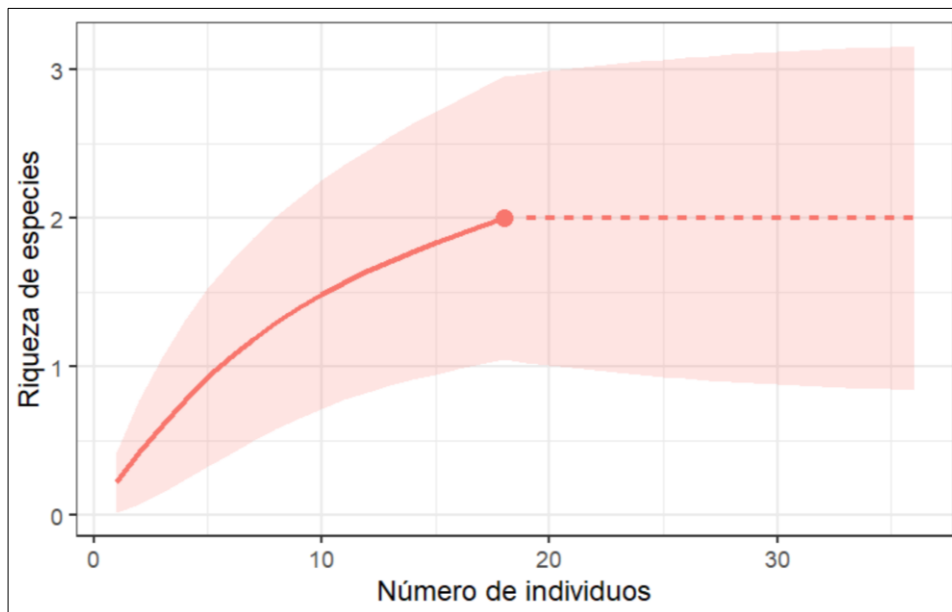
Clase	Orden	Familia	Especie	Nombre en español*
Amphibia	Anura	Hemiphractidae	<i>Gastrotheca peruana</i>	Rana marsupial de Perú
		Leptodactylidae	<i>Pleurodema marmoratum</i>	Sapo de cuatro ojos marmóreo

\*Traducido al español de Frost 2020

En el ámbito del proyecto en general la abundancia de anfibios fue baja, se registraron en total 7 individuos, siendo la especie más abundante *Pleurodema marmoratum* con 5 y la menos abundante *Gastrotheca peruana* de la que se registraron solo 2 individuos.

##### Esfuerzo de muestreo

En el área de estudio se realizaron 18 búsquedas por encuentro visual – VES que representan 9 horas-hombre de esfuerzo de muestreo, realizadas por un solo evaluador. La curva de acumulación se estabiliza en una asíntota logrando alcanzar una cobertura de muestreo del 75% (Figura 6.67), que indica una buena representatividad del muestreo realizado.



**Figura 6.67.** Curva de diversidad de especies



### Diversidad y composición de anfibios y reptiles por zona evaluación

Solo se registraron anfibios en la zona control por ello presenta la mayor diversidad, con dos especies registradas. Al realizar el análisis a nivel de formación vegetal, las formaciones de bofedal y césped de puna, que se encontraron solo en la zona control, presentaron similar diversidad con una especie cada una. Pero en el bofedal se registró la mayor abundancia con 5 individuos de la especie *Pleurodema marmoratum* (1 adulto y 5 juveniles), en césped de puna solo se registraron los 2 individuos de *Gastrotheca marsupiata*. Por el contrario, las formaciones de roquedal y pajonal no registraron ninguna especie (Figura 6.68).

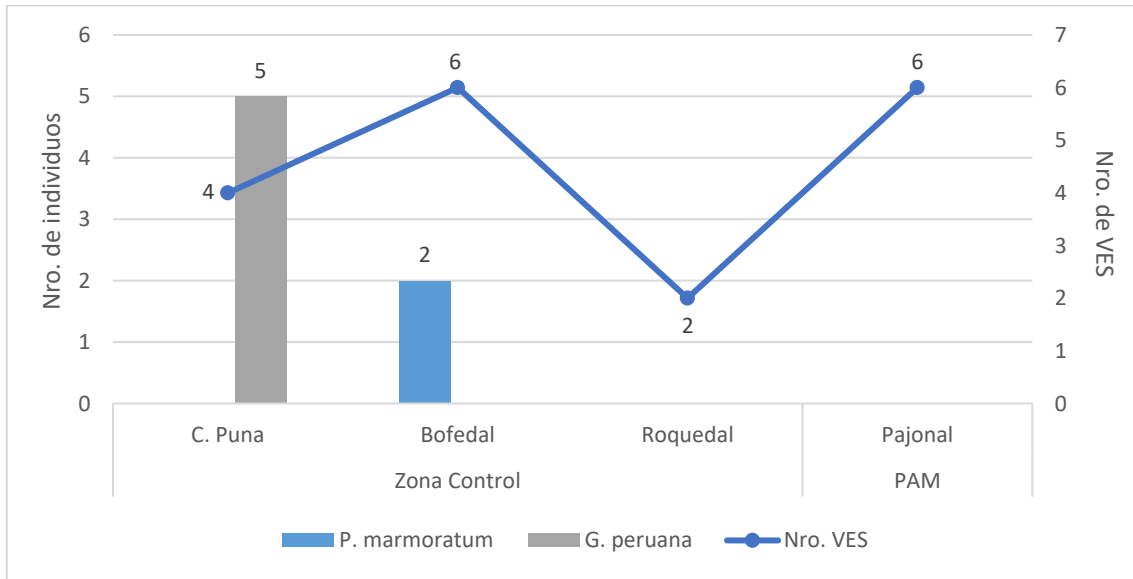


Figura 6.68. Abundancia de las especies de anfibios en la zona control por formación vegetal

### Especies amenazadas, endémicas e importancia científica

De acuerdo con la categorización de la Unión Internacional de la Naturaleza (IUCN 2020) y del D.S. N.º 004-2014-MINAGRI «Categorización Nacional de Especies Amenazadas de Fauna Silvestre», no se registró ninguna especie en alguna categoría de amenaza.

*Gastrotheca peruana* es una especie endémica de Perú, que se distribuye entre los departamentos de Ancash, Lima, Pasco y Junín (Rodríguez *et al.*, 2019). Es considerada una especie de Preocupación menor (LC) debido su amplia distribución, tolerancia a diferentes tipos de hábitats y población abundante (IUCN, 2020).

### Monitoreo acústico de anfibios

Se instalaron 5 grabadoras que realizan grabaciones automáticas de 1 minuto cada 10 minutos, con la finalidad de determinan mediante el registro de cantos la presencia de alguna especie de anfibio que no haya sido registrado durante las evaluaciones de VES, sin embargo, no se registró ninguna especie de anfibio mediante esta metodología.

Se instalaron 2 grabadoras en el PAM Quiulacocha que estuvieron activadas durante 6 días, obteniendo un total de 1362 grabaciones. Si bien no se registró alguna especie de anfibio, se determinó que la biofonía o el componente biótico del paisaje acústico (sonido producido



por animales silvestres) en esta localidad está compuesto principalmente por cantos de aves cuya actividad fue mayor entre las 5:30 – 6:00 de la mañana y por la tarde entre las 17:00 – 18:00 horas. La geofonía que incluye los sonidos naturales estuvo principalmente compuesto por el viento, cubriendo la mayor parte del espacio acústico en determinadas horas. Finalmente, la antropofonía, que involucra todos los sonidos producidos por el hombre, en el PAM Quiulacocha está compuesto principalmente por el ruido producido por la actividad y movimiento de vehículos de transporte y maquinaria pesada (bocinas, alarmas, etc), estos sonidos ocupan principalmente el espacio espectral menor a 2 KHz, registrándose también el ladrido de los perros.

En la zona control se instalaron 3 grabadoras que estuvieron activas durante 5 días, obteniéndose un total de 1697 grabaciones. En esta zona también se determinó que la biofonía está compuesta por aves, que presentan similar actividad que la registrada en el PAM Quiulacocha. La geofonía también está compuesta principalmente por el viento y el antropofonía, que parece tener menor actividad, está compuesto por el ladrido de perros y el sonido producido por vehículos al transitar.

### Concentración de metales, metaloides y cianuro en anfibios

Se capturaron 2 anfibios para la detección de metales, todos en la zona control. Se tomaron muestras de las 2 especies registradas de *Pleurodema marmoratum* en el VES AM-He-V21 y *Gastrotheca marsupiata* en AM-He-V22.

En todas las muestras de anfibios se cuantificaron 30 metales y metaloides, así como cianuro; sin embargo, solo 19 se incluyeron en los análisis (Tabla 6.41). Para elegir estos elementos se consideraron aquellos que, según estudios previos, pueden tener efectos negativos en los anfibios, también se incluyeron los metales contemplados en los estándares de calidad de suelo y sedimentos CEGQ - SG (Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health) y finalmente se incluyeron los metales que fueron detectados en las muestras de anfibios y suelos. Los 19 metales elegidos alcanzaron el límite de cuantificación en las dos muestras, excepto el litio que no fue detectado en la muestra de *Gastrotheca peruana* (Tabla 6.41).

Las concentraciones de metales en los dos individuos capturados presentaron una variación similar, en ambas el hierro es el elemento más abundante con una concentración promedio de 73,61 mg/kg mg/kg, seguida de zinc con 41,8 mg/kg. El resto de los elementos alcanzaron valores menores a 7 mg/kg (Tabla 6.41), siendo el orden relativo de concentración el siguiente: Fe > Zn > Sr > Si > Ba > Al > Cu > Mn > As > Pb > Se > Cr > CN > Sn > Cd > Hg > Ni > Co > Sb > Li.

La mayoría de los metales presentaron una mayor concentración en la especie *Pleurodema marmoratum*, siendo entre 0,41 % y 266,46 % mayores que en *Gastrotheca peruana* (Tabla 6.2). Solo el bario, cobre, antimonio y selenio estuvieron en mayores concentraciones en la especie *Gastrotheca peruana* (Tabla 6.41).

El orden relativo de concentración de metales en cada una de las especies varía después del silicio, mostrando el siguiente ordenamiento:

*G. peruana*: Fe > Zn > Sr > Si > Ba > Al > Cu > Mn > As > Pb > Se > Cr > CN > Sn > Cd > Hg > Ni > Co > Sb > Li.



*P. marmoratum*: Fe > Zn > Sr > Si > Al > Ba > Cu > Mn > Pb > As > Cr > Se > Hg > Sn > Cd > Ni > Li > Co > Sb.

**Tabla 6.41.** Acumulación de metales en especies de anfibios

Cod, Muestra	AM-He-V21	AM-He-V22*	Promedio	Diferencia Porcentual A vs, B
Especie	<i>G. peruana</i> <sup>A</sup> (n = 1)	<i>P. marmoratum</i> <sup>B</sup> (n = 1)		
Metales (mg/kg)				
Al	3,987	6,473	5,23	62,35 %
As	0,8788	0,9118	0,9	3,76 %
Ba	5,478	3,054	4,27	-44,25 %
Cd	0,0924	0,1557	0,12	68,51 %
Co	0,0507	0,0507	0,05	0 %
Cr	0,4967	0,8395	0,67	69,02 %
Cu	3,538	2,982	3,26	-15,72 %
Fe	73,61	73,49	73,55	-0,16 %
Hg	0,0793	0,2906	0,18	266,46 %
Li	0,0437	0,0528	0,05	20,82 %
Mn	2,374	2,832	2,6	19,29 %
Ni	< 0,0656	0,0656	0,07	0 %
Pb	0,8063	1,007	0,91	24,89 %
Sb	0,0458	0,0411	0,04	-10,26 %
Se	0,6152	0,3546	0,48	-42,36 %
Si	6,714	9,473	8,09	41,09 %
Sn	0,1754	0,1754	0,18	0 %
Sr	6,754	11,01	8,88	63,01 %
Zn	41,8	41,97	41,89	0,41 %
Cianuro (mg CN/kg)				
Cianuro	0,32	3,521	41,89	100,41 %

#### 6.4.2.2. Aves

Se obtuvieron muestras de plumas de 21 aves que pertenecen a 8 especies, 6 familias y 4 órdenes. De las 21 muestras, 13 fueron colectadas en el área de influencia del PAM Quiulacocha (Zona II), y 8 en una zona control en la comunidad campesina Quiulacocha 02, aproximadamente a 1,6 km. De todas las especies evaluadas, solo 1 pudo ser capturada en ambas zonas de muestreo: el Churrete de ala crema (*Cinclodes albiventris*). En la zona II se capturaron 9 individuos, mientras que, en la zona control se capturaron 5 individuos (Tabla 6.42).

**Tabla 6.42.** Número de muestras colectadas por especie en el área de influencia del PAM Quiulacocha y Zona Control

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Zona	N° de muestras*
Anseriformes	Anatidae	<i>Anas flavirostris</i>	Pato barcino	Control	1



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

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Zona	N° de muestras*
Charadriiformes	Scolopacidae	<i>Gallinago andina</i>	Becasina de la puna	Zona II	1
Piciformes	Picidae	<i>Colaptes rupicola</i>	Carpintero andino	Control	1
Passeriformes	Emberizidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrión de collar rufo	II	1
	Furnariidae	<i>Asthenes humilis</i>	Canastero de garganta rayada	Zona II	1
		<i>Cinclodes albiventris</i>	Churrete de ala crema	Zona II	9
			Control	5	
	<i>Upucerthia validirostris</i>	Bandurrita de pecho anteado	Zona II	1	
Tyrannidae	<i>Muscisaxicola griseus</i>	Dormilona de Taczanowski	Control	1	
4 órdenes	6 familias	8 especies		2 zonas	21 muestras

\*Cada muestra equivale a plumas de 1 individuo.

Se cuantificaron 30 metales y cianuro en todas las muestras de plumas, pero para los análisis se consideraron solo aquellos que superaron los estándares de calidad de suelo, de agua, y aquellos metales en donde se notó una diferencia marcada entre zonas de muestreo. También se excluyeron los metales que fueron detectados por debajo del límite de cuantificación en la mayoría de las muestras. Los metales considerados en los análisis fueron: aluminio, arsénico, bario, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio y zinc.

Debido a que solo se pudo obtener una muestra de cada especie, a excepción de *Cinclodes albiventris*, que se obtuvieron 14 muestras (9 en la zona II y 5 en la zona control), los resultados se presentan: a nivel de todas las especies capturadas, y una comparativa entre las muestras de *C. albiventris* de ambas zonas de muestreo evaluadas.

### Concentración de metales en aves (especies agrupadas)

Independientemente de la especie (y de la zona de muestreo, en el caso de *Cinclodes albiventris*), las concentraciones de metales variaron principalmente en el siguiente orden: Fe > Al > Zn > Mn > As > Cu > Ba > Pb > Hg > Cr > Se > Ni > Ag > Cd. En la Figura 6.69 se muestran las concentraciones de metales en plumas de las 8 especies de aves. En el caso de *Cinclodes albiventris* se muestra también las medias por zona de muestreo (*C. albiventris* Quiulacocho = 9 individuos; *C. albiventris* Control = 5 individuos).



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

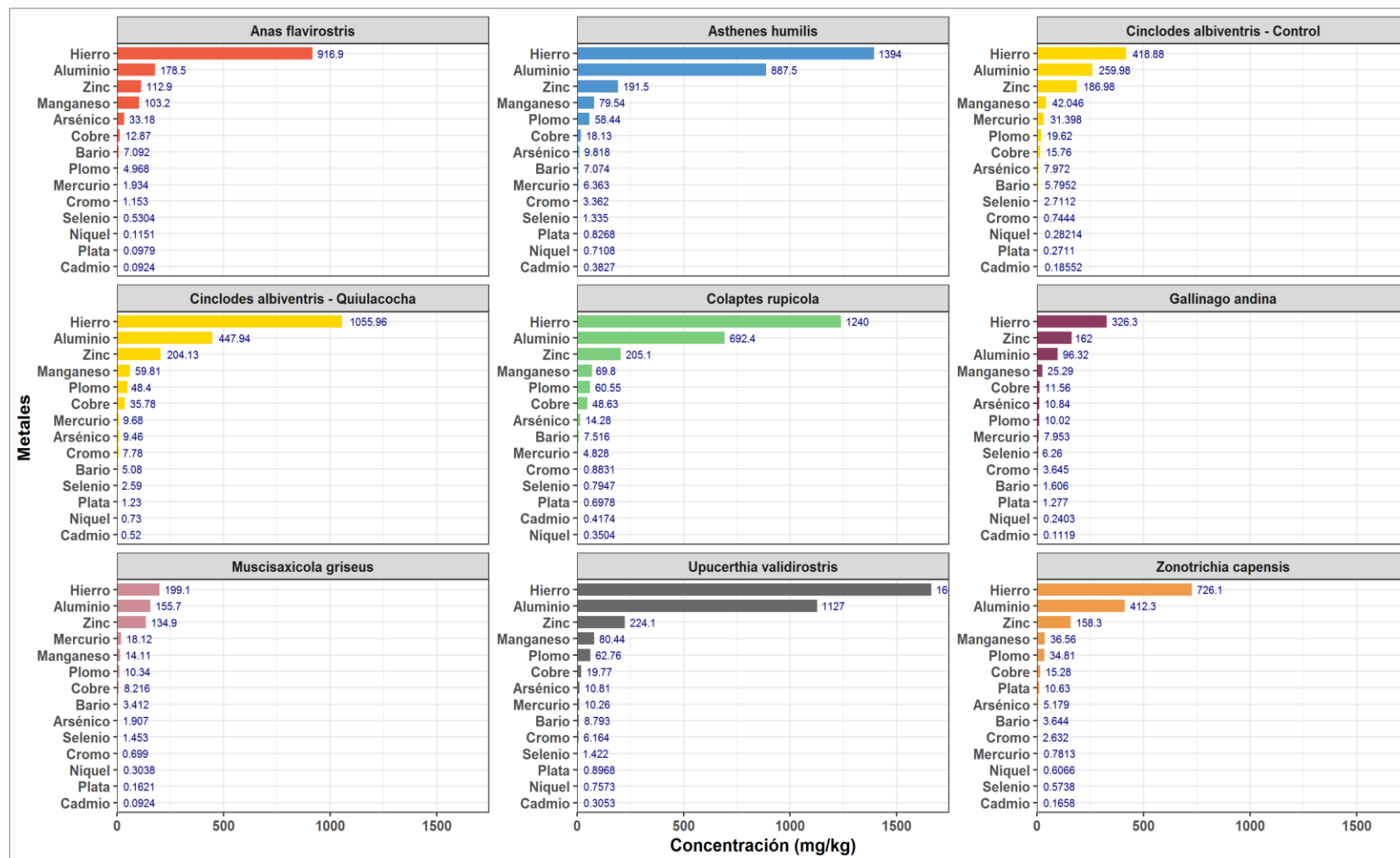


Figura 6.69. Concentración de metales (mg/kg) en plumas por especie en el área de influencia del PAM Quiulacochoa y Zona control

**Comparación de la concentración de metales en plumas de *Cinclodes albiventris* entre zonas de muestreo**

Las pruebas de Mann-Whitney mostraron diferencias significativas en 10 de los 14 metales analizados entre zonas de muestreo para *Cinclodes albiventris*. Los metales que mostraron diferencias fueron: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Ni, Ag y Pb, y los que no mostraron diferencias fueron: As, Ba, Se y Zn. Los valores de las pruebas de Mann-Whitney y valores de significancia se muestran en la Tabla 6.43.

**Tabla 6.43.** Valores de la prueba de Mann-Whitney para la concentración de metales en plumas de *Cinclodes albiventris* entre zonas de muestreo

Metal	Mediana (PAM Quiulacocha) N = 9	Mediana (Zona control) N = 5	Valor de Mann-Whitney (W)	p-value
Al	419,8	275,4	41	0,01
As	8,97	7,218	34	0,15
Ba	4,77	5,83	14	0,30
Cd	0,47	0,15	45	0,0009
Cr	6,53	0,76	45	0,0009
Cu	20,31	15,01,	41	0,01
Fe	1066	408,8	45	0,0009
Mn	59,3	39,79	38	0,04
Hg	9,21	34,47	1	0,001
Ni	0,69	0,26	44	0,001
Ag	1,33	0,28	45	0,0009
Pb	50,9	19,31	45	0,0009
Se	2,32	2,38	18	0,6
Zn	203,3	194,2	34	0,15

Al analizar los metales que presentaron diferencias significativas, se pudo observar lo siguiente:

- La concentración de Al en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II (PAM Quiulacocha) que en la Zona Control (Al<sub>Quiulacocha</sub> = 447,94 ± 170,38; Al<sub>Control</sub> = 259,98 ± 39,95 (media ± desviación estándar)).
- La concentración de Cd en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II que en la Zona Control (Cd<sub>Quiulacocha</sub> = 0,52 ± 0,24; Cd<sub>Control</sub> = 0,19 ± 0,06).
- La concentración de Cr en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II que en la Zona Control (Cr<sub>Quiulacocha</sub> = 7,78 ± 4,94; Cr<sub>Control</sub> = 0,74 ± 0,31).
- La concentración de Fe en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II que en la Zona Control (Fe<sub>Quiulacocha</sub> = 1055,96 ± 173,82; Fe<sub>Control</sub> = 418,88 ± 73,84).
- La concentración de Mn en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II que en la Zona Control (Mn<sub>Quiulacocha</sub> = 59,81 ± 17,24; Mn<sub>Control</sub> = 42,05 ± 8,89).
- La concentración de Hg en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona Control que en la Zona II (Hg<sub>Control</sub> = 9,68 ± 5,71; Hg<sub>Zona II</sub> = 31,40 ± 11,65).
- La concentración de Ni en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II que en la Zona Control (Ni<sub>Quiulacocha</sub> = 0,73 ± 0,19; Ni<sub>Control</sub> = 0,28 ± 0,17).
- La concentración de Ag en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II que en la Zona Control (Ag<sub>Quiulacocha</sub> = 1,23 ± 0,52; Ag<sub>Control</sub> = 0,27 ± 0,06).
- La concentración de Pb en plumas de *C. albiventris* fue mayor en la Zona II que en la Zona Control (Pb<sub>Quiulacocha</sub> = 48,4 ± 7,10; Pb<sub>Control</sub> = 19,62 ± 4,85).





Las diferencias de las concentraciones de metales en plumas de *C. albiventris* por zonas de muestreo se presentan en la Figura 6.70.

En la Figura 6.70 se puede observar también que las concentraciones de As y Zn son mayores en la Zona II, y que las concentraciones de Ba y Se son mayores en la Zona Control. Sin embargo, de acuerdo con la prueba de Mann-Whitney, no existen diferencias significativas entre las zonas de muestreo para estos metales.

Por otro lado, el análisis de componentes principales (ACP) de la concentración de metales en plumas de *Cinclodes albiventris* por zona de muestreo indicó que la variabilidad puede ser explicada al 66,3% en dos componentes, y al 78,6 % en tres componentes (Figura 6.71) El componente 1 contribuye con 45,6%, el componente 2 con 20,7%, y el componente 3 con 12,3 %. La representación gráfica de las variables en el espacio indica que los puntos de muestreo forman dos grupos notorios: los puntos de muestreo del PAM Quiulacocha graficados en azul, y los puntos de muestreo de la zona control graficados en amarillo.

En cuanto a las variables y sus ubicaciones, se puede observar que, en el primer componente el mercurio se encuentra en el lado positivo, mientras que, en el lado negativo del eje hay asociaciones entre el hierro, plomo, níquel, cadmio y aluminio. En el segundo componente se observa una correlación negativa entre el selenio y bario. Por último, en el tercer componente se observa una correlación negativa entre el cromo y arsénico. En general, se puede observar cómo los metales están asociados a los puntos de muestreo del PAM Quiulacocha (Figura 6.71).



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

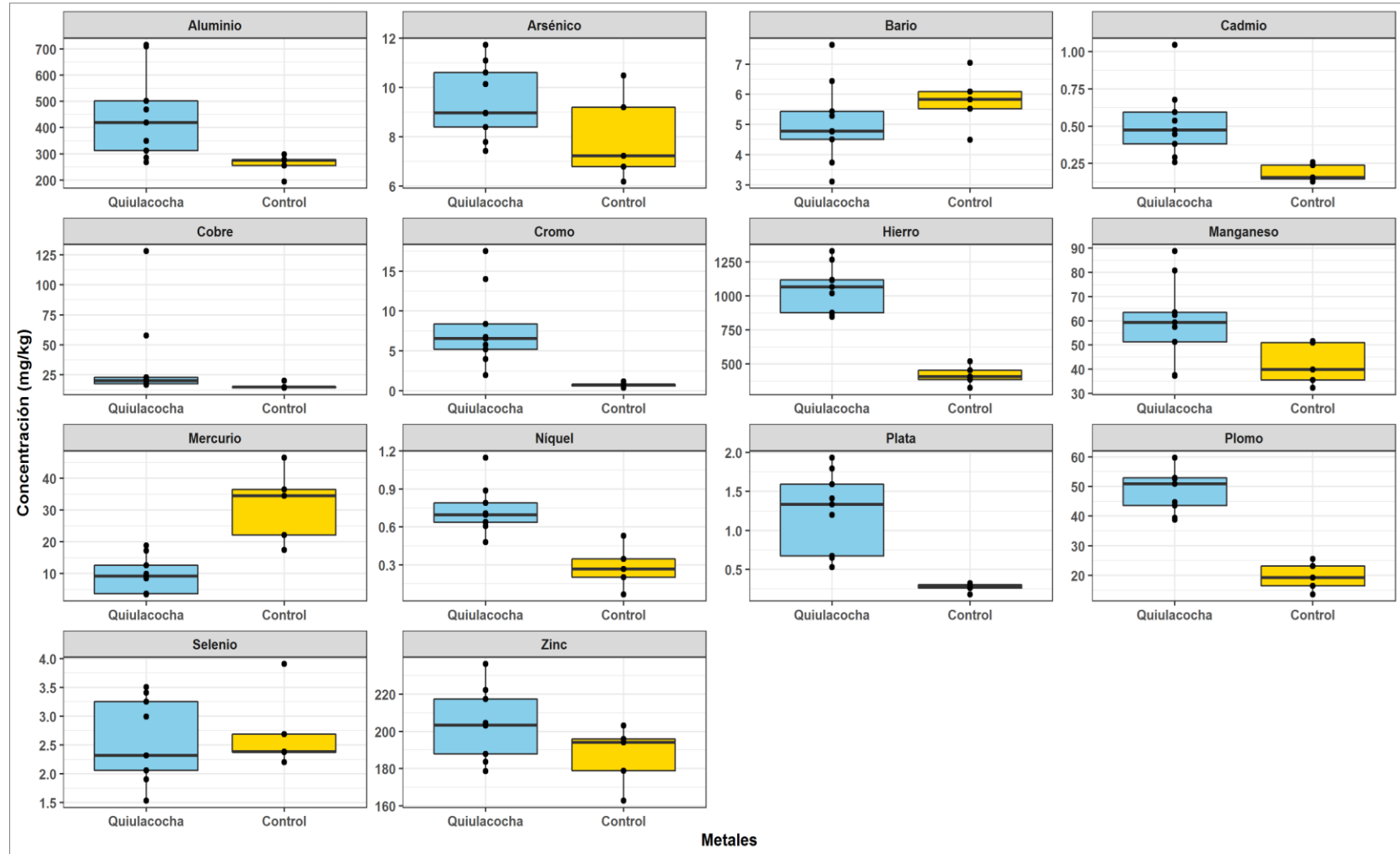


Figura 6.70. Concentración de metales en plumas de *Cinclodes albiventris* por zona de muestreo



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

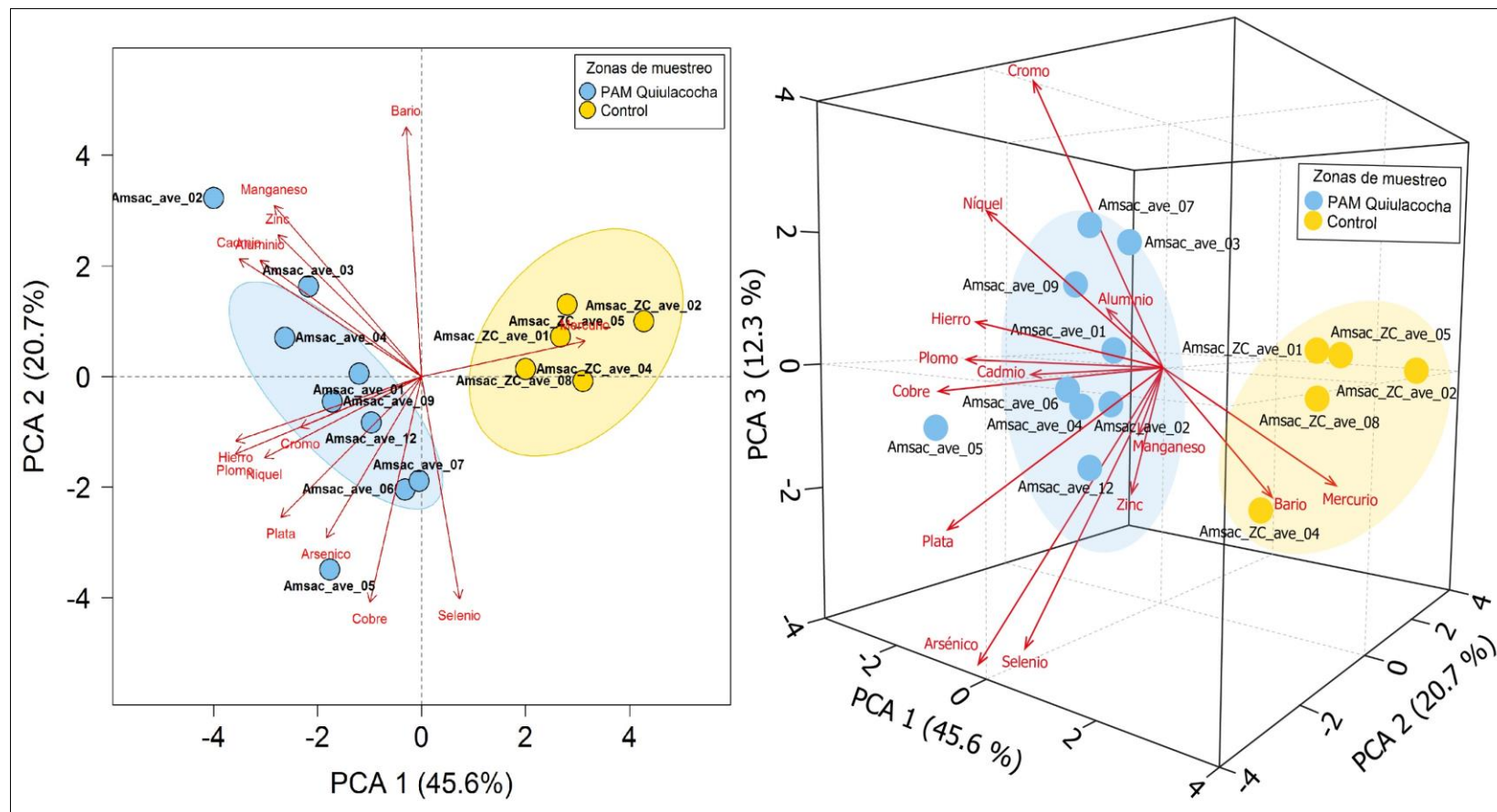


Figura 6.71. Análisis de componentes principales (PCA) de metales registrados en plumas de *Cinclodes albiventris*. Izquierda: componentes 1 y 2. Derecha: componentes 1, 2 y 3.

**Comparación del peso y medidas morfométricas de *Cinclodes albiventris* entre zonas de muestreo**

Se tomaron medidas morfométricas y peso de los individuos de *C. albiventris* capturados en ambas zonas de muestreo (Tabla 6.44).

**Tabla 6.44.** Peso y medidas morfométricas de individuos de *Cinclodes albiventris* capturados en el área de estudio

Zona de muestreo	ID de muestra	Peso	Long. tarso	Long. pico-narina	Long. Ala	Long. Cola
PAM Quiulacocho	Amsac_ave_01	27	27,6	11,6	8,6	6,4
	Amsac_ave_02	28	27,6	10,9	8,9	6,9
	Amsac_ave_03	28	27,7	11,2	8,6	6,4
	Amsac_ave_04	28	27,6	12,1	9,4	6,8
	Amsac_ave_05	28	27,6	11,8	9,6	6,7
	Amsac_ave_06	27	27,5	11,7	9,5	6,6
	Amsac_ave_07	27	26,4	11,7	9,5	6,8
	Amsac_ave_09	25	25,8	11,6	8,8	6,2
Zona control	Amsac_ZC_ave_01	28	27,8	11	9,2	6,5
	Amsac_ZC_ave_02	30	27,7	11,6	9,3	6,8
	Amsac_ZC_ave_04	29	27,5	12,1	9,6	6,6
	Amsac_ZC_ave_05	29	27,4	11,9	9,7	6,4
	Amsac_ZC_ave_08	28	27,9	12	9,4	6,2

Con los datos de peso y medidas morfométricas se realizaron pruebas de Mann Whitney para determinar si existen diferencias en los individuos de *C. albiventris* entre zonas de muestreo, encontrándose diferencias significativas solo en el peso (Tabla 6.45, Figura 6.72).

**Tabla 6.45.** Valores de la prueba de Mann-Whitney para el peso y medidas morfométricas de individuos de *Cinclodes albiventris* entre zonas de muestreo

Parámetro	Mediana (PAM Quiulacocho) N = 9	Mediana (Zona control) N = 5	Valor de Mann-Whitney (W)	p-value
Peso	28	29	7	0,03
Longitud de tarso	27,6	27,7	17	0,49
Longitud de pico-narina	11,7	11,9	16,5	0,45
Longitud de ala	9,2	9,4	12,5	0,20
Longitud de cola	6,7	6,5	29	0,41

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

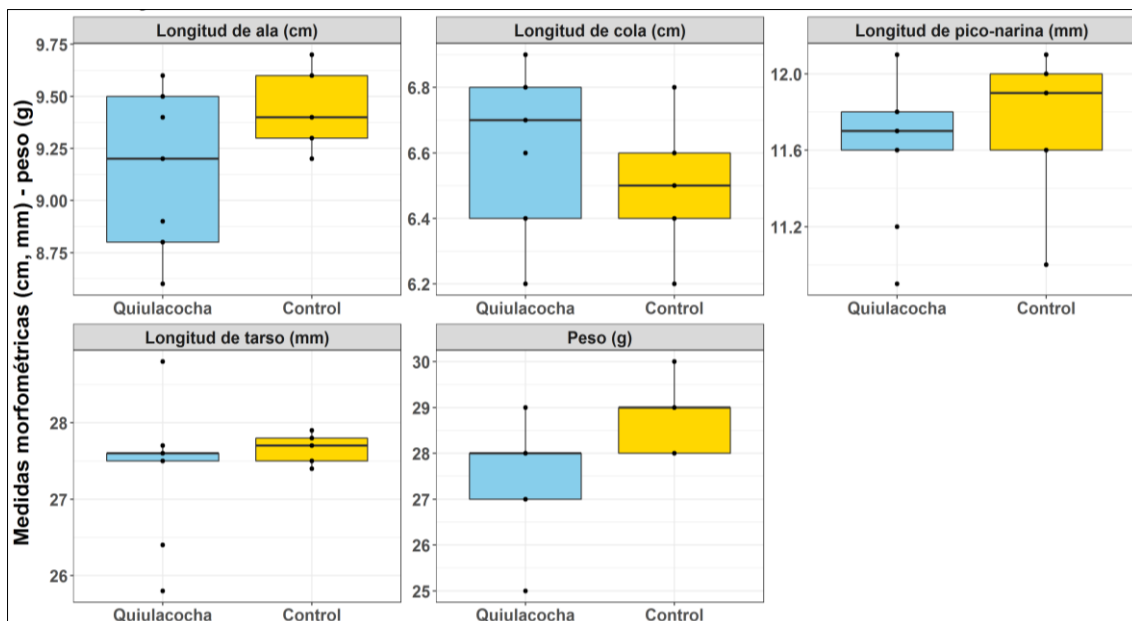


Figura 6.72. Medidas morfométricas (cm, mm) y peso (g) de individuos de *Cinclodes albiventris* por zona de muestreo

### Especies de aves amenazadas y endémicas

De acuerdo con la categorización de la Unión Internacional de la Naturaleza (IUCN 2020) y del D.S. N.º 004-2014-MINAGRI «Categorización Nacional de Especies Amenazadas de Fauna Silvestre», no se registró ninguna especie de ave en alguna categoría de amenaza. Tampoco se registraron especies endémicas.

#### 6.4.2.3. Mamíferos menores

Durante las evaluaciones se obtuvieron muestras de tejidos de mamíferos de 18 roedores que pertenecen a 03 especies, 01 familia y 01 orden. De las 18 muestras, 10 fueron colectadas en el área del PAM Quiulacocha, y 08 en una zona control, ubicada en el centro poblado Quiulacocha 02, aproximadamente a 1,45 km del PAM Quiulacocha (Tabla 6.46). De todas las especies evaluadas, una especie pudo ser capturada en ambas zonas de muestreo: *Auliscomys pictus* “ratón orejón pintado”. En el PAM Quiulacocha se capturaron 7, mientras que en la Zona Control se capturaron 08 individuos.

Tabla 6.46. Especies registradas y número de muestras colectadas en el área del PAM Quiulacocha y zona control

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Zona	Nº de muestras
Rodentia	Cricetidae	<i>Abrothrix jelskii</i>	Ratón campestre de jelski	PAM Quiulacocha	2
		<i>Akodon juninensis</i>	Ratón campestre de Junín	PAM Quiulacocha	1
		<i>Auliscomys pictus</i>	Ratón orejón pintado	PAM Quiulacocha	7
				Zona control	8
1 orden	1 familia	3 especies		2 zonas	18 muestras

\*Cada muestra equivale a tejido de 1 individuo



Se cuantificaron 30 metales y cianuro en todas las muestras de tejidos, pero para los análisis se consideraron solo aquellos que superaron los estándares de calidad de suelo y CEGQ (Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health). También se excluyeron los metales que fueron detectados por debajo del límite de cuantificación en la mayoría de las muestras. Los metales considerados en los análisis fueron: aluminio (Al), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), estaño, hierro (Fe), litio (Li), magnesio (Mg), manganeso (Mn), plomo (Pb), silicio (Si) y zinc (Zn). También se incluyó al cianuro (CN) en los análisis.

### Concentración de metales en tejidos de mamíferos menores (*Auliscomys pictus*)

Con el fin de comprobar la capacidad de los mamíferos menores para reflejar las diferencias ambientales en la contaminación por metales, se analizaron roedores en un transecto en el PAM Quiulacocha y además se instaló un transecto en una zona control. Para los análisis estadísticos no se consideró a las especies: *Abrothrix jelskii* y *Akodon juninensis* por haber registrado pocos especímenes (02 y 01 respectivamente) y solo en el PAM Quiulacocha.

El magnesio (Mg), hierro (Fe) y zinc (Zn) fueron los metales que en promedio presentaron mayor concentración en los tejidos mamíferos menores en el PAM Quiulacocha. El orden relativo de concentración de metales en mamíferos menores en el PAM Quiulacocha fue: Mg > Fe > Zn > Si > Li > Cu > Sn > Al > Cr > Mn > Pb > Cd > As. Mientras que, en la zona control los metales que presentaron mayor concentración fueron el magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn) y silicio (Si), el orden de acumulación fue el siguiente: Mg > Fe > Zn > Si > Al > Cu > Mn > Cr > Se > Pb > Cd > As > Li (Tabla 6.47).

Se observó que la concentración en los tejidos del PAM Quiulacocha presentan concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, litio, manganeso, plomo, silicio y zinc más altas que la zona control (Tabla 6.47), lo que indica la bioacumulación de estos metales en mamíferos menores cercanos al PAM Quiulacocha. Las concentraciones de aluminio y magnesio en los especímenes de la zona control presentaron mayor concentración que los especímenes del PAM Quiulacocha. La mayor concentración de cianuro fue registrada en el PAM Quiulacocha (Tabla 6.47).

**Tabla 6.47.** Concentración de metales y cianuro en mamíferos menores

Metales	Lugar de Muestreo	
	PAM Quiulacocha (mg/kg)	menores zona control (mg/kg)
Aluminio (Al)	2.41 ± 0.82 (0.83 – 3.36)	3.17 ± 0.98 (1.79 – 4.66)
Arsénico (As)	0.08 ± 0.03 (0.05 – 0.14)	0.07 ± 0.03 (0.05 – 0.13)
Cadmio (Cd)	0.51 ± 0.55 (0.09 – 1.77)	0.10 ± 0.01 (0.09 – 0.13)
Cobre (Cu)	2.74 ± 0.71 (1.51 – 3.81)	2.47 ± 0.91 (1.67 – 3.96)
Cromo (Cr)	1.12 ± 0.75 (0.28 – 2.74)	0.46 ± 0.37 (0.19 – 1.25)
Estaño (Sn)	2.55 ± 1.94 (0.35 – 4.74)	0.35 (0.35 – 0.35)
Hierro (Fe)	151.71 ± 37.54 (77.10 – 194.70)	83.24 ± 33.98 (50.40 – 134.60)
Litio (Li)	5.68 ± 4.94 (0.04 – 10.87)	0.04 (0.04 – 0.04)
Magnesio (Mg)	247.95 ± 30.54 (205.80 – 297.40)	248.96 ± 18.59 (223.20 – 184.50)
Manganeso (Mn)	1.03 ± 0.26 (0.41 – 1.34)	0.75 ± 0.33 (0.45 – 1.43)
Plomo (Pb)	0.59 ± 0.88 (0.10 – 3.04)	0.14 ± 0.15 (0.04 – 0.46)
Silicio (Si)	9.84 ± 3.91 (5.60 – 17.06)	4.64 ± 1.39 (3.08 – 7.33)
Zinc (Zn)	16.95 ± 3.13 (10.67 – 21.42)	16.62 ± 5.43 (9.68 – 24.34)
Cianuro (mg CN/kg)		



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

Metales	Lugar de Muestreo	
	PAM Quiulacocho (mg/kg)	menores zona control (mg/kg)
Cianuro	1.08 ± 0.66 (0.41 – 2.35)	1.02 ± 0.93 (0.04 – 2.70)

En la Figura 6.73 se muestran las concentraciones de metales en tejidos de mamíferos menores de las 03 especies registradas. En el caso de *Auliscomys pictus* se muestra también las medias por zona de muestreo (*A. pictus* Quiulacocho = 7 individuos; *A. pictus* Control = 8 individuos).

Se realizó una comparación de la concentración de metales y cianuro entre zonas de muestreo mediante la prueba de Mann Whitney, obteniendo como resultado diferencias significativas en la concentración en 07 de los 13 parámetros analizados. Los parámetros que mostraron diferencias ( $p < 0.05$ ) fueron: cadmio, cromo, estaño, hierro, plomo y silicio (Tabla 6.48).

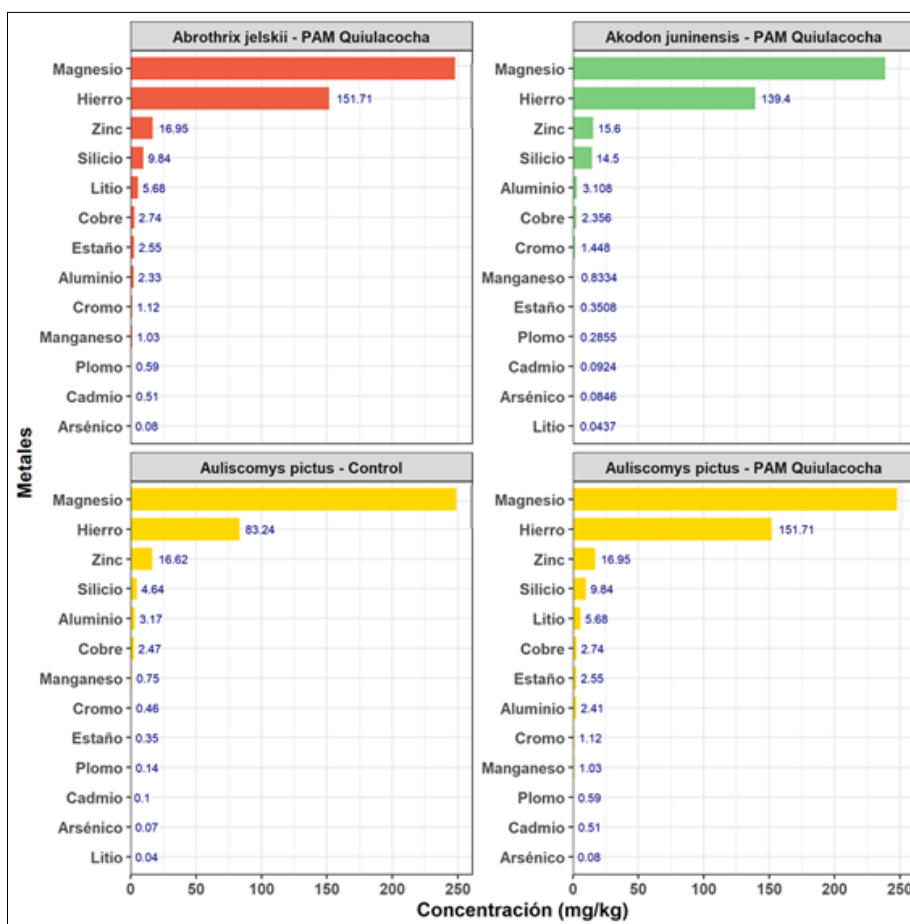


Figura 6.73. Concentración de metales en tejidos de mamíferos menores en el área de la zona control y PAM Quiulacocho

**Tabla 6.48.** Valores de la prueba de Mann-Whitney para la concentración de metales en tejidos de mamíferos menores (*Auliscomys pictus*) entre zonas de muestreo

Parámetro	Mediana (PAM Quiulacocha)	Mediana (Zona control)	Valor de Mann-Whitney (W)	p-valor
<b>Metales totales</b>				
Aluminio (Al)	2,57	3,18	96	0,0831
Arsénico (As)	0,06	0,05	66	0,3944
Cadmio (Cd)	0,26	0,09	49	0,0075*
Cobre (Cu)	2,68	2,04	66	0,4082
Cromo (Cr)	0,93	0,28	50	0,0205*
Estaño (Sn)	3,46	0,35	52	0,0226*
Hierro (Fe)	157,75	67,34	41	0,0009*
Litio (Li)	8,07	0,04	52	0,0226*
Magnesio (Mg)	237,10	249,70	79	0,8286
Manganeso (Mn)	1,06	0,60	56	0,0831
Plomo (Pb)	0,28	0,08	49	0,0150*
Silicio (Si)	9,30	4,56	40	0,0005*
Zinc (Zn)	17,06	15,33	75	0,9654
<b>Cianuro</b>				
Cianuro	0,88	0,99	73	0,8073

\*Metales que presentan diferencias significativas entre zonas de muestreo

Al analizar los metales que presentaron diferencias significativas, se pudo observar lo siguiente:

- La concentración de cadmio en tejidos de *Auliscomys pictus* fue mayor en el PAM Quiulacocha que en la Zona Control ( $Cd_{Quiulacocha} = 0,51 \pm 0,55$ ;  $Cd_{Control} = 0,10 \pm 0,01$  (media  $\pm$  desviación estándar)).
- La concentración de cromo en tejidos de *Auliscomys pictus* fue mayor en el PAM Quiulacocha que en la Zona Control ( $Cr_{Quiulacocha} = 1,12 \pm 0,75$ ;  $Cr_{Control} = 0,46 \pm 0,37$ ).
- La concentración de estaño en tejidos de *Auliscomys pictus* fue mayor en el PAM Quiulacocha que en la Zona Control ( $Sn_{Quiulacocha} = 2,55 \pm 1,94$ ;  $Sn_{Control} = 0,35$ ).
- La concentración de hierro en tejidos de *Auliscomys pictus* fue mayor en el PAM Quiulacocha que en la Zona Control ( $Fe_{Quiulacocha} = 151,71 \pm 37,54$ ;  $Fe_{Control} = 83,24 \pm 33,98$ ).
- La concentración de litio en tejidos de *Auliscomys pictus* fue mayor en el PAM Quiulacocha que en la Zona Control ( $Li_{Quiulacocha} = 5,68 \pm 4,94$ ;  $Li_{Control} = 0,04$ ).
- La concentración de plomo en tejidos de *Auliscomys pictus* fue mayor en el PAM Quiulacocha que en la Zona Control ( $Pb_{Quiulacocha} = 0,59 \pm 0,88$ ;  $Pb_{Control} = 0,14 \pm 0,15$ ).
- La concentración de silicio en tejidos de *Auliscomys pictus* fue mayor en el PAM Quiulacocha que en la Zona Control ( $Si_{Quiulacocha} = 9,48 \pm 3,91$ ;  $Pb_{Control} = 4,64 \pm 1,39$ ).

Las diferencias de las concentraciones de metales en tejidos de mamíferos menores (*Auliscomys pictus*) por zonas de muestreo se presentan en la Figura 6.74, en dicha figura se puede observar también que las concentraciones de arsénico, magnesio y manganeso son mayores en el PAM Quiulacocha, y que las concentraciones de aluminio, zinc y cianuro son mayores en la Zona Control, Sin embargo, de acuerdo con la prueba de Mann-Whitney, no existen diferencias significativas entre las zonas de muestreo para estos metales (Tabla 6.48).





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

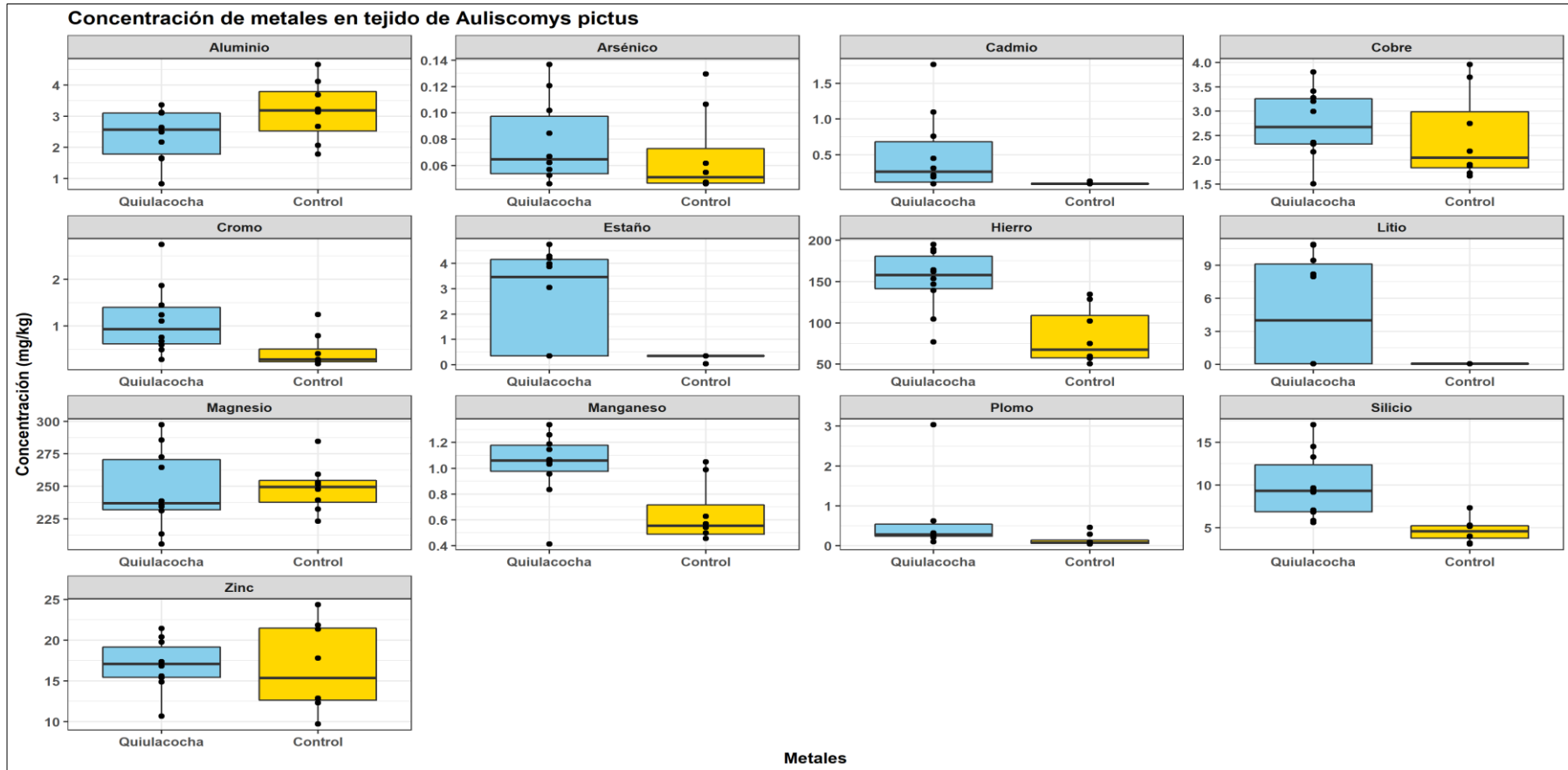


Figura 6.74. Concentración de metales (mg/kg) en tejidos de mamíferos menores (*Auliscomys pictus*) por zona de muestreo



El análisis de componentes principales (ACP) de la concentración de metales en tejidos de mamíferos menores (*Auliscomys pictus*) por zona de muestreo, se realizó considerando 13 metales (Tabla 6.48) evaluados en el PAM Quiulacocha y zona control. La variabilidad puede ser explicada al 57% en dos componentes (Figura 6.75). El componente 1 contribuye con 37,5%, mientras que, el componente 2 con 19,5%. En la representación gráfica del ACP (Figura 6.74) se puede observar las diferencias en los puntos de muestreo entre zonas de evaluación, ya que hay un agrupamiento de puntos para las muestras del PAM Quiulacocha y la zona control. Asimismo, se puede observar que las variables silicio, cromo, cadmio, manganeso, hierro, plomo, cobre, zinc, litio y estaño se encuentran en el segundo componente asociados a las muestras perteneciente al PAM Quiulacocha, en el cual se obtuvieron altas concentraciones de metales respecto a los demás puntos de muestreo. En el ACP también se puede observar que los metales como aluminio, magnesio y arsénico se encuentran en el primer componente asociados a los puntos de muestreo de la zona control.

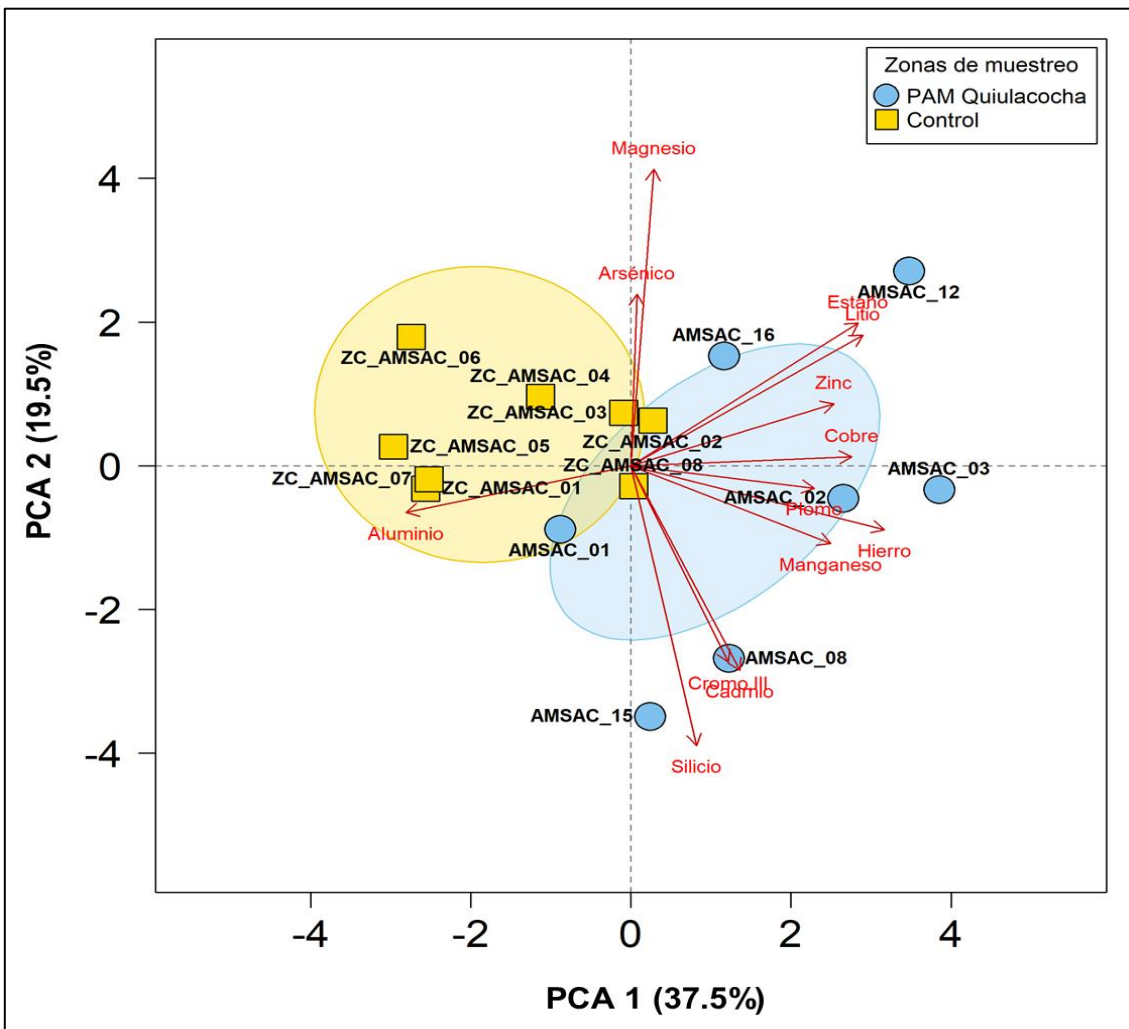
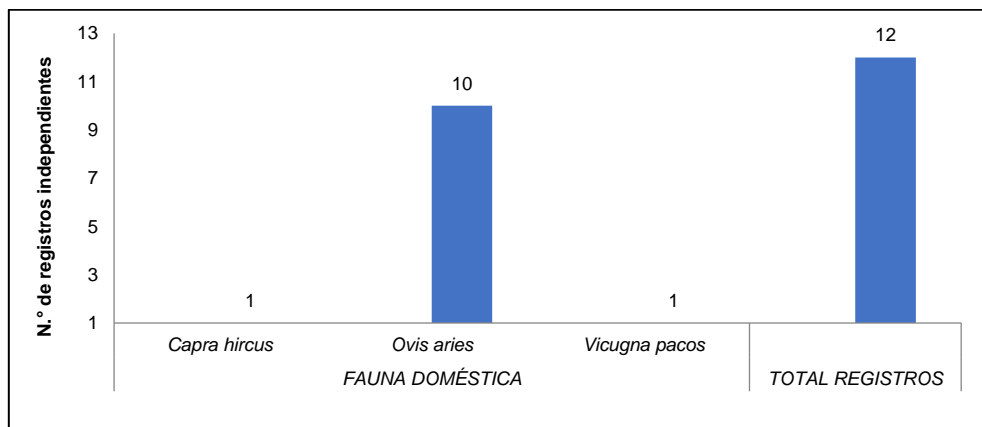


Figura 6.75. Análisis de componentes principales (PCA) de metales registrados en tejidos de mamíferos menores (*Auliscomys pictus*)

**6.4.2.4. Mamíferos mayores****Evaluación de mamíferos con cámaras trampa**

El esfuerzo total de muestreo con cámaras trampa fue de 45 días-cámara producto de este esfuerzo se obtuvieron 12 registros independientes de mamíferos mayores pertenecientes a tres (3) especies de mamíferos todos ellos corresponden a la fauna doméstica (Figura 6.76).



**Figura 6.76.** Número de registros independientes de mamíferos mayores registrados por las cámaras trampa

El mayor número de registros independientes ocurrieron en la cámara trampa CT-PASCO-32 con cuatro (4) registros todos ellos pertenecen a la especie doméstica oveja (*Ovis aries*), esta cámara estuvo ubicada en el sitio blanco a 1.79 km al sureste del PAM Quiulacochoa (Tabla 6.49).

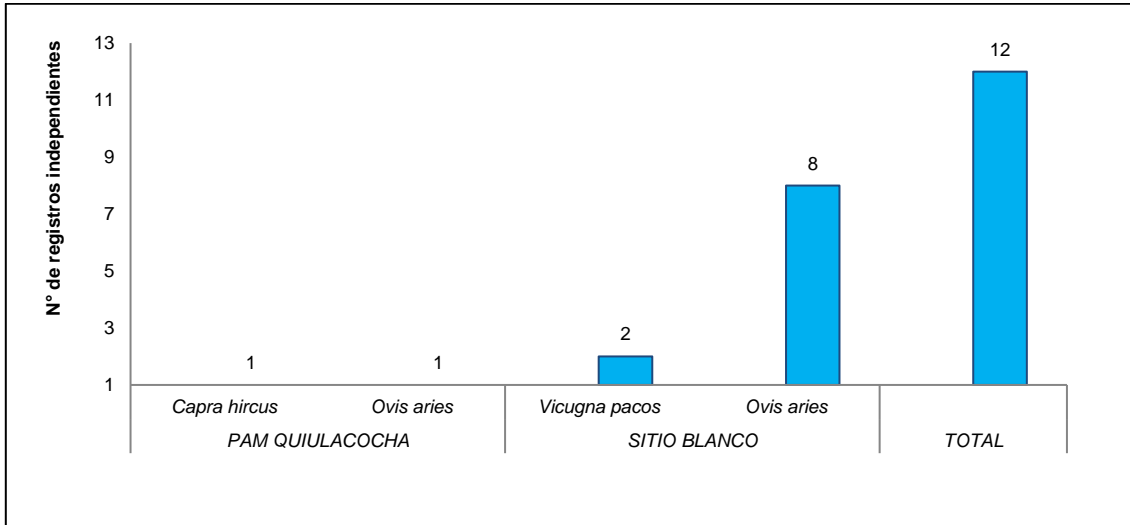
**Tabla 6.49.** Registros independientes de mamíferos mayores registrados por las cámaras trampa en el área de estudio

Especie	CÁMARAS TRAMPA				
	CT-PASCO-25	CT-PASCO-26	CT-PASCO-27	CT-PASCO-28	CT-PASCO-29
<i>Capra hircus</i>	0	0	0	0	1
<i>Ovis aries</i>	0	0	0	0	1
<i>Vicugna pacos</i>	0	0	0	0	0
Registros independientes	0	0	0	0	2
Especie	CÁMARAS TRAMPA				
	CT-PASCO-30	CT-PASCO-31	CT-PASCO-32	CT-PASCO-33	CT-PASCO-34
<i>Capra hircus</i>	0	0	0	0	0
<i>Ovis aries</i>	0	1	4	1	3
<i>Vicugna pacos</i>	0	0	0	1	0
Registros independientes	0	1	4	2	3



### Registros independientes de mamíferos mayores por sitio de evaluación

Las cámaras trampa estuvieron instaladas en dos zonas de muestreo, seis al borde del PAM Quiulacocha y cuatro en un sitio blanco. Se analizó los registros independientes y la diversidad de mamíferos mayores en ambos sitios de evaluación. Los mayores hallazgos ocurrieron en el sitio blanco con 10 registros independientes, todas ellas pertenecientes a las especies domésticas, *Capra hircus* (cabra), *Vicugna pacos* (alpaca) y *Ovis aries* (oveja) (Figura 6.77).



**Figura 6.77.** Registros independientes, diversidad y abundancia de mamíferos mayores registrados por las cámaras trampa

### Índice de diversidad y abundancia de mamíferos registrados en las cámaras trampa

Los bajos números de registros independientes ocurridos en esta evaluación nos muestran que las dos especies en el ámbito del PAM Quiulacocha y las dos especies registradas en el sitio blanco presentan un valor de 0,6931 (Figura 6.78).



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

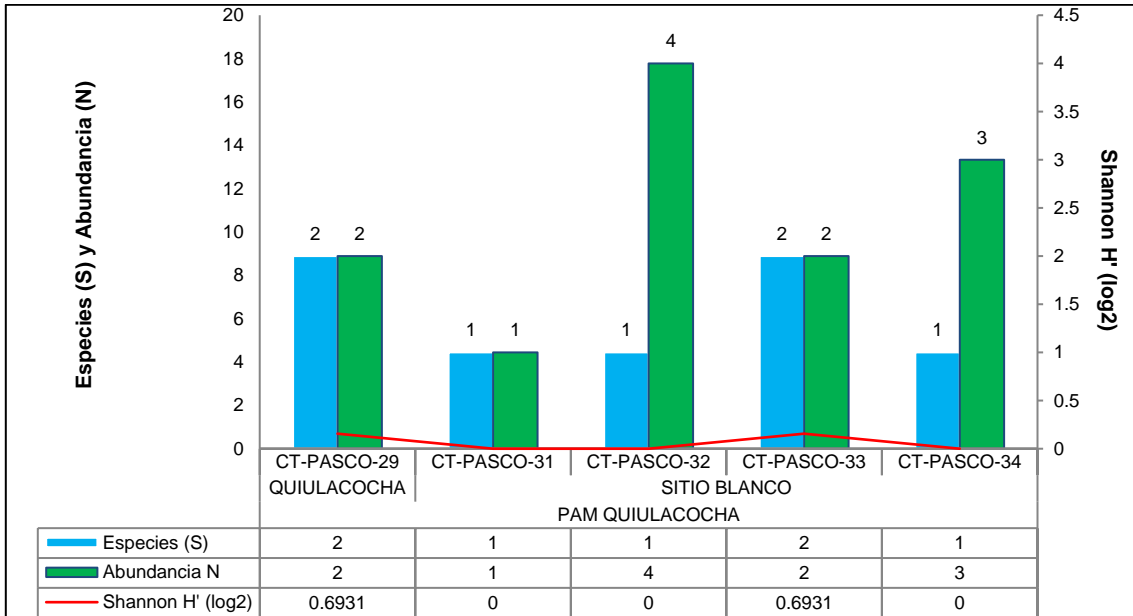


Figura 6.78. Diversidad y abundancia de mamíferos registrados por las cámaras durante el presente estudio

### Similitud por sitio evaluado

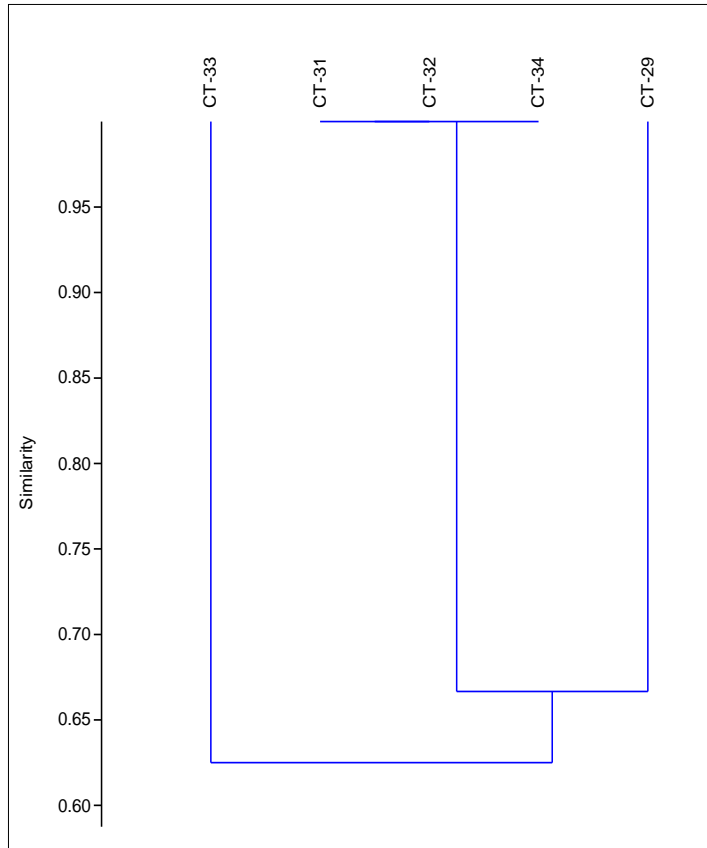
Para determinar el grado de similitud entre los sitios evaluados se utilizó el índice de Morisita, el cual confirma lo registrado por las cámaras trampa; es decir, que las tres especies registradas en este estudio estuvieron presentes en ambos sitios de evaluación; sin embargo, las cámaras CT-PASCO-29 y CT-PASCO-33 registraron las especies *Capra hircus* (Cabra) y *Vicugna pacos* (Alpaca), respectivamente (Tabla 6.50 y Figura 6.79).

Tabla 6.50. Valores del índice de similitud de Morisita entre los sitios evaluados

CÁMARAS TRAMPA	CT-PASCO-29	CT-PASCO-31	CT-PASCO-32	CT-PASCO-33	CT-PASCO-34
CT-PASCO-29	1	0,66667	0,66667	0,5	0,66667
CT-PASCO-31	0,66667	1	1	0,66667	1
CT-PASCO-32	0,66667	1	1	0,66667	1
CT-PASCO-33	0.5	0,66667	0,66667	1	0,66667
CT-PASCO-34	0,66667	1	1	0,66667	1



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



**Figura 6.79.** Dendrograma de Similitud de Morisita entre los sitios evaluados

### Especies endémicas

En el área evaluada no se registraron especies de mamíferos mayores bajo esta condición.

### Análisis de sangre en ovinos

Para el propósito de la investigación se obtuvieron 20 muestras de sangre de ovejas (*Ovis aries*), 10 muestras fueron tomadas de animales de la estancia Sabina, el mismo que se encuentra ubicado a 500 metros del PAM Quiulacocha en el sector de Champamarca.

Para efectos de comparación de la concentración de metales en la sangre de ovinos se tomaron 10 muestras de sangre de ovejas en un sitio blanco que ubica a 9km del PAM Quiulacocha, en la jurisdicción de la comunidad Condorcayan (Tabla 6.51).

**Tabla 6.51.** Número de muestras de sangre colectadas en el área de influencia del PAM Quiulacocha y sitio blanco

Orden	Familia	Especie	Nombre común	Código de muestras	Zona	N° de muestras
ESTANCIA SABINA						
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-AMSAC-01	Sector Champamarca	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-AMSAC-02	Sector Champamarca	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-AMSAC-03	Sector Champamarca	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-AMSAC-04	Sector Champamarca	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-AMSAC-05	Sector Champamarca	2
SITIO BLANCO						
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-BLANCO-01	Sector Condorcayan	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-BLANCO-02	Sector Condorcayan	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-BLANCO-03	Sector Condorcayan	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-BLANCO-04	Sector Condorcayan	2
Cetartiodactyla	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja	TS-BLANCO-05	Sector Condorcayan	2

Para el propósito de nuestra investigación se excluyeron aquellos metales que fueron detectados por debajo del límite de cuantificación y se consideraron solo aquellos que superaron los estándares de calidad de suelo y CEGQ (*Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*), de tal manera que solo fueron considerados los siguientes metales: aluminio (Al), antimonio (Sb), arsénico (As), bario (Ba), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), molibdeno (Mo), plomo (Pb), selenio (Se) y zinc (Zn).

#### **Concentración de metales en sangre de ovejas (*Ovis aries*)**

Las concentraciones de metales variaron principalmente en el siguiente orden: Fe > Al > Zn > Mn > Cu > Ba > Pb > Cr > Hg > As > Se > Co > Mo > Cd > Sb > CN. En las Figuras 80 y 6.81 se muestran las concentraciones de metales en sangre de 10 ovejas.



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

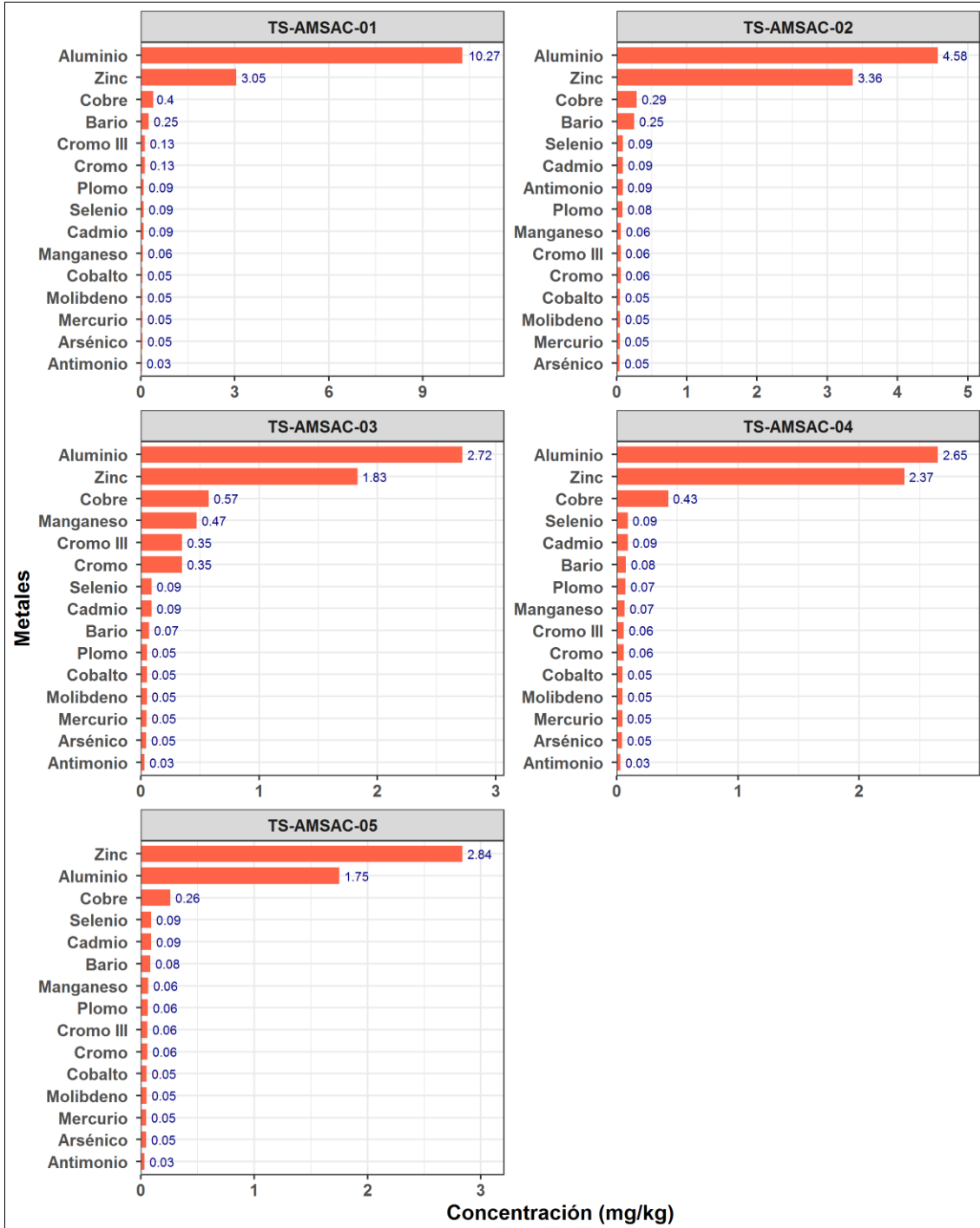


Figura 6.80. Concentración de metales en sangre de ovejas en el área de influencia del PAM Quiulacocha





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

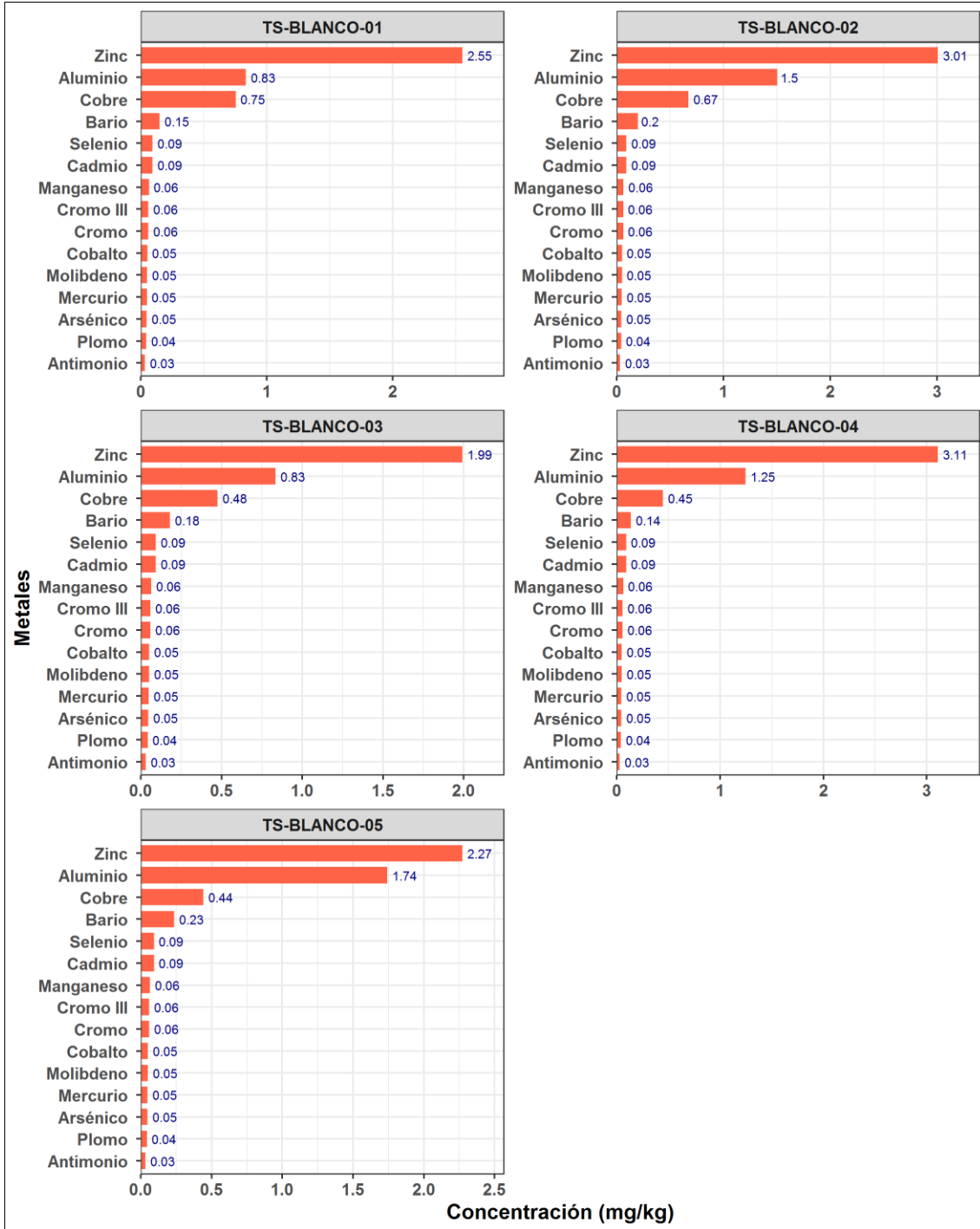


Figura 6.81. Concentración de metales en sangre de ovejas en el sitio blanco



Se realizó una comparación de la concentración de metales de todas las especies entre zonas de muestreo por medio de la prueba de Mann Whitney, obteniendo como resultado diferencias significativas en la concentración de solo 2 de los 16 parámetros analizados. Los parámetros que mostraron diferencias fueron: Al y Pb (Tabla 6.52).

**Tabla 6.52.** Valores de la prueba de Mann-Whitney para la concentración de metales sangre de ovejas entre zonas de muestreo

Parámetro	Mediana	Mediana	Valor de Mann-Whitney (W)	p-value
	(PAM Quiulacocha)	(Sitio blanco)		
Metales totales				
Al*	2.719	1.249	25	0.01
Sb	0.0314	0.0314	15	0.42
As	0.0461	0.0461	13	NA
Ba	0.0831	0.1802	10	0.69
Cd	0.0483	0.0483	13	NA
Co	0.6821	0.1857	13	NA
Cu	0.0924	0.0924	3	0.06
Cr	46.12	45.78	16	0.44
Fe	456	509.3	11	0.84
Mn	0.0641	0.0641	17	0.18
Hg	0.0476	0.0476	13	NA
Mo	0.0503	0.0503	13	NA
Pb*	0.0735	0.0423	25	0.01
Se	0.0924	0.0924	13	NA
Zn	2.837	2.554	14	0.84

\*Metales que presentan diferencias significativas entre zonas de muestreo

Al analizar los metales que presentaron diferencias significativas, se pudo observar lo siguiente:

- La mediana de la concentración de aluminio en sangre de las ovejas fue mayor en la zona de influencia del PAM Quiulacocha que en el sitio blanco ( $Al_{Quiulacocha} = 2,719$ ;  $Al_{blanco} = 1,249$ ).
- La mediana de la concentración de plomo en sangre de ovejas fue mayor en la zona de influencia del PAM Quiulacocha que en el sitio blanco ( $Pb_{Quiulacocha} = 0,0735$ ;  $Pb_{blanco} = 0,0423$ ).

Las diferencias de las concentraciones de metales en sangre de ovejas se presentan en la Figura 6.82.



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

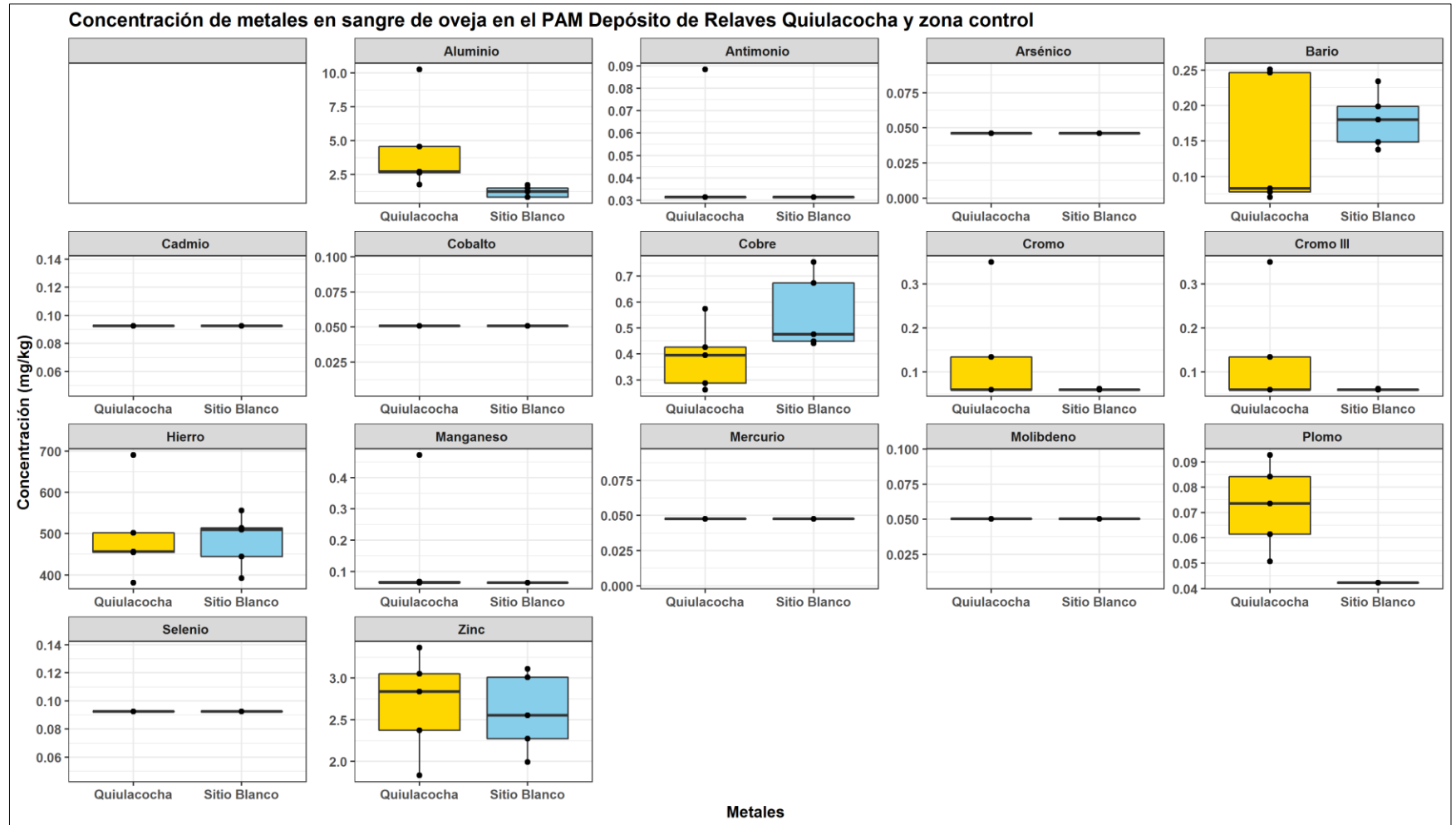


Figura 6.82. Concentración de metales en sangre de ovejas por zona de muestreo



### Rastreadores satelitales

Los rastreadores satelitales instalados en ovejas que se desplazan por el área de influencia del PAM Quiulacocha registraron un total de 2437 coordenadas de ubicación, mientras que los rastreadores instalados en el sitio blanco presentaron un total de 4069 coordenadas de ubicación (Tabla 6.53).

Producto de estas coordenadas se generaron mapas de calor para confirmar los sitios de mayor actividad de los animales, los resultados nos muestran que todas las ovejas hacen uso de la vegetación que esta contiguo al PAM Quiulacocha, unos con mayor actividad como la oveja con el rastreador OEFA-01, OEFA-05, OEFA-06 y OEFA-07, sin embargo, las ovejas también tienen acceso a los territorios del botadero Excelsior y muestran mucha actividad en territorio de la empresa cerro SAC (Figura 6.83).

Los rastreadores instalados en el sitio blanco, en el sector del centro poblado Condorcayan presentaron mayor número de coordenadas de ubicación, la mayoría de ellos en su zona de pastoreo que está ubicado a un kilómetro noroeste de su corral (Figura 6.84).

**Tabla 6.53.** Número de coordenadas de ubicación de los rastreadores satelitales instalados en el área del PAM Quiulacocha y sitio blanco

RASTREADORES SATELITALES EN PAM QUIULACOCHA					
	OEFA-01	OEFA-03	OEFA-05	OEFA-06	OEFA-07
N° de registros	482	267	635	559	494
RASTREADORES SATELITALES EN SITIO BLANCO					
	OEFA-12	OEFA-13	OEFA-19		
N° de registros	1200	1518	1351		



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

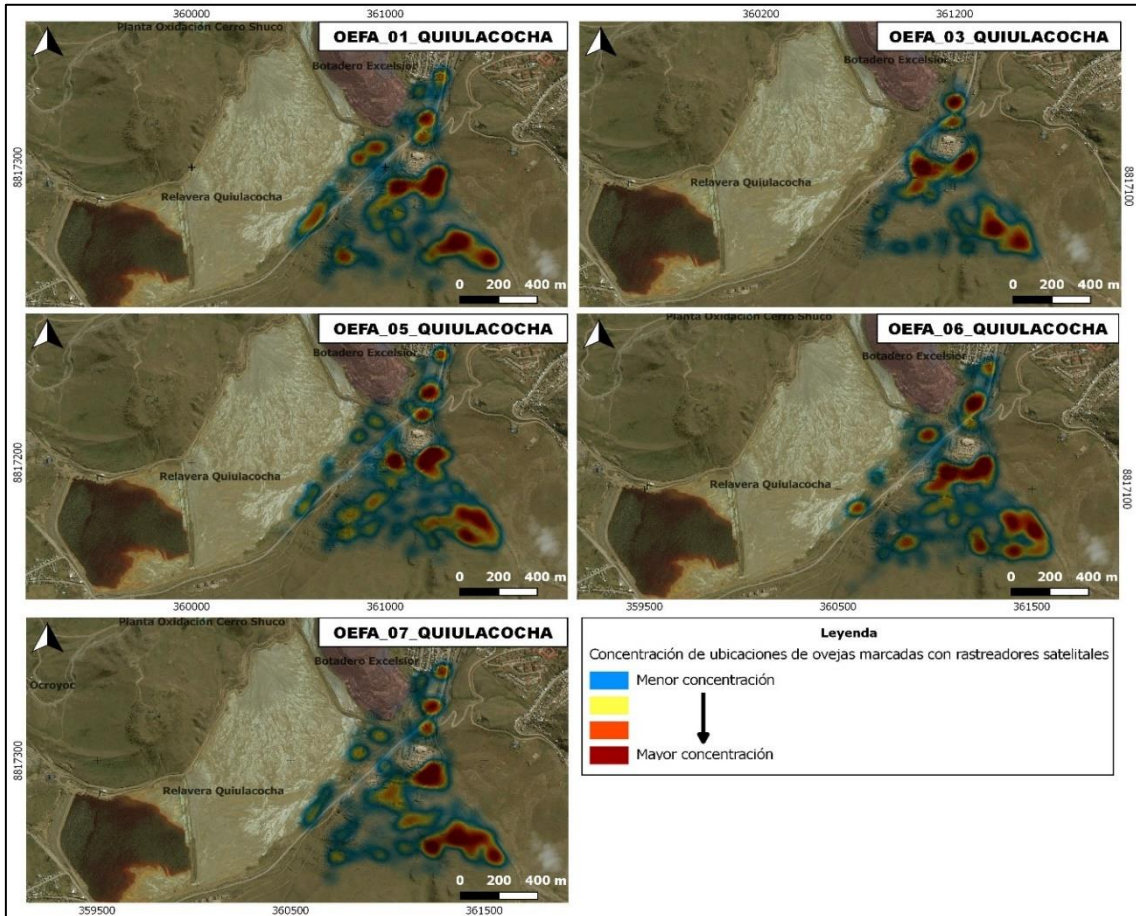


Figura 6.83. Mapa de ocurrencia de ovejas en el depósito de Relaves Quiulacocho, monitoreadas con rastreadores satelitales

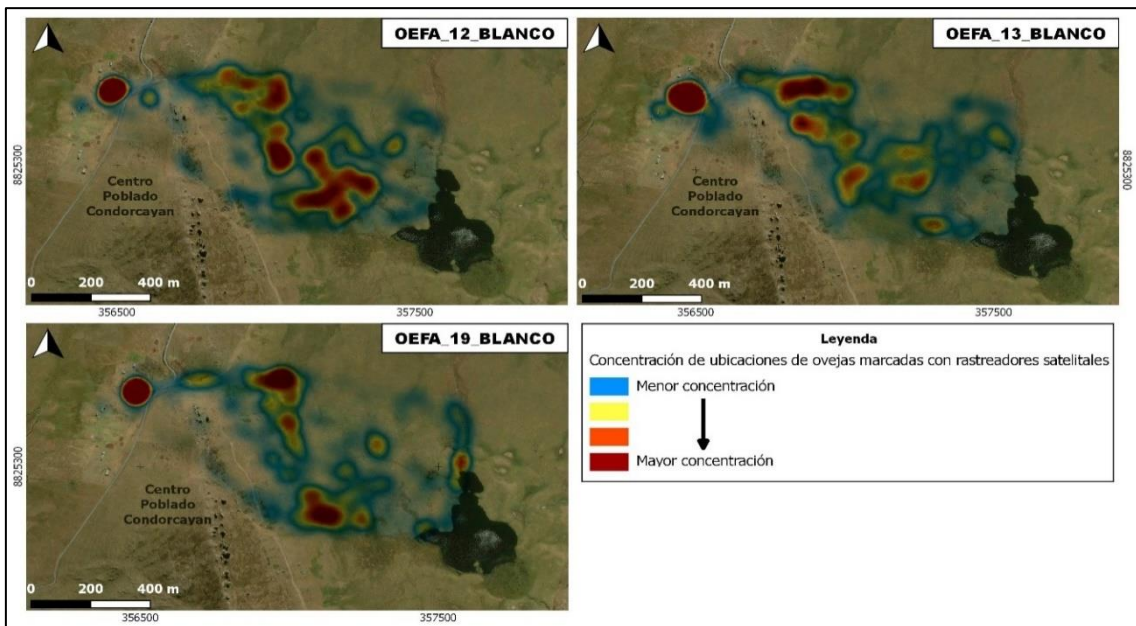


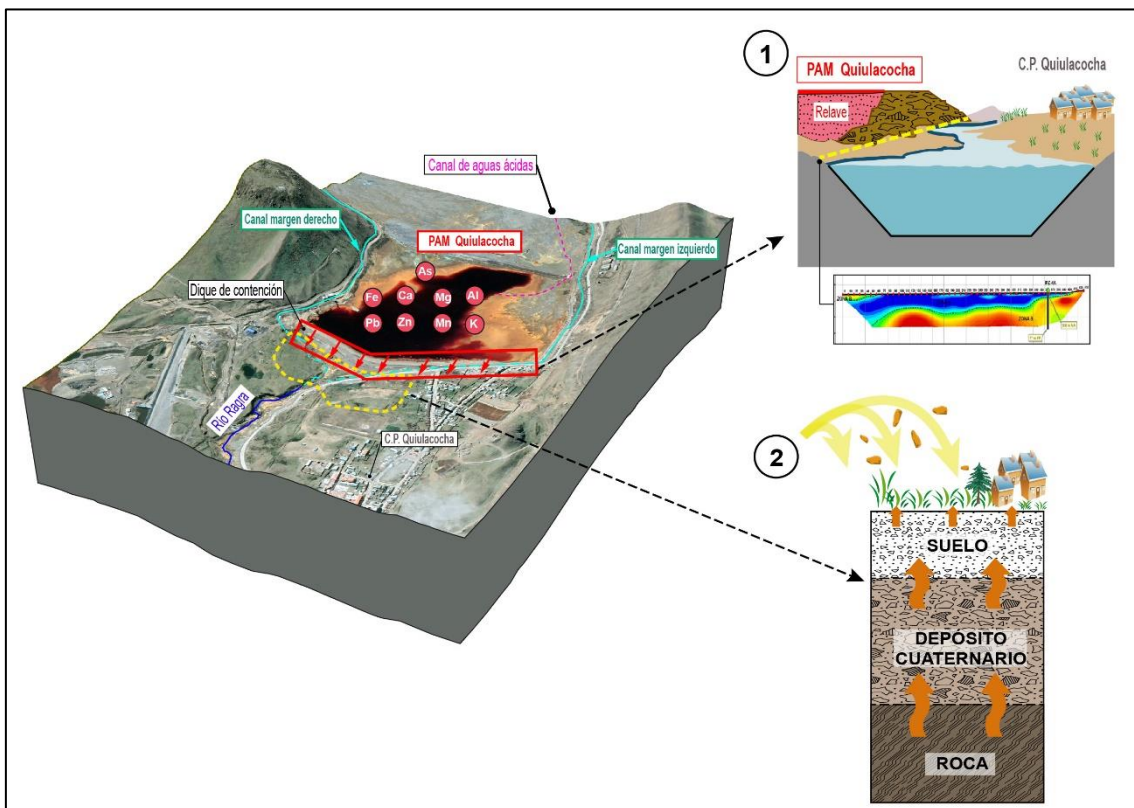
Figura 6.84. Mapa de ocurrencia de ovejas en el sitio control, monitoreadas con rastreadores satelitales

## 7. DISCUSIÓN

El análisis de los resultados de las matrices evaluadas en el presente estudio se desarrolló considerando los siguientes criterios:

- Filtraciones en el dique del PAM Quiulacocha y su influencia en el agua subterránea y en los canales de la margen derecha e izquierda.
- Análisis de contaminantes en el sistema suelo - planta - fauna en el ámbito del PAM Quiulacocha y otras fuentes, y su influencia en el aire, suelo, tejido vegetal y tejido en mamíferos menores.

En la Figura 7.1 se observa el modelo conceptual.



**Figura 7.1.** Modelo conceptual de los criterios planteados para la discusión



### 7.1. Filtraciones en el dique del PAM Quiulacocha y su influencia en los canales de la margen derecha e izquierda, y río Ragra

El PAM Quiulacocha en la zona suroeste presenta un dique de contención de relaves de aproximadamente 770 m de longitud, 50 metros de base y 15 metros de cresta, y consiste en una estructura a base de tierra compactada con un muro de protección de piedras en su pantalla externa. Según CENTROMIN PERU S.A <sup>44</sup>, las características geotécnicas determinaron que es un dique permeable donde ocurren filtraciones de agua por dos zonas bien definidas, los cuales son captados en una poza y luego bombeados al PAM Quiulacocha. Por otra parte, los análisis geoquímicos del relave (agosto y setiembre de 2020) reportaron predominantemente (> 1000 mg/kg) hierro, plomo, zinc, calcio, manganeso, arsénico, aluminio, magnesio y potasio y en menor concentración (< 1000 mg/kg) sodio, fósforo, cobre, bario, antimonio, estroncio, plata y talio, asociados a cristales de cuarzo, sulfuros (pirita y marcasita), óxidos (goethita), sulfatos (yeso, jarosita, melanterita y caolinita), carbonatos (Calcita y siderita), caolinita y trazas de Plumbogummita; asimismo, presenta pH en pasta ácido (2,5 a 3,7 unidades), potencial de generación de ácido (PNN<20 y RPN<3:1) y capacidad de lixiviar sulfato, hierro, magnesio, manganeso, zinc y calcio, y en menor proporción aluminio y arsénico.

Se precisa que en el dique de contención del PAM Quiulacocha se cartografió y caracterizó residuos mineros compuesto por desmonte de mineral (fragmentos de pirita masiva y óxidos endurecidos, en matriz de óxidos y polvo de mineral). Este material presenta predominantemente hierro, calcio, aluminio, plomo, zinc, cobre, potasio, manganeso y fósforo y trazas de arsénico, magnesio, bario, sodio, estroncio, vanadio y plata, derivados de cuarzo, goethita, muscovita y siderita, acompañado en menor proporción por yeso, plagioclasa, calcita, jarosita, caolinita y trazas de pirita y galena; además, presenta potencial para generar ácido y permite la lixiviación de sulfato, nitrato, calcio, manganeso, zinc, hierro y en menor proporción magnesio, aluminio silicio y cobre.

El funcionamiento hidrodinámico del PAM Quiulacocha consiste principalmente en la recolección de agua de dos fuentes: la primera, corresponde al aporte de aguas ácidas desde el lado norte/noreste provenientes del PAM Excelsior, y la segunda, proviene de la descarga natural de aguas subterráneas desde ambos márgenes -noroeste y sureste- del PAM Quiulacocha<sup>45</sup>.

Los flujos cedidos del PAM Excelsior migran a través del material de relave (caraterizado en el piezometro NN1), y otra parte, de forma superficial a través del canal de aguas ácidas que colecta las filtraciones del lado noroeste y sureste del PAM en mención (caracterizado en el punto CE-5)<sup>46</sup>; en tanto, el sistema de agua subterránea se recarga en las partes altas de las montañas aledañas al PAM Quiulacocha, en donde, las precipitaciones se infiltran en el terreno y migran mediante las estructuras locales, descargando en laderas (manantial FCab1) y el fondo del valle (actualmente cubierto por relave antiguo)<sup>47</sup>

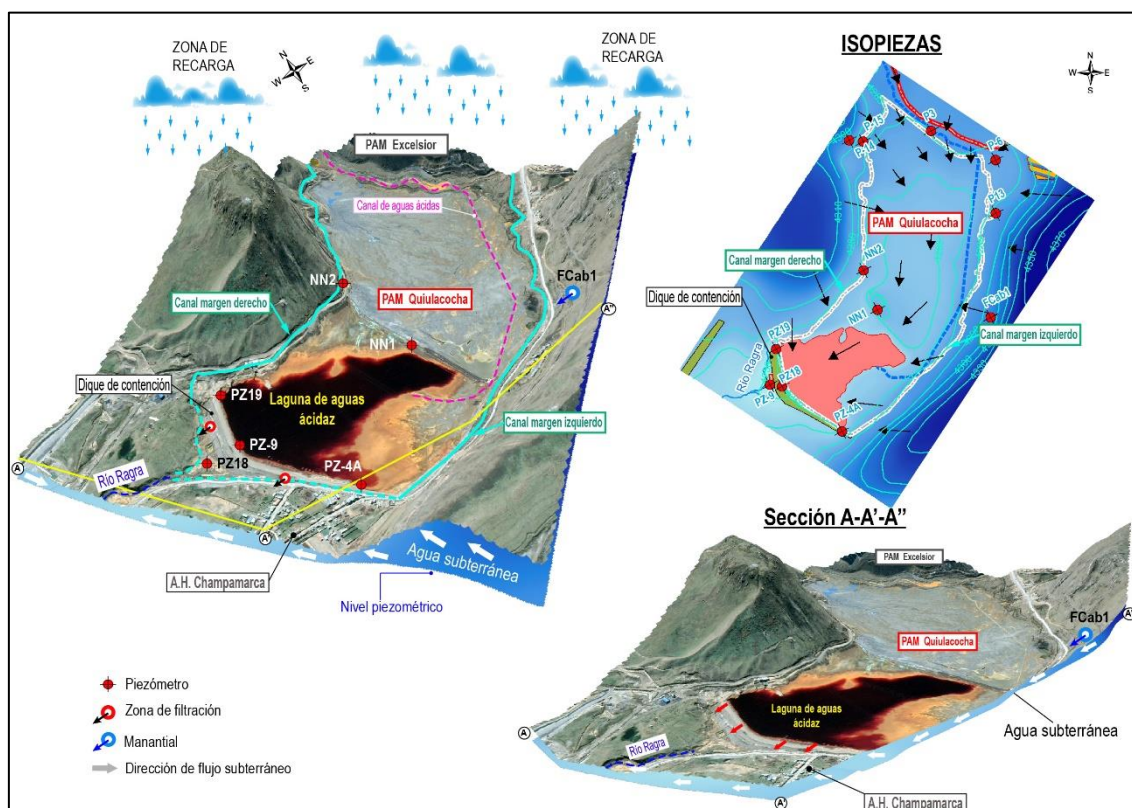
<sup>44</sup> Plan de cierre de pasivos ambientales mineros Excelsior y Quiulacocha CENTROMIN PERU S.A, sección 2.3.1 Depósito de relaves Quiulacocha. Realizado por Consultores en ingeniería y medio ambiente en el 2006.

<sup>45</sup> Estudio hidrogeológico en los depósitos de relaves Quiulacocha y de desmontes Excelsior, realizado por Hidroenergía consultores en ingeniería S.R.L., en el 2008.

<sup>46</sup> Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito del pasivo ambiental minero depósito de desmontes Excelsior a cargo de activos mineros S.A.C. en el 2020, aprobado con informe N° 244-2020-OEFA-DEAM-STEC

<sup>47</sup> Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de las Instalaciones de la UM Cerro de Pasco: Depósitos de Aguas Ácidas Yanamate, Tajo Abierto Raúl Rojas, Stock Piles, Botadero de Desmonte Hanancocha, Miraflores y Rumiallana, realizado por Amphos en agosto de 2020.

El modelo hidrodinámico del agua subterránea aledaño al PAM Quiulacocha se presenta en la Figura 7.2.



**Figura 7.2.** Modelo del funcionamiento hidrodinámico del agua subterránea en el ámbito del PAM Quiulacocha

En el dique de contención de relaves del PAM Quiulacocha se evaluó la migración de flujos provenientes de la lixiviación del material de relave del PAM hacia los canales de la margen derecha e izquierda al igual que en el agua subterránea, y su efecto sobre las aguas del río Ragra; para lo cual se analizó las características fisicoquímicas e hidroquímicas de las aguas superficiales (RRagr-1, RRagr-A, SJ-9 y RRagr-2) y subterráneas (PZ-18, PZ-19, PZ-9 y PZ-4A), y su relación con las características del material de relave (fase sólida y líquida [NN1 y CE-4<sup>48</sup>]), adicionalmente se realizó la prospección geofísica mediante la metodología de tomografía de resistividad eléctrica (RT) con la finalidad de identificar y determinar la dirección del flujo de las zonas saturadas con lixiviados.

El análisis de la migración de flujos provenientes del PAM Quiulacocha a través del dique de contención se realizó en dos sectores, la primera referida a los puntos de control (superficial, subterránea y ARI) ubicados en sector norte del dique adyacente al canal margen derecha (canal sin base de concreto) y la segunda en el sector sur del dique adyacente al canal de la margen izquierda (probablemente sin base de concreto) (Figura 7.3).

<sup>48</sup> Canal de aguas ácidas que aportan flujos hacia el espejo de agua del PAM Quiulacocha. Informe N° 244-2020-OEFA-DEAM-STEC





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

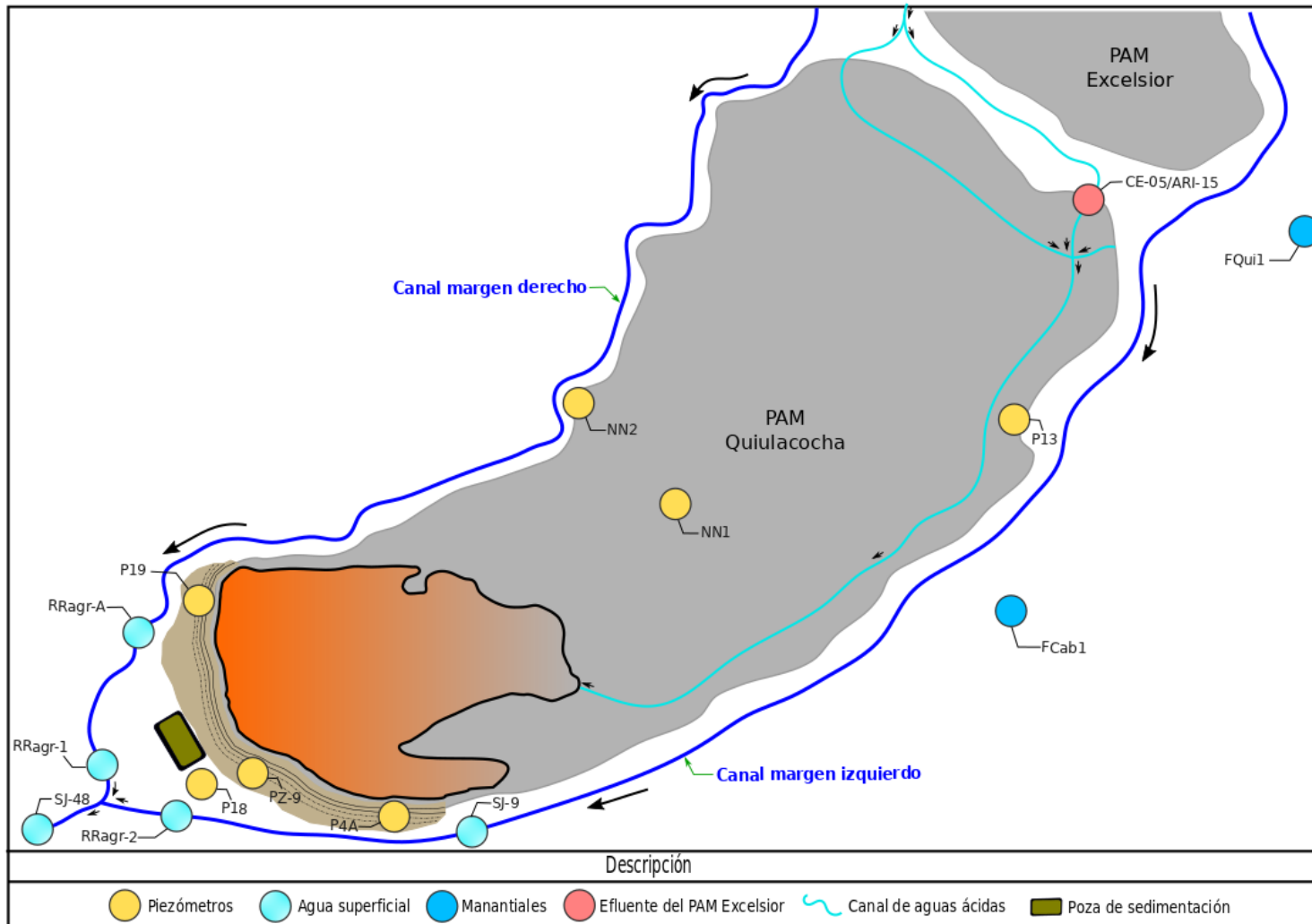
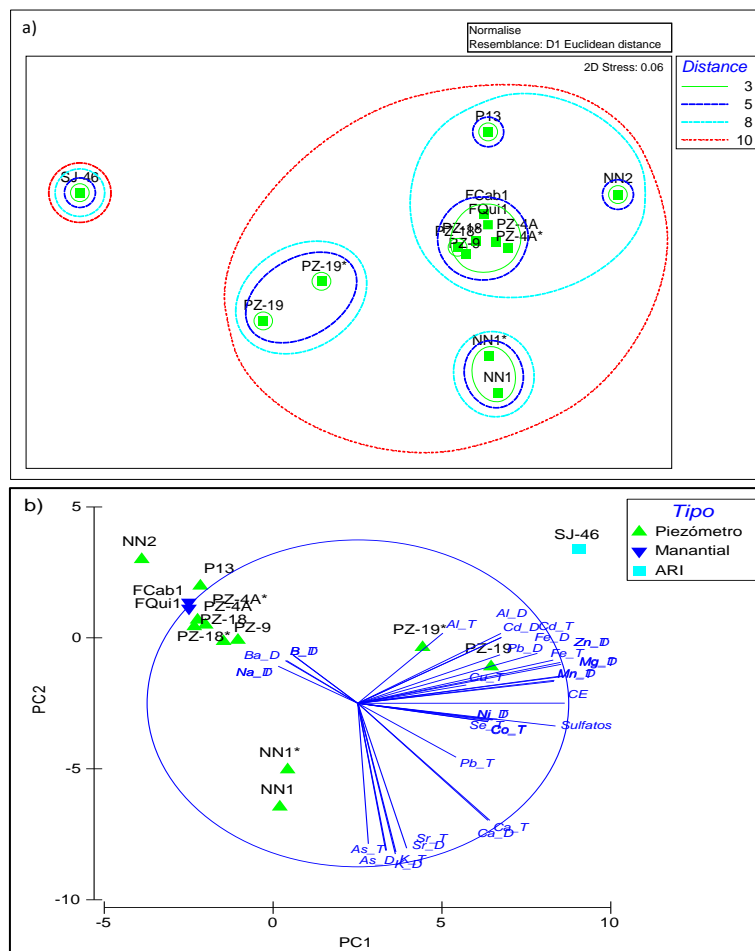


Figura 7.3. Esquema de los piezómetros y manantiales del PAM Quiulacocha



El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS) y de componentes principales (ACP) de los puntos de agua subterránea y el punto de agua residual conformaron hasta 3 grupos; el primero agrupó los puntos del piezómetro PZ-19 evaluado en agosto y setiembre, el cual presentó una correlación principalmente con valores elevados de conductividad eléctrica, sulfatos y metales como aluminio, cadmio, hierro, magnesio, manganeso y zinc en su forma total y disuelta y plomo disuelto, cabe precisar que el punto SJ-46 por sus características de agua residual industrial no se agrupa a los puntos de agua subterránea, no obstante en el gráfico de ACP se observa una correlación con los metales antes descritos (Figura 7.4).

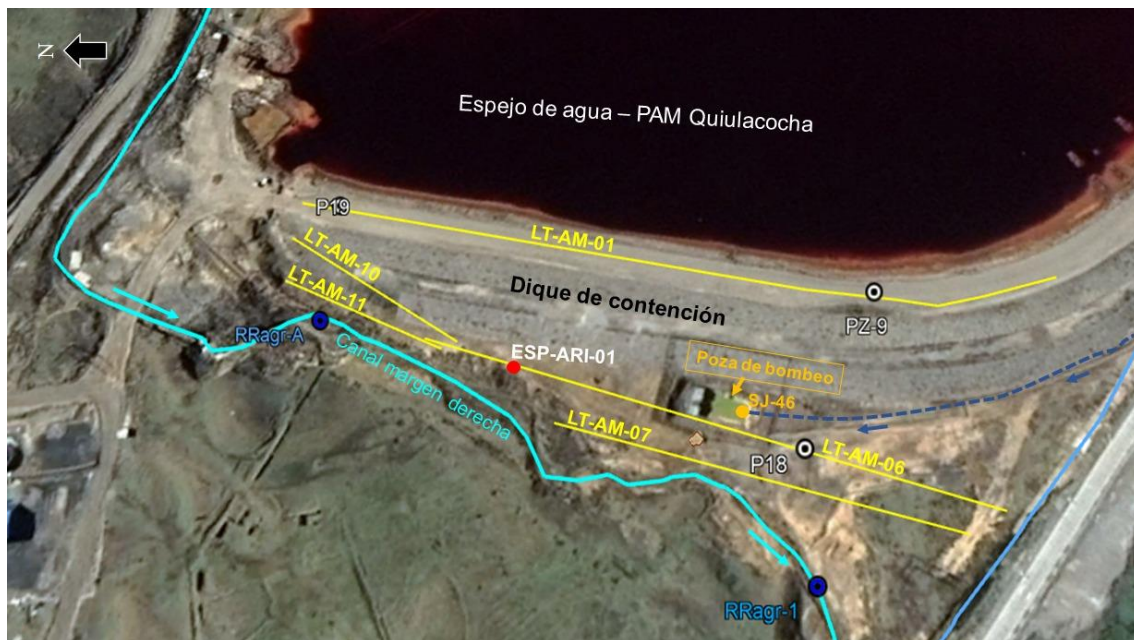
El segundo grupo está conformado por los piezómetros ubicados sobre el dique (PZ-9 y PZ-4A), debajo del dique (PZ-18), y manantiales (FCab1 y FQui1), estos puntos presentan una correlación directa con valores de bario, sodio y boro en su forma total y disuelta y una correlación indirecta principalmente con valores de plomo total, sulfatos y calcio en su forma total y disuelta. Un tercer grupo está conformado por el piezómetro NN1, el cual se encuentra correlacionado con los metales arsénico, potasio y estroncio en su forma total y disuelta (Figura 7.4). El análisis presentó un 62,8 % de explicación total de la variabilidad del sistema (Tabla 6.8 resultados).



**Figura 7.4.** a) Ordenación del escalamiento multidimensional no métrico basado en un coeficiente de disimilitud (distancia euclidiana), b) Análisis de componentes principales (ACP) para las variables ambientales evaluadas en los piezómetros y manantiales del PAM Quiulacocha

### Sector norte del dique de contención del PAM Quiulacocha

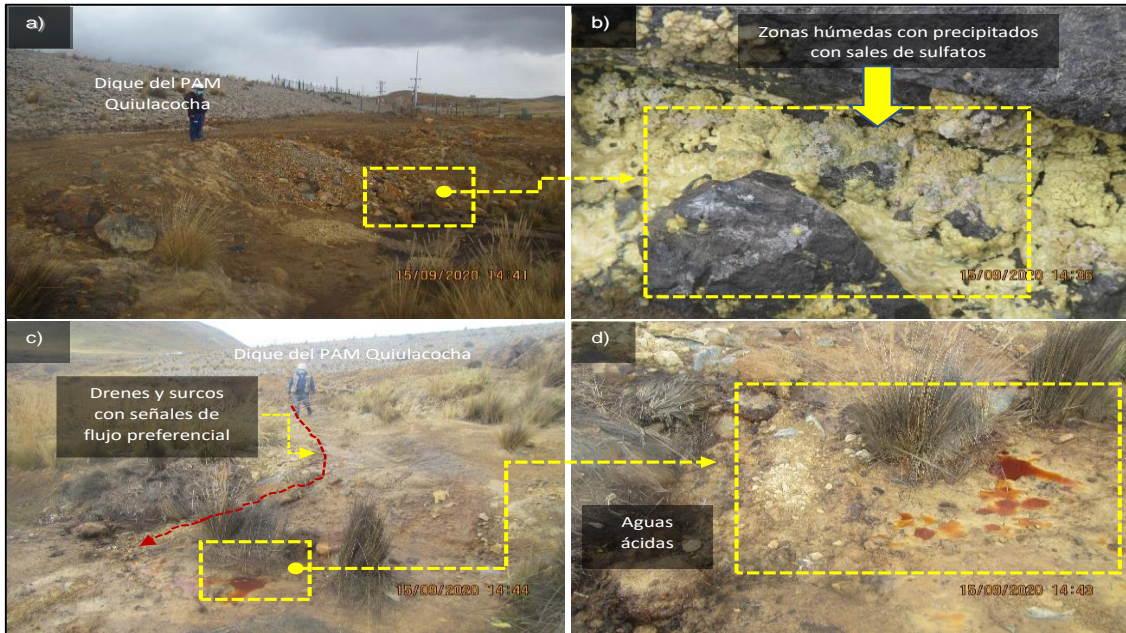
En este sector se determinó la ubicación y dirección de flujos que cruzan el dique de contención, mediante el análisis de las secciones de resistividades LT-AM-01, LT-AM-6, LT-AM-7, LT-AM-10 y LT-AM-11, dispuestas en forma paralela. Además, se evaluó la influencia de estos flujos hacia los piezómetros PZ-18, PZ-19 y PZ-9, y hacia el agua superficial en el tramo comprendido entre los puntos RRagr-A y RRagr-1 (Figura 7.5).



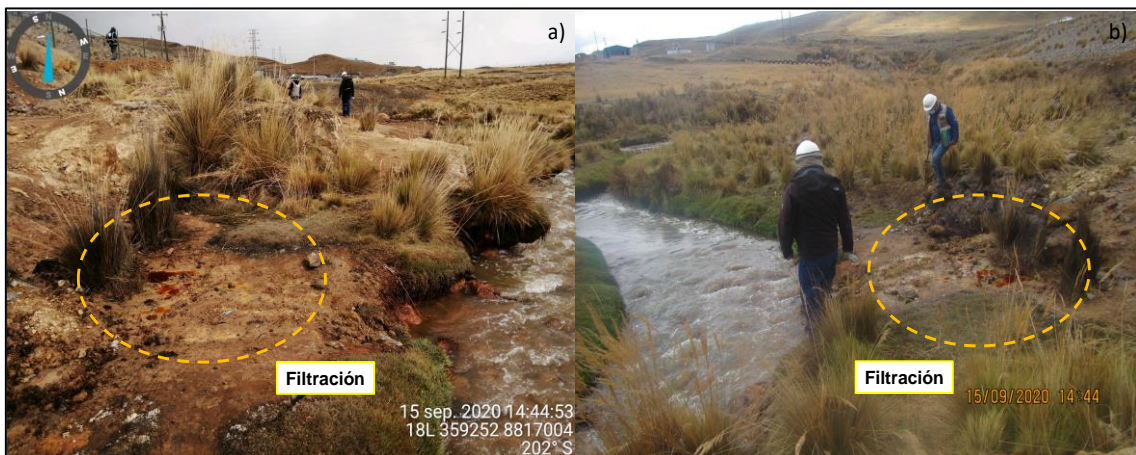
**Figura 7.5.** Ubicación de los puntos de agua superficial, agua subterránea (piezómetros) y líneas de tomografía eléctrica en el sector norte del dique PAM Quiulacocha

Durante la evaluación realizada en agosto y setiembre de 2020, se realizó el recorrido en el tramo comprendido entre los puntos RRagr-A y RRagr-1, ubicados adyacentes al pie del talud del dique de contención del PAM Quiulacocha, se identificó filtraciones dispersas (E: 359252, N: 8817004), las cuales no fueron muestreadas debido al escaso caudal producto de la temporada (época seca), no obstante se observó zonas húmedas con presencia de minerales sulfatados y sales, y surcos con señales de flujo preferencial hacia el canal de la margen derecha, estos pequeños flujos son evacuados mediante drenes construidos a base de piedras y cubiertas por una capa de tierra (Figura 7.6 y Figura 7.7). Por otro lado, se precisa que en la supervisión especial<sup>49</sup> realizada en mayo de 2020 se identificó una filtración ubicada en el talud del dique de contención del PAM Quiulacocha en el punto ESP-ARI-01 (E: 359286, N: 8817028), la cual presentó pH ácido (2,33 unidades) menor al LMP (2010), conductividad eléctrica elevada (11720  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y caudal de 1,37  $\text{m}^3/\text{día}$  (0,016 L/s).

<sup>49</sup> Informe de supervisión N° 558-2020-OEFA/DESEM-CMIN



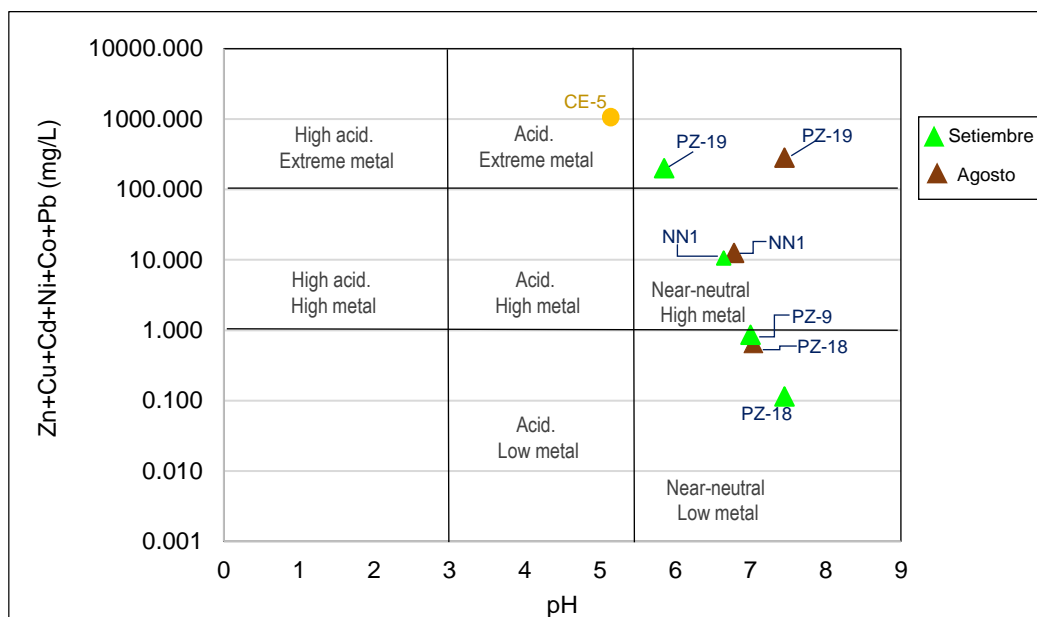
**Figura 7.6.** Filtraciones dispersas en el a) dique, b) precipitados con sales de sulfatos, c) drenes y surcos con señales de flujo preferencial y d) aguas ácidas



**Figura 7.7.** Filtraciones dispersas a) vista anterior y b) vista posterior

En el sector norte del dique del PAM Quiulacocho el agua subterránea -evaluado en setiembre- presentó facies sulfatadas magnésicas en los puntos PZ-19 y PZ-9, y sulfatada magnésica cálcica en el punto PZ-18; de igual modo, en agosto las facies del punto PZ-19 fueron sulfatadas magnésicas en contraste con el punto PZ-18 que fue sulfatada cálcica (Figura 7.8a). En cuanto a la concentración de iones mayoritarios disueltos, el piezómetro PZ-19 presentó mayor concentración de sulfato (109 meq/L), seguido por el piezómetro PZ-9 (42 meq/L) y PZ-18 (36 meq/L) (Figura 7.8b) concordantes a los valores de conductividades eléctricas (PZ-19= 6780  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , PZ-9= 3050  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , PZ-18= 2700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), y según el diagrama de Ficklin estos puntos se ubican cercanos a la neutralidad; sin embargo, el punto PZ-19 fue clasificado con extrema concentración de metales y los puntos PZ-18 y PZ-9 con bajas concentraciones de metales disueltos (Figura 7.9).

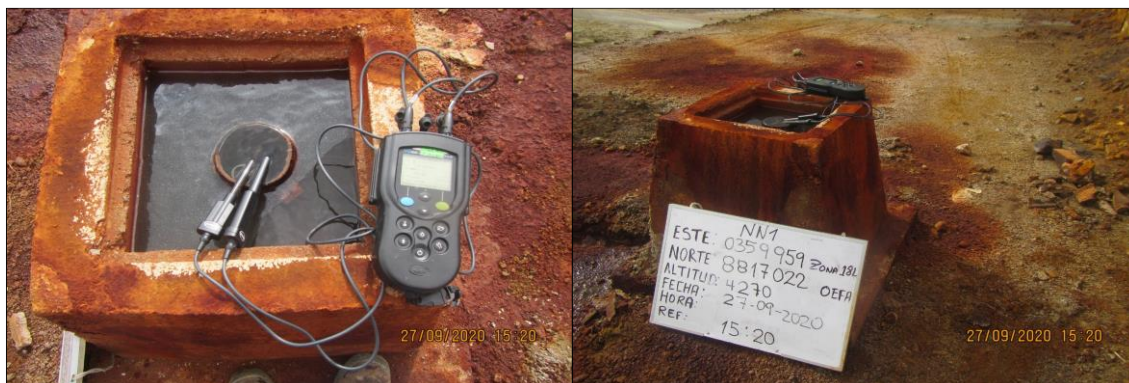


Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Universalización de la Salud

**Figura 7.9.** Relación hidroquímica de la fuente contaminante (NN1 y CE-5) y los piezómetros PZ-19, PZ-18 y PZ-9

Se precisa que el piezómetro PZ-19 presentó pH ácido, conductividad eléctrica elevada, concentración de sulfato y metales como arsénico total, cobalto total, hierro total, magnesio total, manganeso total, níquel total, plomo total y selenio total, que se encontraron fuera del rango o superaron referencialmente los ECA para Agua (2017), categoría 3. En tanto que, los piezómetros PZ-18 y PZ-9 presentaron pH neutro, valores de conductividad eléctrica entre 2700 y 3050  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y concentraciones de sulfato y metales como magnesio total, manganeso total, plomo total (en ambos puntos), arsénico total y hierro total en el PZ-9 que superaron el estándar mencionado. En cuanto a la fuente de contaminación, el piezómetro NN1 ubicado en el dique flotante del PAM Quiulacocha presentó facies sulfatadas cálcicas y pH cercano a la neutralidad y concentraciones de sulfatos y metales totales como arsénico, hierro, manganeso, plomo y zinc que superaron referencialmente los ECA para Agua (2017), categoría 3; y el punto CE-5 -aportante principal de aguas ácidas- presentó facies sulfatada magnésica, pH ácido, conductividad alta (22100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y altas concentraciones de metales totales como arsénico, cadmio, plomo, zinc y hierro disuelto que superaron los LMP (2010) (Figuras 7.8 y 7.9).

En la Figura 7.10 se muestra el estado oxidado del piezómetro NN1 (surgente) ubicado en el dique flotante en la parte media del PAM Quiulacocha.



**Figura 7.10.** Piezómetro NN1 (surgente) ubicado en el dique flotante del PAM Quiulacocha

En la Figura 7.11 se muestra la coloración rojiza con alta concentración de sólidos totales suspendidos (960 mg/L) de la muestra de agua del piezómetro PZ-19 el cual reportó alta concentración de metales asociados a aguas ácidas con influencia del PAM Quiulacocho.

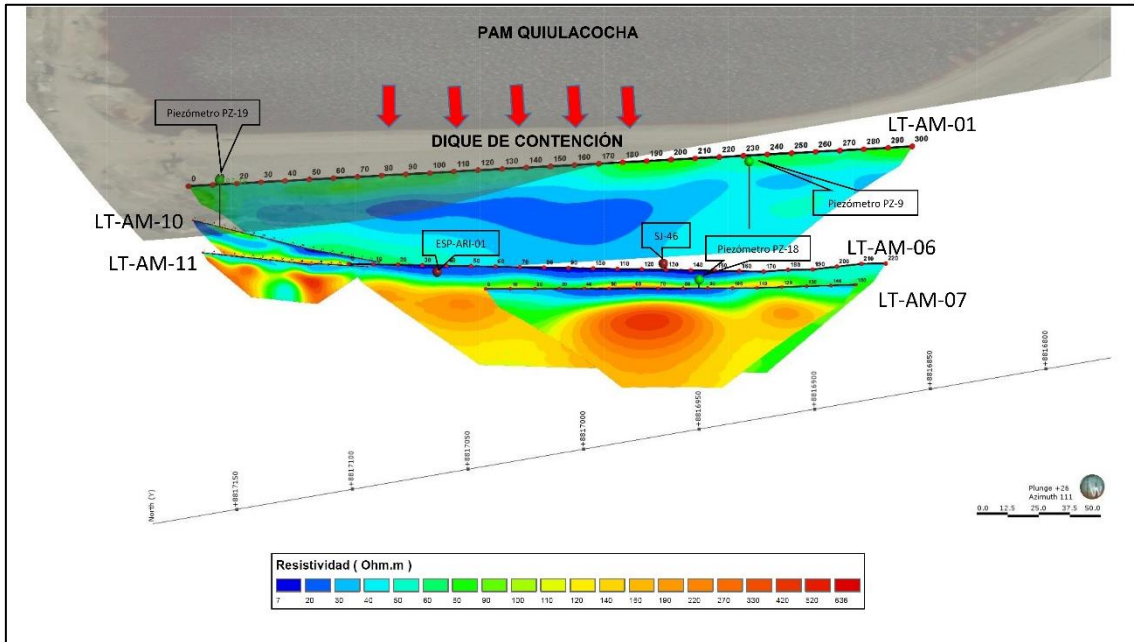


**Figura 7.11.** Piezómetro PZ-19 y muestra de agua con coloración rojiza con alta concentración de metales

Nota: el piezómetro PZ-19 fue codificado en la ejecución como P19, sin embargo, corresponden al mismo punto

En base a lo descrito se determinó que las aguas de estos piezómetros guardan relación con las características de las aguas ácidas del espejo de agua y el potencial de lixiviación del material de relave del PAM Quiulacocho.

La dirección del flujo de las aguas subterráneas influenciadas con lixiviados descritas anteriormente se refleja en las zonas de baja resistividad (7 a 31 Ohm.m) identificados en las secciones de tomografía de resistividad eléctrica, en la línea LT-AM-01 ubicada en la parte central entre las estaciones 80 y 190, a una profundidad de 15 m aproximadamente; en las líneas LT-AM-10 y LT-AM-11, ubicadas en la parte superficial alcanzando entre 1 y 4 m de profundidad; y entre las líneas LT-AM 6 y LT-AM-7 ubicadas en la parte superficial entre las estaciones 10 y 160, alcanzando 4 a 5 m de profundidad, dentro del cual se ubican las zonas con resistividades menores a 20 Ohm.m, lo que representa la existencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas asociados a la disolución de iones del material de relave del PAM Quiulacocho y desmonte mineralizado ubicado al pie del talud del dique (Figura 7.12). Estos flujos afloran en superficie al pie del talud del dique de contención, que fueron evidenciados en los rasgos de filtraciones (surcos y eflorescencias) con flujo preferencial hacia el canal de la margen derecha, identificadas en la evaluación de agosto y setiembre, coincidente en ubicación con la filtración ESP-ARI-01 reportada en la supervisión especial realizada en mayo 2020.



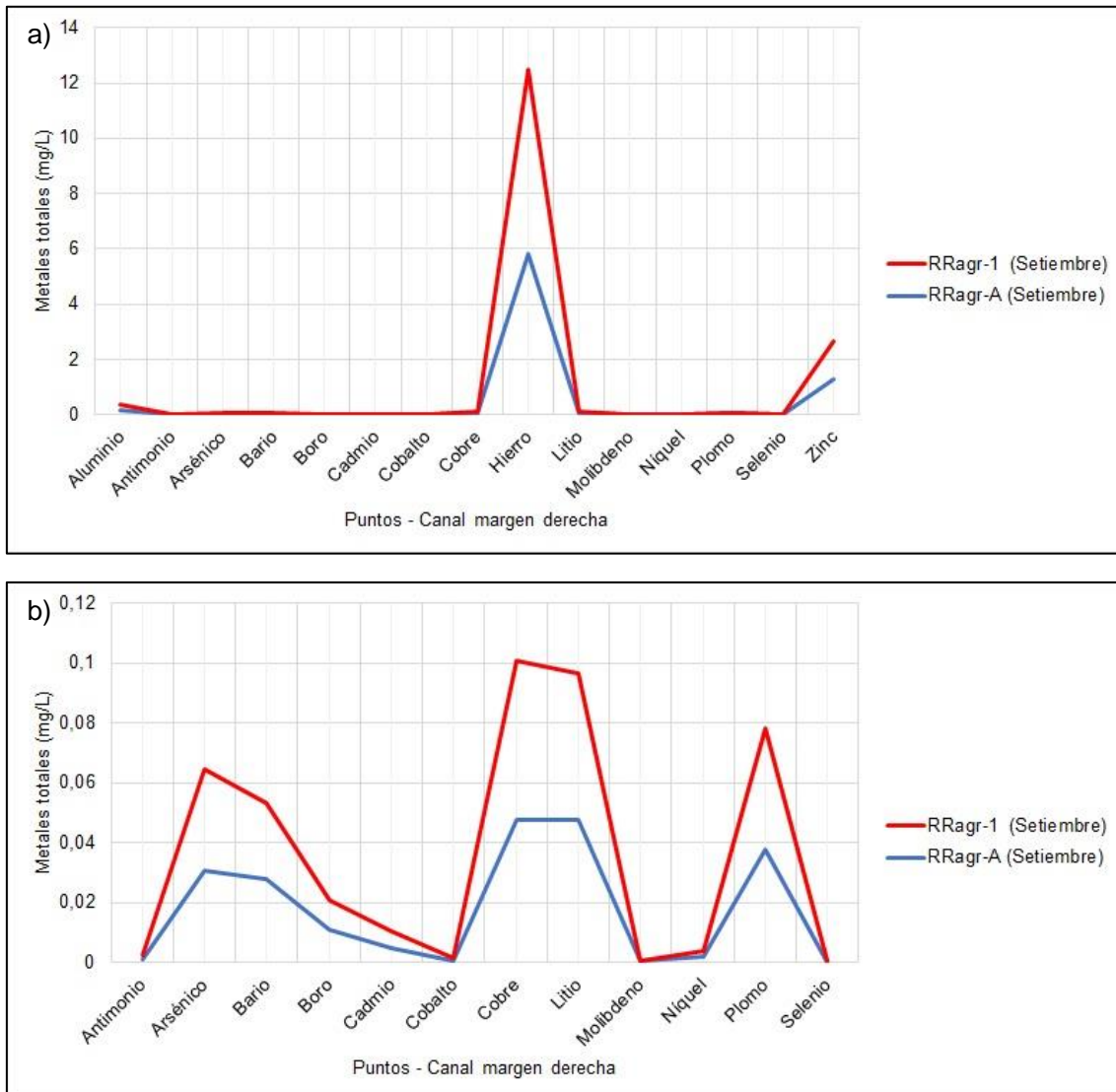
**Figura 7.12.** Vista 3D de las zonas de baja resistividad asociadas a flujos con lixiviados ubicados en el sector norte del dique de contención del PAM Quilacocha

Estas filtraciones (lixiviación del material de relave y residuos mineros) dispuestas al pie del talud del dique de contención influenciaron ligeramente en el incremento de las concentraciones de metales (hierro, aluminio, zinc, plomo, arsénico, cobre y litio) en el agua superficial del canal de la margen derecha evaluados en el tramo comprendido entre los puntos RRagr-A y RRagr-1 (Figura 7.13). La baja influencia de las filtraciones sobre las aguas del canal de la margen derecha (RRagr-1 = 640 L/s) se debe a la dilución por diferencia de caudal con el punto ESP-ARI-01 (0,016 L/s) y a la temporada de evaluación (época seca). Según GWI, 2006<sup>50</sup> el caudal de las filtraciones que atraviesan al dique de contención es de 2,2 L/s; y según la diferencia de caudal con el canal de la margen derecha, también presentaría dilución de los elementos contaminantes.

50

Investigación Hidrogeológica de la Mina Subterránea y de las Facilidades Superficiales de la Unidad Minera Cerro de Pasco. VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A. elaborado por Ground Water International en 2016



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

**Figura 7.13.** Comparación de concentraciones de metales entre los puntos RRagr-1 y RRagr-A a) mayor rango de concentración y b) menor rango de concentración

Las aguas del canal de la margen derecha presentaron facies sulfatada cálcica alcanzado hasta 19 meq/L de iones mayoritarios y según el diagrama de Ficklin estos puntos presentaron características neutras con baja concentración de metales disueltos, además presentaron concentraciones de hierro y manganeso en ambos puntos (agosto y setiembre), y solo plomo y zinc en el punto RRagr-1 (agosto), que superaron los ECA para Agua (2017), categoría 3.

Adicionalmente, el sedimento en el punto RRagr-1 presentó concentraciones de arsénico total, cadmio total, cobre total, plomo total, zinc total y mercurio total que superaron referencialmente, los valores de ISQG y PEL de la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG) - Calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática – agua dulce, debido al aporte de sedimentos provenientes de las partes altas del canal y de la erosión de los residuos mineros dispuestos al pie del talud del dique de contención.

En cuanto a las comunidades hidrobiológicas evaluadas en el punto RRagr-1 se registró baja diversidad con dominancia de especies tolerantes: *Fragilaria capuccina* la cual ha sido descrita como tolerante a metales (Ferreira *et al.*, 2009) y microalgas del género *Pseudanabaena* las cuales se encuentran asociadas a condiciones eutróficas (Mateo *et al.*, 2015) y con capacidad de tolerar ambientes afectados por drenajes de mina (Pomfret, 1973; Bray, 2007). Asimismo, se reporta especies tolerantes a ambientes con alto contenido de contaminación orgánica como especies del género *Nitzschia* (Lessmann *et al.*, 2000; Gerhardt *et al.*, 2008), *Pinnularia* (Palmer, 1969) y *Euglena* (Guamán y González, 2016). La calidad ecológica en este punto fue pésima, debido a la baja riqueza de macroinvertebrados (3 especies) y por la presencia de taxones tolerantes a la exposición de metales pesados como individuos de la familia Chironomidae (Loayza-Muro *et al.*, 2014) y de las familias Psychodidae y Lumbriculidae (Oligoquetos), las cuales son indicadoras de ambientes altamente disturbados (Mazzoni *et al.*, 2014).

Por lo antes descrito podemos concluir que las filtraciones del PAM Quiulacocha presentan influencia sobre el canal margen derecha lo cual está alterando las características fisicoquímicas de las aguas de este canal, ya que los parámetros evaluados incrementaron en concentración de metales (hierro, aluminio, zinc, plomo, arsénico, cobre y litio) en el tramo aledaño al sector norte del dique del PAM Quiulacocha.

#### Sector sur del dique de contención del PAM Quiulacocha

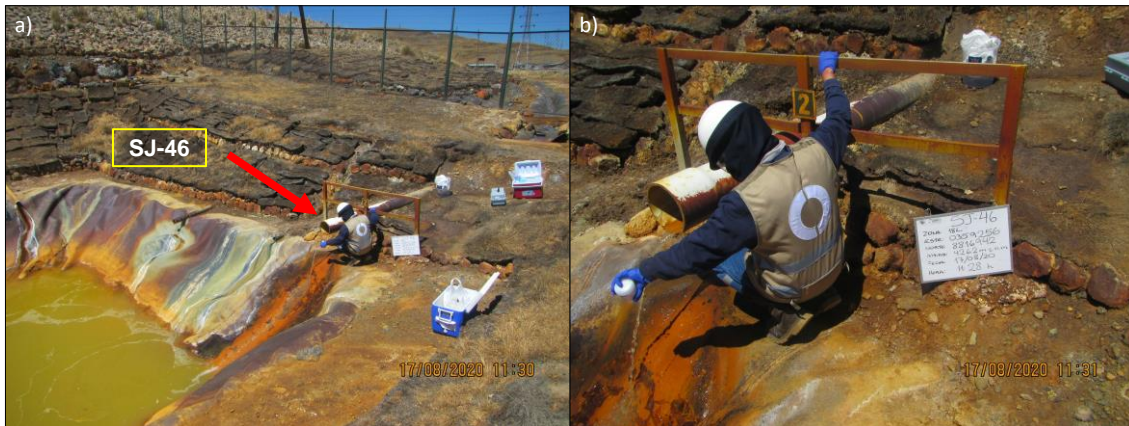
En este sector se determinó la ubicación y dirección de flujos que cruzan el dique de contención, mediante el análisis de las secciones de resistividad LT-AM-02, dispuesta en forma paralela. Además, se evaluó la influencia de estos flujos hacia el piezómetro PZ-4A y hacia el agua superficial en el tramo comprendido entre los puntos SJ-9 y RRagr-2 (Figura 7.14).



**Figura 7.14.** Ubicación de los puntos de agua superficial, piezómetros y líneas de tomografía eléctrica en el sector sur del PAM Quiulacocha

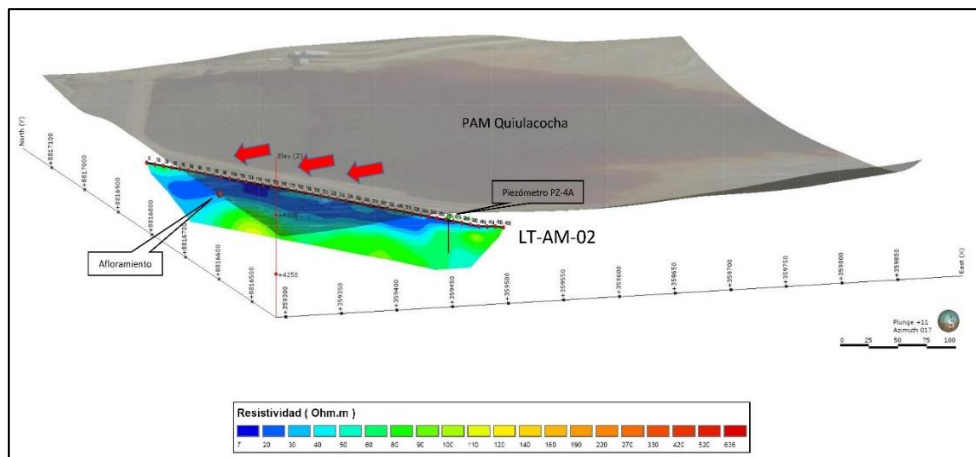


Durante el recorrido realizado en setiembre de 2020 en el sector sur del dique, se identificó una zona de filtración (E: 359328, N: 8816722), la cual se encuentra captada y conducida hacia la poza de bombeo, mediante un canal de geomembrana y tubería HDPE de aproximadamente 8 pulg. de diámetro. Estos flujos presentaron pH ácido (5,18 unidades de pH), conductividad elevada (9970  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y concentraciones elevadas de sulfatos y metales totales. Según Ficklin estas aguas fueron clasificadas como ácidas y con extrema concentración de metales disueltos (Figura 7.15).



**Figura 7.15.** Ubicación del punto SJ-46 que recibe las aguas de la filtración captada en el sector sur del dique de contención del PAM Quiulacocha – agosto 2020

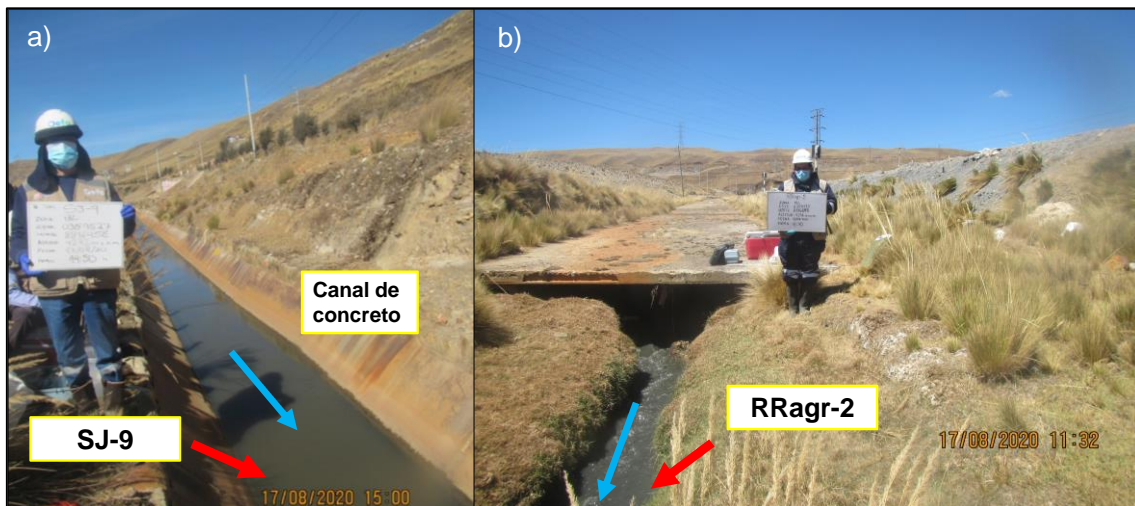
El piezómetro PZ-4A ubicado en el extremo sur del dique de contención del PAM Quiulacocha presentó característica sulfatada cálcica, alcanzando 15,9 meq/L de sulfatos, según Ficklin corresponde a aguas cercanas a la neutralidad con baja concentración de metales disueltos; no obstante se advierte una ligera contaminación del PAM Quiulacocha debido a que presentó un pH ligeramente ácido (6,84-7,28 unidades de pH), conductividad entre 1698 a 1719  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y concentraciones de manganeso que superaron referencialmente los ECA para agua categoría 3, 2017. Esta influencia se asocia a las resistividades bajas (5-31 Ohm.m) reportadas en la sección de tomografía eléctrica de la línea LT-AM-02, la cual corresponde a material glacial-fluvial saturado con presencia de lixiviados y soluciones diluidas de sales mineralizadas (5-15 Ohm.m); específicamente en la estación 360 donde se ubica el piezómetro PZ-4A esta anomalía geofísica alcanza aproximadamente 7 m de profundidad el cual incrementa hacia la parte central del dique (Figura 7.16).



**Figura 7.16.** Zonas de baja resistividad en la sección LT-AM-02, asociadas al piezómetro PZ-4

Además este piezómetro presentó valores superiores e incremento respecto al manantial FCab1 (punto blanco debido a que corresponde a la zona de recarga) en conductividad eléctrica (840 a 1719  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sulfatos (36 a 766 mg/L), arsénico (0,00421 a 0,01976 mg/L), hierro (<0,03 a 3,2 mg/L), magnesio (8,47 a 68,1 mg/L), manganeso (0,00632 a 3,3065 mg/L), plomo (<0,00006 a 0,03255 mg/L) y zinc (0,019 a 0,258 mg/L), asimismo, se precisa que el manantial corresponde a aguas bicarbonatadas cálcicas con bajas concentraciones de iones mayoritarios (bicarbonatos = 3,42 meq/L), según Ficklin fue clasificado como aguas neutras con baja concentración de metales disueltos.

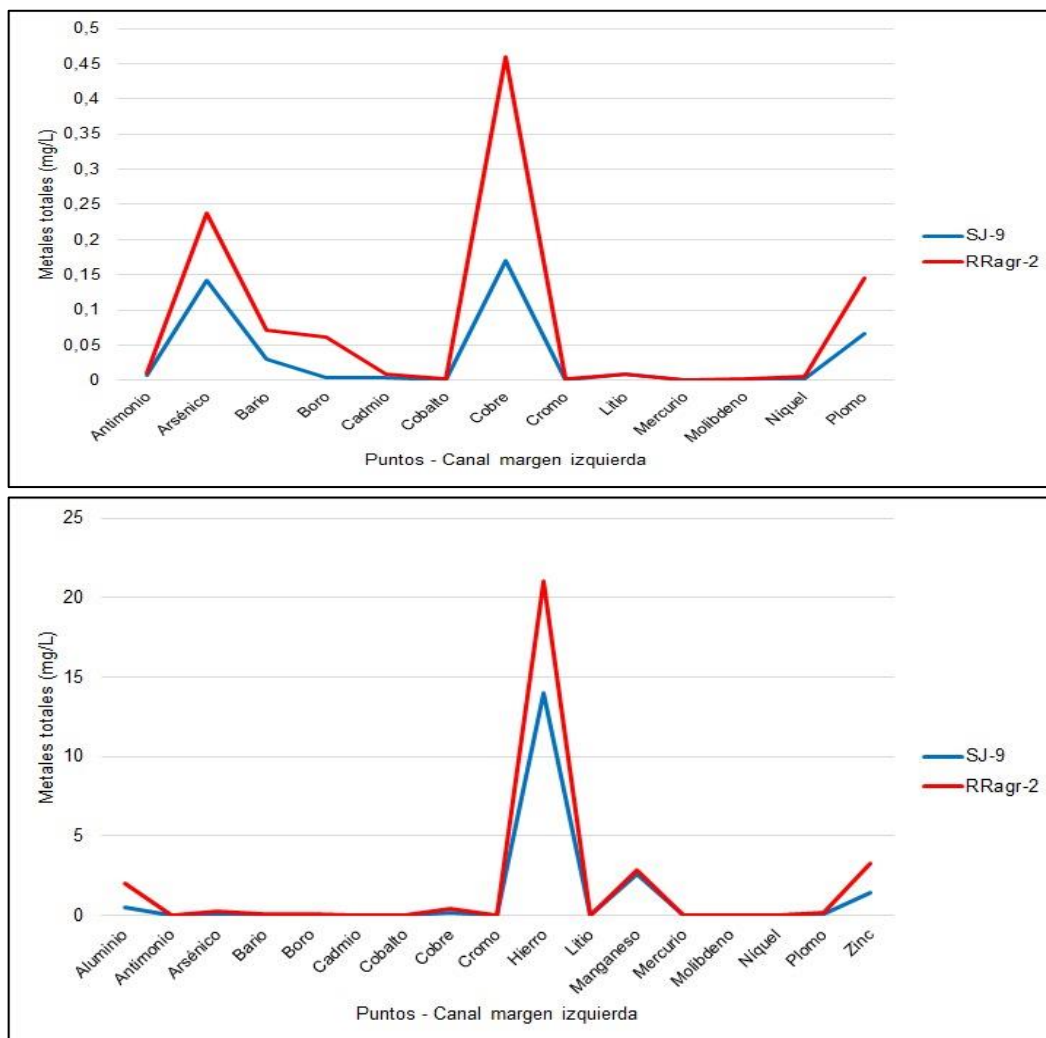
El canal de la margen izquierda, comprendido entre los puntos SJ-9 (extremo sur del dique de contención del PAM Quiulacocha) y RRagr-2 (75 m aproximadamente antes de la confluencia con el canal de la margen derecha), se encontró cubierto con tapas de concreto y probablemente sin revestimiento de concreto en la base, tal como se observó en el punto RRagr-2 (Figura 7.17).



**Figura 7.17.** Puntos evaluados en el canal de la margen izquierda a) SJ-9 y b) RRagr-2

El agua de este canal varió de facies bicarbonatada cálcica-sódica en el punto SJ-9 a bicarbonatada sódica - cálcica en el punto RRagr-2 y según Ficklin con aguas cercanas a la neutralidad con baja carga de metales disueltos, no obstante, el punto RRagr-2 presentó mayor concentración, ubicándose al límite con la clasificación alta carga de metales. Además, en este tramo se reportó incrementos principalmente en las concentraciones de hierro (de 14 mg/L a 21 mg/L), zinc (de 1,44 mg/L a 3,32 mg/L), manganeso (de 2,5835 mg/L a 2,8515 mg/L) y aluminio (de 0,546 mg/L a 2,06 mg/L) y en menor proporción cobre (de 0,1701 mg/L a 0,4591 mg/L), arsénico (de 0,14147 mg/L a 0,23728 mg/L), plomo (de 0,0666 mg/L a 0,14611 mg/L), bario (de 0,0301 mg/L a 0,0707 mg/L), boro (de 0,004 mg/L a 0,062 mg/L) y cadmio (de 0,0038 mg/L a 0,00862 mg/L) (Figura 7.18).

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



**Figura 7.18.** Comparación de concentraciones de metales totales entre los puntos SJ-9 y RRagr-2 a) mayor rango de concentración y b) a menor rango de concentración

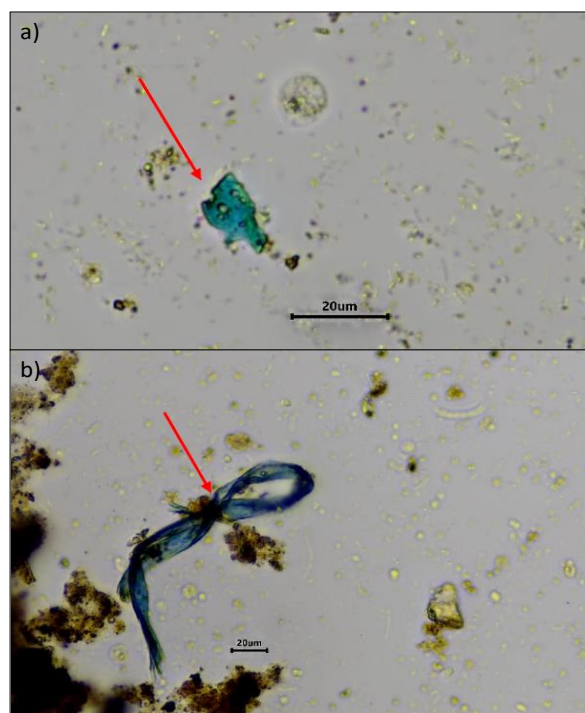
Por lo antes descrito, se estima que los flujos provenientes del PAM Quiulacocho y que atraviesan el dique de contención (corroborado en la sección tomográfica LT-AM-02 y la filtración al pie del dique en el sector sur) no son captados en su totalidad en el sistema de recolección de aguas de contacto, en tanto un porcentaje migra hacia el canal de la margen izquierda, incrementando las concentraciones de metales (hierro, zinc, manganeso y aluminio y en menor proporción cobre, arsénico, plomo, bario, boro y cadmio) en el punto RRagr-2 respecto al punto SJ-9.

El punto SJ-48 evaluado en agosto en el río Ragra presentó características de facies sulfatadas magnésicas cálcicas y según el diagrama de Ficklin tuvo características neutras con concentraciones bajas de metales disueltos. Además, este punto presentó conductividad eléctrica elevada (3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y concentraciones de sulfatos, hierro total y manganeso total que superaron referencialmente los ECA para Agua (2017), categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales). Asimismo, los metales totales arsénico, cadmio, cobre, plomo, zinc y mercurio evaluados en el punto SJ-48 superaron los valores los valores de ISQG y PEL de la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG) - Calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática – agua dulce.

Los resultados encontrados en el punto SJ-48 concuerdan con lo reportado por las comunidades hidrobiológicas, registrándose en este punto la dominancia de la especie *Fragilaria capuccina* la cual ha sido descrita como tolerante a metales (Ferreira *et al.*, 2009) y especies del género género *Pseudanabaena*, las cuales se encuentran asociadas a ambientes afectados por drenajes de mina (Pomfret 1974; Bray, 2007). Asimismo, se reporta especies asociadas a ambientes con alto contenido de contaminación orgánica como especies del género *Nitzschia* (Lessmann *et al.*, 2000; Gerhardt *et al.*, 2008), *Pinnularia*, *Phormidium*, *Ankistrodesmus* (Palmer, 1969) y *Euglena* (Guamán y González, 2016). Por otro lado, este reportó solo 3 especies de macroinvertebrados y una calidad ecológica pésima, evidenciado por la presencia de taxones tolerantes de la familia Chironomidae la cual en estudios en ambientes altoandinos (Ancash) ha sido considerado como taxón metal-tolerante (Burgues, 2015; Loayza-Muro, 2014), Por otro lado, también han sido reportados organismos de las familias Psychodidae y Lumbriculidae las cuales han sido descritos como resistentes a ambientes con alta contaminación orgánica (Baloyi *et al.*, 2014).

El río Ragra en la parte alta estaría siendo influenciado, adema de otras fuentes, por el PAM Quiulacocha ya que se determinó que este PAM contribuye en el incremento de metales en las aguas del canal margen izquierda.

Es importante mencionar que, en los puntos SJ-48 y RRagr-1 se reportó la presencia de microplásticos adheridos a la comunidad del perifiton (Reporte de resultados), esto sucede como consecuencia de la mala disposición de los residuos plásticos, los cuales son encontrados a lo largo del canal (Figura 7.19). Si bien, se conoce poco sobre el impacto ecológico de los microplásticos a nivel poblacional o de comunidades en ambientes acuáticos, algunos estudios señalan que los microplásticos representan amenazas a la biodiversidad acuática debido a la fácil absorción por los organismos acuáticos (Bellasi *et al.*, 2020). Según Dioses-Salinas *et al.*, (2019) los microplásticos afectan negativamente a las microalgas em términos de estabilidad poblacional, crecimiento, contenido de clorofila, entre otros.



**Figura 7.19.** Microplásticos encontrados en los puntos: (a) RRagr-1 y (b) SJ-48



## 7.2. Análisis de la contaminación en el sistema suelo-planta-fauna en el ámbito del PAM Quiulacocha

Para determinar la influencia de los elementos de interés en el sistema suelo-planta-fauna se ha realizado el análisis de metales totales, test de lixiviación (Shake flask), extracción secuencial de metales totales por el método de Tessier (modificado), y análisis mineralógico en las matrices roca y suelo; asimismo se consideró parámetros edáficos, metales en material particulado sedimentable y características fisicoquímicas del agua. Por otra parte, se ha evaluado las concentraciones de metales en tejido vegetal y en tejido de mamíferos menores y anfibios, metales en plumas de aves, y su relación con el componente suelo.

Cerro de Pasco Cooper Corporation inició sus actividades de explotación minera por el año 1900, depositando sus relaves en la laguna Quiulacocha hasta aproximadamente 1976, posteriormente, CENTROMIN, continuó depositando relaves hasta 1992, año en la que se colmató<sup>51</sup>. En el 2012<sup>52</sup> se reportó que este depósito almacenaba aproximadamente 78 millones de toneladas de relaves en un área de 115 Ha, procedentes de la concentradora Paragsha desde 1943 hasta 1992. Actualmente este pasivo no cuenta con un plan de cierre aprobado, no obstante, se encuentra a cargo de Activos Mineros S.A.C<sup>53</sup>.

El material de relave de granulometría limoarcillosa presenta principalmente hierro, plomo, zinc, calcio, manganeso, arsénico, aluminio, magnesio y potasio asociado a minerales de cuarzo, sulfuros (pirita y marcasita), óxidos (goethita), sulfatos (yeso, jarosita, melanterita y caolinita), carbonatos (calcita y siderita), caolinita y trazas de Plumbogummita; de estos, los minerales asociados a elementos potencialmente tóxicos son la beudantita ( $Pb(Fe,Al)_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$ ) y Plumbogummita ( $PbAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$ ) por el contenido de plomo en su estructura cristalina; al igual que pirita ( $FeS_2$ ), por su su relación con procesos de generación de aguas ácidas, lo cual fue confirmado con la prueba ABA. Además, este material posee la capacidad de lixiviar sulfato, hierro, magnesio, manganeso, zinc y calcio, y en menor proporción aluminio y arsénico.

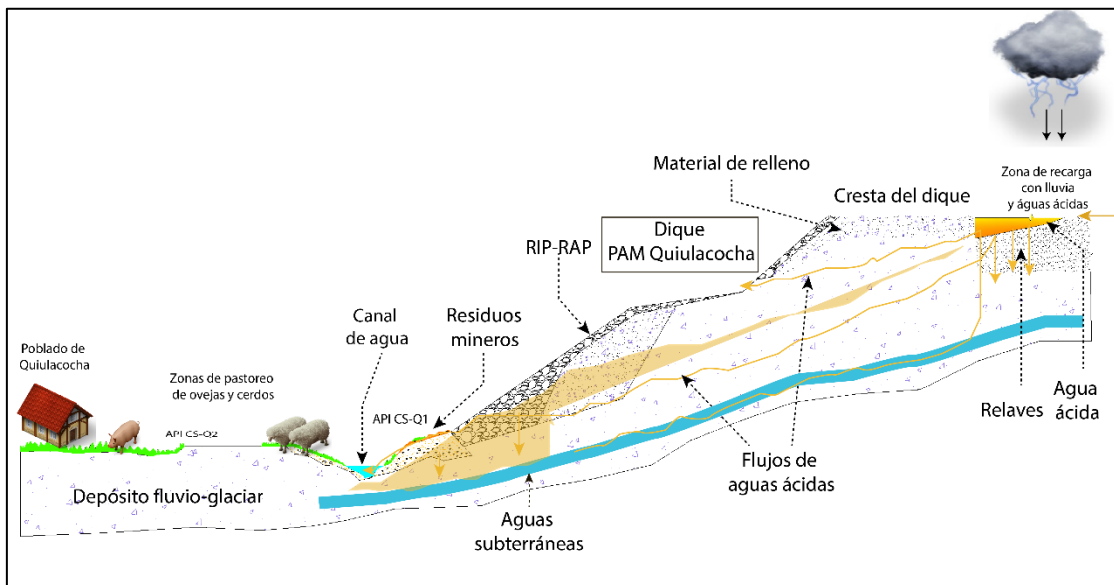
Durante el recorrido en el dique de contención del PAM Quiulacocha se identificó residuos mineros saturados con pequeños flujos de agua en forma laminar, correspondientes a desmontes de mineral que reportaron predominantemente hierro, calcio, aluminio, plomo, zinc, cobre, potasio, manganeso y fósforo, asociados a cuarzo, goethita, muscovita y siderita, acompañado en menor proporción por yeso, plagioclasa, calcita, jarosita, caolinita y trazas de pirita y galena. Este material es generador de drenaje ácido y posee la capacidad de lixiviar sulfato, nitrato, calcio, manganeso, zinc, hierro y en menor proporción magnesio, aluminio silicio y cobre, de los cuales el manganeso, zinc y hierro presentaron concentraciones biodisponibles en las etapas extraíbles e intercambiables.

El mecanismo de liberación y movilización de los contaminantes existentes en el PAM Quiulacocha es producto de la interacción agua – componente / residuo minero, dando como consecuencia el transporte de elementos en solución y partículas hacia los suelos aledaños (Figura 7.20).

<sup>51</sup> Plan de cierre de pasivos ambientales mineros Excelsior y Quiulacocha a cargo de CENTROMIN PERÚ, elaborado por CESEL – 2006.

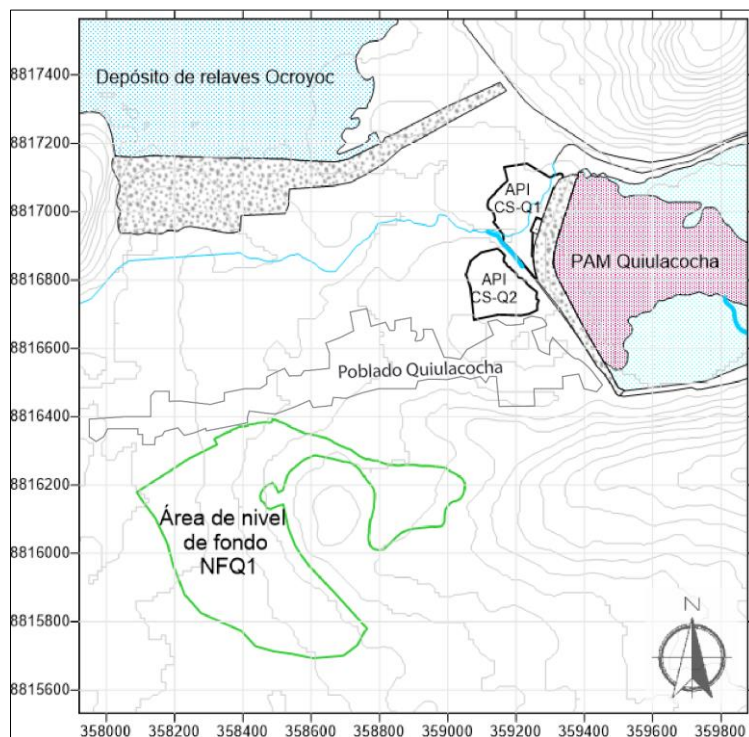
<sup>52</sup> Informe de actividades de la semana de representación parlamentaria emitido el 03 de mayo de 2012 con oficio N° 425-2011-2012-WTVR/CR.

<sup>53</sup> Decreto Supremo N° 058-2006-EM del 3 de octubre del 2008.



**Figura 7.20.** Modelo conceptual de la contaminación y sus receptores asociados al suelo

Con respecto a la calidad de suelo, se evaluaron 2 áreas de potencial interés (CS-Q1 y CS-Q2), ubicados aledaños al pie del dique al lado noroeste y suroeste del PAM Quiulacocho; así como como un área de nivel de fondo (Figura 7.21). La evaluación se realizó a nivel superficial y en perfiles de suelo a través de calicatas, con la finalidad de describir sus capas u horizontes genéticos y corroborar la influencia de contaminantes por materiales de relaves y sus lixiviados relacionados al PAM Quiulacocho para determinar si las características fisicoquímicas del suelo condicionan la biodisponibilidad de contaminantes hacia la flora y fauna –u otros receptores– asociados al suelo.



**Figura 7.21.** Ubicación de las API CS-Q1 y CS-Q2, y áreas de nivel de fondo NFQ1





El contexto geológico aledaño a las API consiste en depósitos cuaternarios de origen glaciar – fluvial derivado de la erosión de morrenas ubicadas en ambas márgenes del PAM Quiulacocha. Estos depósitos se encuentran constituidos por material matriz soportada, polimícticas y heterométrica (0,2 a 10 cm de diámetro), compuesto por fragmentos subredondeados de calizas areniscas, pizarras, cuarcitas, en matriz limoarenosa (Figura 7.22).

El paisaje de las áreas de potencial interés y áreas de nivel de fondo están conformadas por un gran paisaje de colinas altas y bajas, además de planicies; el paisaje de las colinas son laderas largas y cortas, con relieves ligeramente empinados a moderadamente empinados, con valores de pendientes menores a 10 % aproximadamente; las planicies están representadas por depósitos glaciar - fluvial, aluviales y aluvio-columviales con características hidromórficas en zonas puntuales; además, aledaño a los API CS-Q1 y CS-Q2 presentó características asociadas a un paisaje antrópico asociado al PAM Quiulacocha; este paisaje antrópico se ubicó sobre una planicie glaciar – fluvial (Figura 7.22).

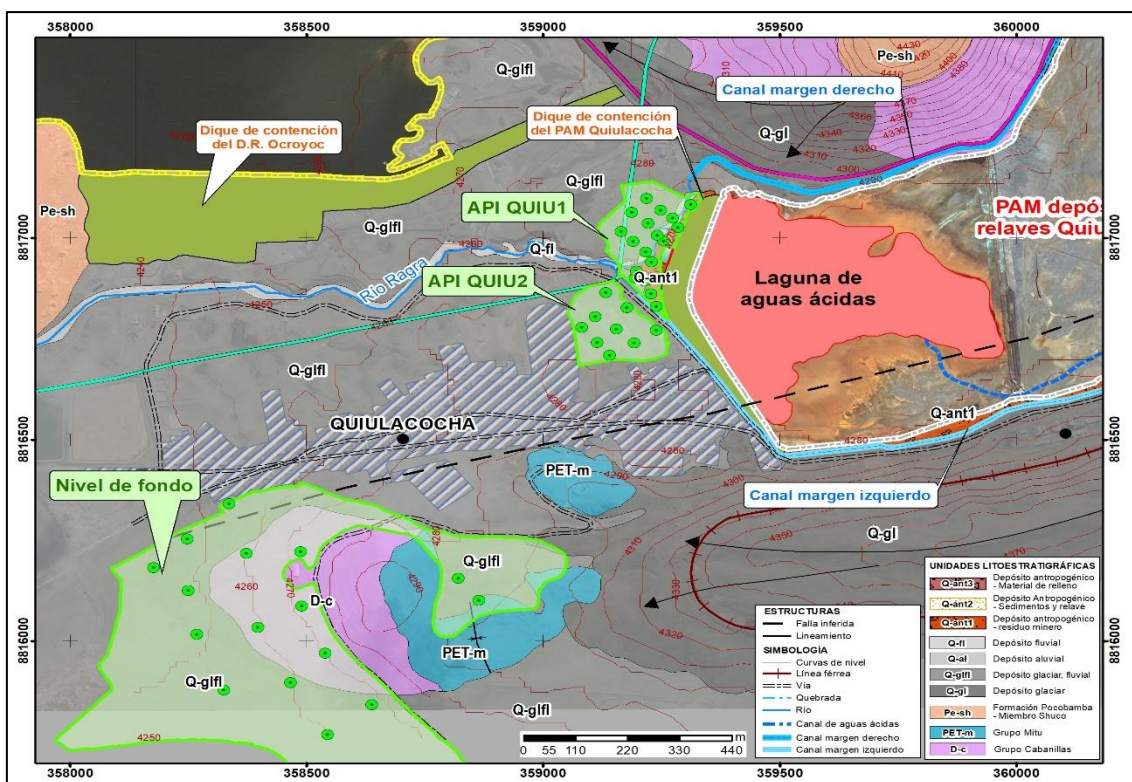


Figura 7.22. Puntos de muestreo de suelo asociados al contexto geológico

La presencia natural de metales pesados en el suelo es condicionada por la roca madre, así como por los procesos edafogénicos que han intervenido en la formación del suelo, normalmente los metales se concentran en contenidos muy bajos, y moderadas aledañas a zonas mineralizadas; sin embargo, por la acción antrópica pueden alcanzar concentraciones superiores a los naturales (Jiménez, 2017). Esto fue evidenciado en los resultados de metales totales en suelos del API CS-Q1 y API CS-Q2 (suelo de uso agrícola), los cuales reportaron concentraciones de arsénico (excepto en un punto) y plomo en todos los puntos, además de cadmio y mercurio en al menos un punto del API CS-Q1 y en todos los puntos del API CS-Q2 (bario solo en un punto), que superaron los ECA para suelo 2017. Cabe precisar que además estos mismos metales superaron referencialmente los valores



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

establecidos en el CSQG para uso agrícola, incluidos cobre, talio y zinc en todos los puntos, así como antimonio, bario, estaño, plata y selenio en al menos un punto (Tabla 7.1).

Por otra parte, estos metales al comparar con los valores de nivel de fondo las concentraciones de antimonio, arsénico, cadmio y zinc lo superaron en todos los puntos; asimismo, los metales bario, berilio, boro, cobre, cobalto, molibdeno, selenio, níquel y talio lo superaron en al menos un punto (Tabla 7.1).

**Tabla 7.1.** Concentraciones de metales en la fuente de contaminación, y concentraciones mínimas, máximas y media en los suelos de las API CS-Q1 y API CS-Q2

Metales (mg/kg)	PAM Quiulacocha			API CS-Q1			API CS-Q2			NFQ1		ECA (2017) <sup>(a)</sup> y CSQG <sup>(b)</sup> Agrícola
	RM- QUI2	RM- QUI3	PAM- 27- Q03	Min.	Máx.	Media	Min.	Máx.	Media	Nivel de fondo	Nivel de referencia	
	18 puntos			9 puntos			16 puntos					
Antimonio	14,28	18,58	46,87	0,474	31	7,791	3,675	137,5	25,06	0,224	0,334	20 <sup>(b)</sup>
Arsénico	849	981	1836	25,5	2855	416,2	193	955	437,4	98,04	152,2	50 <sup>(a)</sup> ;12 <sup>(b)</sup>
Bario	249,0	29,81	153,2	36,18	464	185,4	114	1361	377,4	124	181,2	750 <sup>(a)(b)</sup>
Boro	4,093	1,808	4,600	3,219	22,3	6,293	1,661	9,873	6,238	5,574	10,28	2 <sup>(b)</sup>
Cadmio	5,3353	3,8374	14,613	0,419	34,54	5,558	1,603	4,697	2,961	0,816	1,356	1,4 <sup>(a)(b)</sup>
Cobre	2275	66	300	17	820	252,6	172	844	429	91,28	135	63 <sup>(b)</sup>
Cobalto	1,626	0,483	1,420	0,731	11,6	4,278	0,968	7,533	5,018	4,606	7,334	40 <sup>(b)</sup>
Mercurio	4,19	0,221	0,155	0,375	39,2	4,558	22	194	85,11	2,306	2,91	6,6 <sup>(a)(b)</sup>
Molibdeno	1,215	0,677	1,679	0,058	4,99	0,893	0,173	1,33	0,721	0,346	0,797	5 <sup>(b)</sup>
Plomo	48,81	9,755	4562	279	10114	2078	764	8385	2609	305	440,2	70 <sup>(a)(b)</sup>
Selenio	4,505	0,460	1,095	0,006	1,561	0,7	0,343	3,952	1,653	0,26	0,505	1 <sup>(b)</sup>
Talio	15,45	20,14	23,68	1,047	26,97	5,842	1,268	3,307	2,625	1,632	2,385	1 <sup>(b)</sup>
Zinc	2338	3492	5807	128	10979	1896	520	1211	791,1	236,7	411,1	250 <sup>(b)</sup>

Concentración que supera al ECA para suelo agrícola 2017, y referencialmente la CSQG para suelo agrícola, además del nivel de fondo y referencia

<sup>(a)</sup> Estándares de calidad ambiental para suelo, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM

<sup>(b)</sup> Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health - Canadian Council of Ministers of the Environment. (1999)

La contaminación de suelos puede definirse como el aporte de un elemento o compuesto químico desde el exterior, provocando un aumento respecto a la concentración inicial (Porta *et al.*, 2003). Por su parte, Durán (2010) indicó que, para poder hablar de contaminación de suelos, es necesario tener una referencia de cuando estos suelos estuvieron libres de contaminación (nivel de fondo y nivel de referencia). Además, según el Decreto Supremo N.º 012-2017-MINAM, un «sitio contaminado es un área en la cual el suelo contiene contaminantes provenientes de actividades antrópicas, en concentraciones que pueden representar riesgos para la salud o el ambiente, debido a que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, estándares internacionales o los niveles de fondo, siempre que estos últimos presenten valores que excedan dichos estándares». En base a lo descrito y a los resultados obtenidos, el API CS-Q1 y API CS-Q2 se consideraron como sitios contaminados.

La distribución de las concentraciones de estos metales en las API y áreas de nivel de fondo se presentan en las Figuras 7.23 y 7.24; en la que se observa que las mayores concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio, plomo, cobre y zinc se encuentran en el lado noreste del API CS-Q1 y API CS-Q2, debido a la influencia de material del PAM Quiulacocha y material mineralizado dispuesto al pie del dique de contención.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección Técnica Científica

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

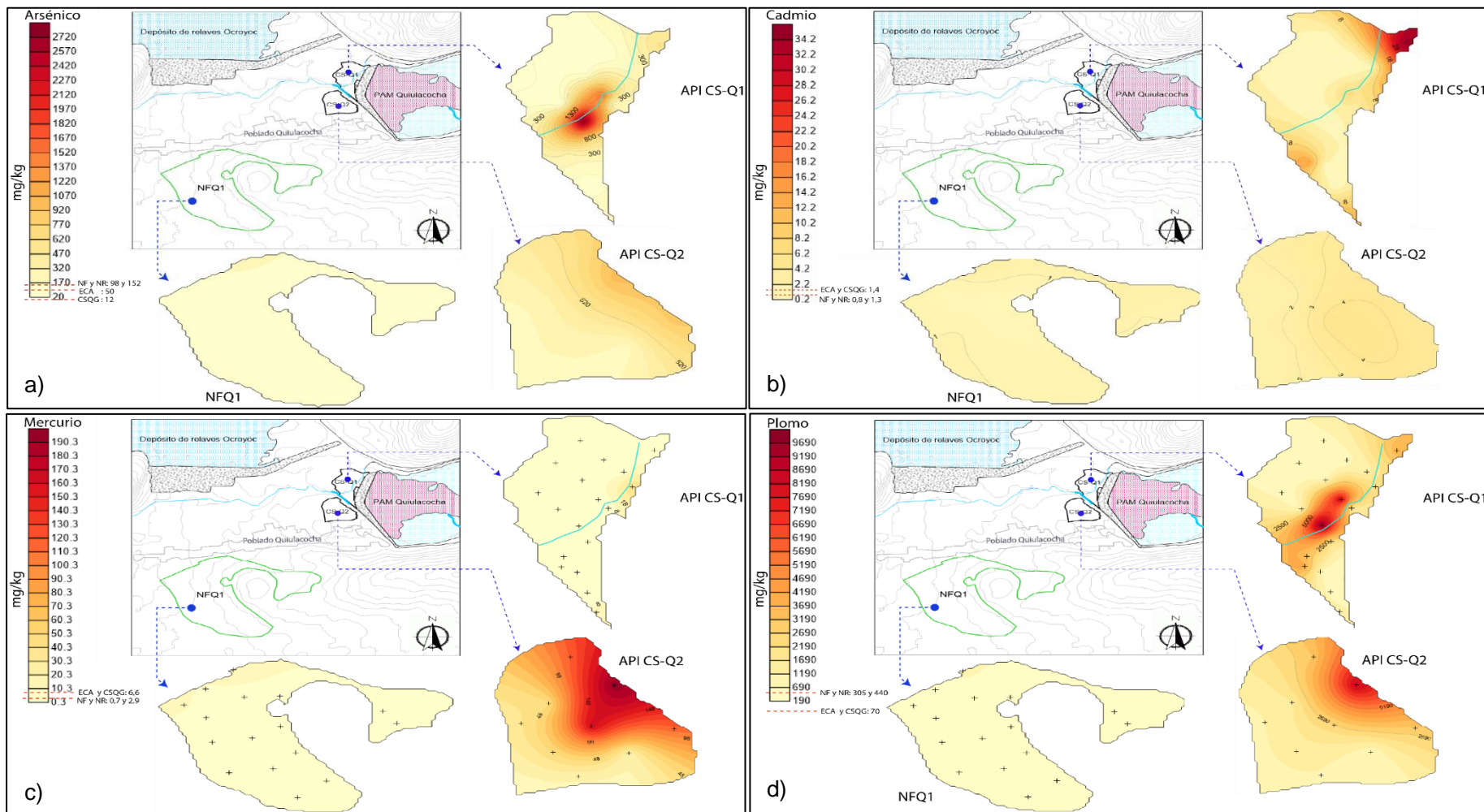
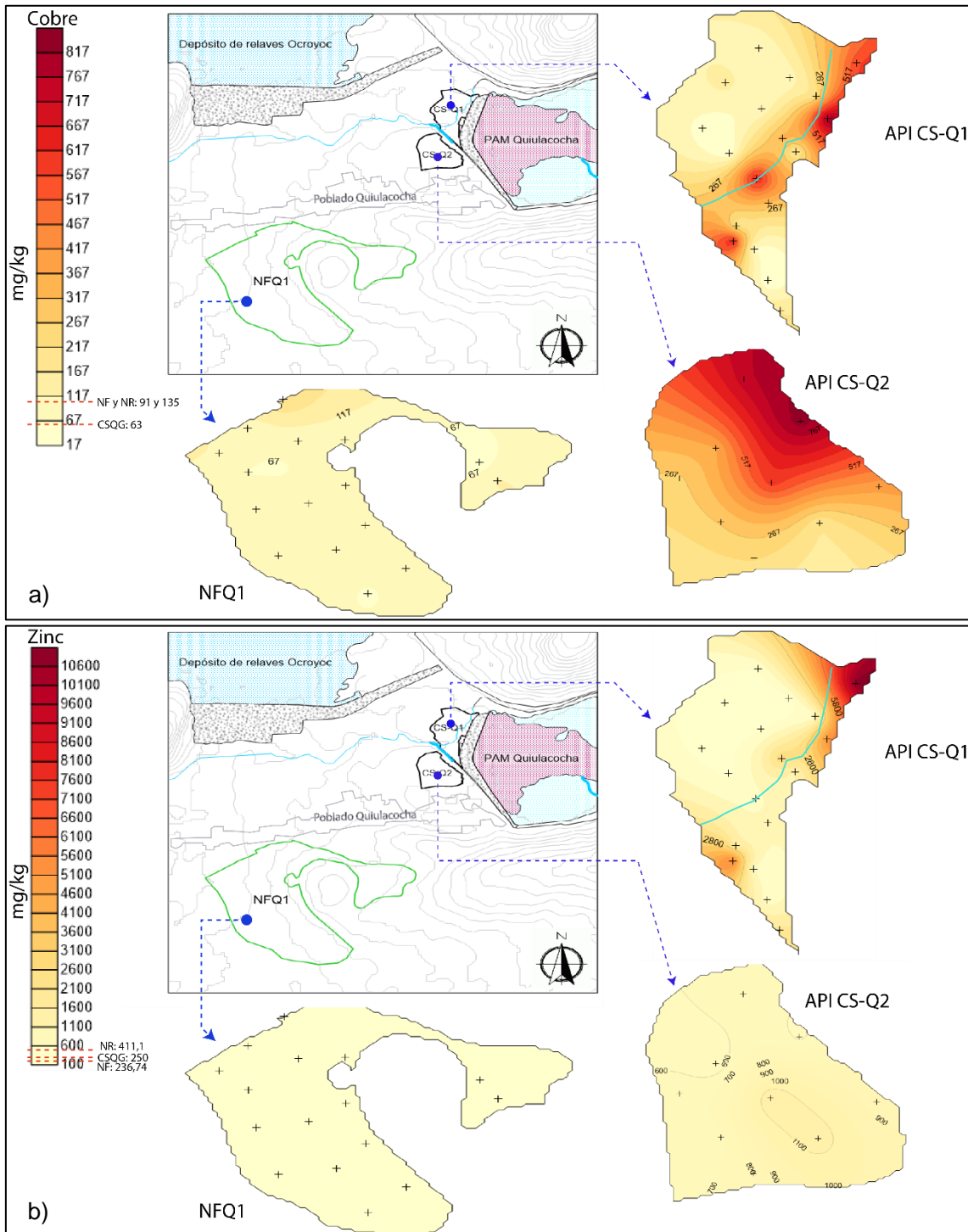


Figura 7.23. Distribución de las concentraciones de metales en las API CSQ1 y CSQ2 y áreas de nivel de fondo NSFQ1: a) arsénico, b) cadmio c) mercurio y d) plomo



**Figura 7.24.** Distribución de las concentraciones de metales en las API CSQ1 y CSQ2 y áreas de nivel de fondo NSFQ1: a) cobre y b) zinc

En el suelo del API CS-Q1 y API CS-Q2, las altas concentraciones de metales que superaron las normas indicadas y los valores de nivel de fondo fueron influenciadas por los materiales del PAM Quiulacocha, dispuestos en el vaso de la presa de relaves y a materiales mineralizados presentes al pie del talud del dique y zonas adyacentes. La caracterización de los relaves (fase sólida y líquida), así como la caracterización de los materiales acumulados al pie del dique de contención guardan relación con la concentración de metales

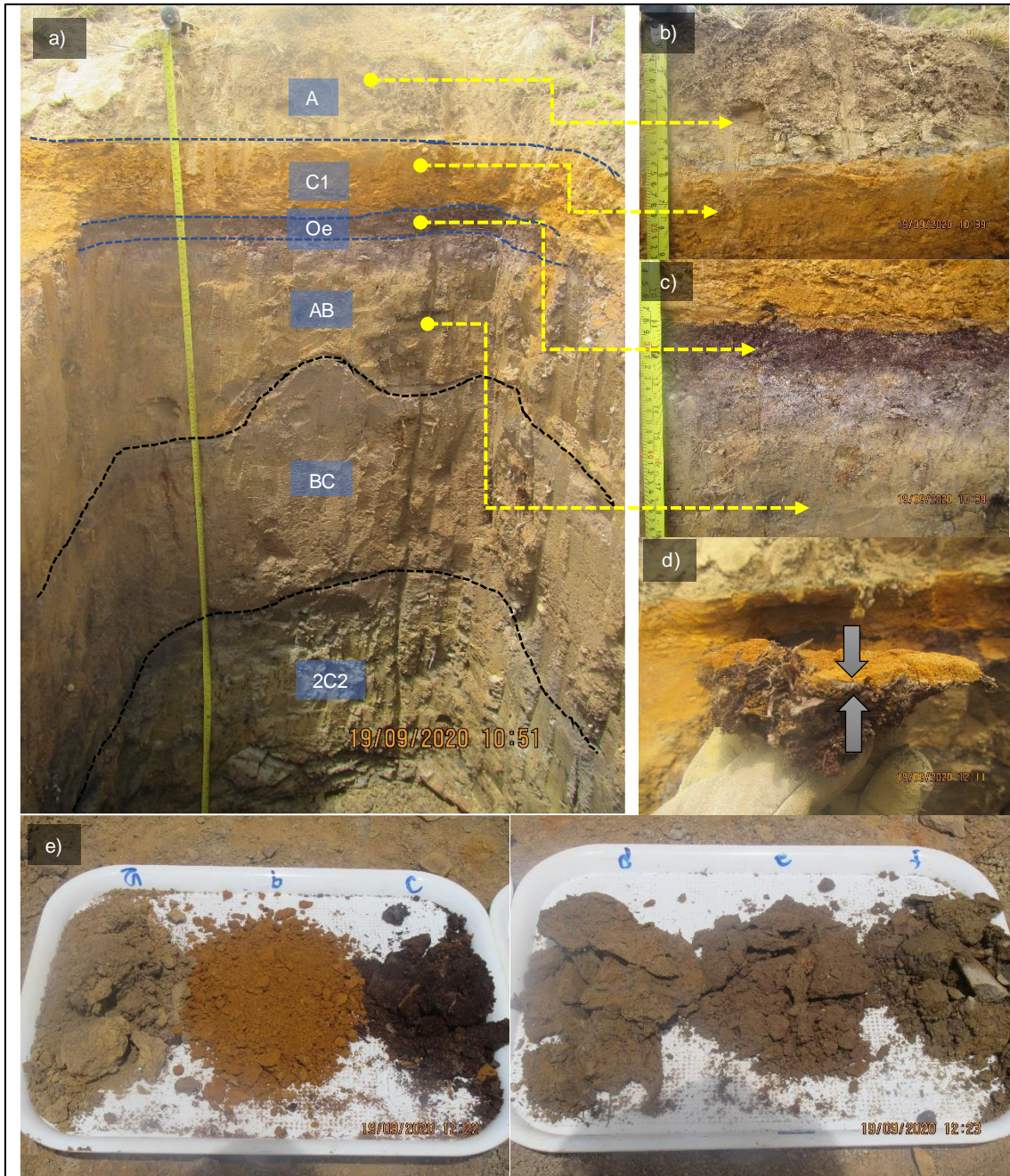


en el suelo (Figuras 7.32). El transporte de los contaminantes desde la fuente hasta los suelos de las API se dio por el arrastre de materiales por la escorrentía; además se observó filtración de flujos pequeños con alta carga de metales que discurren sobre el suelo, llegando a alterar las aguas superficiales y subterráneas (Figura 7.20). Este suelo afectado se convierte en un foco de contaminación alterando a la flora y fauna.

Las altas concentraciones de metales en superficie, también se evidenciaron en profundidad, los cuales fueron evaluados en los perfiles de las calicatas CS-Q-9 (API CS-Q1) y CS-Q-18 (API CS-Q2).

El perfil de suelo evaluado en la calicata CS-Q-9, presentó seis horizontes bien definidos: «A», «C1», «Oe», «AB», «BC» y «2C2» (Figura 7.25), los cuales indicaron un suelo con una escasa cobertura vegetal de características antrópicas (epipedón antrópico), debido al material no edáfico que se encuentra entre el horizonte «A» y el horizonte «Oe». El horizonte «C1», de 0,13 m de espesor, se caracterizó por tener un material producto de la alteración de minerales de sulfuro de textura franco limosa de color 10YR 7/8 (en seco) y amarillo parduzco (10YR 6/8 en húmedo), con una mineralogía predominantemente conformado por goethita (78 %), seguido de beudantita y jarosita, según Porta *et al.* (2013) estos minerales favorecen la acidez del suelo, tal como se registró en la muestra CS-Q-9b (horizonte C1) con un pH ultra ácido (2,62 unidades); además presentó una alta concentración de metales como antimonio (110,4 mg/kg), arsénico (5054 mg/kg), cobre (1035 mg/kg), estaño (11,26 mg/kg), plomo (6695 mg/kg), zinc (810 mg/kg), entre otros. Estas características guardan relación con la caracterización geoquímica del material del PAM Quiulacocha (PAM-27-Q03 y RM-QUI2) los cuales presentaron altos contenidos de sulfuros con potencial generador de acidez, además de altas concentraciones de metales totales (arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc), metales solubles (arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, zinc y azufre) y sulfatos. El horizonte «Oe», conformado por material orgánico de descomposición intermedia indicó que efectivamente recibió aportes de materiales de origen antrópico asociados al PAM Quiulacocha.

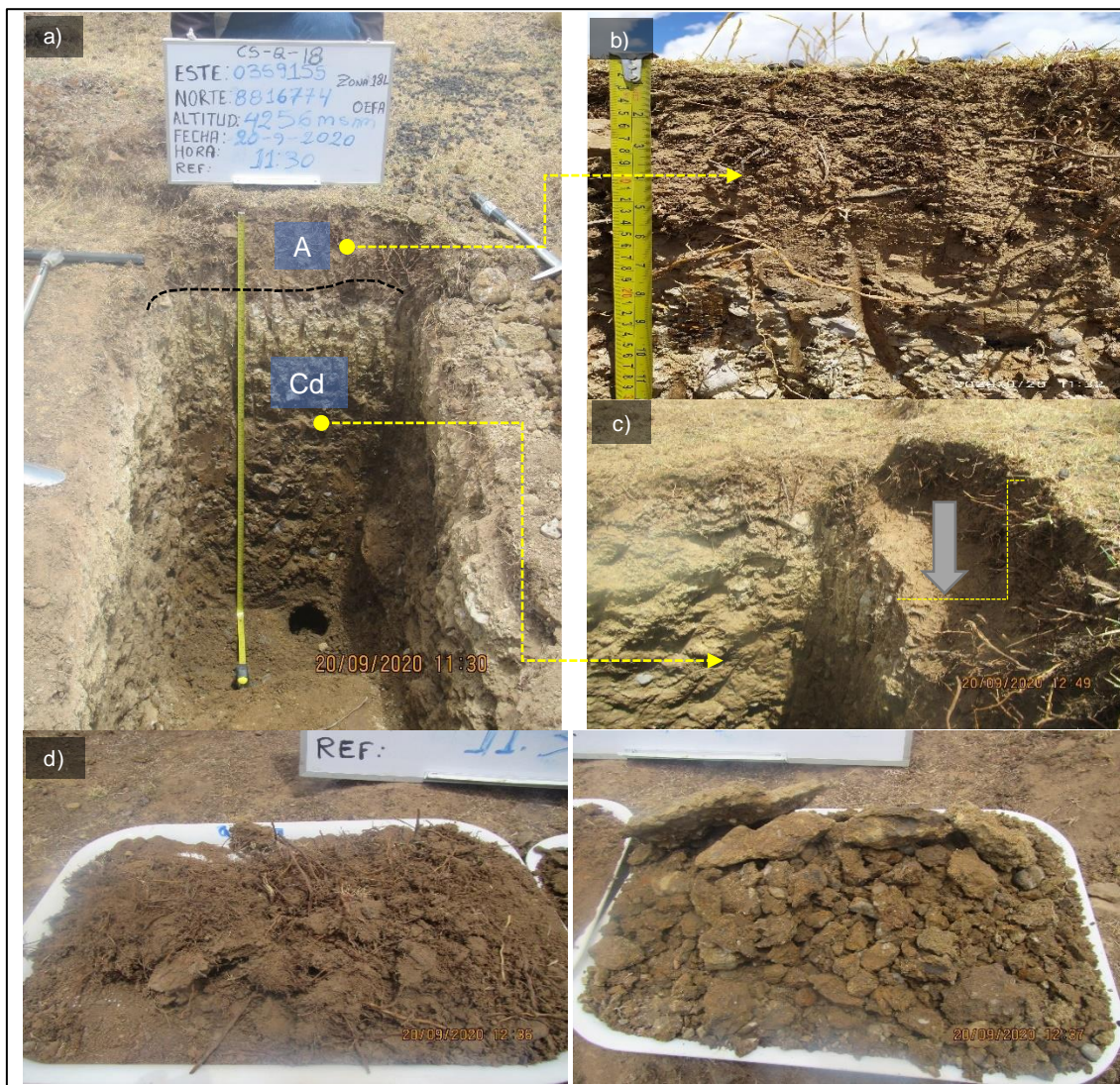
Las características fisicoquímicas de los demás horizontes («AB», «BC» y «2C2») presentaron pH extremadamente ácidos (3,5 - < 4,5) a ultrácidos (< 3,5) y texturas franco arcillosa que corresponden a suelos fluvio- glacial interdigitado con secuencias de llanura de inundación debido a la cercanía al cauce antiguo del río Ragra. No obstante, se reportó altas concentraciones de metales producto de la lixiviación del horizonte superior («A» y «C1») que migran verticalmente a través del perfil incrementando estos valores con respecto a su background calculado para este sector (Figura 7.25). La profundidad de perfil de esta calicata fue de 1,60 m de profundidad.



**Figura 7.25.** Calicata CS-Q-9: a) foto del perfil del suelo, con sus horizontes donde se observa cambios texturales y de color abruptos entre el horizonte «C1» y «Oe», b) Horizonte «A» y «C1», c) Horizonte «Oe» de descomposición intermedia, d) Contacto entre el horizonte «C1» y «Oe», y e) muestras de suelo de los seis horizontes

El suelo del API CS-Q2, a diferencia del suelo del API CS-Q1, presentó una mayor cobertura de pastos altoandinos. El perfil del suelo en la calicata CS-Q-18 presentó dos horizontes: «A» y «Cd» (Figura 7.26). El horizonte superficial «A» de 0,15 m de profundidad (muy superficial), presentó óxidos de hierro, pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino, ligera salinidad y moderadamente calcáreo; con un cambio textural abrupto hacia el horizonte inferior «Cd» de características densas con textura franco-arcillosa, pH cercanos a la neutralidad y ligeramente salinos, conformado por fragmentos mineralizados con óxidos, en matriz de limos y arcillas fuertemente cementadas. Además, el horizonte «Cd» presentó

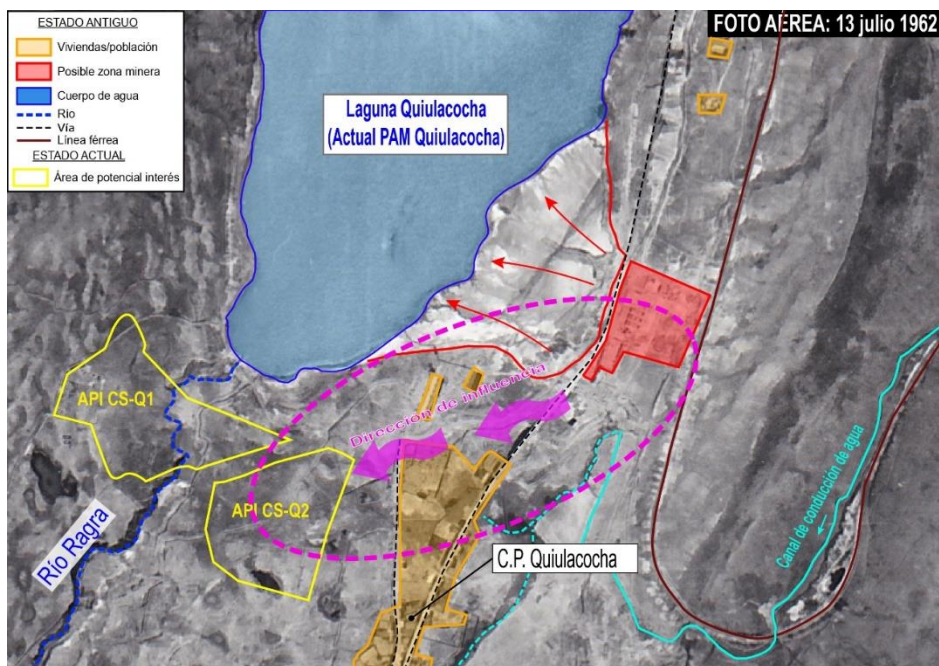
concentraciones de arsénico (150 mg/kg), cadmio (6,5 mg/kg), plomo (1021 mg/kg) y cobre (1677 mg/kg) que superaron las normas indicadas, similar al horizonte «A» con adición de mercurio (163 mg/kg) que fue mayor respecto al horizonte inferior (2,26 mg/kg). Estas características indicaron que el material glacial-fluvial presentó influencia de material de origen antrópico en ambos horizontes, sustentado en la similitud de metales existentes en el PAM Quiulacocho y residuos mineros (PAM-27-Q03 y RM-QUI2).



**Figura 7.26.** Calicata CS-Q-18: a) foto del perfil del suelo con sus horizontes, b) Horizonte «A», c) Horizonte «Cd» donde se observa el cambio textural abrupto, d) muestra de suelos de los dos horizontes «A» y «Cd»

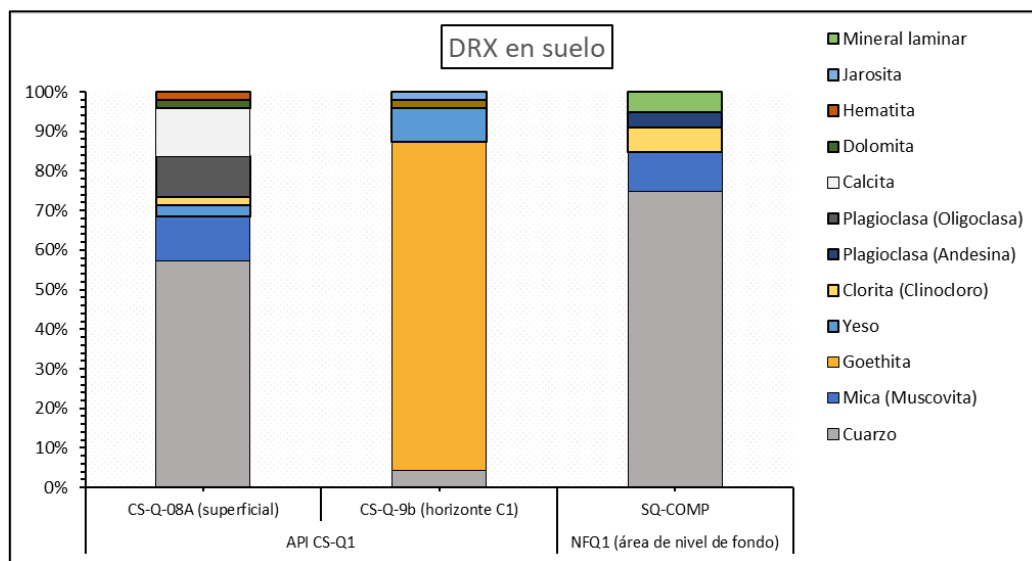
Respecto a las altas concentraciones de mercurio en los horizontes superficiales del API CS-Q2 (entre 22 a 194 mg/kg), éstas no guardan relación con las dos fuentes antrópicas caracterizadas (relave de PAM Quiulacocho y residuos mineros), ni mucho menos con el material parental de origen glacial-fluvial (muestras CG-QUI5 y CG-QUI6), los cuales reportaron concentraciones bajas: PAM Quiulacocho (entre 0,155 a 3,89 mg/kg), residuo minero (4,19 mg/kg) y depósito glacial-fluvial (0,561 a 1,54 mg/kg). Estas concentraciones anómalas se deberían a un aporte adicional asociado al manejo inadecuado de mercurio por actividades mineras de origen desconocido (infraestructuras antiguas) aledaños al API CS-Q2, lo cual fue interpretado en base a la fotografía aérea de 13 de julio 1962 (Figura 7.27).

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



**Figura 7.27.** Actividades mineras de origen desconocido identificadas en la fotografía aérea de 13 de julio 1962 y ubicación de áreas de potencial interés evaluados en agosto y setiembre de 2020

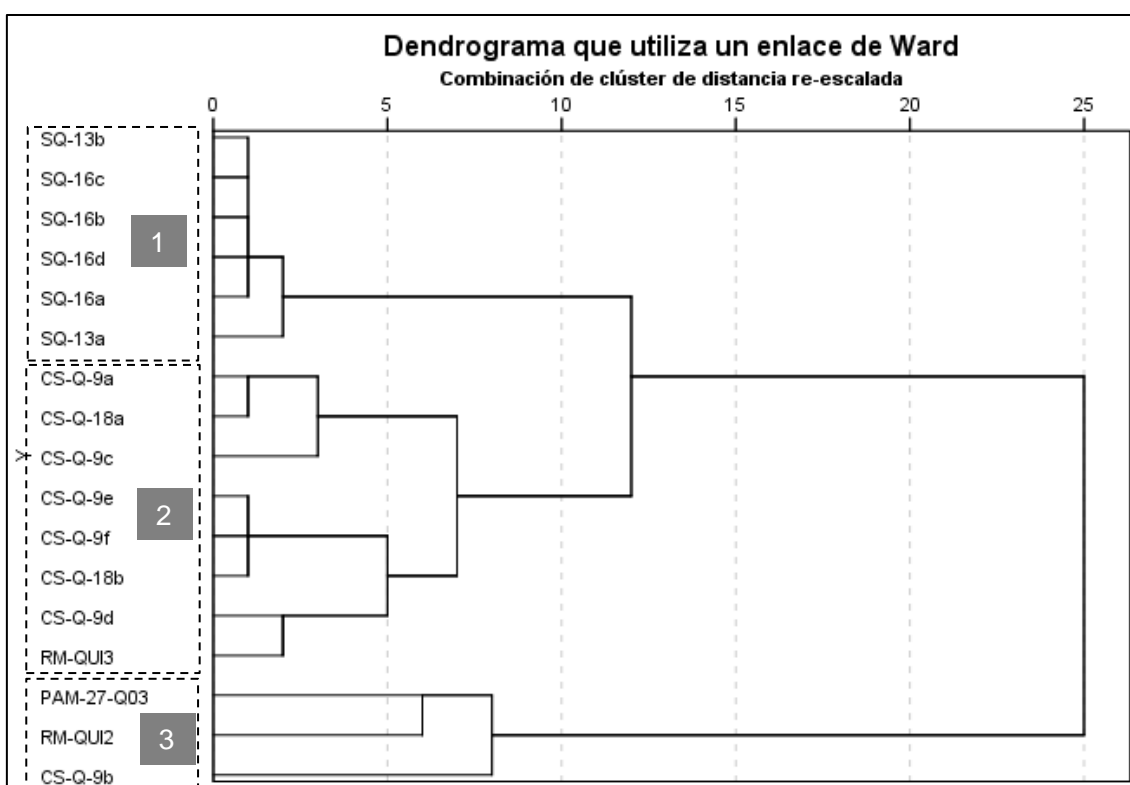
Las muestras superficiales y en profundidad de suelos del área de nivel de fondo NFQ1, a diferencia del API CS-Q1, presentaron en general suelos con menores concentraciones de metales, y sus parámetros fisicoquímicos indicaron bajas conductividades (69,7 a 222 uS/cm) y pH de fuertemente a ligeramente ácidos. Asimismo, la mineralogía del suelo NFQ1 estuvo compuesto mayormente por cuarzo (> 80 %) seguido de micas, cloritas, y en menores porcentajes minerales laminares (arcillas), asociados al intemperismo de areniscas, pizarras y esquistos del Grupo Cabanillas, a diferencia de los suelos del API CS-Q1, que presentó una composición mineralógica más variada, incluyendo minerales de alteración como goethita y jarosita como consecuencia del material lixiviado del PAM Quiulacocha (Figura 7.28).



**Figura 7.28.** Distribución porcentual de la mineralogía por DRX en suelos del API CS-Q1 y área de nivel de fondo NFQ1



Las diferencias antes mencionadas, se sustentan en el análisis cluster por el método de Ward que en base a sus concentraciones de metales, pH y conductividad eléctrica de las muestras de suelo en las calicatas, así como de metales y pH de muestras de residuos mineros caracterizados en la fuente, indicó que a una distancia re-escalada de 10 conformó tres grupos bien diferenciados: el primer grupo estuvo conformado por las muestras de las calicatas SQ-13 y SQ-16 provenientes del área de nivel de fondo, el segundo grupo conformado por las calicatas CS-Q-9 y CS-Q-18 del API CS-Q1 y CS-Q2, asociados al material de relave RM-QUI3 (superficie alterada), y el tercer grupo estuvo conformado por la muestra del residuo minero RM-QUI2 y la muestra de relave próximo al dique de contención del PAM Quiulacocha (PAM-27-Q03), incluyendo la muestra CS-Q-9b correspondiente a la calicata CS-Q-9; la inclusión de esta muestra de suelo en el grupo 3 se debe a las características químicas y físicas antes indicadas, confirmando de esta manera su origen antrópico y no edáfico en el horizonte del perfil del suelo (Figura 7.29).



**Figura 7.29.** Dendrograma por análisis de clúster en los horizontes del suelo de las calicatas del API (CS-Q1 y CS-Q2), y calicatas del área de nivel de fondo (NFQ1) evaluadas según la concentración de metales

Según el índice de geoacumulación, el suelo del API CS-Q1 estaría extremadamente contaminado con antimonio y fuertemente contaminado con plomo y zinc, además estaría moderadamente contaminado a fuertemente contaminado por arsénico, cadmio y cobre (Figura 7.30a), por otra parte, el suelo del API CS-Q2 estaría fuertemente contaminado con antimonio y mercurio y de moderadamente a fuertemente contaminado en el resto de los metales (Figura 7.30b).



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

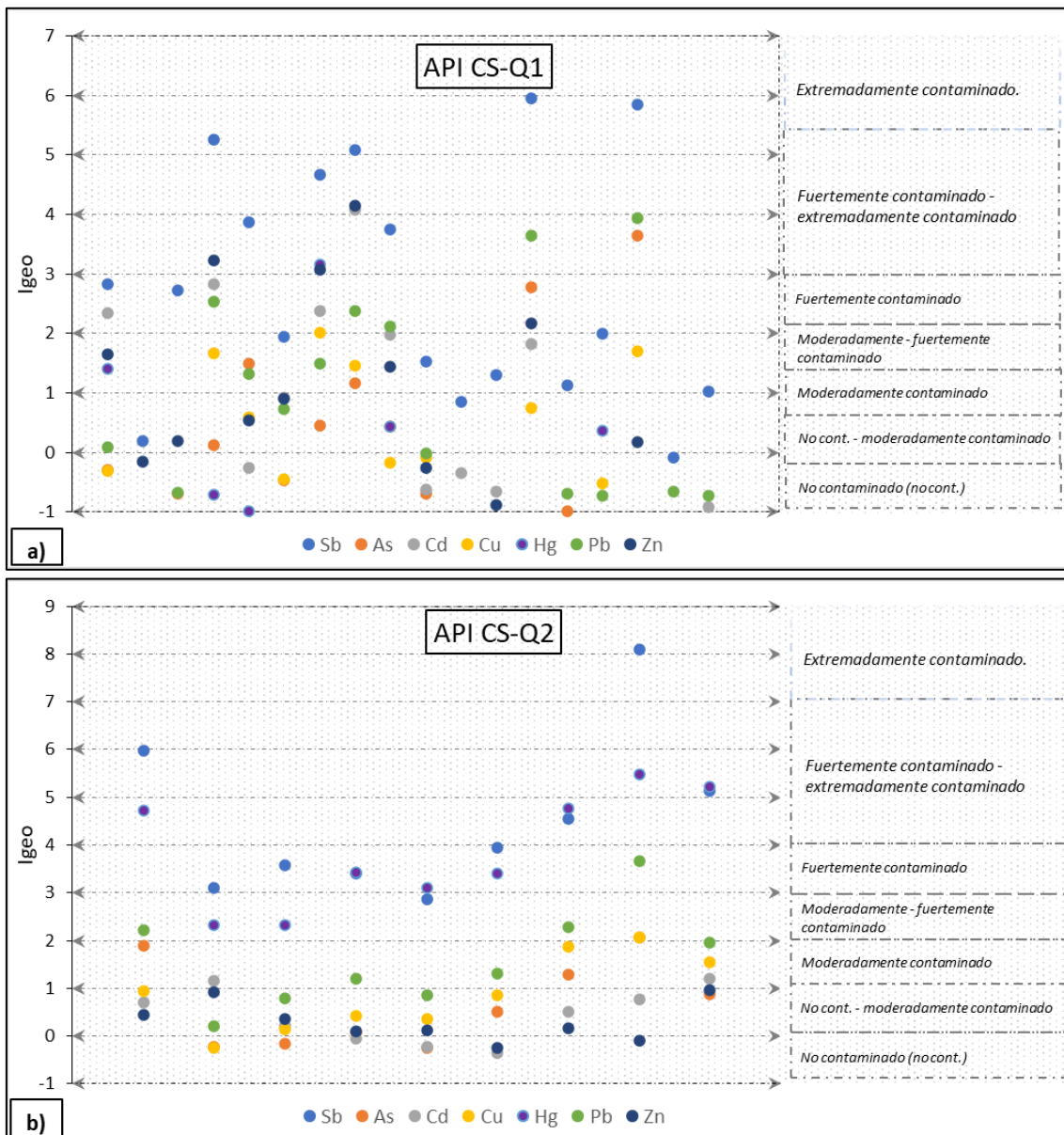
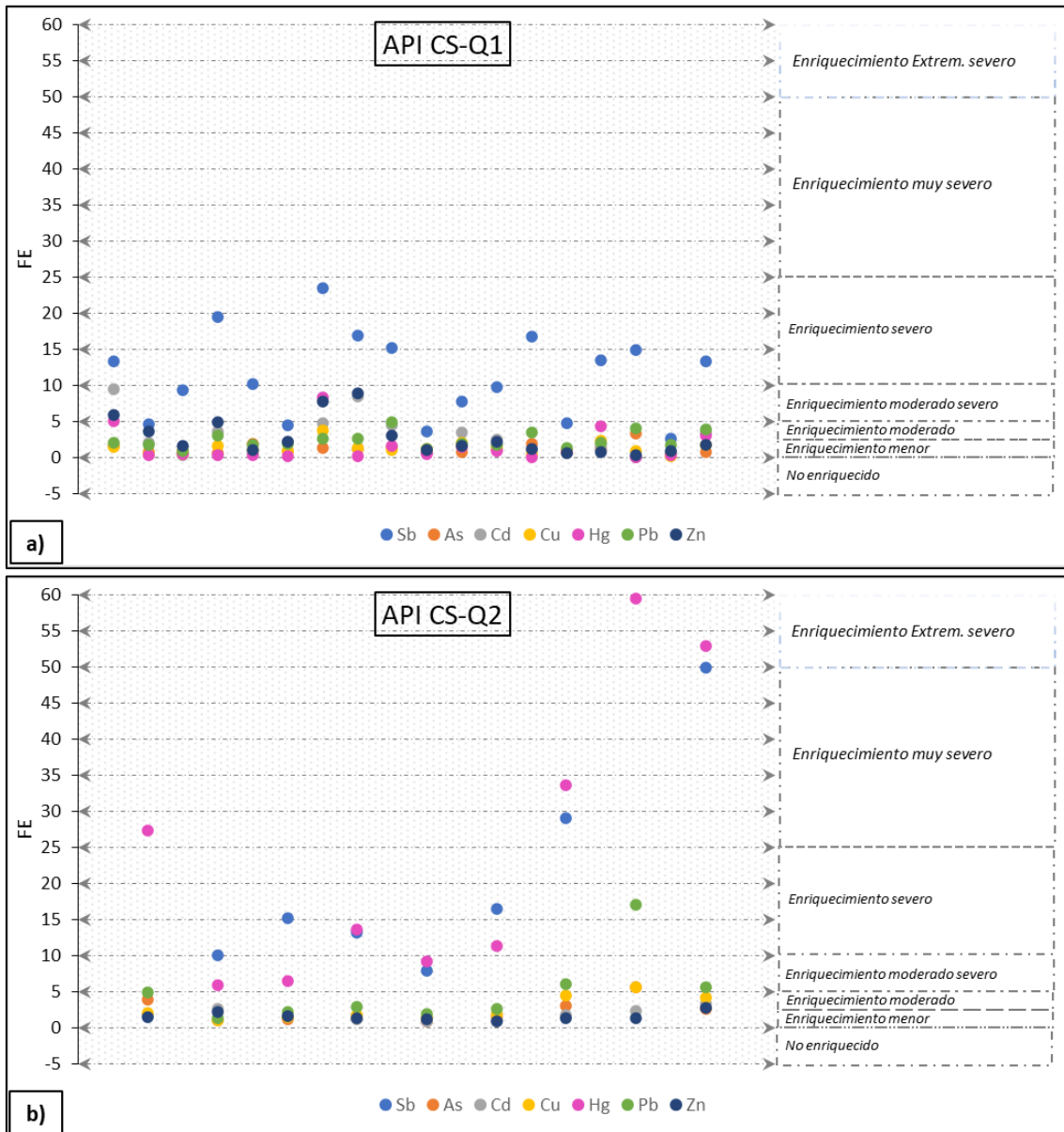


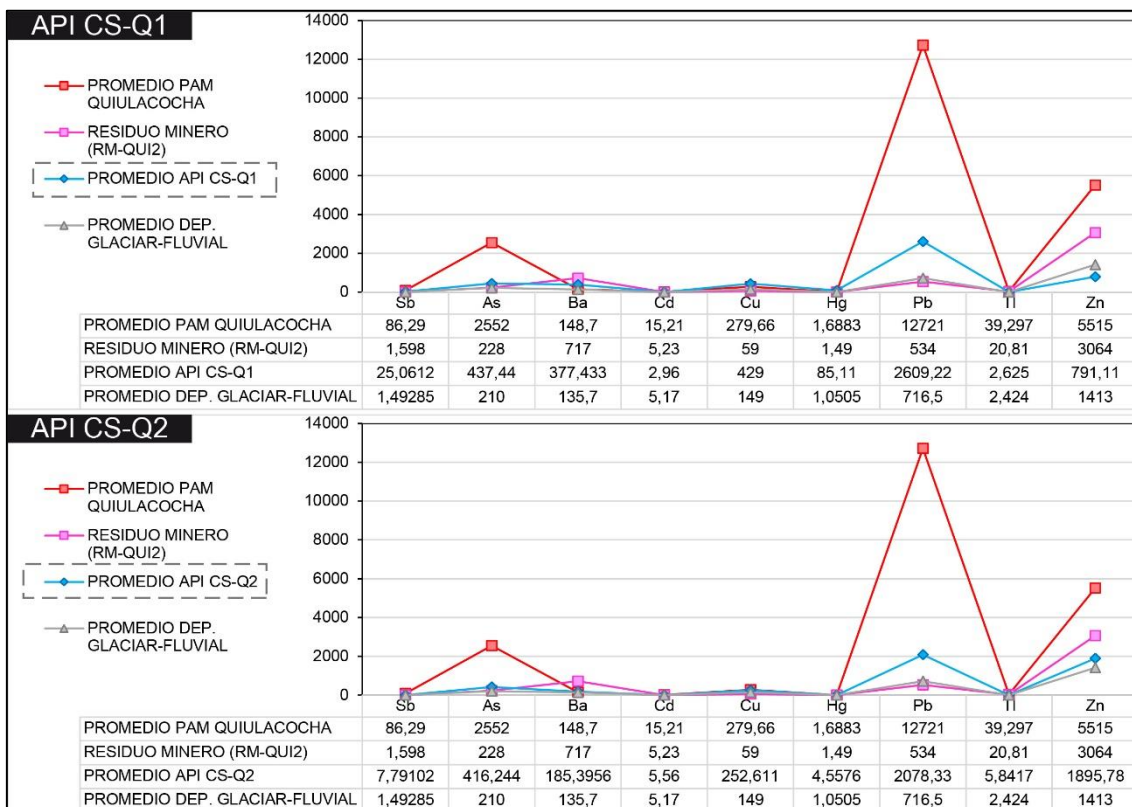
Figura 7.30. Índice de geoacumulación en suelos de las API, a) API CS-Q1 y b) API CS-Q2

El factor de enriquecimiento (FE) de las API CS-Q1 y API CS-Q2, que determina el origen de un contaminante asoció a las concentraciones de metales en suelo como un incremento adicional sobre lo aportado por las rocas del área de estudio, para tal efecto se utilizó al hierro como elemento normalizador; en ese sentido el API CS-Q1 presentó valores de FE que indican un enriquecimiento severo en antimonio, y un enriquecimiento menor a un enriquecimiento moderadamente severo en arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc (Figura 7.31a), a diferencia del API CS-Q2 que presentó valores de FE que indicarían enriquecimiento moderadamente severo a extremadamente severo en antimonio y mercurio; además, en el resto de metales el FE indicó un enriquecimiento menor a moderadamente severo (Figura 7.31b).

**Figura 7.31.** Factor de enriquecimiento en suelos de las API, a) API CS-Q1 y b) CS-Q2

En consecuencia, se confirma el aporte de contaminantes (antimonio, arsénico, bario, plomo, zinc, cobre y talio) del PAM Quiulacocha y residuos mineros acumulados en el pide del talud del dique de este PAM (fuente antrópica) sobre el suelo (receptor). Se descarta el aporte natural debido a el material del depósito cuaternario Glaciar-fluvial presentó concentraciones bajas de estos metales y bajo potencial de lixiviación de estos. Por otra parte, se precisa que en los API el cadmio fue similar o menor a la fuente natural, y que el mercurio tendría otra fuente diferente a las fuentes contaminantes mencionadas. La Figura 7.32 muestra las diferencias de concentraciones entre la fuente antrópica, de origen natural y el receptor (suelo).

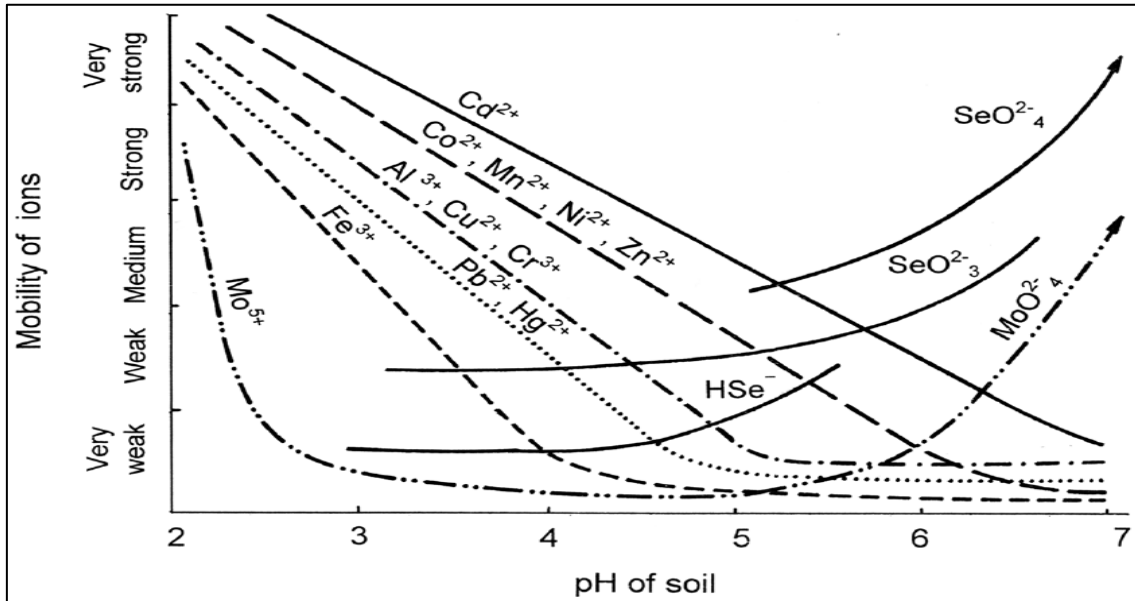
Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres  
Año de la Universalización de la Salud



**Figura 7.32.** Comparación de las concentraciones de metales de la fuente antrópica (PAM Quiulacocha y residuos mineros RM-QUI2), receptor (suelo de los API CS-Q1 y API CS-Q2) y fuente natural (depósito Glaciar-fluvial)

El suelo tiene propiedades físicas y químicas muy importantes tales como la textura, color, estructura, peso, porosidad, drenaje y profundidad; así como la capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, contenido de carbonatos y materia orgánica, que «dan a los suelos ciertas características que inciden en la transformación, retención y movimiento de los contaminantes a través del suelo y afectan la velocidad de migración y la forma química del contaminante» (Mason, 1992; tomado de Volke Velasco y De la Rosa, 2005). «Los riesgos de contaminación por metales pesados, dependen de su disponibilidad, asociado a las propiedades del suelo» (Alloway, 2013).

En ese sentido, las propiedades edáficas del suelo del API CS-Q1 indicaron rangos de pH de ultra ácidos (2,62) a fuertemente ácidos (4,84), tanto en superficie como en el perfil del suelo; respecto a la materia orgánica los porcentajes fueron variables (entre 3,26 hasta 37,24) con texturas de arena francosa a franco arcillosa, además se reportó altos contenidos de óxidos e hidróxidos de hierro como goethita; Por otra parte, el suelo del API CS-Q2 indicó suelos con pH cercanos a la neutralidad, materia orgánica 4,75% con texturas franco arenosa a franco arcillosa; estas condiciones influirían en una menor o mayor movilidad de metales, los cuales están en concordancia con lo planteado por Kabata-Pendias (2000), que considera los rangos de movilidad de metales en función al pH (Figura 7.33).



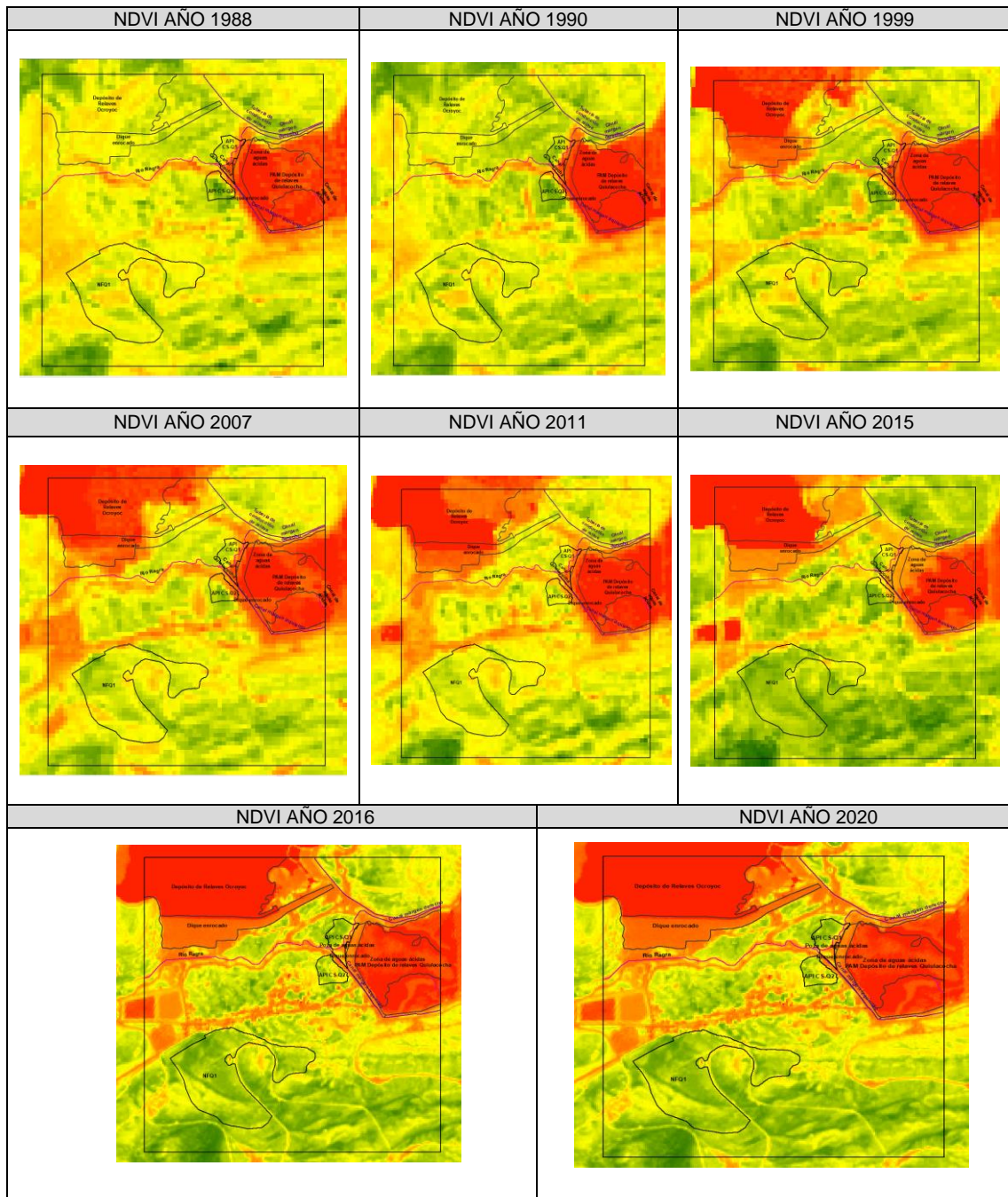
**Figura 7.33.** Movilidad de los elementos en el suelo mineral en función del pH (Kabata-Pendias, 2000)

Las extracciones secuenciales por la metodología de Tessier en seis etapas en el API CS-Q1 y API CS-Q2, presentó concentraciones de aluminio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc, además de elementos mayoritarios (calcio, magnesio y potasio) asociados a la fracción extraíble e intercambiable del suelo, lo cuales son favorecidos por las propiedades físicoquímicas del suelo. Asimismo, el análisis de lixiviación de metales y aniones, por la metodología «Shake Flask Extracction», reportó metales como aluminio, arsénico, cadmio, cobre, plomo, talio y zinc, y a la alta disponibilidad de macronutrientes primarios y secundarios (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sulfato) y microelementos (boro, cobalto, hierro, manganeso, molibdeno, entre otros) los cuales son movilizados por la acción de flujo de masas hacia las raíces de las plantas y otras matrices ambientales asociados al suelo.

De acuerdo con el análisis multitemporal a través del NDVI (Figura 7.34) de los años 1988, 1990, 1999, 2007, 2011, 2015, 2016 y 2020 se observó suelos con escasa cobertura vegetal aledaños al pie del dique del PAM Quiulacocho; sin embargo, la presencia de cobertura vegetal presentes en zonas un poco más alejadas del pie del dique estaría asociada a la predominancia de unas pocas especies (según lo observado en campo).



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

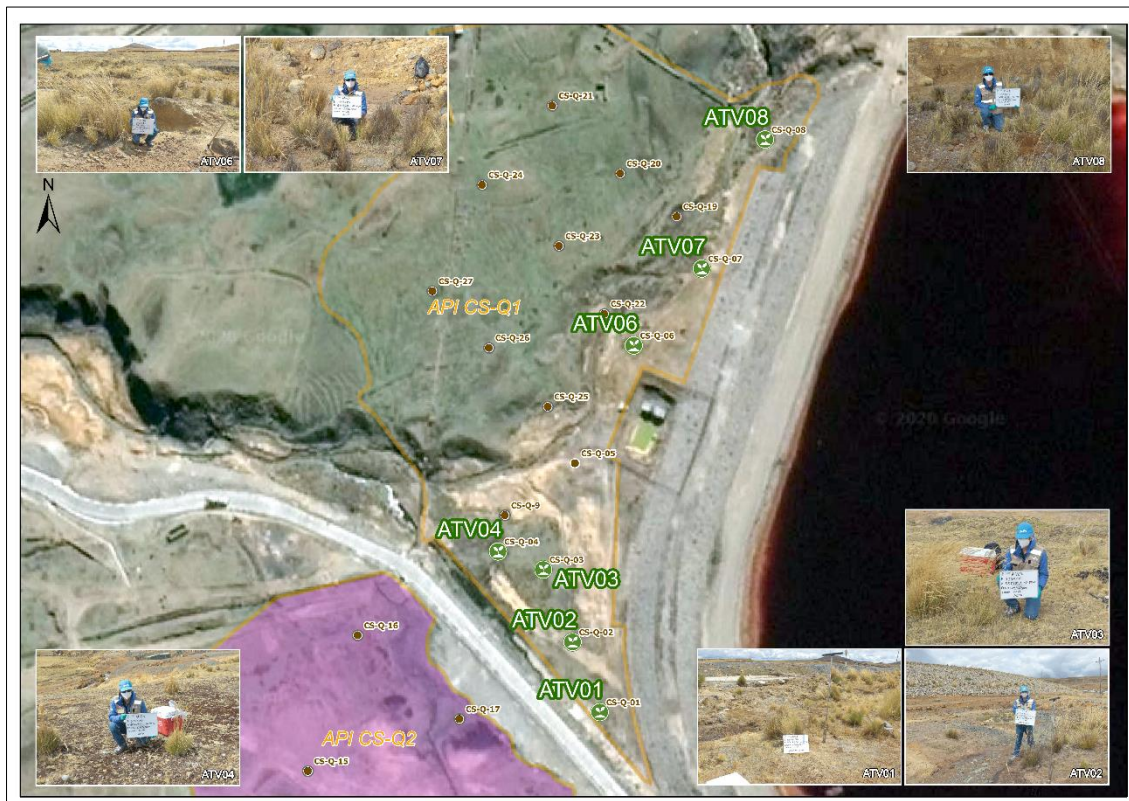


**Figura 7.34.** NDVI de las imágenes satelitales Landsat 5 y 8 (1988,1990, 1999, 2007, 2011 y 2015; y Sentinel 2 (2016 y 2020)

Según García y Dorronsro (2005) una de las vías comunes de los metales incorporados al suelo, puede ser la absorción de estos metales por las plantas, y así incorporarse a las cadenas tróficas. La formación vegetal predominante en el API evaluado (API Quiulacocho) es el pajonal ralo con dominancia de *Calamagrostis rigida*. Esta fue dividida en dos API: API CS-Q1 en donde se analizó el tejido de *Calamagrostis rigida* y API CS-Q2, donde se analizó el tejido de *Calamagrostis vicunarum*. Los puntos evaluados se muestran en la Figura 7.35

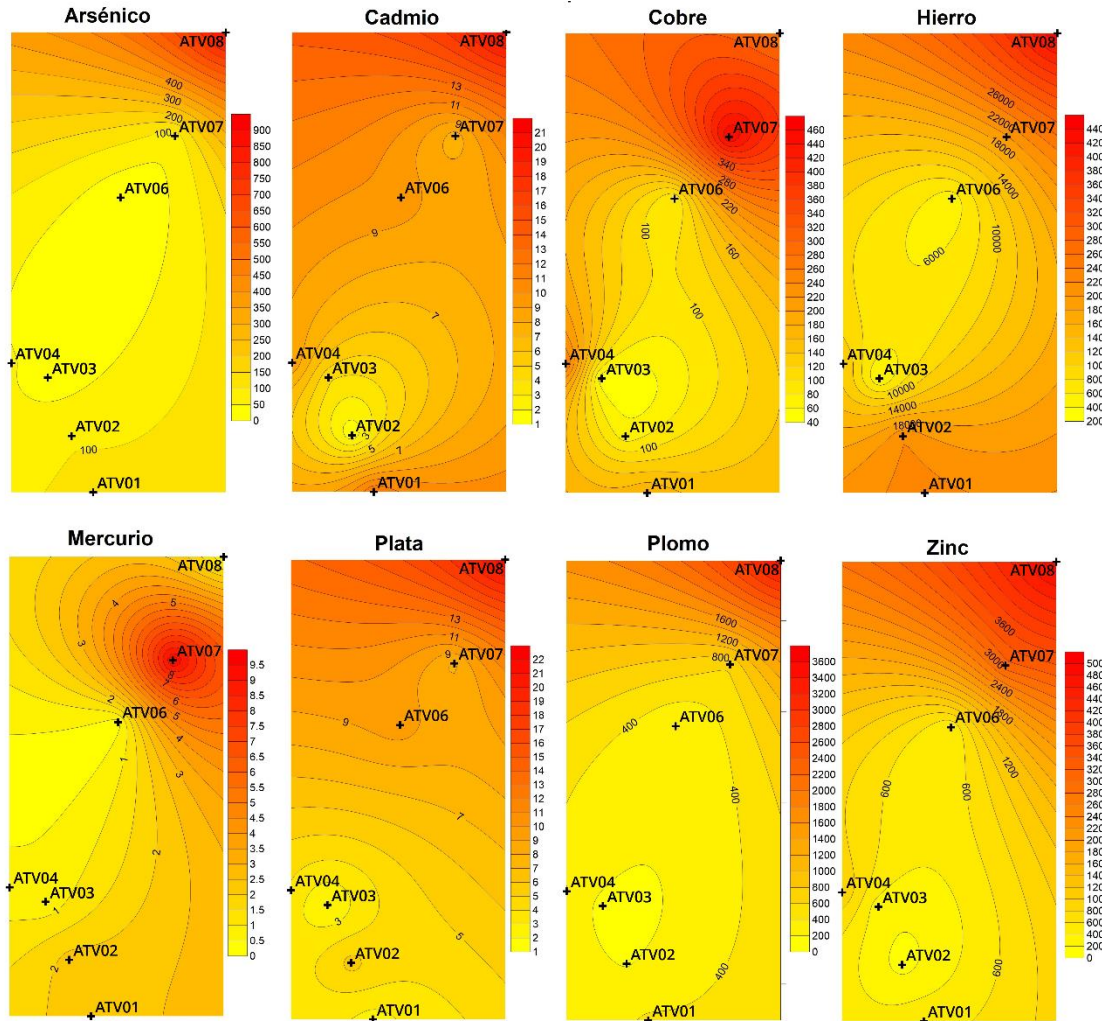
La especie *Calamagrostis rigida*, es una gramínea amacollada, considerada como una especie Deseable para vicuñas, Indeseable para Ovino y poco Deseable para Vacunos y Alpacas (Escobar y Norris, 2011; MINAM, 2012; Ortiz, 2014; Macuri, 2017). Y la especie

*Calamagrostis vicunarium*, es una gramínea cespitosa y es considerada como una especie Deseable para vicuña, vacas y llamas y Poco Deseable para Ovinos y Alpacas (MINAM, 2012; Macuri; 2017; Escobar y Norris, 2011).



**Figura 7.35.** Ubicación de puntos de toma de muestra de tejido vegetal

El análisis geoestadístico empleando el método ordinario de kriging (OK), mediante el uso del software Surfer 14, para mapear la distribución espacial de los metales pesados presentes en las raíces de *Calamagrostis rigida* en el API CS-Q1, muestra que la mayor concentración de arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, plata, zinc y mercurio se encuentra hacia los puntos ATV07 y ATV08 (Figura 7.36).

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

**Figura 7.36.** Distribución espacial de las concentraciones de metales presentes en la raíz de *Calamagrostis rigida*

Estas concentraciones son mucho más elevadas en la raíz en comparación a la parte aérea (Figura 7.37 y 7.38). Además, se observa una diferencia clara entre la carga de metales encontrado entre el sitio control y el API CS-Q1, principalmente en los puntos ATV02, ATV06, ATV07 y ATV08, las que contienen las concentraciones más altas. Los metales que mayor diferencia presentan son arsénico, cadmio, plomo, plata y zinc; estas concentraciones en la parte aérea de las muestras colectadas en el API CS-Q1 representan para arsénico hasta un 691%, 5280% en plata, 1568% en zinc, 1460% en cadmio, 1000% en cobre, 776% en plomo y 107% en mercurio en comparación con las concentraciones obtenidas en la muestra del sitio control; en este último las concentraciones son similares debido a que el mercurio presente en la muestra del punto control también fueron elevados, esto debido a que el mercurio encontrado en el suelo también supera el valor establecido en el ECA 2017. Asimismo, para la raíz se observa un comportamiento similar en donde las concentraciones encontradas en el API representan para arsénico hasta un 10900%, 43800% en plata, 1530% en zinc, 2088% en cadmio, 5554% en cobre, 1596% en plomo y 2182% en mercurio en comparación con las concentraciones obtenidas en la muestra del sitio control.





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

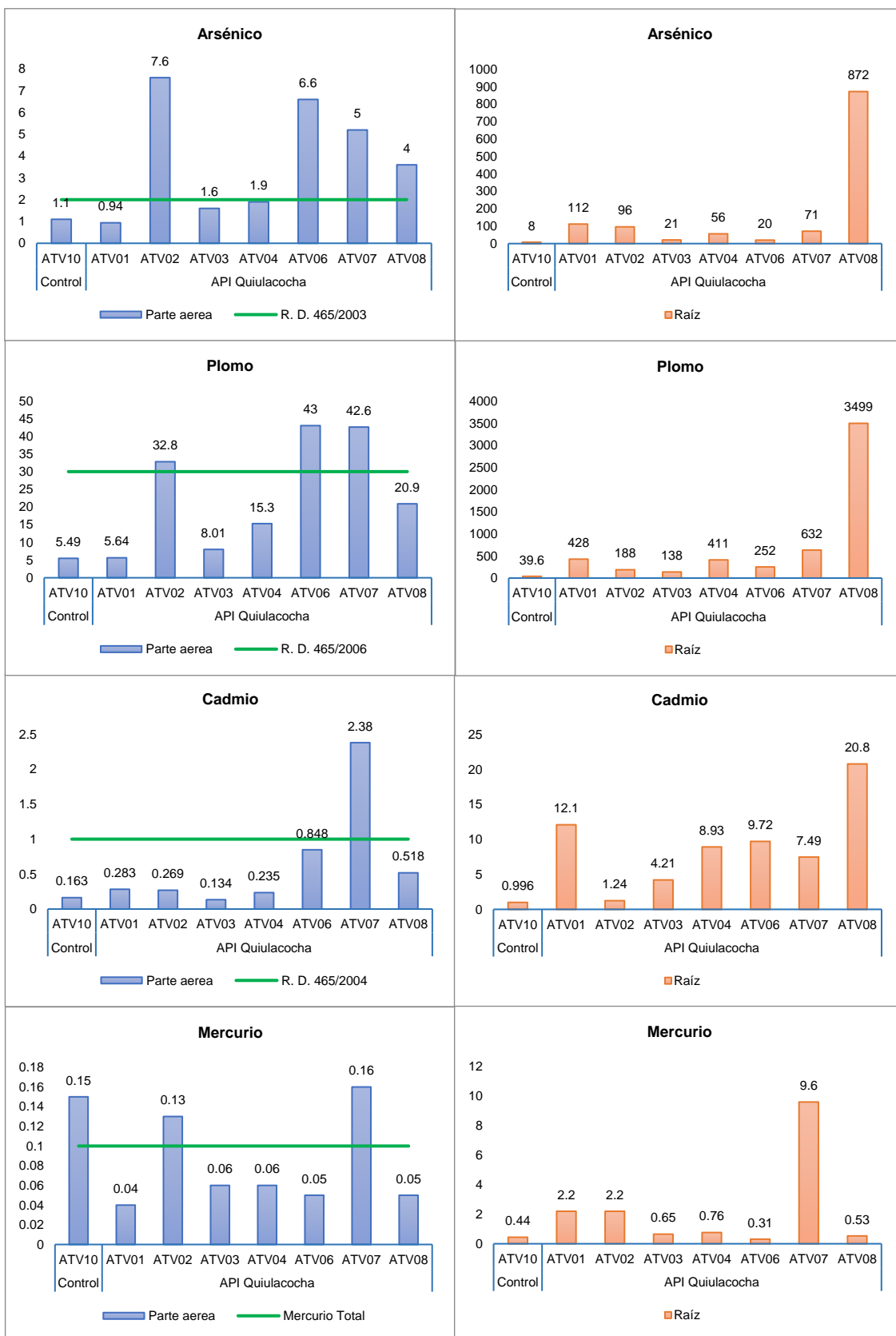
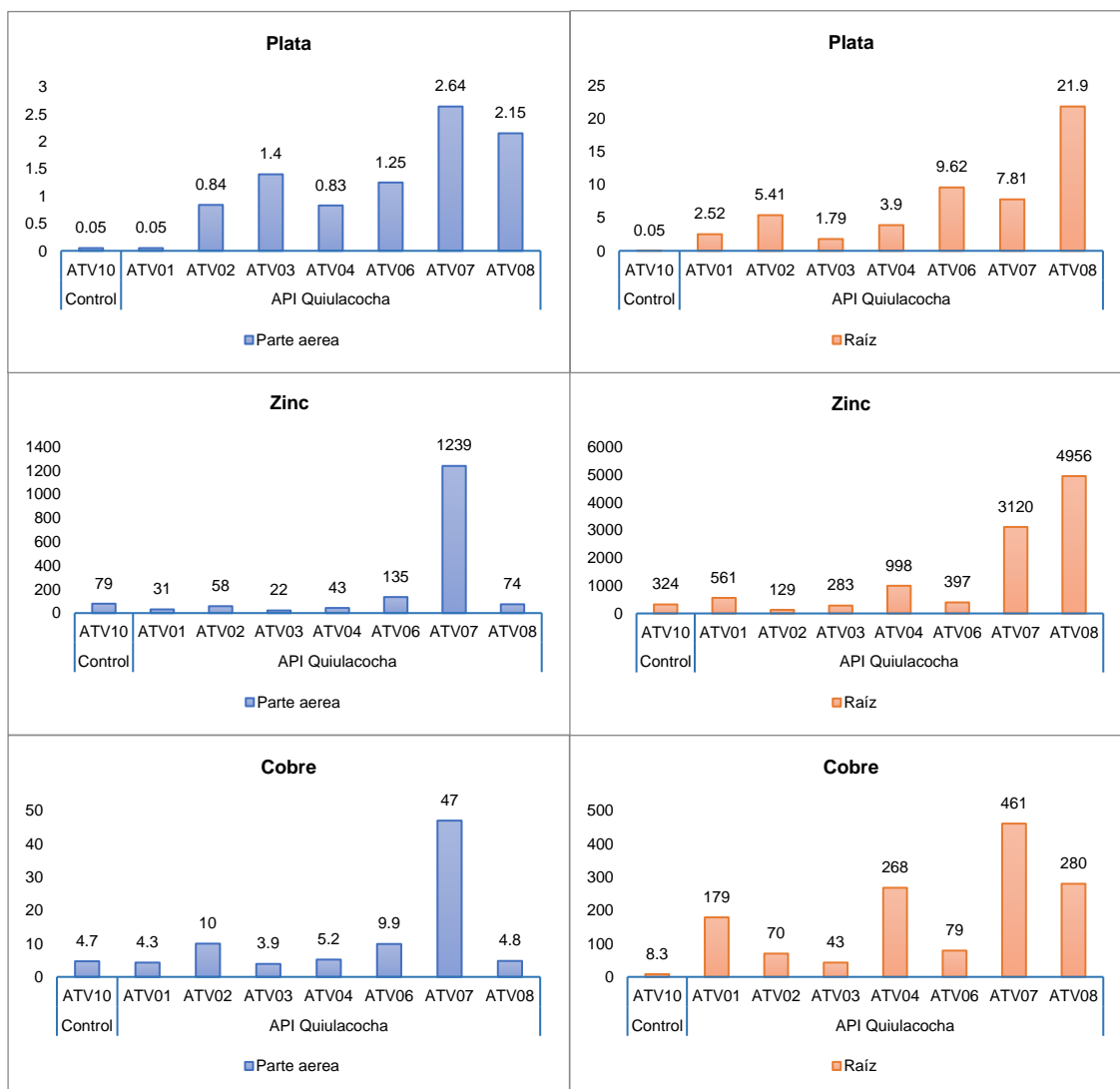


Figura 7.37. Concentración de arsénico, plomo, cadmio y mercurio obtenidos en la raíz y parte aérea de *Calamagrostis rigida*

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



**Figura 7.38.** Concentración de plata, zinc y cobre obtenidos en la raíz y parte aérea de *Calamagrostis rigida*

Además, se observa que las concentraciones de arsénico en la parte aérea de *Calamagrostis rigida* se encuentra en el rango de los niveles de toxicidad según Fasani (2012) en punto ATV06 y por encima del rango normal en el punto ATV07 (Figura 7.39); uno de los efectos del arsénico en la planta es su interferencia en el metabolismo al inhibir su crecimiento (Farnese *et al.*, 2014), es por ello que, la presencia de As en el suelo y agua en áreas de producción ganadera podría afectar el crecimiento y las características nutricionales de los forrajes al ser asimiladas por las plantas (Pérez Carrera y Fernández Cirelli, 2014). Las concentraciones de cadmio en los puntos ATV06 y ATV07 se encuentran por encima de los rangos normales, pero sin llegar a los niveles de toxicidad (Figura 7.39). La concentración de cobre en el punto ATV07 se encuentra en el rango de toxicidad (Figura 7.39); este metal a pesar de ser esencial, su exceso en la planta tiene un efecto fitotóxico, lo que provoca un retraso en el crecimiento de las plantas y clorosis de las hojas (Oorts, 2012). Las concentraciones de plata en los puntos QTV03 y QTV06 se encuentra por encima de los valores normales y en los puntos ATV07 y ATV08 estos se encuentran en los rangos de toxicidad (Figura 7.39); la plata es un elemento no esencial que puede ser muy tóxico para varias biotas y está incluida en la lista de contaminantes tóxicos prioritarios (Clemente, 2012).



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

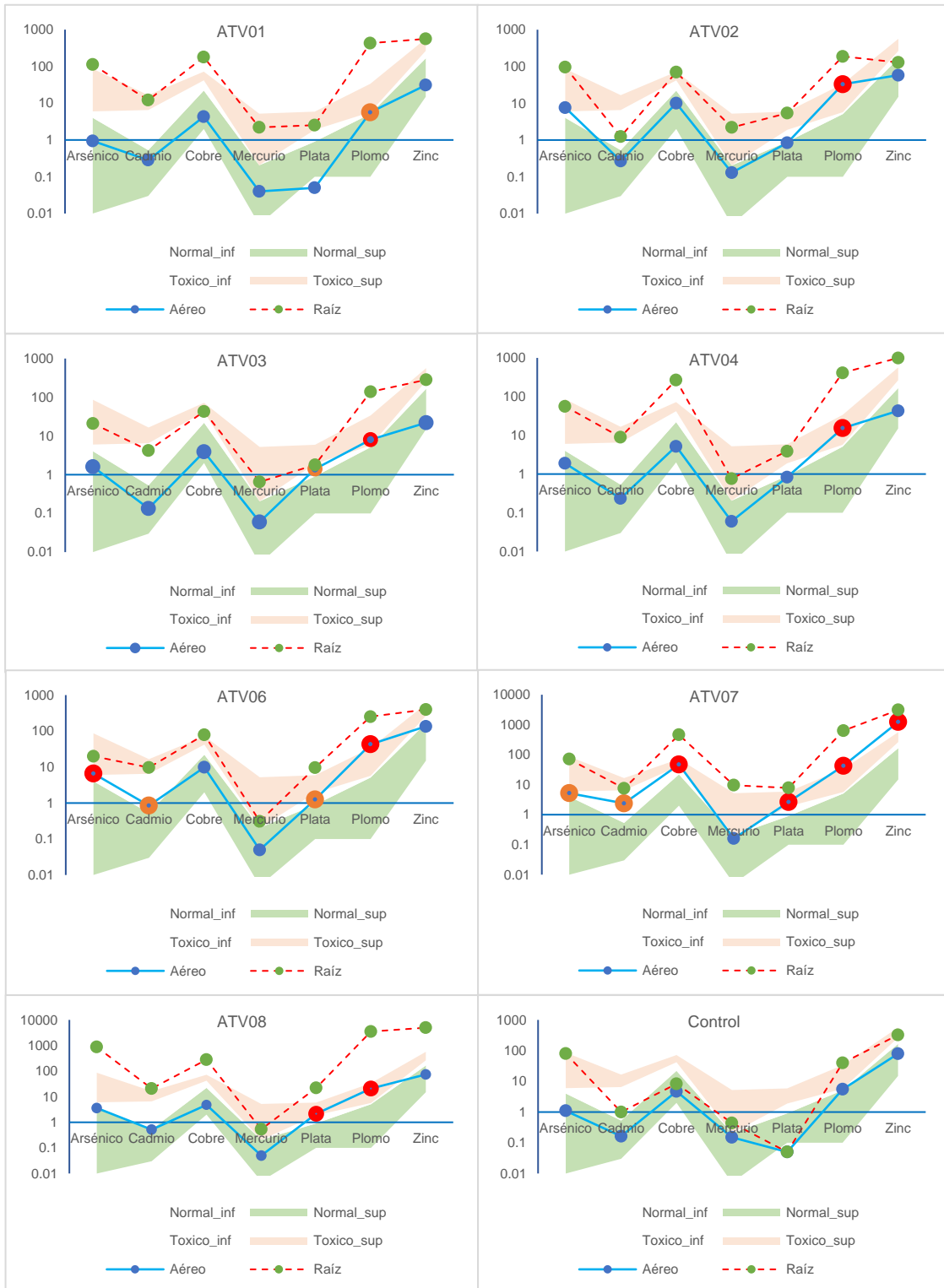


Figura 7.39. Valores en escala logarítmica de las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plata, plomo y zinc de *Calamagrostis rigida* con relación a los niveles normales y de toxicidad, según Fasani (2012), para plantas no hiperacumuladoras.

Punto naranja: Valores por encima del rango normal sin llegar a los rangos de toxicidad; Punto rojo: valores en los rangos de toxicidad para la planta o por encima.



Las concentraciones de plomo se encuentran en los rangos de toxicidad para la planta en los puntos ATV02, ATV03, ATV04, ATV08 y por encima de estos niveles en los puntos ATV06 y ATV07 (Figura 7.39); A nivel mundial existen registros de muchos animales muertos producto de un envenenamiento con Pb ya sea por la inhalación del polvo tóxico en la hierba o bien por el consumo de plantas con un alto contenido de metales pesados (Williamson et al., 1982), la fitotoxicidad por plomo ocasiona desordenes en las actividades fisiológicas normales de las plantas hasta matar eventualmente las células a altas concentraciones (Ernst, 1998; Seregin y Ivanov, 2001). Finalmente, la concentración de zinc en el punto ATV07, sobrepasa los rangos de niveles de toxicidad en la planta (Figura 7.39); este metal a pesar de ser un nutriente esencial para las plantas, la exposición a niveles elevados de Zn puede causar toxicidad a las plantas, es así que una mayor concentración de Zn causa un crecimiento reducido de las raíces o un crecimiento atrofiado de los brotes, y pueden inducir una deficiencia de hierro y magnesio (Mertens y Smolders, 2012).

Asimismo, las concentraciones obtenidas en las muestras de la parte aérea de *Calamagrostis rigida*, colectadas en el API CS-Q1, superan de manera referencial el contenido máximo de los metales de arsénico en los puntos ATV02, ATV06, ATV07 y ATV08, cadmio (ATV07), Mercurio (ATV02 y ATV07) y plomo (ATV02, ATV06 y ATV07) establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española. Siendo las concentraciones que superan para arsénico 7,8; 6,6; 5 y 4 mg/kg (en los puntos ATV02, ATV06, ATV07 y ATV08 respectivamente) en comparación a 2 mg/kg (valor en el Real Decreto 465/2003); para cadmio 2,38 mg/kg (ATV07) en comparación a 1 mg/kg (valor en el Real Decreto 465/2003); para mercurio 0,13 y 0,16 mg/kg (ATV02 y ATV07) en comparación a 0,1 mg/kg (valor en el Real Decreto 465/2003) y para plomo 32,8; 43 y 42,6 mg/kg (ATV02, ATV06 y ATV07) en comparación a 30 mg/kg (valor en el Real Decreto 465/2003). Por lo cual, esta especie en el sector API CS-Q1 no es apta para consumo de la fauna local, no se descarta que otras especies que se ubican en esta API también sean no aptas para consumo de la fauna.

Las concentraciones registradas en la parte aérea de *Calamagrostis vicunarum* en el API CS-Q2 muestran que se encuentran en los rangos de niveles de toxicidad para la planta en los metales arsénico mercurio y plomo, y los metales cadmio y plata, si bien no llegan a estos rangos de toxicidad, se encuentran por encima de los rangos normales (Figura 7.41). Además, se observa que las concentraciones obtenidas en las muestras de la parte aérea de *Calamagrostis vicunarum* (Figura 7.40), colectadas en el API CS-Q2, superan de manera referencial el contenido máximo de los metales de arsénico, mercurio y plomo establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española. Por lo cual, esta especie en el sector API CS-Q2 no es apta para consumo de la fauna local, no se descarta que otras especies que se ubican en esta API también sean no aptas para consumo de la fauna.



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

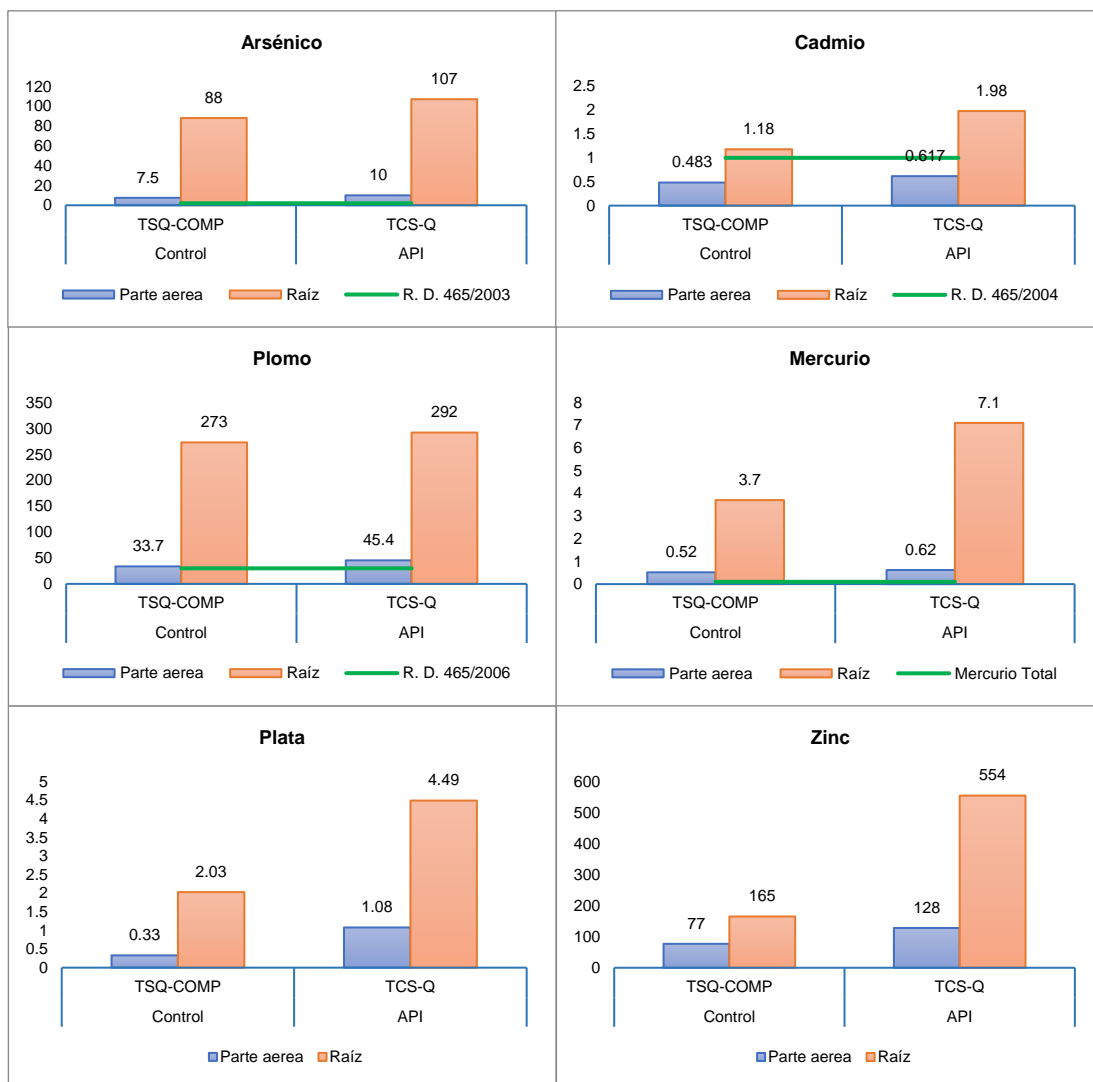


Figura 7.40. Concentración de arsénico, cadmio, plomo, mercurio, plata y zinc obtenidos en la raíz y parte aérea de *Calamagrostis vicunarum*

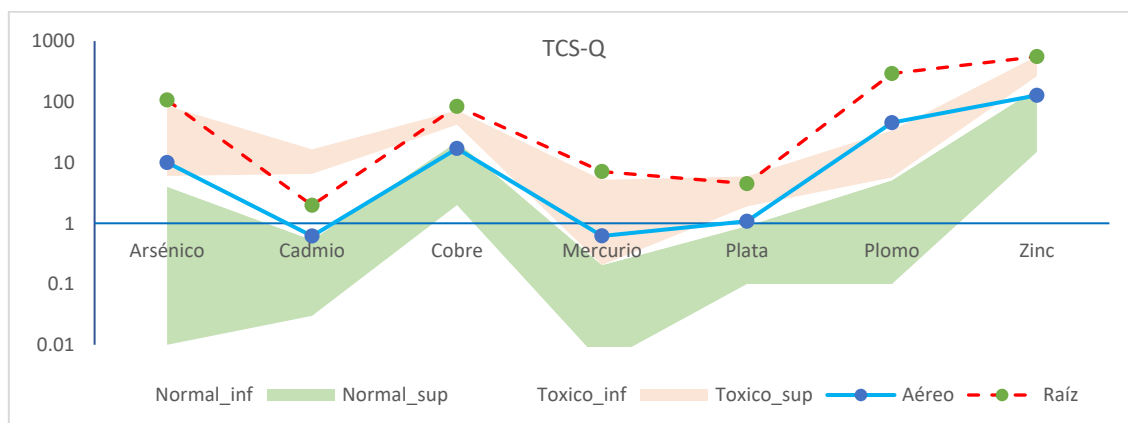


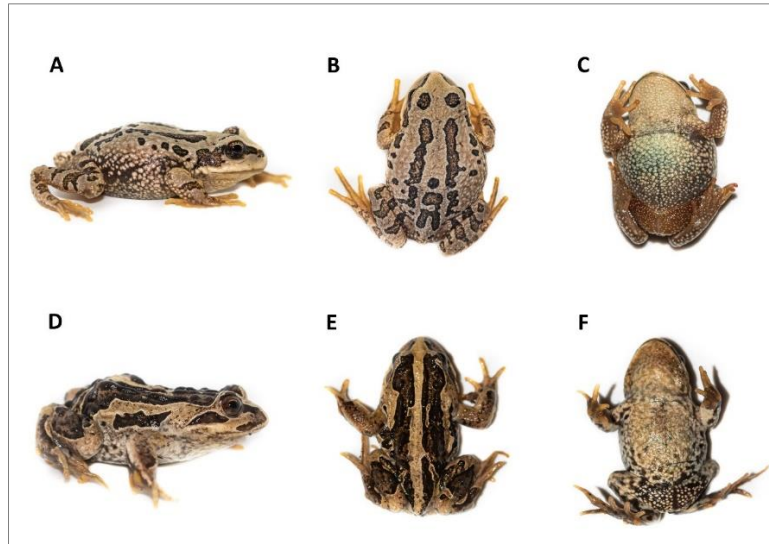
Figura 7.41. Valores en escala logarítmica de las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plata, plomo y zinc de *Calamagrostis vicunarum* en relación con los niveles normales y de toxicidad, según Fasani (2012), para plantas no hiperacumuladoras.

Punto naranja: Valores por encima del rango normal sin llegar a los rangos de toxicidad; Punto rojo: valores en los rangos de toxicidad para la planta o por encima.

En el ámbito del PAM Quiulacocha no se registró ninguna especie, sin embargo, en la zona control ubicada en el ámbito del centro poblado Quiulacocha 2 se registraron 2 especies de anfibios *Pleurodema marmoratum* y *Gastrotheca peruana* mediante la evaluación de VES (Figura 7.42). La riqueza y diversidad hallada fue baja, en comparación con otras localidades del departamento de Pasco, donde se registraron hasta 4 especies de anfibios por localidad (OEFA, 2020a).

En comparación a fuentes bibliográficas no se lograron registrar al menos 3 especies de anfibios, *Rhinella spinulosa* (Familia Bufonidae), *Telmatobius macrostomus* y *Telmatobius brachydactylus* (ambas Familia Telmatobiidae), que se distribuyen en la sierra central de Perú y fueron registradas durante las evaluaciones herpetológicas en localidades cercanas al área de estudio (Castillo Roque, 2017; Loza Del Carpio, 2017; Sinsch, 1986, 1990; Sinsch y Lehr, 2010; Watson *et al.*, 2017). Tampoco se registró ninguna especie de reptil, como las lagartijas *Liolaemus robustus* y *Liolaemus walkeri* que se distribuyen en las zonas altoandinas de los departamentos de Pasco, Junín y Lima (Aguilar-Puntriano *et al.*, 2019, IUCN 2020). Tampoco se registraron individuos de la serpiente *Tachymenis peruana* de amplia distribución en las sierra sur y central de Perú.

La información biológica más cercana al PAM Quiulacocha proviene de la evaluación de fauna realizada en el marco del “Plan de cierre de Desmontes Excelsior”<sup>54</sup>, donde se registró un juvenil de *Rhinella spinulosa*, lo que indica que es una especie poco abundante. No se cuenta con evaluaciones periódicas por lo que no es posible determinar cambios en la comunidad de anfibios y reptiles respecto a las actividades realizadas en el PAM de relaves Quiulacocha. Por ello, se midió la concentración de metales en tejido de animales como un indicador de impacto, cuyos resultados se discuten más adelante.



**Figura 7.42.** Especies de anfibios registradas en la zona control de la evaluación realizada en el ámbito del PAM de relaves Quiulacocha

A) vista lateral, B) dorsal y C) ventral de *Gastrotheca peruana*. D) vista lateral, E) dorsal y F) ventral de *Pleurodema marmoratum*

<sup>54</sup>

Plan de cierre del pasivo «Depósito de desmontes Excelsior» (2012) elaborado por la consultora Cesel S.A. para Activos mineros S.A.C.



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). Los anfibios son particularmente susceptibles a la absorción de contaminantes, incluyendo metales, que pueden acumular dichos elementos directamente de su medio a través de la piel y la superficie oral, e indirectamente a través de la ingesta de alimento contaminado (Hopkins y Rowe, 2010). La toxicidad de metales 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, entre otros (Carvalho *et al.*, 2017; Giroto *et al.*, 2020; Guo *et al.*, 2017; Hopkins y Rowe, 2010; Mardirosian *et al.*, 2017; Ortiz-Ordoñez *et al.*, 2016; Pollo *et al.*, 2016).

Los dos anfibios capturados fueron hallados bajo piedras y desplazándose en el bofedal, estando en contacto directo con el suelo. En ambas muestras se detectaron diferentes concentraciones de cada uno de los elementos analizados, el hierro y zinc fueron los que se encontraron en mayor concentración, siendo claramente superiores a las del resto de elementos. El patrón relativo de concentración fue Fe > Zn > Al > Mn > Cu > Sr > Pb > Ba > As > Se > Cd > Hg > V > Cr > Ni > Li. Dicho patrón es compatible con la concentración de metales hallados en suelos, de los puntos SQ2-06 y SQ2-09 (Reporte de resultados N.º RRE-037-2020-STEC), donde también el hierro, zinc, manganeso y aluminio son abundantes, presentando el siguiente patrón Fe > Al > Mn > Zn > Pb > As > Cu > Sr > Ba > Na > Hg > Ni > Cr > Li > Sb > Co > Cd > Se > Sn. Lo que indica que en efecto los metales del suelo tienen influencia en la concentración de metales acumulados por los anfibios; sin embargo, se debe tener en cuenta también las concentraciones de metales en el agua, ya que la bioacumulación está influenciada no solo por características intrínsecas de los organismos sino también por la solubilidad, especiación de metales, mineralogía, pH, potencial redox, temperatura, entre otros que determinan su biodisponibilidad.

La concentración de metales detectados en *Pleurodema marmoratum* y *Gastrotheca marsupiata*, en esta localidad fueron similares a la concentración de metales donde aún no se realizan actividades mineras recientes, como en la localidad de Pacoyán, ubicada a aproximadamente 15 km al oeste (OEFA, 2020a) o en la localidad de la laguna “Quiulacocha” ubicada a 4 km al suroeste (OEFA 2020b), ambas en el distrito de Simón Bolívar del departamento de Pasco (Tabla 7.2). Lo que indica que en efecto las muestras tomadas en la zona control, a pesar de la actividad antrópica (pastoreo y tránsito vehicular), pueden considerarse referentes de una localidad poco impactada respecto a contaminación de metales, más aun tomando en cuenta que estas concentraciones son mucho menores a las registradas en el Delta Upamayo del río San Juan (OEFA 2020b) o las halladas en el área de influencia de la U.F. Quicay (OEFA 2020a), así como otras localidades con una alta contaminación por metales, como minas de carbón (Snodgrass *et al.*, 2003; Zocche *et al.*, 2014) y cuerpos de agua contaminados por la extracción del gas y petróleo (Smalling *et al.*, 2019).

**Tabla 7.2.** Comparación de la concentración de metales en anfibios hallados en la zona control (centro poblado Quiulacocha 2) y en otras localidades del departamento de Pasco

Parámetro	PAM Quiulacocha	EADC Cuenca San Juan <sup>A</sup>			EADC Quicay <sup>B</sup>	
	Control (n = 2)	Delta Upamayo (n = 3)	Huaruampampa (n = 1)	Quebrada (n = 1)	UF Quicay (n = 6)	Control (n = 5)
Metales (mg/kg)						
Al	5,23 ± 1,76	100,88 ± 56,65	9,536	1,252	318,85 ± 566,64	34,97 ± 69,81
As	0,9 ± 0,02	3,93 ± 1,78	0,4067	0,2806	4,7 ± 5,62	0,52 ± 0,26

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

Parámetro	PAM Quiulacocha	EADC Cuenca San Juan <sup>A</sup>			EADC Quicay <sup>B</sup>	
	Control (n = 2)	Delta Upamayo (n = 3)	Huaruampampa (n = 1)	Quebrada (n = 1)	UF Quicay (n = 6)	Control (n = 5)
Metales (mg/kg)						
Ba	4,27 ± 1,71	10,04 ± 1,02	9,092	1,29	20,96 ± 23,34	2,75 ± 0,84
Cd	0,12 ± 0,04	0,55 ± 0,16	0,1054	0,0924	1,62 ± 2,29	0,07 ± 0,03
Cr	0,05 ± 0	0,2 ± 0,07	0,3845	0,1725	7,75 ± 8,81	0,35 ± 0,01
Co	0,67 ± 0,24	---	---	---	1,25 ± 1,71	0,04 ± 0,26
Cu	3,26 ± 0,39	18,16 ± 11,79	8,889	13,71	450,53 ± 671,3	1,24 ± 0,57
Fe	73,55 ± 0,08	296,6 ± 86,02	51,35	73,54	1683,68 ± 2342,57	38,57 ± 37,8
Hg	0,18 ± 0,15	0,29 ± 0,14	0,3626	0,2379	1,24 ± 1,4	0,2 ± 0,13
Li	0,05 ± 0,01	0,13 ± 0,09	0,0458	0,0437	32,05 ± 68,13	4,94 ± 4,51
Mn	2,6 ± 0,32	38,03 ± 4,69	3,116	0,5269	22,91 ± 30,59	2,67 ± 1,37
Ni	0,07 ± 0	0,27 ± 0,32	0,0656	0,0656	1,16 ± 1,3	0,08 ± 0,02
Pb	0,91 ± 0,14	14,61 ± 8,66	3,35	0,0423	2,52 ± 3,2	0,66 ± 0,44
Sb	0,04 ± 0	---	---	---	0,2 ± 0,2	0,04 ± 0,01
Se	0,48 ± 0,18	0,49 ± 0,22	0,3818	0,5079	6,54 ± 8,95	0,14 ± 0,06
Si	8,09 ± 1,95	---	---	---	283,57 ± 480,1	27,15 ± 25,32
Sn	0,18 ± 0	---	---	---	31,27 ± 68,36	4,54 ± 3,99
Sr	8,88 ± 3,01	13,48 ± 3,18	13,12	0,8625	24,86 ± 33,41	4,15 ± 0,9
V	---	0,34 ± 0,12	0,0615	0,0615	---	---
Zn	41,89 ± 0,12	142,67 ± 31,3	69,61	11,46	183,82 ± 202,1	19,49 ± 8,53

En celeste se indican las localidades sin actividad de minera reciente. (---) Indica que esas concentraciones no fueron incluidas en el análisis de la elaboración del informe.

A. Evaluación ambiental de causalidad en el área de influencia de los pasivos ambientales de origen minero en el río San Juan y Delta Upamayo, distritos Simón Bolívar, Tinyahuarco y Vicco, provincia y departamento Pasco, en el 2020. Dirección de Evaluación Ambiental, Subdirección Técnica Científica.

B. Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito de los botaderos de desmonte Este, Sur y Suroeste, Pad de Lixiviación (6 fases) y tajo de la unidad fiscalizable Quicay, distrito Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco en el 2020. Dirección de Evaluación Ambiental, Subdirección Técnica Científica.

Aunque no se puede determinar si en efecto las comunidades de anfibios han disminuido o sufrido cambios por influencia del PAM de relaves Quiulacocha, debido a que no se cuenta con datos periódicos; los registros bibliográficos y de localidades cercanas demuestran que en algún momento especies, de amplia distribución en el departamento de Pasco, como *Gastrotheca peruana*, *Pleurodema marmoratum*, *Rhinella spinulosa* y las lagartijas del género *Liolaemus*, como *Liolaemus robustus* pudieron estar presentes en esta zona (Aguilar et al. 2019; Cerro S.A.C. 2020<sup>55</sup>, Sinsch, 1986, 1988, 1990).

Si bien en la actualidad las poblaciones de anfibios y reptiles atraviesan por procesos de declinación y desaparición de sus poblaciones ligadas al cambio climático (Stuart et al. 2004; Catenazzi 2015). Particularmente en el caso de los anfibios, se ha identificado que además de las enfermedades emergentes y la introducción de especies exóticas, la contaminación y degradación de sus hábitats es uno de los factores más importantes para su desaparición (Ficken y Byrne, 2013; Houlanhad et al., 2000; Stuart et al., 2004; Wake y Vredenburg, 2008). El rol de la afectación producida por las industrias contaminantes de metales en la pérdida de biodiversidad de especies es sustentado por numerosos estudios, los metales

<sup>55</sup> Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco, aprobado con Resolución Directoral – R.D. N.º 00097-2020-SENACE-PE/DEAR en agosto de 2020





pesados se mantienen en la naturaleza por mucho tiempo, no son biodegradables, y tienden a acumularse en los tejidos y órganos de los anfibios (Zhelev *et al.*, 2020; García-Muñoz *et al.*, 2010). El impacto producido por actividades mineras llevadas a cabo sin medidas de prevención, como las realizadas a finales del siglo XIX e inicios del XX, aún tienen efectos sobre la biodiversidad. Por ejemplo, en las Montañas Rocallosas «Rocky Mountains» en Idaho al noroeste de los Estados Unidos, donde era una práctica común depositar los relaves mineros ricos en metales directamente en las orillas de los ríos, constituye una zona donde aún en la década de los 90 continuaban filtrándose en el suelo y sedimento altas concentraciones de metales, manteniéndose la afectación negativa sobre el ecosistema y biota de su entorno, la poblaciones de anfibios de estas localidades han disminuido y están confinadas solo a pequeños remanentes (Lefcort *et al.*, 1998; Lefcort *et al.*, 2010). Por ello se recomienda que las actividades de remediación y rehabilitación realizadas en el PAM Quiulacocha estén acompañadas de monitoreos biológicos, incluyendo diferentes grupos taxonómicos, que muestren datos sobre los cambios y recuperación de las poblaciones de especies que pudieran habitar estos hábitats.

Las aves han sido empleadas como bioindicadores de contaminación ambiental desde 1960 (Erwin y Custer, 2000) por encontrarse directamente asociadas a las actividades humanas y expuestas a la contaminación (Burger, 1995). En ellas se ha podido observar también efectos negativos producto de la alta concentración de metales, como disminución en el tamaño y peso, problemas para volar, alteración en la reproducción, entre otros (Burger, 1995).

En el área de estudio se registraron especies de aves de diferentes gremios alimenticios y familias, desde pequeñas aves cantoras de la orden Passeriformes a aves acuáticas de las órdenes Charadriiformes y Anseriformes. Debido a que, en su mayoría, se obtuvieron muestras de solo 1 especie en ambas zonas de muestreo (*Cinclodes albiventris*), los análisis comparativos se realizaron solo para esta especie. Del resto de especies solo se pudo obtener 1 muestra, lo que no permitió hacer más comparaciones. *Cinclodes albiventris* es una especie de ave abundante y residente, que se distribuye ampliamente en los Andes. Se le puede encontrar en puna, pastizales, cerca del agua, a lo largo de quebradas, y en bordes de lagos (Schulenberg *et al.*, 2010). La amplia distribución de esta especie, su condición de especie residente y su comportamiento la hacen una especie adecuada para realizar monitoreos de metales, ya que las concentraciones de metales cuantificadas corresponden a un particular rango geográfico, lo cual refleja el potencial de este y otros Passeriformes como adecuados para identificar contaminación a nivel local (Chao *et al.*, 2003). A pesar de que *C. albiventris* no es una especie que se encuentra en lo alto de la cadena trófica, como las especies acuáticas o rapaces (Burger y Gochfeld, 2009; Lounsbury *et al.*, 2008), los resultados muestran que se puede cuantificar concentraciones de diversos metales en las plumas de estas aves, aunque también debe considerarse que esta especie se alimenta de insectos, los cuales, a su vez, están en contacto con la vegetación y el suelo potencialmente contaminado.

Para la presente discusión se realizó una revisión bibliográfica de las concentraciones de metales cuantificados en aves, y se realizó una comparación de los límites de toxicidad propuestos en la bibliografía (Burger y Gochfeld, 1993, 1994, 1995, 2000; Eisler, 1988) con los encontrados en el presente estudio. Cabe resaltar que, en la comparación solo se está considerando a especies del Orden Passeriformes, y no a las aves acuáticas, ya que estas presentan una mayor distribución.

El plomo es uno de los metales no esenciales más estudiados como indicador de contaminación ambiental. De acuerdo con Burger y Gochfeld (1993, 1994, 1995, 2000), niveles de 4000 ppb (4 mg/kg) de Pb en plumas son asociados con retraso en el



reconocimiento de los padres y hermanos, alteración de la termorregulación, locomoción, alteración en el comportamiento de alimentación y menor supervivencia de polluelos. En el presente estudio, todas las muestras correspondientes a Passeriformes superaron los 4 mg/kg (Figura 7.43); sin embargo, las muestras tomadas al borde del PAM Quiulacocho superan a las muestras tomadas en la zona control, donde la mediana de la concentración de Pb en las muestras tomadas en el PAM Quiulacocho es mayor que en la zona control (Pb Quiulacocho = 50,9; Pb Control = 19,31; W = 45; p = 0,0009). Las altas concentraciones de plomo encontradas en las muestras indicarían una severa exposición a plomo.

Mercurio es otro de los metales más estudiados como indicador de contaminación ambiental. De acuerdo con Burger y Gochfeld (2000), niveles de 5000 ppb (5 mg/kg) de Hg en plumas son asociados con problemas reproductivos, como menor tamaño de puesta de huevos y menor tamaño de huevos, menor tasa de eclosión, disminución de la supervivencia de los polluelos (Eisler, 1987) y disminución general del éxito reproductivo (Furness *et al.*, 1989). En el presente estudio, 14 de las 18 muestras correspondientes a especies del orden Passeriformes presentaron valores por encima de los 5 mg/kg. De estas, 6 fueron tomadas en la zona control y 8 en el PAM Quiulacocho. Aunque se puede observar diferencias significativas en la concentración de Hg entre zonas de muestreo, se puede observar que en ambas zonas las aves están siendo expuestas a Hg y podrían estar causando los efectos antes mencionados.

El cromo podría causar efectos negativos en la reproducción de las aves (Malik y Zeb, 2009). De acuerdo con Burger y Gochfeld (2000), niveles de Cr de 2,8 mg/kg podrían producir efectos subletales en las aves. En el presente estudio, 10 individuos presentaron concentraciones de Cr mayores que las reportadas por Burger y Gochfeld (2000), todos ellos capturados en el PAM Quiulacocho (Figura 7.43), solo 2 muestras tomadas en el PAM no superaron el límite de toxicidad, pero 1 de ellas (Amsac\_ave\_10) se cuantificó en 2,63 mg/kg (0,17 mg/kg debajo del límite de toxicidad). De todas las muestras tomadas, la muestra Amsac\_ave\_03 y Amsac\_ave\_09, ambas correspondientes a individuos de *Cinclodes albiventris* fueron las que presentaron los valores máximos de Cr. Como ya se mencionó anteriormente, *C. albiventris* es una especie residente que durante las evaluaciones se le observó en el borde del PAM Quiulacocho y en las pozas sin nombre que se encuentran en el área de estudio.

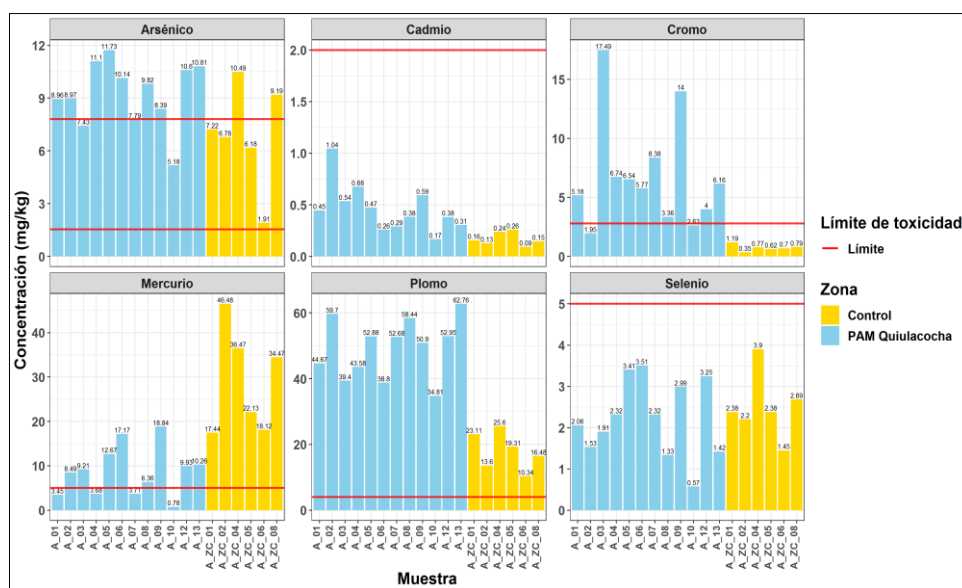


Figura 7.43. Concentración de metales en plumas de Passeriformes capturados en zona aledaña a PAM Quiulacocho y zona control. La línea roja representa límites de toxicidad referenciales para aves



Con respecto al arsénico, existen muchos estudios experimentales donde han evaluado los efectos adversos del arsénico en aves, encontrando efectos reproductivos negativos como decrecimiento de la producción de huevos, menor peso corporal (Chen *et al.* 2000; Chiou *et al.*, 1997), menor longitud del tarso y ala (Albert *et al.*, 2008), reducción del consumo de alimentos, aumento del tiempo de descanso y reducción en el tiempo utilizado en comportamiento de alerta (Camardese *et al.*, 1990, Chen *et al.*, 2000) y efectos a nivel bioquímico y genético (Geens *et al.*, 2010, Eeva *et al.*, 2006). De acuerdo con Eisler (1988), residuos de 2 a 10 mg/kg en peso fresco de As en hígado y riñones de aves son considerados elevados; y residuos mayores a 10 mg/kg en peso fresco en hígado y riñones son indicadores de envenenamiento por As (Goede, 1985). Aplicando la proporción de 1:1,4 propuesto por Burger (1993) y Burger y Gochfeld (2000) para comparar plumas con hígado, se tendría que, residuos de 1,54 a 7,81 mg/kg en peso seco (1,4 a 7,1 mg/kg en peso fresco) son considerados como elevados para aves; mientras que, valores mayores a 7,81 mg/kg en peso seco (7,1 mg/kg peso fresco) serían indicadores de envenenamiento de arsénico para aves (se muestran los valores referenciales en peso seco debido a que las muestras han sido procesadas de esa manera). En el presente estudio, todas las muestras correspondientes a individuos de la orden Passeriformes superaron el valor de 1,54 mg/kg, por lo que, se les puede considerar como muestras con elevada concentración de As, mientras que, 11 muestras (9 tomadas en el PAM Quiulacocha y 2 en la zona control) superaron el valor referencial de 7,81 mg/kg (Figura 7.9), lo que indicaría que estas muestras han sido expuestas a una severa contaminación de As. Adicionalmente, dos muestras tomadas en el PAM Quiulacocha no superaron el valor de 7,81 mg/kg, pero su concentración se encuentra bastante próxima (Amsac\_ave\_03 arsénico = 7,43 mg/kg y Amsac\_ave\_07 arsénico = 7,79 mg/kg).

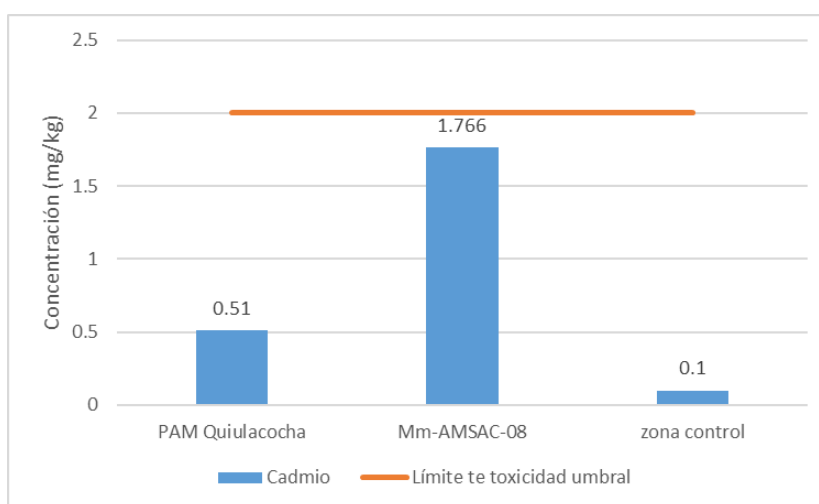
Entre los metales más peligrosos y tóxicos se encuentra el cadmio. En aves produce deformación de huevos, malfuncionamiento del oviducto, daños en el hígado, retardo en el crecimiento, anemia y daño testicular (Hammons *et al.*, 1978; Scheuhammer, 1987). De acuerdo con diversos autores (Eisler, 1985; Burger y Gochfeld, 2000; Copat *et al.*, 2020), la concentración de Cd que indicaría efectos negativos en aves es de 2,0 mg/kg (2000 ppb). Las concentraciones de Cd cuantificadas en las muestras de plumas de aves no superaron este límite de toxicidad (Figura 7.43). El valor más cercano es de 1,04 mg/kg encontrado en la muestra Amsac\_ave\_02 (*C. albiventris*) tomada en el PAM Quiulacocha.

Otro de los metales en el que se tiene un valor referencial de toxicidad es el selenio. Ohlendorf y Heinz (2011) refieren como límite de toxicidad de Se en aves la concentración de 5 mg/kg, en base a estudios realizados por el U.S. Department of the Interior (U.S. DI, 1998). Entre los efectos negativos producto de la exposición a selenio se encuentran la pérdida de plumas, lesiones en el integumento y necrosis. En el presente estudio ninguna de las muestras de plumas de aves superó el límite de 5 mg/kg (Figura 7.43).

Hay otros metales que han sido registrados en mayor concentración en el PAM Quiulacocha con respecto a la zona control, como el aluminio, hierro, plata, manganeso y níquel, pero no se conocen límites de toxicidad perjudiciales para las aves que nos permitan saber si las aves están siendo afectados por estos metales. Algunos de ellos, como el hierro son elementos esenciales para los animales por formar parte de la hemoglobina, y es esencial para el transporte de oxígeno a los tejidos (Butler, 1983), pero que a una alta exposición en el ambiente conlleva a acumulación de hierro en el hígado lo que puede conducir a severos daños hepáticos (Cork, 2000). En el caso del níquel, exceso de este metal afecta la muda de plumas (Malik y Zeb, 2009).

Se evaluaron las concentraciones de metales y cianuro en tejidos de mamíferos menores, en la especie *Auliscomys pictus* (ratón orejón pintado) en el ámbito del PAM Quiulacocha y una zona control. En el PAM Quiulacocha los especímenes presentaron concentración de magnesio, hierro y zinc superiores a las concentraciones de silicio, litio, cobre, estaño, aluminio, cromo, manganeso, plomo, cadmio y arsénico. De la misma manera en la zona control los metales que mayor concentración presentaron fueron el magnesio, hierro y zinc seguido del silicio, aluminio, cobre, manganeso, cromo, selenio, plomo, cadmio, arsénico y litio. La jerarquía de las concentraciones de metales presentada aquí podría dar una idea de su grado de importancia en los procesos fisiológicos que tienen en los mamíferos menores. Esta jerarquía concuerda con estudios similares (Allinson, 2006; Hernout, 2016; Naidoo, 2013). Así pues, entre los metales esenciales, el hierro es el mineral con mayor requerimiento fisiológico, seguido del zinc, cobre, magnesio y manganeso, seguido de litio, aluminio, cromo y selenio que se requieren en cantidades menores. A diferencia de los metales anteriores el, plomo, cadmio y arsénico se consideran no esenciales (Nordberg *et al.*, 2015; Soetan *et al.*, 2010), lo que podría explicar su menor concentración en tejidos.

De los metales analizados los contaminantes plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd) presentaron menores concentraciones, sin embargo, esta baja concentración en tejido animal no descarta el riesgo potencial, debido a que estos metales pesados son precursores de efectos tóxicos de gran impacto a través del tiempo (Pérez *et al.*, 2005). En los mamíferos, los metales son bioacumulados y excretados por órganos como el hígado, el páncreas y los huesos (McDowell, 1992; Albert 1997; Milton y Johnson, 1999), y puesto que no presentan una función biológica conocida, aunque se encuentre en cantidades mínimas, podría implicar graves disfunciones orgánicas (Goyer y Clarkson 2001). De los metales contaminantes mencionados el cadmio esta cerca de llegar al límite de toxicidad reportado en mamíferos, en la muestra Mm-AMSAC-08 (*Auliscomys pictus*) colectado en el PAM Quiulacocha, dicha muestra presentó el valor de 1,766 mg/kg, siendo el límite de toxicidad umbral para el cadmio 2 mg/kg (Eisler, 1985) se ha demostrado que el cadmio, a concentraciones relativamente bajas, es tóxico para todas las formas de vida (Capó, 1998), provocando disfunciones en el crecimiento y metabolismo (Antón y Lisazo, 2001) y daños renales (Capó, 1998). (Figura 7.44).



**Figura 7.44.** Concentración de cadmio en tejidos de mamíferos menores del PAM Quiulacocha, zona control y del espécimen Mm-AMSAC-08 (individuo con mayor concentración) respecto al límite de toxicidad umbral



Los mamíferos menores (roedores) son buenos indicadores de contaminación ambiental debido a su abundancia, amplia distribución, ocupan un territorio específico, presentan migraciones cortas, hábitos alimenticios homogéneos y una facilidad de captura (Talmage y Walton, 1991), su corta esperanza de vida puede ser aprovechable para medir rápidamente los efectos de la exposición en generaciones sucesivas, con lo cual es posible identificar exposiciones ambientales recientes o diferencias locales entre diversos nichos contaminados (Kolf *et al.*, 2007).

Los metales encontrados en el tejido de la especie mencionada se deben a su dieta basada principalmente en raíces, granos y tejidos vegetal que crecen en los suelos aledaños al área de influencia del PAM Quiulacocha, los cuales están siendo influenciados por las altas concentraciones de metales encontradas en este suelo. Los especímenes capturados aledaños al PAM Quiulacocha presentaron concentraciones mayores de arsénico, cadmio, cobre cromo, estaño, hierro, litio, manganeso, plomo, silicio, zinc y cianuro respecto a la zona de control, a excepción del aluminio y magnesio que fueron ligeramente mayores en la zona control. Al comparar los resultados de metales en tejido de roedores obtenidos en el PAM Quiulacocha con los estudios realizados por diferentes autores, se evidencio que las concentraciones son inferiores a los valores referenciales de otros autores, a excepción del cadmio que excede ligeramente el valor reportado por Smith y Rongstad, (1981); Antohny y Kozlowski, (1982); Scanlon, (1987); Talmage y Walton, (1991); Sánchez *et al.* (2001) (Tabla 7.3).

**Tabla 7.3.** Comparación de concentración de metales en tejido de roedores en el PAM Quiulacocha, zona control y otros autores

Metal	PAM Quiulacocha	Zona Control	Concentración de metales (bibliografía)	Referencia
Al	2.41 ± 0.82	3.17 ± 0.98	-	-
As	0.08 ± 0.03	0.07 ± 0.03	<0,1	Smith 1981
Cd	0.51 ± 0.55	0.10 ± 0.01	0,15-0,26, 0,18, 0,19-0,57 0,18 0,15 ± 0,10 1,32-2,4 <0,1	Talmage 1991 sanchez 2001 Ma 1991 Scanlon 1987 Anthony 1982 Hegstrom 1989 Smith 1981
Cu	2.74 ± 0.71	2.47 ± 0.91	9,73 ± 3,68 17-19 3,9 ± 0,6	Anthony 1982 Hegstrom 1989
Cr	1.12 ± 0.75	0.46 ± 0.37	2,22 ± 0,90	Anthony 1982
Sn	2.55 ± 1.94	0.35	-	-
Fe	151.71 ± 37.54	83.24 ± 33.98	-	-
Li	5.68 ± 4.94	0.04	-	-
Mg	247.95 ± 30.54	248.96 ± 18.59	-	-
Mm	1.03 ± 0.26	0.75 ± 0.33	-	-
Pb	0.59 ± 0.88	0.14 ± 0.15	0,76-1,7 2,00 ± 1,49 0,9-1,7 0,9 ± 1,3	Ma 1991 Anthony 1982 Hegstrom 1989 Smith 1981
Si	9.84 ± 3.91	4.64 ± 1.39	-	-
Zn	16.95 ± 3.13	16.62 ± 5.43	39,12 91,75 34,17 ± 9,57 81-90 31 ± 3	Talmage 1991 Scanlon 1987 Anthony 1982 Hegstrom 1989 Smith 1981
Cianuro	1.08 ± 0.66	1.02 ± 0.93	1 mg/L*	Linarte 2006

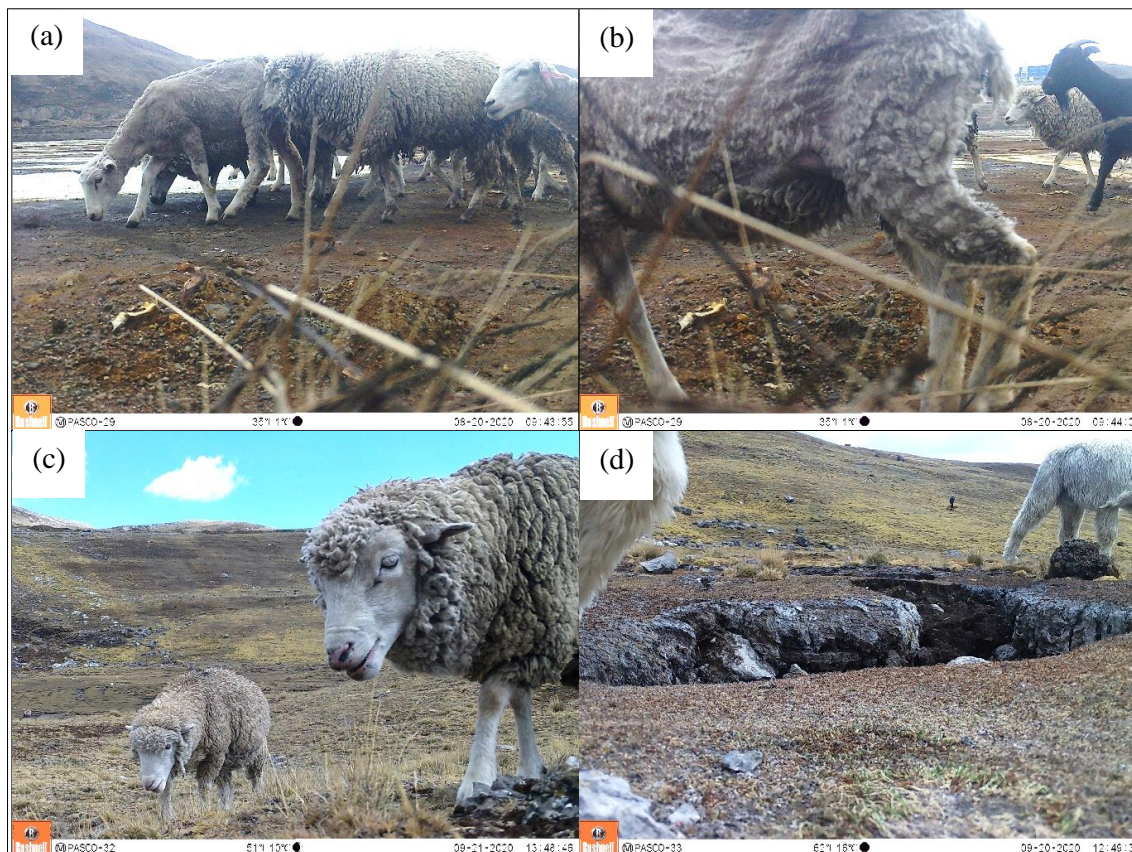
(-): El estudio no consideró estos parámetros

(\*): Este valor corresponde al valor máximo de cianuro libre en el ambiente



Si bien las concentraciones de metales no alcanzaron niveles tóxicos es posible que en el entorno pueda ocurrir problemas con pocos síntomas notables como vida acortada. Por otra parte, el almacenamiento de metales en estos tejidos los convierte en gran parte como disponible para los animales carnívoros que utilizan mamíferos menores como alimento y potencialmente podrían estar expuestos a metales a través de la cadena alimentaria.

Las cámaras trampa instaladas, de la presente evaluación, registraron solo la presencia de fauna doméstica en el área de estudio, tales como oveja (*Ovis aries*), cabra (*Capra hircus*) y alpaca (*Vicugna pacos*) (Figura 7.45).



**Figura 7.45.** a) Oveja (*Ovis aries*) y b) cabra (*Capra hircus*) registrados en la cámara trampa CT-PASCO-29 ubicado al borde del PAM Quiulacocha c) oveja (*Ovis aries*) registrados en la cámara trampa CT-PASCO-32, sitio blanco d) alpaca (*Vicugna pacos*) registrados en la cámara trampa CT-PASCO-33, sitio blanco

Estos resultados obtenidos también se observaron en el Estudio de Impacto Ambiental de Ampliación Paragsha - San Expedito (2008), a tres km del PAM Quiulacocha, se reportó que las poblaciones de fauna silvestre, principalmente mamíferos, han sido desplazadas por la introducción de especies domesticadas como llamas (*Lama lama*) alpacas (*Lama pacos*), ovinos (*Ovis sp.*) y cuyes (*Cavia sp.*); sin embargo, el tercer informe técnico sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco (2020) reportó de manera indirecta las especies silvestres zorro andino (*Lycalopex griseus*) y zorrillo (*Conepatus chinga*).

Castillo (2008) realizó un estudio en el Lago Chinchaycocha -24 km aguas abajo del PAM Quiulacocha- en la que identificó siete especies de mamíferos silvestres, entre ellos el zorro andino (*Pseudalopex culpaeus*), zorrino (*Conepatus chinga*), comadreja (*Mustela frenata*), gato montés, (*Oncifelis colocolo*), puma (*Puma concolor*), taruca (*Hippocamelus antisensis*) y el venado gris (*Odocoileus virginianus*).

En este estudio se reportaron los niveles de concentración y distribución de los metales y metaloides (aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, cobalto, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, plomo, selenio y zinc) en tejido sanguíneo de ovejas (*Ovis aries*) colectados en el centro poblado Champamarca (TS-AMSAC-01, TS-AMSAC-02, TS-AMSAC-03, TS-AMSAC-04, TS-AMSAC-05, y en el sitio blanco en el sector de Condorcayan, TS-AMSAC-06, TS-AMSAC-07, TS-AMSAC-08, TS-AMSAC-09, Y TS-AMSAC -10 (Figura 7.46)



**Figura 7.46.** a) y b) Toma de muestra de sangre de oveja (*Ovis aries*) e instalación de rastreadores satelitales en el sector Champamarca c y d: Toma de muestra de sangre de oveja (*Ovis aries*) e instalación de rastreadores satelitales en el sitio blanco, Condorcayan

Los resultados de los análisis de sangre de las ovejas del sector Champamarca muestran mayores concentraciones en comparación al rango de referencia para ovinos (Thomas, 2011, Morsy *et al.*, 2020), especialmente el aluminio (Al), cromo (Cr), hierro (Fe) y zinc (Zn). Los metales que presentaron diferencias significativas en comparación con los resultados del sitio blanco fueron el aluminio y el zinc ( $P < 0.001$ ).

De acuerdo con la literatura, estos metales que dependieran de su concentración causarían diferentes patologías en los animales, en un estudio para determinar el grado de tolerancia a dosis elevadas de cadmio (50-100 ppm) en la dieta de ovino, encontraron que a partir de 49 semanas de exposición se produjo abortos y fetos muertos o morían al nacer y además presentaban anomalías congénitas (Londoño-Franco *et al.*, 2016).

La concentración máxima tolerable de hierro en la dieta de los ovinos se ha fijado en 500 mg/kg (Thomas, 2011), sin embargo, la toxicidad de hierro rara vez se experimenta en rumiantes (Herdt y Hoff, 2011).

En cuanto al zinc, es un elemento imprescindible en mamíferos y aves (Gupta, 2012) y puede estar depositado en grandes cantidades en los pastos aledaños a zonas industrializadas emisoras de contaminantes (Gutiérrez, 2016). Aunque el zinc tiene un efecto esencial en la



nutrición puede generar problemas de toxicidad cuando los niveles se encuentran entre los 300 y 1000 partes por millón (ppm) (Gupta, 2012, Villanueva, 2011).

En la intoxicación por zinc en ovinos se observan síntomas como; extensión de miembros, convulsiones, arqueo de la columna y muerte del animal; los niveles altos de zinc en la dieta bajan la disponibilidad del cobre y el hierro, esto conduce a síntomas típicos de deficiencia de estos, como anemias y cardiopatías (Villanueva, 2011).

De acuerdo con los resultados de los rastreadores satelitales, la mayor actividad de las ovejas ocurre en las partes altas al otro lado de la carretera; sin embargo, las coordenadas también nos muestran una dispersión que se distribuye entre el Pasivo Ambiental Minero Depósito de Desmontes Excelsior y el área de influencia del PAM Quiulacocha.

Los resultados del análisis de tejido vegetal muestran concentraciones altas de los metales arsénico, cadmio, mercurio y plomo, que de acuerdo con su concentración superan el contenido máximo en mg/kg en piensos - Real Decreto 465/2003. Mientras que, los resultados de los análisis de sangre nos muestran la presencia de los metales aluminio (Al), cromo (Cr), hierro (Fe) y zinc (Zn) en concentraciones altas pero que no llegan a superar los valores referenciales para ovinos.





## 8. CONCLUSIONES

En el sector norte del dique de contención del PAM Quiulacocha se identificaron filtraciones dispersas al pie del dique con presencia de minerales sulfatadas y sales, y surcos con señales de flujo preferencial hacia las aguas del canal de la margen derecha, alterando la calidad de estas aguas, ya que incrementaron las concentraciones de metales (hierro, aluminio, zinc, plomo, arsénico, cobre y litio) en el tramo comprendido entre los puntos RRagr-A y RRagr-1 aledaño al sector norte del dique del PAM Quiulacocha.

La afectación del agua superficial y sedimentos en el punto RRagr-1 se evidenció en la escasa diversidad de las comunidades hidrobiológicas, que reportó organismos tolerantes a metales como la microalga *Fragilaria capuccina* y especies del género *Pseudanabaena*, además de macroinvertebrados bentónicos tolerantes a la exposición de metales pesados, lo que indica una comunidad definida por especies tolerantes, evidenciado en la pésima calidad ecológica reportada.

En el sector sur del dique de contención del PAM Quiulacocha se identificó alteración del agua subterránea en el piezómetro PZ-4A asociado a la influencia de flujos con lixiviados provenientes del PAM que difieren de las características naturales de la zona de recarga (Manantial FCab1). Además se estima que los flujos provenientes del PAM Quiulacocha y que atraviesan el dique de contención (corroborado en la sección tomográfica LT-AM-02 y la filtración al pie del dique en el sector sur) no son captados en su totalidad en el sistema de recolección de aguas de contacto, en tanto un porcentaje migra hacia el canal de la margen izquierda, incrementando las concentraciones de metales (hierro, zinc, manganeso y aluminio y en menor proporción cobre, arsénico, plomo, bario, boro y cadmio) en el punto RRagr-2 respecto al punto SJ-9.

La calidad del suelo en las áreas de potencial interés API CSQ1 y API CSQ2 (uso agrícola) fueron afectados por el PAM Quiulacocha, basado en las concentraciones de arsénico y plomo en todos los puntos, además de cadmio y mercurio en al menos un punto que superaron los Estándares de calidad ambiental para suelo de uso agrícola 2017, los valores de nivel de fondo y referencia. Asimismo, las concentraciones de antimonio, arsénico, cadmio, boro, cobre, estaño, talio y zinc superaron referencialmente los valores de la *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*. El transporte de los contaminantes desde la fuente hasta los suelos de las API se dio por el arrastre de materiales por la escorrentía; además de filtraciones de flujos pequeños con alta carga de metales que discurren sobre el suelo, llegando a alterar las aguas superficiales y subterráneas, este suelo afectado es un foco de contaminación alterando la flora y fauna u otros receptores. Se descarta el aporte natural de estos metales, debido a que el material del depósito glaciar-fluvial presentó bajas concentraciones y baja predisposición de lixiviación de estos.

Las mayores concentraciones de estos elementos se encuentran adsorbidas en materia orgánica y en óxidos e hidróxidos de hierro, sulfuros o a la estructura de los minerales primarios; sin embargo, aluminio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc, además de elementos mayoritarios (calcio, magnesio y potasio) se encontraron asociados también a la fracción extraíble e intercambiable del suelo; asimismo, estos suelos, al contacto al agua, lixivian aluminio, arsénico, cadmio, cobre, plomo, talio y zinc, y a la alta disponibilidad de macronutrientes primarios y secundarios (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sulfato) y microelementos (boro, cobalto, hierro, manganeso, molibdeno, entre otros), los cuales favorecidos por las propiedades fisicoquímicas del suelo y la acción de flujo de masas



son movilizadas hacia la biota asociada al suelo, representando un riesgo para la salud y el ambiente.

Se evidencia una diferencia entre las concentraciones de metales del tejido de *Calamagrostis rigida* entre el sitio control y el API CS-Q1, principalmente arsénico, cadmio, plomo, plata y zinc. Además, la concentración de metales en el tejido de la parte aérea de *Calamagrostis rigida* supera de manera referencial el contenido máximo en arsénico en los puntos ATV02, ATV06, ATV07 y ATV08, cadmio (ATV07), mercurio (ATV02 y ATV07) y plomo (ATV02, ATV06 y ATV07), establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española. Las concentraciones de arsénico en el punto ATV06, cobre en el punto ATV07, plata en los puntos ATV07 y ATV08, plomo en los puntos ATV02, ATV03, ATV04, ATV08, ATV06 y ATV07, y zinc en el punto ATV07 se encontraron en el rango de los niveles de toxicidad para la planta.

Las concentraciones de metales del tejido de la parte aérea de *Calamagrostis vicunarum* colectada en el API CS-Q2 supera de manera referencial el contenido máximo de arsénico, mercurio y plomo establecidos en el Real Decreto 465/2003 (sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal), de la norma española. Además, las concentraciones de los metales arsénico, mercurio y plomo, se encontraron en el rango de los niveles de toxicidad para la planta.

No se registraron anfibios y reptiles en el ámbito del PAM de relaves Quiulacocha, sin embargo, se registraron dos especies de anfibios en la zona control *Pleurodema marmoratum* (familia Leptodactylidae) y *Gastrotheca peruana* (familia Hemiphractidae), esta última es endémica de Perú, que se distribuye entre los departamentos de Ancash, Lima, Pasco y Junín. Las concentraciones de metales halladas en los anfibios colectados en la zona de control son bajas, similares a las registradas en zonas donde no se realiza actividad minera reciente.

Las concentraciones de arsénico, cromo, mercurio y plomo superaron los límites de toxicidad referenciales para aves del orden Passeriformes en el PAM depósito de relaves Quiulacocha.

En el PAM Quiulacocha la especie *Auliscomys pictus* (ratón orejón pintado) presentó concentraciones mayores de arsénico, cadmio, cobre cromo, estaño, hierro, litio, manganeso, plomo, silicio, zinc y cianuro respecto a la zona de control, a excepción del aluminio y magnesio. De los 13 metales analizados en las zonas de evaluación, 7 de los metales presentaron diferencia significativa, siendo estos metales con mayor concentración en la zona aledaña al PAM Quiulacocha. Los metales encontrados en el tejido de la especie mencionada se deben a su dieta basada principalmente en raíces y vegetales que crecen en los suelos aledaños al PAM Quiulacocha, los cuales estarían siendo influenciados por las concentraciones de metales presentes en el suelo. Si bien los valores de plomo, cadmio y arsénico fueron bajas en el tejido de esta especie, el cadmio está cerca de llegar al límite de toxicidad; no se descarta que bajo estas condiciones con el tiempo las concentraciones de metales en los roedores alcanzarían el límite de toxicidad, ya que estos metales son almacenados en tejidos óseos, capilares y cutáneos, y son parte de la bioacumulación a través de cadena trófica.



## 9. RECOMENDACIONES

Se recomienda la derivación del presente informe a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas.

## 10. ANEXOS

- Anexo 1: Mapas
- Anexo 2: Reporte de campo RC-037-2020-STEC
- Anexo 3: Reporte de campo RC-038-2020-STEC
- Anexo 4: Reporte de campo RC-040-2020-STEC
- Anexo 5: Reporte de campo RC-051-2020-STEC
- Anexo 6: Reporte de campo RC-052-2020-STEC
- Anexo 7: Reporte de campo RC-061-2020-STEC
- Anexo 8: Reporte de resultados RRE-013-2020-STEC
- Anexo 9: Reporte de resultados RRE-034-2020-STEC
- Anexo 10: Reporte de resultados RRE-037-2020-STEC
- Anexo 11: Levantamiento fotogramétrico con RPAS
- Anexo 12: Balance iónico y clasificación hidroquímico
- Anexo 13: Cálculos de nivel de fondo y referencia
- Anexo 14: Cálculos de índice de geoacumulación y factor de enriquecimiento
- Anexo 15: Resultados de la caracterización de suelo de los API

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un Protocolo de
- Aguilar-Puntriano, C., Ramírez, C., Castillo, E., Mendoza, A., Vargas, V. J., y Sites, J. W. (2019). Three New Lizard Species of the *Liolaemus montanus* Group from Perú. *Diversity*, 11(9), 161. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/d11090161>
- Albert, C.A., Williams, T.D., Morrissey, C.A., Lai, V.W.M., Cullen, W.R., Elliott, J.E., (2008). Dose-dependent uptake, elimination, and toxicity of monosodium methanearsonate in adult zebra finches (*Taeniopygia guttata*). *Environ. Toxicol. Chem.* 27, 605–611.
- Albert, L. (1997). *Curso básico de toxicología ambiental*, Editorial Limusa, México, 311pp.
- Allinson, G., Mispagel, C., Kajiwara, N., Anan, Y., Hashimoto, J., Laurenson, L., Allinson, M., Tanabe, S. (2006). Organochlorine and trace metal residues in adult southern bent-wing bat (*Miniopterus schreibersii bassanii*) in southeastern Australia. *Chemosphere*.
- Alloway, B. J. (2012). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Ed. Springer-Nueva York.
- Anderson, M.; Gorley, R. y Clarke, K. (2008) PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. PRIMER-E, Plymouth.
- Ángeles, C. (1999). Los sedimentos cenozoicos de Cerro de Pasco: Estratigrafía, sedimentación y tectónica. En: *Sociedad Geológica del Perú, Volumen Jubilar N° 5: 75° Aniversario de la Sociedad Geológica del Perú*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 103-118.
- Anthony, R. G., y Kozlowski, R. (1982). Heavy metals in tissues of small mammals inhabiting waste-water-irrigated habitats. *Journal of Environmental Quality*, 11(1), 20-22.



- Antón A., Lisazo J. (2001). En: Los metales pesados en la alimentación (Ed. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria). Madrid, España.
- Appelo, C. y Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd Edition, Balkema, Rotterdam. <http://dx.doi.org/10.1201/9781439833544>.
- Aqeel M., Sarfraz M., Naureen R. & Gharibreza M. (2015). *Environmental Impacts of Metallic Elements, Speciation, Bioavailability and Remediation*. Singapur. Editorial Ed. Springer Verlag. DOI 10.1007/978-981-287-293-7.
- Baloyi, C; Gumbo, R & Muzerengi, C (2014). Pollutants in sewage effluent and sludge and their impact on downstream water quality: a case study of Malamulele sewage plant, South Africa. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, Vol 182.
- Bellasi, A; Binda, G; Pozzi, A; Galafassi, S; Volta, P & R, Bettinetti (2020). Microplastic Contamination in Freshwater Environments: A Review, Focusing on Interactions with Sediments and Benthic Organisms. *Environments*.; 7, 30.
- Bibby, C. J., Jones, M., & Marsden, S. (1998). *Bird surveys*. London: Expedition Advisory Centre.
- Bray, J. (2007). The ecology of algal assemblages across a gradient of acid mine drainage stress on the West Coast, South Island, New Zealand. Master thesis, University of Caterbury, New Zealand.
- Burger J, Gochfeld M. (1994). Behavioral impairments of lead-injected young herring gulls in nature. *Fundam Appl Toxicol*. 23:553-561.
- Burger J. (1993). Metals in avian feathers: bioindicators of environmental pollution. *Rev Environ Toxicol* 5:203-311.
- Burger, J. (1995). A risk assessment for lead in birds, *Journal of Toxicology and Environmental Health: Current Issues* 45(4):369-396.
- Burger, J. y M. Gochfeld. (1993). Heavy metal and selenium levels in feathers of young egrets and herons from Hong Kong and Szechuan, China *Arch Environ Contam Toxicol* 25: 322-327
- Burger, J. y M. Gochfeld. (1995). Biomonitoring of heavy metals in the pacific basin using avian feathers. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 14, No. 7, pp. 1233-1239, 1995
- Burger, J. y M. Gochfeld. (2000). Metal levels in feathers of 12 species of seabirds from Midway Atoll in the northern Pacific Ocean. *The Science of the Total Environment* 257 \_2000. 37-52
- Burger, J., y Gochfeld, M. (2009). Comparison of arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury and selenium in feathers in bald eagle (*Haliaeetus leucocephalus*), and comparison with common eider (*Somateria mollissima*), glaucouswinged gull (*Larus glaucescens*), pigeon guillemot (*Cepphus columba*), and tufted puffin (*Fratercula cirrhata*) from the Aleutian Chain of Alaska. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152, 357–367.
- Burges, G. L. (2015). "Effects of Heavy Metals on Benthic Macroinvertebrates in the Cordillera Blanca, Peru". WWU Masters Thesis Collection. 414.
- Butler, E.J. (1983). Role of trace elements in metabolic processes. In B.M. Freeman (Ed.), *Physiology and Biochemistry of the Domestic Fowl*, vol. 4 (chapter 10). London: Academic Press.
- Camardese, M.B., Hoffman, D.J., LeCaptain, L.J., Pendleton, G.W., (1990). Effects of arsenate on growth and physiology in mallard ducklings. *Environ. Toxicol. Chem.* 9, 785–795.
- Capó, M. A. (1998): *Incidencia Ecotoxicológica de los Metales Pesados en Poblaciones Humanas*. Ed. Ciencias Veterinarias. Madrid.



- 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>
- Castillo Roque, Luis. (2017). Preferencia de microhábitat del renacuajo de *Telmatobius macrostomus* (Peters 1873) “rana gigante de Junín” en los afluentes del lago Chinchaycocha, Junín, Perú.
- Castillo, L., y Aguilar, C. (2019). Descripción del renacuajo de *Telmatobius brachydactylus* (Anura: Telmatobiidae). *Revista peruana de biología*, 26(4), 469-474.
- Castillo, P. J. (2008). Influencia antropogénica minera sobre la especie endémica *Batrachophrynus macrostomus* Peters, 1873 en peligro de extinción del lago chinchaycocha (pasco, junín), 2007. Tesis para optar el grado académico de doctor en ciencias biológicas.
- Catenazzi, A. (2015). State of the world's amphibians. *Annual Review of Environment and Resources* 40: 91-119.
- Cerrate, E. (1969). *Manera de preparar Plantas para el Herbario*. Museo de Historia Natural, Serie de Divulgación, N°1. 10 pp.
- Cerro S.A.C. (2020). Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco. Aprobado con Resolución Directora N.° 97-2020-Senace
- Chao A, Chiu CH, Jost L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers. *Ann Rev Ecol Evol Syst* 45:297–324. doi:10.1146/annurev-ecolsys-120213-091540.
- Chao, P., Zheng, G.M., Zhang, Z.W., Zhang, C.Y., (2003). Metal contamination in tree sparrows in different locations of Beijing. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 71, 142e147.
- Chen, K.L., Wu, C.P., Chiou, P.W., (2000). Effect of roxarsone inclusion in the diet on the performance and hepatic lipid metabolism of laying Tsaiya duck. *Br. Poult. Sci.* 41, 363–369.
- Chiou, P.W.S., Chen, K.L., Yu, B., (1997). Effects of roxarsone on performance, toxicity, tissue accumulation and residue of eggs and excreta in laying hens. *J. Sci. Food Agric.* 74, 229–236.
- Clarke, K. y Warwick, R. (2001) *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd Edition, PRIMER-E, Ltd., Plymouth Marine Laboratory, Plymouth.
- Clemente, R. (2012) *Silver en Alloway*, B. J. (2013). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils* (3ra ed., pp. 465–494). Editorial: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-4470-7
- Cobbing J., Quispesivana L. y Paz M. (1996). Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional N.° 77. Lima-Perú.
- Convención de especies migratorias. (CMS). (2015). Appendices I and II. [Internet] [citado 2020 Octubre 18]. Disponible en: [http://www.cms.int/pdf/en/CMS\\_Species\\_6Inq.pdf](http://www.cms.int/pdf/en/CMS_Species_6Inq.pdf).
- Convención Internacional sobre el Comercio de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (Cites). (2019). 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 6 de noviembre 2020).



- Copat, C.; Ferrante, M.; Hernout, B.V.; Giunta, F.; Grasso, A.; Messina, A.; Grasso, R.; Spena, M.T. (2020). Trace Element Bioaccumulation in Stone Curlew (*Burhinus oedicnemus*, Linnaeus, 1758): A Case Study from Sicily (Italy). *Int. J. Mol. Sci.*, 21, 4597.
- Cork, S.C. (2000). Iron storage diseases in birds. *Avian Pathology*, 29(1):7-12.
- Crump, M.L. y N.J. Scott. 1994. Visual Encounter Surveys. En: W.M. Heyer, A. Donnelly, R.A. McDiarmid, L.C. Hayec y M.C. Foster (eds). *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Method for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 364p.
- Cueva, E. (2008) - Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la Meseta de Bombón (Cerro de Pasco). Tesis Ing. Geólogo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 123 p.
- Cueva, E., Romero, D., Cerpa, L. y Cárdenas, J. (2008). Evolución sedimentológica de la Formación Pocobamba en el distrito de Huayllay, departamento de Cerro de Pasco (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 14 y Congreso Latinoamericano de Geología, 13, Lima, 2008. Resúmenes. Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.
- Custodio, E. y Llamas, M. R. (1976). *Hidrología Subterránea*. – Tomo I y II. Ed. Omega, Barcelona, España.
- Davis, S.N. y De Wiest, R. (1971). *Hidrología*. – Tomo I. Ed. Ariel, Barcelona España.
- Dentith M. y Mudge S. T. (2014), *Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist*. Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York
- Díaz-Francés, E., y Soberón, J. (2005). Statistical estimation and model selection of species-accumulation functions. *Conservation Biology*, 19(2), 569-573.
- Dinka, M. O; Loiskandl, L., Ndambuki, J.M. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 444-456. doi:10.1016/j.ejrh.2015.02.007.
- Dioses-Salinas, D.C; Perez - Baca, B.L. y De la Torre, G.E. Ecotoxicological effects of microplastics and adsorbed contaminants on aquatic organisms. *Manglar* 16(2): 173-182, 2019.
- Dodd, C.K.J. (2010) *Amphibian Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*, Oxford University Press. C. Kenneth Dodd Jr., Oxford
- Durán, P. (2010). Transferencia de metales de suelo a plantas en áreas mineras: Ejemplos de los Andes Peruanos y la Cordillera Prelitoral Catalana (Tesis doctoral, Universitat de Barcelona). Recuperada de: <http://hdl.handle.net/10803/970>.
- Eeva, T., Belskii, E., Kuranov, B., (2006). Environmental pollution affects genetic diversity in wild bird populations. *Mutat. Res.* 608, 8–15.
- Eisler R. (1987). Mercury hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. US Fish and Wildlife Service. Biological report No. 1.1.:85.
- Eisler, R. (1985). Cadmium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 85(1.2).
- Eisler, R. (1988). Arsenic hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 85(1.12).
- Encalada, A.; Rieradevall, M; Ríos, B.; García, N. y Prat, N. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S). Proyecto FUCARA, Quito.
- Ernst, W. (1998) Effects of heavy metals in plants at the cellular and organismic levels. In: Schuurmann G (ed), *Ecotoxicology: Ecological Fundamentals, Chemical Exposure and Biological Effects*, pp. 587-620. Heidelberg, Wiley.



- Erwin, M.; Custer, T.W. (2000). Herons as indicators. In: Kushlan, J.A., Hanfer, H. (Eds.), Heron Conservation. Academic Press, San Diego. p. 310–330.
- Escobar, G., y Norris, T. (2011). *Nuevos Espacios de Conservación en los Andes – Reporte final de los resultados de los resultados del proyecto: Agrostología 2011 en las comunidades de la Cordillera Huayhuash*. University of California, Santa Cruz y Centro de Desarrollo Huayhuash. Ancash, Perú.  
Evaluación de la Calidad Ecológica de Ríos Andinos (C.E.R.A) y su Aplicación a dos Cuencas en Ecuador y Perú. *Limnética*, 28(1): 35-64.
- Farnese, F. S., Oliveira, J. A., Farnese, M. S., Gusman, G., Silveira, N. M. & Siman, L. I. (2014). *Uptake arsenic by plants: Effects on mineral nutrition, growth and antioxidant capacity*. IDESIA (Chile) Volumen 32, N° 1. Pp 99-106.
- Fasani, E. (2012). *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals*. *Plants and Heavy Metals*, SpringerBriefs in Biometals, p. 55–74. doi: 10.1007/978-94-007-4441-7\_3
- Ferreira, E., S. F. P. Almeida, M. L. Nunes, A. T. Luís, F. Borg, M. Hedlund, C. Marques, C. Patinha & P. Teixeira. (2009). Heavy metal pollution downstream the abandoned Coval da Mó mine (Portugal) and associated effects on epilithic diatom communities. *Sci. Tot. Environ.* 407: 5620–5636.
- Ferreyra, R. (1946). *A revision of the Peruvian species of Monnina (Polygalaceae)*. *J. Arnold Arbor.* 27(2): 123-167
- Ficken, K.L.G., Byrne, P.G., (2013). Heavy metal pollution negatively correlates with anuran species richness and distribution in south-eastern Australia. *Austral Ecol.* 38 (5), 523–533. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2012.02443.x>.
- Ficklin W.H., Plumlee G.S., Smith K.S., y Mchugh J, B. (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. En: Y. Kharaka, A. Maest (Eds.), *Proceedings of water-rock interaction* (p. 381–384). Rotterdam: Balkema.
- Frost, Darrel R. (2020). *Amphibian Species of the World: Referencia en línea*. Vers. 6.1. American Museum of Natural History, New York, USA. [20 de noviembre 2020]. Recuperado de: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. [doi.org/10.5531/db.vz.0001](https://doi.org/10.5531/db.vz.0001)
- Furness RW, Johnston JL, Love JA, Thompson DR. (1989). Pollution burdens and reproductive success of golden eagles *Aquila chrysaetos* exploiting marine and terrestrial food webs in Scotland. In: Meyburg BU, Chancellor RD, editors. *In Raptors in the modern world*. Berlin: WWGBP: 495-500.
- García, I., & Dorransoro, 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>
- García-Muñoz, E., Guerrero, F., Parra, G., (2010). Intraspecific and interspecific tolerance to copper sulphate in five Iberian amphibian species at two developmental stages. *Arch. Environ. Contamin. Toxicol.* 59 (2), 312–321. <https://doi.org/10.1007/s00244-010-9473-x>.
- Gasulla, M. (1999). Obtención de imágenes de la distribución de impedancia eléctrica del subsuelo. Aplicación a la detección de objetos locales. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. 1999.
- Geens, A., Dauwe, T., Bervoets, L., Blust, R., Eens, M., (2010). Haematological status of wintering great tits (*Parus major*) along a metal pollution gradient. *Sci. Total Environ.* 408, 1174–1179.
- Gerhardt, A.; Janssens De Bisthoven, L.; Guhr, K.; Soares, A. y Pereira, M. (2008) Phytoassessment of acid mine drainage: *Lemna gibba* bioassay and diatom community structure. *Ecotoxicology* 17:47–58.
- Giroto, L., Espíndola, E. L. G., Gebara, R. C., y 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, and Soil Pollution*, 231(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04691-y>

- Goede, A.A., (1985). Mercury, selenium, arsenic and zinc in waders from the Dutch Wadden Sea. *Environ. Pollut. Ser. A* 37, 287–309.
- Goyer, R, A, y Clarkson, T, W, (2001). Toxic effects of metals, Casarett and Doull's Toxicology: The basic Science of Poisons, (Klassen CD, ed), New York: McGraw Hill, pp, 811-868.
- Guamán-Burneo, M. y González, N. (2016). Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador. Corporación para la Investigación Energética, Laboratorio de Biotecnología Energética, Quito, Ecuador.
- Guo, R., Zhang, W., Ai, S., Ren, L., y Zhang, Y. (2017). Fluctuating asymmetry rather than oxidative stress in *Bufo raddei* can be an accurate indicator of environmental pollution induced by heavy metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(6). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5991-6>
- Gupta R.C., 2012. Veterinary toxicology. Basic and clinical principles second edition. Copyright © 2012 elsevier inc. All rights reserved.
- Gutierrez CH., A., J. 2016. Concentración de metales pesados en leche cruda de vaca en la provincia de león, españa. Tesis doctoral. Dpto. Medicina, cirugía y anatomía veterinaria de la universidad de león – españa.
- Hammons, A., E. Huff, H. Braunstein, J. Drury, C. Shriner, E. Lewis, B. Whitfield, y L. Towill. (1978). Reviews of the environmental effects of pollutants: IV cadmium. U.S. Environ. Protection Agency Rep. 600/1-78-026. 251 pp.
- Hegstrom, L. J., y West, S. D. (1989). Heavy metal accumulation in small mammals following sewage sludge application to forests. *Journal of environmental quality*, 18(3), 345-349.
- Helsel, D.R. (2005). Nondetects and Data Analysis; Statistics for censored environmental data. John Wiley and Sons, USA, NJ.
- Herdt, TH, Hoff, B (2011). The use of blood analysis to evaluate trace mineral status in ruminant livestock. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.*, 27: 255-283. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2011.02.004>
- Hernout, B.V., Arnold, K.E., McClean, C.L., Walls, M., Baxter, M., Boxall, A.B.A. (2016). A national level assessment of metal contamination in bats. *Environmental Pollution*.
- Hill, M. O. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology* 54:427–432.
- Hopkins, W., y Rowe, C. (2010). Interdisciplinary and Hierarchical Approaches for Studying the Effects of Metals and Metalloids on Amphibians. *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles*, Second Edition, 20(7), 325–336. <https://doi.org/10.1201/ebk1420064162-c11>
- Houlanhad, J.E.; Findlay, C.S.; Schmidt, B.R.; Meyers, A.H.; Kuzmin, S.L., (2000). Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature* 404 (6779), 752–755. <https://doi.org/10.1038/35008052>.
- Hsieh, T.C., Ma, K.H. y Chao, A. (2016) iNEXT: An R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution* (in revision).
- Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA (1995). Mapa Ecológico del Perú – Guía Explicativa. Lima – Perú.
- IUCN (2020). The IUCN Red List of Threatened Species vers. 2020-2 [20 de noviembre del 2020]. Recuperado de: <http://www.iucnredlist.org>





- Jenks, W.F. (1951). Triassic to Tertiary stratigraphy near Cerro de Pasco, Peru. *Geological Society of America Bulletin*, 62(2): 203-220.
- Jenner, G.A. (1996). Trace element geochemistry of igneous rocks: Geochemical nomenclature and analytical geochemistry, in Wyman, D.A., ed., *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulfide Exploration*, 12, Geological Association of Canada, Short Course Notes, p. 51–77.
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Jofré, M. B., Antón, R. I., y Caviedes-Vidal, E. (2012). Lead and cadmium accumulation in anuran amphibians of a permanent water body in arid Midwestern Argentina. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(7), 2889–2897. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0795-2>
- Jost, L. (2007). Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology* 88:2427–2439.
- Jost, L., A. Chao, and R. L. Chazdon. (2011). Compositional similarity and b (beta) diversity. Pp. 66–84 in A. E. Magurran and B. J. McGill, eds. *Biological diversity: frontiers in measurement and assessment*. Oxford Univ. Press, Oxford, U.K
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace Elements in Soil and Plants* (4° Ed). Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
- Kanagaraj, G., Elango, L., Sridhar, S. G. D., y Gowrisankar, G. (2018). Hydrogeochemical processes and influence of seawater intrusion in coastal aquifers south of Chennai, Tamil Nadu, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8989-9011. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0910-5>.
- Kolf-Clauw, M., Guénin, A., y López, M. P. (2007). Micromamíferos y metales pesados: Biomonitorización del medio ambiente. *Observatorio Medioambiental*, (10), 19-38.
- Krebs C., 1978. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Nueva York, USA: Harper & Row
- Lefcort H, Meguire RA, Wilson LH, Ettinger WF (1998) Heavy metals alter the survival, growth, metamorphosis, and antipredatory behavior of Columbia spotted frog (*Rana luteiventris*) tadpoles. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 35: 447-456.
- Lefcort, H., Vancura, J. y Lider, E.L. (2010). 75 years after mining ends stream insect diversity is still affected by heavy metals. *Ecotoxicology* 19, 1416–1425. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0526-8>
- Lessmann, D.; Fyson, A y Nixdorf, B. (2000). Phytoplankton of the extremely acidic mining lakes of Lusatia (Germany). *Hydrobiologia*, 433: 123-128.
- Linarte, R. L. (2006). Destrucción de cianuros en efluentes de la industria minera mediante el empleo de reductores químicos. Director General de Catálisis Industrial, SA de CV.
- Loayza-Muro, R. A, de Baat, M. L., Palomino, E. J., Kuperus, P., Kraak, H. S., Admiraal, W. y Breeuwer, J. A. J. (2014). Metals and altitude drive genetic diversity of chironomids in Andean streams. *Freshwater Biology*, 59, 56–63.
- Loke, M. (1999). *A Practical Guide to 2D and 3D Surveys*. Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies, 8-10.
- Londoño-franco I. F., londoño-muñoz p. T, muñoz-garcía f. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Vol 14 No. 2* (145-153).
- López, C.C. (2018). Análisis de las características fisicoquímicas del agua subterránea de la cuenca del río Chicú, Colombia, usando indicadores hidroquímicos y estadística multivariante. *Ingeniería y Ciencia*, 14(28), 35-68. <https://doi.org/10.17230/inqciencia.14.28.2>.



- Lounsbury-Billie, M. J., Rand, G. M., Cai, Y., & Bass, O. L., Jr. (2008). Metal concentrations in Osprey (*Pandion haliaetus*) populations in the Florida Bay estuary. *Ecotoxicology*, 17, 616–622.
- Loza Del Carpio, A. (2017). Evaluación poblacional y estado de conservación de *Telmatobius macrostomus* Peters, 1873 (Anura: Telmatobiidae) en humedales altoandinos, Región Pasco-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(2), 145–156. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.273>
- Ma, W. C.; Denneman, W. (1991): Hazardous exposure of ground-living small mammals to cadmium and lead in contaminated terrestrial ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 20(2): 266-270.
- Macbride, J. F. (1936-1954). *Flora del Perú*. Chicago: Publ. Field Museum Natural History. Bot. Ser.
- Macurí, J. C. (2017). *Evacuación de tres métodos para estimar la capacidad de carga en Vicuñas*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey.
- Malar, S., Shivendra Vikram, S., JC Favas, P. et al. (2016). Lead heavy metal toxicity induced changes on growth and antioxidative enzymes level in water hyacinths [*Eichhornia crassipes* (Mart.)]. *Bot Stud* 55, 54. <https://doi.org/10.1186/s40529-014-0054-6>
- Malik, R.N.; Zeb, N. (2009). Assessment of environmental contamination using feathers of *Bubulcus ibis* L; as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan. *Ecotoxicology*. 18:522–536.
- 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>
- Mariño, E.E. y García, R.F. (2018). Apuntes sobre Aplicaciones Ambientales de la Hidrogeoquímica. Consejo Hídrico Federal (COHIFE) de la Republica de Argentina. Disponible en: <http://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>.
- Mateo, P., Leganés, F., Perona E., Loza, V. y Fernández-Piñas, F. (2015). Cyanobacteria as bioindicators and bioreporters of environmental analysis in aquatic ecosystems. *Biodivers Conserv.*, 24, 909–948.
- Mazzone, AC; Lanzer, R y Schafer A. (2014). Tolerance of benthic macroinvertebrates to organic enrichment in highland streams of northeastern Rio Grande do Sul, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 26, no. 2, p. 119-128.
- Mc Laughlin, D.H. (1924). Geology and physiography of the Peruvian Cordillera. Departments of Junin and Lima. *Geological Society of America Bulletin*, 35(3): 591-632.
- McDowell, L, (1992), *Minerals in Animal and Human Nutrition*, Academic Press, Inc, Harcourt Brace Jovanovich Publishers, California, 187pp.
- Mertens, J. y Smolders, E. (2012). *Zinc*. En Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in Soils* (3ra ed., pp. 465–494). Editorial: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-4470-7
- Milton, A, y Johnson, M, (1999). Biomonitoring of contaminated mine tailings through age accumulation of trace metals in the bank vole (*Clethrionomys glareolus*), *Journal of Environmental Monitoring*, 1, 219-225.
- Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI & Servicio Nacional de Sanidad Agraria – SENASA (2017). Plan Anual de Monitoreo de Residuos Químicos y Otros Contaminantes en Alimentos Agropecuarios Primarios y Piensos, Lima, Perú



- Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI. (2016). Decreto Supremo que modifica y complementa normas del Reglamento de Inocuidad Agroalimentaria, aprobado por Decreto Supremo N°004-2011-AG. Lima, Perú
- Ministerio de Agricultura y Riego – MINAGRI. (2019). Protocolo de muestreo para la determinación de niveles de cadmio en suelos, hojas, agua, y granos de cacao. Lima, Perú
- Ministerio del Ambiente – MINAM (2015). Guía de inventario de Fauna Silvestre. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural – Lima. 83 pp.
- Ministerio del Ambiente – MINAM. (2012). *Evaluación de praderas del Proyecto Conservación de Praderas*. Lima, Perú
- Molau U. 1990. The genus *Bartsia* (Scrophulariaceae-Rhinanthoideae). *Opera Bot.* 102, p 1-99.
- 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.
- Morsy MM, El-Ghannam AA, Saleh SY, Arafa MM (2020). Assessment of serum mineral concentrations of barki sheep and its impact on kidney functions in El-Hammam city. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 8(s1): 68-75.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. (2000). *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR)*. Santa Cruz- Bolivia, Ed. El País. 87 pp.
- Muller, G. (1979). Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geol J* 2:108–118.
- Naidoo, S., Vosloo, D., Schoeman, M.C. (2013). Foraging at wastewater treatment works increases the potential for metal accumulation in an urban adapter, the banana bat (*Neoromicia nana*). *African Zoology.* 48 (1): 39-55.
- Newell, N.D. (1949). *Geology of the Lake Titicaca region, Perú and Bolivia*. New York: Geological Society of America, 111 p. Memoir 36.
- Nordberg, G.F., Fowler, B.A., Nordberg, M. (2015). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Fourth Edition. Academic Press, United Kingdom, 1542 p.
- Ohlendorf, H.; Heinz, G. (2011). Selenium in Birds. In *Environmental Contaminants in Biota: Interpreting Tissue Concentrations*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; 669–701.
- Oorts, K. (2012) *Copper* En Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in Soils* (3ra ed., pp. 465–494). Editorial: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-4470-7
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO (2009). Guía para la descripción de suelos (4ta ed.). Trad. por Vargas R. – Roma.
- Ortiz, R. (2014). *Estudio agrostodafológico y capacidad de carga animal en contadera – Tomas – Yauyos*. (Trabajo monográfico de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- 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>
- Pachas, R. (2009). El levantamiento topográfico: uso del GPS y estación total. Academia.
- Pacheco, V., R. Cadenillas, E. Salas, C. Tello y H. Zeballos. (2009). Diversidad y endemismo de los mamíferos del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 16(1): 5-32



- Palmer C.M. (1969). A composite rating of algae tolerating organic pollution. *J. Phycol.* 5, 78-82.
- Patton L. J. Berkeley U. F. J. D'Elía P.G. (2015). *Mammals of South America* edited by Alfred L. Gardner. The University of Chicago Press, Ltd., London 2015 by The University of Chicago All rights reserved. Published 2015.
- Peet, R.K. (1974). The measurement of species diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 5, 285-307
- Pérez, M.; Cid, F., Hernández, D, y Oropesa, A, L, (2005) Contenido de metales pesados en hígado y plumas de aves marinas afectadas por el accidente del "Prestige" en la costa de Galicia, *Revista de Toxicología*, 22, 191-199.
- Pérez-Carrera, A. L. y Fernandez-Cirelli, A. (2014). *Arsenic biotransference to alfalfa (Medicago Sativa)*. En Rodríguez, M., Alvarez Gonçalvez, C., Fernández Cirelli, A. & Pérez Carrera, A. (2016) *Efecto del arsénico sobre plantas forrajeras de importancia pecuaria en la Argentina*. *InVet* 18(1): 1-7
- Pielou, E. (1975). *Ecological Diversity*. Jhon Wiley, New York. 165 pp.
- Plenge M. A. (2020). Lista de las aves de Perú. Unión de Ornitólogos del Perú. Recuperado de <https://sites.google.com/site/boletinunop/checklist>
- Pollo, F. E., Grenat, P. R., Otero, M. A., Salas, N. E., & 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>
- Pomfret, J. (1973). Aspects of the acid tolerance of algae from the Durham area. Master's thesis, Durham University, Reino Unido.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch R. (2013). *Edafología, Uso y protección del suelo*, (3a. ed). España: Ed. Ediciones Mundi-Prensa. 608 p.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ra Edición. Ediciones Mundi-Prensa, 960pp. Madrid.
- Pyle, P, S. Howell, R. Yunick y DeSante. (1987). *Identification guide to North American passerines*. Bolinas, CA: Slate Creek Press, P.O. Box 219.
- R Core Team (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [URL https://www.R-project.org/](https://www.R-project.org/).
- Ralph, J; Geupel, G.; Pyle, P.; Martin, T.; DeSante, D.; y M. Borja. (1996). *Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres*. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-159. Albany, CA: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 46 p.
- Ravikumar, P., Somashekar, R. K., y Prakash, K. L. (2015). A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin, Karnataka, India. *Elixir International Journal – Earth Science*, 80, 31073-31077. <http://eprints-bangaloreuniversity.in/id/eprint/4932>
- Rekha, V. B. (2013). A comparative study of the hydrological scenario of Peruvanthanam sub watershed and Valiyathodu sub watershed of Manimala River basin, Kerala, South India, Chapter 6: Ion Chemistry (pp. 75-83). [Tesis de doctorado en Ciencias Ambientales, Mahatma Gandhi University, Kerala, India]. Shodhganga: a reservoir of Indian theses. <http://hdl.handle.net/10603/25955>.
- Remsen, J. V., Jr., J. I. Areta, E. Bonaccorso, S. Claramunt, A. Jaramillo, D. F. Lane, J. F. Pacheco, M. B. Robbins, F. G. Stiles, y K. J. Zimmer. (2020). *A classification of the bird species of South America*. American Ornithological Society. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm>



- Resolución directoral N° 318-2008-MEM/AAM. Estudio de impacto ambiental del proyecto de Ampliación de las Plantas Concentradoras Paracsha 8,500 a 9,000 TDM-San Expedito 450 a 650 TDM – U.E.A. Cerro de Pasco, Ubicadas en los distritos de Simón Bolívar, Yanacancha y Chaupimarca, Provincia y departamento de Pasco.
- Reynolds J. M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics 2nd Edition. Aptara Inc., New Delhi, India.
- Rodríguez M., Lopez A., y Grau C. (2009). Metales Pesados, Materia orgánica y otros parámetros de los suelos Agrícolas y pastos de España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino – España.
- Rodríguez, Daniel, D'Elía, Guillermo, Ortega, Hernán, y Aguilar, César. (2019). Revisión taxonómica de la rana marsupial *Gastrotheca peruana* (Amphibia: Hemiphractidae) en base al gen mitocondrial 16S. *Revista Peruana de Biología*, 26(4), 461-468. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v26i4.16238>
- Rodríguez, R. (2000). Mapa geológico del cuadrángulo de Cerro de Pasco (hoja 22k-4). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Lima-Perú.
- Rodríguez, R., Cueva E. y Carlotto, V. (2011). Geología del cuadrángulo de Cerro de Pasco. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional N.º 144. Lima-Perú.
- Sagástegui A. & Leiva, S. (1993). *Flora invasora de los cultivos del Perú*. 1nd ed. Trujillo, Editorial Libertad EIRL. 539 p.
- Sánchez, M. V., Nicoloso, G. L., Medesani, D. A., y Rodríguez, E. M. (2001). Toxicity of cadmium and copper on larval and juvenile stages of the estuarine crab *Chasmagnathus granulata* (Brachyura, Grapsidae). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 41(3), 333-338.
- Scanlon, P. F. (1987). Heavy metals in small mammals in roadside environments: implications for food chains. *Science of the Total Environment*, 59, 317-323.
- Scheuhammer, A. (1987). The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury, and lead in birds: a review. *Environ. Pollut.* 46, 263–295.
- Schulenberg T.S., Stotz, D.F., Lane D.F., O'Neill J. P. & Parker III, T. A. (2010). Aves de Perú. Serie Biodiversidad
- Seregin, I. V. y Ivaniov, V. B. (2001). *Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants*. *Russ. J. Plant Physiol.* 48: 606–630.
- Serra, A., Cuadrado, G. & Botté S. (2014). Índice de geo-acumulación ( $I_{geo}$ ) y factor de enriquecimiento (FE) en sedimentos del estuario de Bahía Blanco. Universidad Nacional del Sur – Instituto argentino de Oceanografía.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR. (2018). Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú. SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre), Lima. Perú, pp. 1- 532 páginas.
- Sikes, R.S., the Animal Care and Use Committee of the American Society of Mammalogists. (2016). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research and education. *Journal of Mammalogy*. 97 (3): 663-688. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw078>
- Simler, R. (2020). Diagrammes Software version 6.61. Laboratorio de Hidrología de Avignon. Recuperado de <http://www.la.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>
- Singh A. y Singh K. (2015). Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations, ProUCL Version 5.1.002 Technical Guide. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development Washington, D.C.
- 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>

- Sinsch, U. (1986). Anfibios de la sierra central del Peru - Una clave de identificación para adultos y larvas: Boletín de Lima, 45(8), 23–33. ISSN 0253-0015
- Sinsch, U. (1990). Froschlurche (Anura) der zentral-peruanischen Anden: Artdiagnose, Taxonomie, Habitate, Verhaltensökologie. In Salamandra (Vol. 26, Issue 2).
- Sinsch, U., y Lehr, E. (2010). Geographical variation in the high andean frog *telmatobius carrillae morales*, 1988 (Ceratophryidae, Telmatobiinae): Size, skin texture, and coloration. *Journal of Herpetology*, 44(4), 495–505. <https://doi.org/10.1670/09-081.1>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.033>
- Smith, A., Pryer, R., Kathleen, M., Schuettpelz, E., *et al.* (2006). *A classification for extant ferns*. *Taxon*. Vol. 55, nº 3, 705-731 pp.
- Smith, G. J., y Rongstad, O. J. (1981). Heavy metals in mammals from two unmined copper-zinc deposits in Wisconsin. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 27(1), 28-33.
- Snodgrass, J. W., Hopkins, W. A., y Roe, J. H. (2003). Relationships among developmental stage, metamorphic timing, and concentrations of elements in bullfrogs (*Rana catesbeiana*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(7), 1597–1604. [https://doi.org/10.1897/1551-5028\(2003\)22<1597:RADSMT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1897/1551-5028(2003)22<1597:RADSMT>2.0.CO;2)
- Soetan, K.O., Olaiya, C.O., Oyewole, O.E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science*. 4(5): 200-222.
- 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.
- Soil Survey Staff (2014). *Keys to Soil Taxonomy*, 14 th Edition, Washington. USDA-NRCS
- Stangoulis, J. y Sison C. (2009). *Protocolos de Muestreo en Cultivos para Análisis de Micronutrientes*. Series de Monografías Técnicas – HarvestPlus. Washington, D.C. – Estados Unidos.
- Stattersfield A. J., Crosby, M. J., Long, A. J. and Wege, D. C. (1998) *Endemic Bird Areas of the World: priorities for biodiversity conservation*. Cambridge, UK: BirdLife International (BirdLife Conservation Series 6).
- Stotz, D., J. Fitzpatrick, T. Parker & D. Moskovits. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*: Chicago University Press.
- Stuart, S.N., Chanson, J.S., Cox, N.A., Young, B.E., Rodrigues, A.S.L., Fischman, D.L. y Waller, R.W. (2004) Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 306, 1783– 1786.
- Talmage, S. S, Walton, B. T. (1991): Small mammals as monitors of environmental contaminants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 119: 14-145.
- Tercer Informe Técnico Sustentatorio de la Unidad Minera Cerro de Pasco. (2020). aprobado con Resolución Directoral – R.D. N.º 00097-2020-SENACE-PE/DEAR.
- Tessier A.; Campbell P.G.C. and Bisson M. (1979). Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. Universidad de Quebec – Canadá.



- The American Kestrel Partnership. (2017). American Kestrel Genoscape Project. Feather Sampling Protocol. University of California. United States of America.
- Thomas H. H., Brent Hoff. (2011). The Use of Blood Analysis to Evaluate Trace Mineral Status in Ruminant Livestock Vet Clin Food Anim 27 (2011) 255–283. doi: 10.1016/j.cvfa.2011.02.004. 0749-0720/11/\$ – see front matter \_ 2011 Elsevier Inc. All rights reserved.
- Tobler, M. (2013). Camera Base Version 1.6, User guide. Available on line at <http://www.atrumbiodiversity.org/tools/camerabase/files/CameraBaseDoc1.6.pdf>
- Tovar, O. (1993). *Las Gramíneas (Poáceas) del Perú*. Ruizia 13: 1-481 pp.
- U.S. Department of the Interior (U.S. DI). (1998). Guidelines for interpretation of the biological effects of selected constituents in biota, water, and sediment. National Irrigation Water Quality Program Information Report No. 3. USDI, Denver, CO. November.
- U.S. EPA Washington, D.C. (2002). Calculating upper confidence limits for exposure point concentrations at hazardous waste sites.
- U.S. EPA Washington, D.C. (2018). EPA Quality Assurance Unit & TechLaw Environmental Services Assistance Team (ESAT) Contract Support. EQADR–Supplement1 Final # 1 June 2018.
- Uetz, P., Freed, P. y Jirí Hošek (eds.). (2020). The Reptile Database [20 de noviembre del 2020]. Recuperado de: <http://www.reptile-database.org>.
- Villanueva C., G., J. 2011. Nutrición del ganado: zinc. Sitio Argentino de Producción Animal.
- Villegas Y. (2011). Agua y SIG - Los diagramas más usados para la interpretación de análisis hidroquímicos. Recuperado de <http://www.aguaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html>.
- Volke, T., Velasco, J. y de la Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, (1a. ed.). México: Instituto Nacional de Ecología
- Voss, R. S., & Emmons, L. (1996). Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforests: a preliminary assessment. Bulletin of the AMNH; no. 230.
- Wake D.B y Vredenburg V.T. (2008). Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105:11466–73
- Watson, A., Fitzgerald, A., Damián Baldeón, O., y Elías, R. (2017). Habitat characterization, occupancy and detection probability of the Endangered and endemic Junín giant frog *Telmatobius macrostomus*. Endangered Species Research, 32(1), 429–436. <https://doi.org/10.3354/esr00821>
- Weberbauer, A. (1945). *El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos*. Estudio Fitogeográfico. Lima, Edit. Lumen. Ministerio de Agricultura. 776 pp.
- Wedepohl, K.H. (1994). The composition of the continental crust (abstract), Mineral. Mag. 58 Suppl., pp. 959-960.
- Wedepohl, K.H. (1995). The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta № 7, v. 59. Ndash, 1232, 1217.
- Williams, M., Ramos, D., Butrón, A., Gonzales-Zúñiga, S., Ortiz, N., La Torre, B. (2010). Concentraciones de metales pesados en murciélagos del lodge “Cock of the Rocks” y alrededores, Kosñipata, Cuzco, Perú. Ecología Aplicada. 9(2): 133-139. <http://www.xeno-canto.org/>
- Williamson, N. A., Johnson, M. S. y Bradshaw, A. D. (1982). *Mine Wastes Reclamation*. Mining Journal Books, London.



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

- Zhelev Z.M.; Arnaudova D. N.; Popgeorgiev G. S., Tsonev, S. V. (2020). In situ assessment of health status and heavy metal bioaccumulation of adult *Pelophylax ridibundus* (Anura: Ranidae) individuals inhabiting polluted area in southern Bulgaria,
- Zocche, J. J., da Silva, L. A., Damiani, A. P., Mendonça, R. Á., Peres, P. B., dos Santos, C. E. I., Debastiani, R., Dias, J. F., de Andrade, V. M., y Pinho, R. A. (2014). Heavy-metal content and oxidative damage in *Hypsiboas faber*: The impact of coal-mining pollutants on amphibians. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 66(1), 69–77. <https://doi.org/10.1007/s00244-013-9949-6>.