



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 Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

2019-I01-023229

**INFORME N° 00323-2019-OEFA/DEAM-STEC**

**A** : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**  
Director de Evaluación Ambiental

**DE** : **LÁZARO WALTHER FAJARDO VARGAS**  
Ejecutivo de la Subdirección Técnica Científica

**LUIS ANGEL ANCCO PICHUILLA**  
Coordinador de Evaluaciones Ambientales en Minería y Energía

**CARLOS MANUEL AMAYA ROJAS**  
Especialista de Evaluaciones Ambientales

**ASUNTO** : Vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera San Juan de Chorunga de la Empresa Century Mining Perú S.A.C., ubicado en el distrito Río Grande, provincia Condesuyos, departamento Arequipa - 2019

**CUE** : 2019-02-0014

**CÓDIGO DE ACCIÓN** : 0006-8-2019-401, 0006-8-2019-401

**REFERENCIA** : Planefa 2019

**FECHA** : Lima, 29 de noviembre de 2019

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

**1. INFORMACIÓN GENERAL**

Los aspectos generales de la vigilancia ambiental realizada en el área de influencia directa de la unidad minera San Juan de Chorunga (en adelante UM Chorunga) de la empresa Century Mining Perú S.A.C. (en adelante Century) son presentados en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Distrito Río Grande, provincia Condesuyos, departamento Arequipa
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Área de influencia directa de la unidad minera San Juan de Chorunga de la empresa Century Mining Perú S.A.C.
c.	Problemática identificada	Presunta afectación a la salud de alumnos de la Institución Educativa N.º 41511 «Los Libertadores de América» y otros pobladores debido a la presunta contaminación del aire por parte de Century.
d.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019
e.	Tipo de evaluación	Vigilancia Ambiental
f.	Periodo de ejecución	Del 26 de agosto al 11 de setiembre de 2019

Profesionales que aportaron a este documento:

**Tabla 1.2.** Listado de profesionales

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero químico	Gabinete
2	Luis Ángel Ancco Pichuilla	Ingeniero químico	Gabinete
3	Carlos Manuel Amaya Rojas	Ingeniero ambiental y de recursos naturales	Campo y gabinete
4	Karem Liseth Orosco Chambi	Bachiller en ingeniería geológica	Campo y gabinete
5	César Reátegui Valle	Ingeniero químico	Campo y gabinete
6	Patricia Mónica Barreto Sáenz	Ingeniera ambiental	Gabinete

## 2. DATOS DE LA ACTIVIDAD REALIZADA

Los parámetros evaluados en la vigilancia ambiental realizada en el área de influencia directa de la UM Chorunga se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Parámetros evaluados en el área de influencia directa de la UM Chorunga

Matriz	Periodo	Parámetros	Cantidad de puntos
Aire	29/08/2019 al 08/09/2019	Material particulado (PM <sub>2,5</sub> ), material particulado (PM <sub>10</sub> ), metales en PM10 análisis mineralógico y meteorología	3
Suelo	07/09/2019 y 08/09/2019	Metales*	15
Polvo sedimentado en superficie foliar	02/09/2019, 05/09/2019 y 07/09/2019	Metales*, análisis mineralógico y granulometría	3
Componente minero	30/08/2019 al 03/09/2019	Metales*, análisis mineralógico y granulometría	10
Caracterización geológica (roca)	30/08/2019 al 03/09/2019	Mapeo geológico, metales, análisis mineralógico y granulometría	20

(\*): de acuerdo a los informes de ensayo el método de extracción fue EPA 3050B

Los parámetros cuyas concentraciones o valores excedieron la normativa ambiental en la vigilancia ambiental realizada en el área de influencia directa de la UM Chorunga del 26 de agosto al 11 de setiembre de 2019 se presentan en la Tabla 2.2. Cabe indicar que las matrices de polvo sedimentado en superficie foliar, componentes mineros y caracterización geológica (roca) no fueron comparados con ninguna norma, debido a que solo fueron caracterizados.

**Tabla 2.2.** Parámetros que superaron la normativa ambiental de las matrices evaluadas en el área de influencia de la unidad minera San Juan de Chorunga

Matriz	Cuerpo receptor	Código	Norma ambiental	
		OEFA	IGA <sup>1</sup>	Vigente <sup>2</sup>
Aire	Ubicado en la azotea de la Institución Educativa N° 41511 «Los Libertadores de América»	ESP-AR-01	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub>

(1) Aire: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2008-MINAM

(2) Aire: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM



### 3. ANTECEDENTES

La unidad minera Chorunga operada por Century (en adelante, UM Chorunga) se ubica en el distrito Río Grande, provincia Condesuyos, departamento Arequipa, en la microcuenca de la quebrada Chorunga.

Century propietaria de la UM Chorunga realiza actividades de explotación minera mediante extracción subterránea convencional del yacimiento; el mineral extraído es tratado en la planta de beneficio para tratamiento de mineral aurífero por flotación y cianuración, produciéndose relaves que son transportados y dispuestos en los depósitos de relaves 1, 2, 3, 4 y 5 y la poza de cianuración respectivamente, los mismos que se ubican en la margen derecha de la quebrada Chorunga, dispuestos en forma contigua, separados por diques del mismo material de relave y a diferentes cotas de crestas.

En octubre de 2018 se reportó al Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales (Sinada) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) la denuncia ambiental identificada con Código Sinada SC-0769-2018, por presunta afectación a la salud de alumnos de la Institución Educativa N.º 41511 «Los Libertadores de América» y otros pobladores debido a la presunta contaminación del aire y del río Ocoña por parte de Century, debido a las operaciones de su planta de beneficio y a la supuesta descarga de aguas servidas sin tratamiento.

Por lo mencionado, la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (DSEM) ejecutó en octubre de 2018 el monitoreo de aire en la UM Chorunga, donde se evaluaron 4 puntos de monitoreo: A-3, ESP-AR-01, ESP-AR-02 y ESP-AR-03, donde el punto de monitoreo ESP-AR-01, se ubicó sobre el techo de la Institución Educativa N.º 41511, y presentó para el parámetro  $PM_{10}$  una concentración de  $105,550 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que sobrepasó referencialmente los Estándares de Calidad (ECA) para aire (D.S. N.º 003-2017-MINAM), las concentraciones en los demás puntos de monitoreo se encontraron dentro de los valores establecidos del ECA para aire.

A través del Informe N.º 639-2018-OEFA/DSEM-CMIN, la DSEM puso a conocimiento a la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) del hecho analizado a efectos de que realice una evaluación de la calidad del aire y suelo en el ámbito de la UM Chorunga. Es por ello que, la vigilancia ambiental consideró evaluar las matrices aire, suelo, polvo sedimentado en superficie foliar, rocas y componentes, de acuerdo a lo señalado, con la finalidad de generar un diagnóstico sobre el estado de los componentes ambientales precisados.

### 4. OBJETIVO

Realizar la vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera San Juan de Chorunga de Century Mining Perú S.A.C. en el 2019, a fin de realizar un diagnóstico sobre la calidad del aire, suelo y geología.

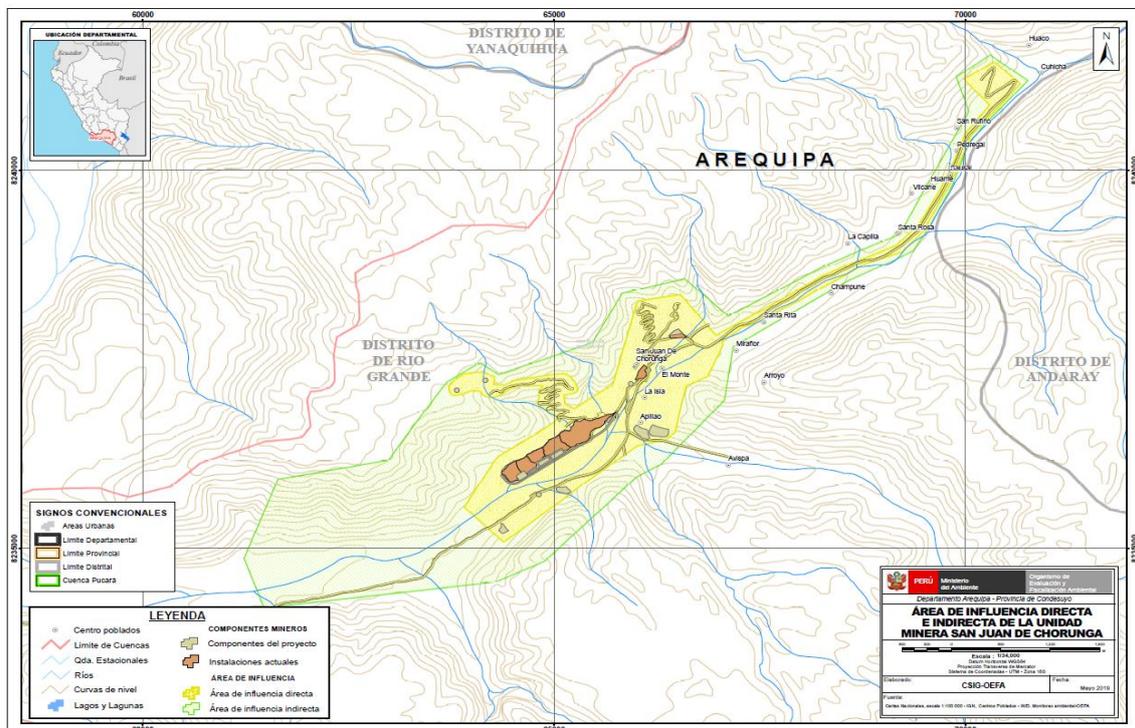
#### 4.1. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del aire en relación al  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el área de influencia directa de la unidad minera San Juan de Chorunga, y caracterizar el  $PM_{10}$  en el área de operaciones.
- Evaluar la calidad del suelo y caracterizar el polvo sedimentado en la superficie foliar en el sector Chorunga.

- Caracterizar geoquímicamente las rocas y depósitos coluviales del sector Chorunga y componentes mineros (depósitos de relaves, depósito de desmonte y vías de acceso) y determinar su influencia en el medio.

## 5. ÁREA DE ESTUDIO

La UM Chorunga se encuentra ubicada en el distrito Río Grande, provincia Condesuyos, departamento Arequipa a una altitud promedio de 700 m s. n. m., con temperaturas máximas registradas de 27,8 °C y la mínima absoluta es de 12,9 °C. Sobre los vientos se indica que sus direcciones son variadas y las velocidades promedio son de 2,9 m/s y 1,4 m/s respectivamente. El sector de estudio se caracteriza por su clima seco y árido, donde las precipitaciones son escasas (IGA, 2013)<sup>1</sup>.



**Figura 5.1.** Mapa de ubicación del área de influencia de la UM Chorunga

Fuente: Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto San Juan de Chorunga, aprobado mediante Resolución Directoral N° 177-2013-MEM/AAM.

### 5.1.1.1. Geomorfología

La geomorfología del área de evaluación se encuentra controlada por los ciclos erosivos y también por el levantamiento de los Andes.

A continuación, se detallan las principales unidades geomorfológicas en el área de evaluación:

- Flanco Occidental de los Andes

<sup>1</sup> Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto San Juan de Chorunga, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 177-2013-MEM/AAM

La presente unidad geomorfológica forma parte de la Cordillera de los Andes con alturas que van desde los 2500 hasta los 5000 m s. n. m en el contexto regional. Asimismo, se encuentra conformado por cadenas de cerros que alinean su dirección de NO-SE.

- Llanuras de Caravelí

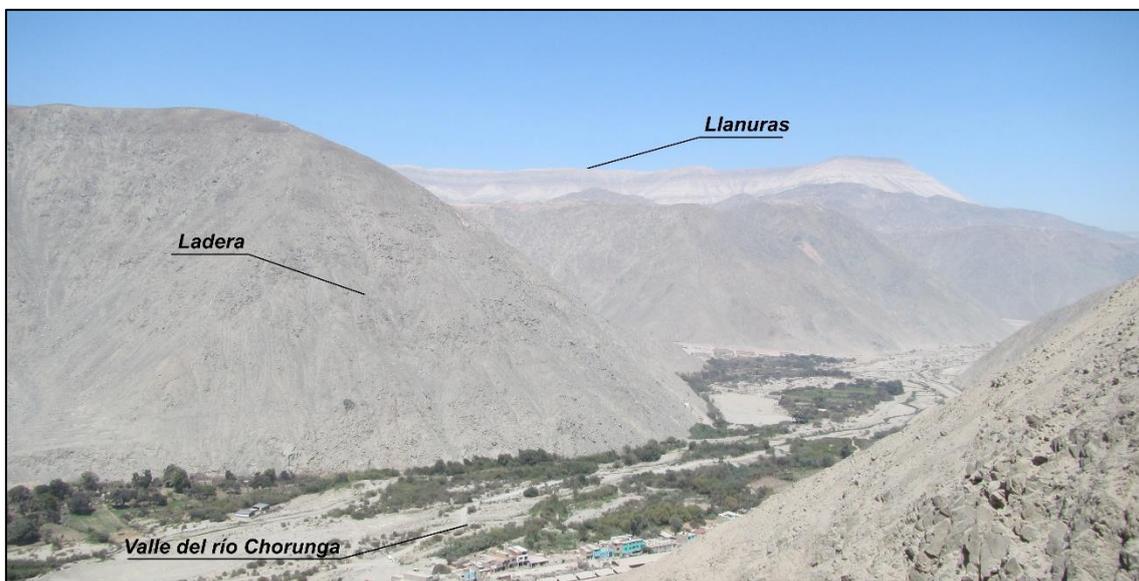
En el contexto regional esta unidad geomorfológica abarca al menos un 35 % del cuadrángulo de Caravelí (INGEMMET, 1983) y representa una llanura costanera a los 1500 m s.m.m. y se encuentra constituida por acumulación de depósitos continentales y marinos del Terciario – Cuaternario (Figura 5.2).

- Laderas

Esta unidad se encuentra constituida por cadenas de cerros que se alinean con dirección NO-SE, y el drenaje es subparalelo.

- Valles

La unidad geomorfológica de los valles vendría a ser el resultado de la acción erosiva y dan origen a numerosas quebradas y valles profundos, siendo el valle Ocoña uno de los principales en el contexto regional ya tiene una gradiente más suave y un lecho bastante amplio, mientras que en el contexto local en el área de evaluación se tiene el valle del río Chorunga; asimismo, los desmoronamientos y asentamientos son casi nulos ya que su gradiente es suave y también porque los flancos de los valles se encuentran constituidos por rocas intrusivas y metamórficas (INGEMMET, 1983).



**Figura 5.2.** Vista hacia el proyecto Chorunga presentando el valle del río Chorunga

## 6. METODOLOGÍA

A continuación, se detalla la metodología empleada en la vigilancia ambiental del área de influencia de la UM Chorunga, que se encuentra dividida por cada una de las matrices evaluadas, donde se indica el protocolo de monitoreo utilizado y la ubicación de los puntos de monitoreo; luego se mencionan el procesamiento de datos por matriz y las normativas empleadas para la comparación de los resultados obtenidos.

## 6.1 Aire

A continuación, se desarrolla la metodología de la matriz aire, la que comprende el protocolo utilizado para la toma de muestra, la ubicación de los puntos de monitoreo, los equipos utilizados, los parámetros evaluados, los métodos de análisis y los criterios de evaluación.

### 6.1.1. Protocolo de monitoreo

El protocolo y normas técnicas empleadas para la ejecución del monitoreo de aire en el área de influencia de la UM Chorunga se describen en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1.** Protocolos y guías utilizado para el monitoreo de aire en el área de influencia directa de la UM Chorunga

Protocolo/guías	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos	Todo el documento	Perú	Dirección General de Salud Ambiental* (Digesa)	Resolución Directoral N.º 1404 /2005/DIGESA/S A	2005
Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM <sub>10</sub> en la atmósfera	Todo el documento	Perú	Instituto de Defensa de la Competencia y Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi)	NTP 900.030	2018
Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM <sub>2,5</sub> en la atmósfera	Todo el documento	Perú	Instituto Nacional de Calidad (Inacal)	NTP 900.069	2017

(\*) Actualmente Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria.  
 (NTP) Norma Técnica Peruana.

### 6.1.1 Ubicación de los puntos de monitoreo

Para el monitoreo de aire se consideraron 3 puntos en el área de influencia directa de la UM Chorunga; los códigos y coordenadas se visualizan en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.2.** Puntos de monitoreo de aire en el área de influencia directa de la UM Chorunga

N.º	Lugar	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Sector antes de relaveras	ESP-AR-03	706952	8239096	671	Ubicado a 160 m al sur del dique del depósito de relaves N.º1
2	Sector relaveras	AR-02	708229	8239894	717	Ubicado en el contradique del depósito de relaves CIL N.º1
3	Sector Chorunga	ESP-AR-01	708859	8240695	735	Ubicado en la azotea de la I.E. N.º 41511 «Los Libertadores de América»

Fuente: Anexo 2: Reporte de campo RC-033-2019-STEC.

### 6.1.2 Equipos utilizados y métodos de análisis

Los equipos utilizados se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo N.º RC-033-2019-STEC, del monitoreo. Los parámetros considerados en el monitoreo de aire fueron seleccionados en referencia a la actividad desarrollada por el administrado (Tabla 6.3).

**Tabla 6.3. Parámetros y métodos de análisis para la matriz aire**

Parámetro	Método de Referencia
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> ) *	NTP 900.030. 2003. Calidad de Aire. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM <sub>10</sub> en la atmósfera (alto Volumen).
Material particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	Micro balanza oscilante de elementos cónicos (**)
Material particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2,5</sub> ) *	EPA CFR 40 Part 50 Appendix L (Validado). 2017. Reference Method for the Determination of the Fine Particulate Matter as PM 2,5 in the Atmosphere. Excepto muestreo.
Metales en filtros PM <sub>10</sub> *	EPA Compendium Method IO-3 4. 1999. Determination of Metals in Ambient Particulate Matter using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy. Excepto Muestreo.
Meteorológicos (velocidad de viento, dirección del viento, temperatura ambiental, presión barométrica y humedad relativa) **	-
Análisis mineralógico	Microscopía electrónica de barrido (MBE)

Fuente: Anexo 3: Reporte de resultados (Informes de ensayo del laboratorio CERTIMIN S.A. y BIZALAB S.A.C.).

(\*) El registro meteorológico se realizó durante todo el período de monitoreo de la calidad del aire.

(\*\*) Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos, de la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA.

(EPA) Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

### 6.1.3 Procesamiento de datos

Los datos meteorológicos para la elaboración de los diagramas denominados rosas de vientos, los cuales representan la dirección y velocidad de viento, fueron realizados con el programa WRPLOT 8.0.2; esto con el fin de analizar y evaluar la influencia de la meteorología local sobre los parámetros monitoreados, su posible procedencia y transporte local.

El registro de datos de los equipos de monitoreo automático fue descargado y validado, a través, de un sistema de validación que contemplaron criterios cuantitativos y cualitativos. Los criterios cuantitativos hacen referencia al estado operacional de los equipos, calibraciones, rango de medición, coherencia temporal, etc. Los criterios cualitativos análisis de tendencia de las concentraciones de material particulado, condiciones de la medición, observaciones en campo, etc. Para la determinación de la suficiencia de información, se requirieron al menos un mínimo de 75 % de observaciones totales en cada uno de los periodos de evaluación (promedios horarios y promedio de 24 horas). La concentración de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> son expresados en microgramo por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) a condiciones estándar de temperatura y presión (298,15 K y 760 mmHg).

Los datos de los pesos de los filtros de material particulado de los equipos muestreadores de alto volumen (High Vol) y muestreadores de bajo volumen (Low Vol), fueron reportados por el laboratorio acreditado ante Inacal, cuyos datos se utilizaron para el cálculo de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y metales en PM<sub>10</sub> de acuerdo a los siguientes pasos:

Para la determinación de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> se calculó el flujo promedio, según la siguiente ecuación:

$$Q_{std} = Q_a \left( \frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left( \frac{T_{std}}{P_{std}} \right) \quad (6.1)$$

Donde:

$Q_{std}$  = Flujo promedio (m<sup>3</sup>/min) a condiciones de referencia indicadas (i.e. 10 °C, 25°C y 101,3 kPa).



$Q_a$  = Flujo promedio ( $m^3/min$ ) a condiciones ambientales.

$P_{av}$  = Presión barométrica promedio durante el período de muestreo o presión barométrica promedio para el lugar de muestreo (kPa o mmHg).

$T_{av}$  = Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo o temperatura ambiente estacional promedio para el lugar de muestreo (K).

$T_{std}$  = Temperatura estándar para metales a 25 °C o 10°C (i.e. 298 K o 283 K).

$P_{std}$  = Presión estándar (i.e. 101,3 kPa o 760 mmHg).

Una vez calculado el flujo promedio se procedió a calcular el volumen total de aire muestreado para  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , el cual se obtiene de la ecuación 6.2.

$$V_{std} = (Q_{std})(t) \quad (6.2)$$

Donde:

$V_{std}$  = Total de aire muestreado en unidades de volumen ( $m^3$ ).

$t$  = Tiempo de muestreo (min).

Sobre la base de la diferencia de pesos (muestra/filtro) reportados por el laboratorio y los parámetros meteorológicos de presión y temperatura registrados en el lugar de muestreo se calculó la concentración de material particulado de  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , en unidades de masa por unidad de volumen, de acuerdo con la ecuación 6.3.

$$C_{PM_{10}} = 10^6 \cdot (W_f - W_i) / V_{std} \quad (6.3)$$

Dónde:

$C_{PM_{10}}$  = Concentración de  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ).

$W_f - W_i$  = Diferencia de pesos final e inicial del filtro (g).

$V_{std}$  = Volumen de aire muestreado a condiciones estándar ( $m^3$ ).

De manera análoga se determinó las concentraciones de metales totales en material particulado con diámetro menor a 10 micras con los resultados emitidos por el laboratorio acreditado, de acuerdo con la ecuación 6.4.

$$C_{Metal} = 10^6 \cdot (W_{metal}) / V_{std} \quad (6.4)$$

Dónde:

$C_{metal}$  = Concentración del metal ( $\mu g/m^3$ ).

$W_{metal}$  = Peso del metal en gramos (g).

$V_{std}$  = Volumen total de aire muestreado a condiciones estándar en ( $m^3$ )

Para el cálculo del volumen de aire muestreado de los metales en  $PM_{10}$  se empleó la temperatura de 10°C como temperatura estándar, para su comparación con la norma de referencia *Ontario's Ambient Air Quality Criteria Standards (AAQC)* - abril 2012. En el Anexo 3: Reporte de resultados, se presenta los cálculos respectivos.

#### 6.1.4 Criterios de evaluación

De acuerdo con el instrumento de gestión ambiental<sup>3</sup> (en adelante IGA) del administrado Century, el material particulado menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ) fue comparado con el valor

<sup>2</sup> Condición estándar: 1 atmósfera de presión y 25 °C de temperatura para la medición de volúmenes de los gases.

<sup>3</sup> Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto «San Juan de Chorunga», mediante la R.D. N.º 177-2013-MEM/AAM.

establecidos en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 074-2001-PCM (en adelante, ECA para aire 2001) y el material particulado menor a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>) fue comparado con el valor establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para Aire aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2008-MINAM (en adelante, ECA para aire 2008).

Asimismo, se realizó la comparación referencial con la normativa vigente Estándares de Calidad Ambiental para Aire aprobado mediante Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM (en adelante, ECA para aire 2017) y, como esta no considera concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> para un período de 24 horas, se tomó como referencia la guía de calidad del aire de Canadá (Tabla 6.5).

Las concentraciones de arsénico en material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), fueron comparadas referencialmente con los Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos gaseosos provenientes de las unidades minero-metalúrgicas (en adelante, NMP para aire), aprobado mediante Resolución Ministerial N.º 315-96-EM/VMM. En la Tabla 6.4 se resumen las normativas empleadas.

**Tabla 6.4.** Estándar de comparación para los parámetros de aire

Parámetro	Periodo	Valor (µg/m <sup>3</sup> )	Estándar de comparación
<b>Normativa IGA*</b>			
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	25	D.S. N.º 003-2008-MINAM
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	150	D.S. N.º 074-2001-PCM
Arsénico en PM <sub>10</sub>	24 horas	6	R.M. N.º 315-96-EM/VMM
<b>Normativa referencial</b>			
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	50	D.S. N.º 003-2017-MINAM
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	100	
Metales totales en PM <sub>10</sub>	24 horas	<i>Ver tabla 6.5</i>	Guía de calidad del aire de Canadá (Ontario's Ambient Air Quality Criteria - 2012)

NE: No exceder.

(\*) Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto «San Juan de Chorunga», mediante la R.D. N.º 177-2013-MEM/AAM, aprobada el 31 de mayo de 2013.

**Tabla 6.5.** Estándares de calidad de aire de Canadá para los metales en PM<sub>10</sub>

CASRN	Contaminante	AAQC (µg/m <sup>3</sup> )*
7784-42-1	Arsénico y compuestos de arsénico	0,3
7440-41-7	Berilio y compuestos de berilio	0,01
7440-42-8	Boro	120
7440-43-9	Cadmio y compuestos de cadmio	0,025
7440-48-4	Cobalto	0,1
7440-50-8	Cobre	50
7440-47-3	Cromo y compuestos	0,5
15438-31-0	Hierro (metálico)	4
7439-92-1	Plomo y compuestos de plomo	0,5
7439-96-5	Manganeso y compuestos de manganeso	0,2
7439-97-6	Mercurio (Hg)	2
7439-98-7	Molibdeno	120
7440-02-0	Níquel y compuestos de níquel	0,1
7782-49-2	Selenio	10



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 Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

CASRN	Contaminante	AAQC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*
7440-22-4	Plata	1
7440-24-6	Estroncio	120
7440-31-5	Estaño	10
7440-32-6	Titanio	120
7440-61-1	Uranio y compuestos de uranio	0,15
7440-62-2	Vanadio	2
7440-66-6	Zinc	120

CASRN: *Chemical Abstracts Services Registry Number* o Número de Registro CAS.

\*: Las concentraciones fueron calculadas a condiciones de 10 °C y 760 mmHg.

Fuente: *Ontario's Ambient Air Quality Criteria Standards (AAQC)* - abril 2012:[www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf](http://www.airqualityontario.com/downloads/AmbientAirQualityCriteria.pdf)

El punto de monitoreo AR-2 por encontrarse ubicado en zona de actividad minera (componente minero depósito de relaves) no fue comparado con ninguna normativa.

## 6.2 Suelo

La evaluación de la calidad de suelo abarcó 3 sectores ubicados dentro del área de influencia directa de la UM Chorunga, denominándolos: Chorunga, Apillao 1 y Apillao 2.

### 6.2.1 Protocolo de monitoreo

Para la toma de muestras de suelo se tomó en consideración la referencia que se detalla en la Tabla 6.6.

**Tabla 6.6.** Guía empleada para el muestreo de suelo

Guía	Sección	País	Institución	Dispositivo legal	Año
Guía para muestreo de suelos	Secciones 1.3, 5 y anexo N.º 2	Perú	Ministerio del Ambiente	Resolución Ministerial N.º 085-2014-MINAM	2014

### 6.2.2 Ubicación de los puntos de muestreo

Se tomaron 15 muestras simples de nivel superficial de suelo en 3 sectores dentro del área de influencia de la UM Chorunga; la ubicación de los puntos y descripción se presentan en la Tabla 6.7.

**Tabla 6.7.** Puntos de muestreo para suelo

N.º	Lugar	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Sector Chorunga	SUE1-1	708748	8240561	732	Suelo ubicado en la cancha de fútbol del Anexo San Juan de Chorunga
2		SUE1-2	708790	8240585	731	
3		SUE1-3	708943	8240680	735	Suelo ubicado en la parcela del ex fundo san Antonio - Anexo San Juan de Chorunga
4		SUE1-4	709027	8240742	730	Suelo ubicado en la parcela de la Sra. Rosa Villena Cruces, ex fundo San Antonio 4 Anexo San Juan de Chorunga
5	Sector Apillao 1	SUE3-1	708632	8240133	711	Suelo ubicado en la parcela del Sr. Rolf Chirinos Alarcón Sector Apillao 1
6		SUE3-2	708695	8240170	722	
7		SUE3-3	708742	8240284	728	
8		SUE3-4	708705	8240347	734	
9		SUE3-5	708791	8240383	730	

N.º	Lugar	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
10	Sector Apillao 2	SUE2-1	708463	8239843	721	Suelo ubicado en la parcela de familia Medina Sector Apillao 2
11		SUE2-2	708531	8239803	723	
12		SUE2-3	708612	8239837	724	Suelo ubicado en la parcela de la Sra. Candelaria Alfaro Neira, Sector Apillao 2
13		SUE2-4	708671	8239819	719	
14		SUE2-5	708725	8239927	718	Suelo ubicado en la parcela de Sr. Lorenzo Alfaro Neira Sector Apillao 2
15		SUE2-6	708768	8239974	719	

Fuente: Anexo 2: Reporte de campo RC-033-2019-STEC.

### 6.2.3 Equipos utilizados y métodos de análisis

Los equipos utilizados se detallan en el Anexo 2 (Reporte de campo N.º RC-033-2019-STEC); los parámetros evaluados se detallan en la Tabla 6.8.

**Tabla 6.8.** Parámetros evaluados y métodos de análisis para suelo

Parámetro	Método de Referencia	Técnica empleada
Metales por ICP OES	EPA Method 3050 B/EPA Method 6010 D, Rev. 5 July. 2018	Acid Digestion of Sedimento. Sludges and soils / Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectrometry
Mercurio	EPA 7471 B, Rev. 2, February 2007	Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold – Vapor technique)
Análisis mineralógico	-	Microscopía electrónica de barrido (MBE)
Análisis granulométrico	Densitometría	PEC-018

Fuente: Informes de ensayo de los laboratorios ALS LS PERÚ S.A.C, BIZALAB S.A.C. y AGQ PERÚ S.A.C. (Anexo 3).

### 6.2.4 Criterios de evaluación

Cabe indicar que el administrado Century no cuentan con puntos de muestreo establecidos para suelo, por lo qué, las concentraciones de metales en el suelo fueron comparados referencialmente con los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo, aprobados mediante Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM. Las concentraciones de los puntos muestreados en la cancha de fútbol del Anexo San Juan de Chorunga: SUE1-1 y SUE1-2 fueron comparados con la subcategoría de suelo residencial/parques, y las concentraciones en los demás puntos de muestreo con la subcategoría de suelo agrícola.

### 6.3 Caracterización de polvo sedimentado en superficie foliar

El muestreo fue realizado en hojas de árboles de paltos, pacaes, higuerilla y maíz ubicados en los sectores Chorunga, Apillao 1 y Apillao 2.

#### 6.3.1 Protocolo de muestreo

El protocolo utilizado para el monitoreo de polvo sedimentado en superficie foliar en el área de influencia de la UM Chorunga se describen en la Tabla 6.9.

**Tabla 6.9.** Protocolo utilizado en el monitoreo de polvo sedimentado

Matriz	Protocolo/guías	Sección	País	Institución	Año
Suelo	Protocolo para la toma de muestra de polvo sedimentado	Sección 7	Chile	Instituto de Salud Pública	2013

La altura de toma de muestras y otras especificaciones para la toma de muestras en superficie foliar, siguió la metodología empleada por Yu y Yang (2016) en su estudio sobre la retención de polvo en hojas en Shenyang.

La toma de muestras se realizó en las hojas de las plantaciones sanas de altura y diámetro, a la altura del pecho similar en cada área evaluada. Se tomó una muestra compuesta por cada área de evaluación, colectando el polvo sedimentado en 80 hojas por plantación en distintas direcciones. La muestra se colectó a una altura de 1,5 m (Song *et al.*, 2015) en un recipiente plástico hermético.

### 6.3.2 Ubicación de los puntos de muestreo

Para el monitoreo de polvo sedimentado se consideraron 3 puntos compuestos de 4 submuestras; los códigos y coordenadas se visualizan en la Tabla 6.10.

**Tabla 6.10.** Puntos de muestreo de polvo sedimentado

N.º	Lugar	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Sector Chorunga	PS1	708952	8240662	758	Polvo sedimentado ubicado en el ex fundo San Antonio
2			708938	8240702	747	
3			709061	8240693	743	
4			709009	9240783	750	
5	Sector Apillao 2	PS2	708624	8239861	722	Polvo sedimentado ubicado en el Sector Apillao 2
6			708627	8239793	726	
7			708649	8239823	716	
8			708725	8239921	716	
9	Sector Apillao 1	PS3	708745	8240302	718	Polvo sedimentado ubicado en el Sector Apillao 1
10			708747	8240362	718	
11			708533	8240188	719	
12			708628	8240164	725	

Fuente: Anexo 2: Reporte de campo RC-033-2019-STEC.

### 6.3.3 Equipos utilizados y metodología de análisis

Los equipos se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo N.º RC-033-2019-STEC, del monitoreo. Por otro lado, los parámetros evaluados en el polvo sedimentado se detallan en la Tabla 6.11.

**Tabla 6.11.** Parámetros evaluados y métodos de análisis para polvo sedimentado

Parámetro	Método de Referencia	Técnica empleada
Metales totales por ICP-OES	EPA 3050 B: 1996/ EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sedimento. 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 mineralógico	-	Microscopía electrónica de barrido (MBE)
Análisis granulométrico	Densitometría	PEC-018

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio AGQ PERÚ S.A.C y BIZALAB S.A.C. (Anexo: 3: Reporte de resultados).

## 6.4 Caracterización geológica (roca)

La caracterización geológica realizada en la UM Chorunga consistió en la descripción de las unidades litológicas y aspectos estructurales en las áreas evaluadas de los componentes ambientales (aire y suelo) y principales componentes mineros (depósitos de relave y depósitos de desmonte).

Cabe señalar que se realizó la geoquímica de roca en 4 muestras de granodioritas mediante el análisis de metales y también se realizó una caracterización de la veta San Juan que aflora en superficie con las muestras CRCH-02 y CRCH-03, y además se consideró colectar 2 muestras adicionales correspondientes a la roca caja siendo el piso de la veta la muestra CRCH-04 y la muestra del techo de la veta CRCH-05 y adicionalmente se coleccionó una muestra a unos 30 m al sur de la veta con código CRCH-06.

Para caracterizar el material fino de los depósitos coluviales se coleccionaron 6 muestras (CGCH-02, CGCH-03, CGCH-04, CGCH-06, CGCH-07, CGCH-10) para el análisis de metales totales y mercurio; además se coleccionó una muestra CGCH-05 de material fino depositado en la vía acceso hacia la planta de beneficio de la UM San Juan de Chorunga el cual se encuentra cubriendo a material coluvial y las muestras CGCH-08 y CGCH-09 fueron coleccionados de la vía vecinal de trocha Ocoña - San Juan de Chorunga.

### 6.4.1 Protocolos

Los protocolos y guías tomados como referencia para la caracterización geológica corresponden a servicios de Perú, Reino Unido y Colombia. Las referencias mencionadas se detallan en la Tabla 6.12.

**Tabla 6.12.** Referencias empleadas para la caracterización geológica en la zona de estudio

Autoridad emisora	País	Referencia	Año
Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET)	Perú	Manual de estándares de cartografía para la digitalización de los mapas geológicos CGN a escala 1:100 000	2016
Richard J. Lisle, Peter Brabham, y John Barnes (Barnes & Lisle, 2004)	Reino Unido	Basic Geological Mapping	2011
Angela L. Coe, Tom W. Argles, David A. Rothery y Robert A. Spicer (Coe, Argles, Rothery, & Spicer, 2010)	Reino Unido	Geological field techniques	2010
Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, en inglés <i>United States Geological Survey</i> ) (USGS, 2006)	Estados Unidos	FGDC Digital Cartographic Standard for Geological Map Symbolization	2006
Richard J. Lisle (Lisle, 1989)	Reino Unido	Geological Structures and Maps	2004
Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS)	Colombia	Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos	2001

La referencia de la geología corresponde a los cuadrángulos de Pausa (31-p) y Caravelí (32-p), el cual forma parte de la carta geológica nacional (CGN) a escala 1:100000 del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2003). Asimismo, las referencias locales corresponden a los estudios mencionados en los instrumentos de gestión ambiental (IGA) de la UM Chorunga.

### 6.4.2 Ubicación de los puntos

En función del cartografiado geológico se dispuso tomar muestras de roca fresca en afloramientos de las formaciones aledañas a los sectores de interés del muestreo de suelo entre otros (Tabla 6.13).

**Tabla 6.13.** Ubicación de los puntos de caracterización geológica y geoquímica de roca en el área de influencia de la UM Chorunga

N.º	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
1	CRCH-01	709435	8241639	943	Granodiorita fanerítica, con presencia de relleno de óxidos en las fracturas
2	CRCH-02	709466	8241553	940	Muestra de la veta San Juan que aflora en superficie
3	CRCH-03	709037	8241585	967	Muestra colectada de la veta con presencia de óxidos y que aflora en superficie
4	CRCH-04	709040	8241581	972	Muestra del dique en contacto con la veta (muestra CRCH-03) al piso
5	CRCH-05	709043	8241583	965	Microdiorita porfirítica, en contacto con la veta (muestra CRCH-03) al techo
6	CRCH-06	709059	8241558	944	Monzogranitos fracturados
7	CGCH-02	709217	8241351	930	Depósito coluvial con presencia de clastos de rocas intrusivas de coloración beige oscuro
8	CRCH-07	708544	8241504	1023	Granodiorita fanerítica, afloramiento fracturado con presencia de relleno de óxidos en las fracturas
9	CGCH-03	708812	8241172	872	Depósito coluvial con presencia de clastos angulosos de rocas intrusivas de coloración beige oscuro, ubicado al sur del depósito de desmonte de la Zona 0
10	CGCH-04	708719	8240823	786	Depósito coluvial ubicado al este del nivel Mercedes
11	CGCH-05	708667	8240737	784	Material depositado en la vía de acceso para el transporte de mineral hacia la planta de beneficio de la UM Chorunga
12	CRCH-08	708646	8240692	780	Granodiorita fanerítica, afloramiento fuertemente fracturado
13	CRCH-09	706996	8240396	1094	Dique dacítico que aflora al este de la veta Millonaria
14	CRCH-10	707055	8240421	1088	Granodiorita fanerítica, afloramiento fracturado y meteorizado
15	CGCH-06	707647	8240290	875	Depósito coluvial ubicado al norte del depósito de relave - cancha de relave N°5
16	CGCH-07	708400	8239439	724	Depósito coluvial ubicado al sur del depósito de relave - cancha de relave N.º5
17	CGCH-08	707499	8239045	676	Material depositado en la vía vecinal de trocha (Ocoña-San Juan de Chorunga - Mina) ubicado al sur del depósito de relave - cancha de relave N°3
18	CGCH-09	706716	8238436	663	Material depositado en la vía vecinal de trocha (Ocoña-San Juan de Chorunga - Mina) ubicado al suroeste del depósito de relave - cancha de relave N°1
19	CRCH-11	708967	8240373	755	Granodiorita fanerítica, afloramiento ubicado al sureste de la planta de beneficio de la mina San Juan de Chorunga
20	CGCH-10	708811	8239936	733	Depósito coluvial con presencia de clastos angulosos de rocas intrusivas, ubicado al sur de la planta de beneficio de la mina San Juan de Chorunga

Fuente: Anexo 2: Reporte de campo RC-033-2019-STEC.

### 6.4.3 Equipos utilizados y metodología de análisis

Los equipos utilizados se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo N.º RC-033-2019-STEC del monitoreo. Por otro lado, los parámetros evaluados para la caracterización geoquímica de roca se detallan en la Tabla 6.14.

**Tabla 6.14.** Parámetros evaluados y métodos de análisis según laboratorio para la geoquímica de roca

Parámetro	Método de Referencia	Técnica empleada
Metales por ICP-OES	EPA 3050 B: 1996/ EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sedimento. 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 mineralógico	-	microscopía electrónica de barrido (MBE)
Análisis granulométrico	Densitometría	PEC-018

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C. y BIZALAB S.A.C. (Anexo 3: Reporte de resultados).

#### 6.4.4 Procesamiento de datos

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

#### 6.5 Componente minero

En los apartados siguientes se muestra la metodología para la caracterización de componentes mineros (depósitos de relaves y desmonte), el cual comprende los protocolos utilizados para la toma de muestra, la ubicación de los puntos de monitoreo, equipos utilizados, los parámetros evaluados y los métodos de análisis.

Cabe señalar que, para la caracterización geoquímica de los componentes mineros se realizó el análisis de metales, granulométrico y mineralógico.

Además, la caracterización del depósito de desmontes Nv 150 se realizó con la muestra CMCH-01, adicionalmente se consideró realizar el muestreo en el depósito de desmonte ubicado en la zona 0 y zona Esperanza (CMCH-02 y CMCH-03 respectivamente).

Asimismo, se realizó la caracterización del depósito de relaves (de flotación y cianuración), con la muestra de relave que se encuentra en litigio (CMCH-04).

##### 6.5.1 Protocolo de muestreo

En la Tabla 6.15. se detalla la guía de referencia para la caracterización de componentes mineros (depósitos de relaves y desmonte), identificados como fuentes potenciales de contaminación.

**Tabla 6.15.** Guía de referencia para la caracterización de componentes mineros

Protocolo/guías	Sección	País	Institución	Año
Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras	Anexo 3. Generalidades del muestreo: programa de muestreo y fichas de muestreo en terreno	Chile	Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin)	2015

### 6.5.2 Ubicación de los puntos muestreo

Se realizó la caracterización de componentes mineros en la parte superficial de los depósitos de desmonte en el área de influencia de la UM Chorunga; los códigos y coordenadas se visualizan en la Tabla 6.16.

**Tabla 6.16.** Puntos de muestreo de caracterización de componentes mineros

N.º	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 18 L		Altitud (m s.n.m.)	Descripción
		Este (m)	Norte (m)		
1	CMCH-01	709023	8241086	814	Depósito de desmonte Nv 150
2	CMCH-02	708555	8241543	1034	Desmonte ubicado en la Zona 0
3	CMCH-03	708471	8240304	716	Desmonte ubicado en la Zona Esperanza
4	CMCH-04	708159	8240059	744	Depósito de relave (en la actualidad se encuentra en acuerdos legales con personal que laboró para la empresa)
5	CMCH-05	707037	8239294	689	Depósito de relave-Cancha de relave N° 1
6	CMCH-06	707183	8239371	679	Depósito de relave-Cancha de relave N° 2
7	CMCH-07	707351	8239490	687	Depósito de relave-Cancha de relave N° 3
8	CMCH-08	707549	8239677	706	Depósito de relave-Cancha de relave N° 4
9	CMCH-09	707833	8239732	711	Depósito de relave-Cancha de relave N° 5 OBS: presenta material disperso y heterogéneo
10	CMCH-10	708124	8239853	726	Depósito de relave-Cancha de relave N° 5 y material muestreado pertenece a relave cianurado del CIL N° 1

Nota: Las muestras fueron compuestas.

Fuente: Anexo 2: Reporte de campo RC-033-2019-STEC.

### 6.5.3 Equipos utilizados y metodología de análisis

Los equipos empleados se detallan en el Anexo 2: Reporte de campo N.º RC-033-2019-STEC, del monitoreo. Por otro lado, los parámetros evaluados en el componente minero se detallan en la Tabla 6.17.

**Tabla 6.17.** Parámetros evaluados y métodos de análisis para componente minero

Parámetro	Método de Referencia	Técnica empleada
Metales por ICP-OES	EPA 3050 B: 1996/ EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sedimento, 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 mineralógico	-	Microscopía electrónica de barrido (MBE)
Análisis granulométrico	Densitometría	PEC-018

Fuente: Informes de ensayo del laboratorio AGQ PERU S.A.C y BIZALAB S.A.C. (Anexo 3: Reporte de resultados).

### 6.5.4 Procesamiento de datos

Para la caracterización de los componentes mineros se realizó la descripción de campo de cada uno de los desmontes y depósitos, además en base al contenido de metales se procedió a realizar el análisis mineralógico por la metodología de microscopía electrónica de barrido (MBE) para determinar los minerales presentes en cada una de las muestras de los depósitos de desmonte y depósitos de relaves. Adicionalmente, se realizó el análisis granulométrico para determinar el tamaño de las partículas presentes en las muestras de los componentes.

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Todos los resultados obtenidos de los análisis de las muestras evaluadas en aire, suelo, polvo sedimentado, caracterización geológica y componentes mineros se encuentran en el Anexo 3 (Reporte de resultados RR\_44\_2019\_STEC).

A continuación, se presenta el análisis y comparación de los resultados de aire con la normativa aprobada en IGA 20134 y, la comparación de los resultados con la normativa referencial vigente para los componentes: aire y suelo. Asimismo, se presenta la caracterización del polvo sedimentado de los sectores Chorunga, Apillao 1 y 2; y del componente minero (desmontes y relaves).

### 7.1. Comparación con normativa del IGA aprobado

#### 7.1.1. Aire

El monitoreo de aire y variables meteorológicas se realizó del 29 agosto al 8 setiembre de 2019, en un total de 3 puntos de monitoreo por un periodo efectivo de 10 días con frecuencia diaria de 23 horas. Las ubicaciones de los puntos fueron: en el sector antes de las relaveras, en el sector de las relaveras y en el sector Chorunga.

##### 7.1.1.1. Parámetros meteorológicos

Cada estación meteorológica viene implementada con instrumentos de medición ambiental para medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas como temperatura ambiental, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento.

La data almacenada es utilizada para determinar la velocidad promedio y la dirección predominante, además, se puede realizar un análisis de toda la data para determinar la distribución de velocidades, los porcentajes de contribución de cada intervalo y un mapeo de velocidades horaria en 24 horas, de tal manera que se pueden visualizar con gama de colores los diferentes tipos de velocidades. De igual manera, se puede realizar un análisis para la distribución de direcciones del viento, los porcentajes de contribución de cada dirección y un mapeo de direcciones horaria en 24 horas. La técnica utilizada es el análisis de frecuencias.

Los valores de los parámetros meteorológicos obtenidos en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01 se muestran en la Tabla 7.1. Es importante señalar que no se registraron precipitaciones durante el periodo de monitoreo.

**Tabla 7.1.** Parámetros meteorológicos registrados en los puntos de monitoreo del área de influencia directa de la UM Chorunga

Punto	Valor	Temperatura (°C)	Presión atmosférica (mmHg)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
ESP-AR-03	Máximo	26,4	709,4	8,0	98,0	0
	Mínimo	10,1	701,1	0,0	36,0	0
	Promedio	16,1	704,9	2,7	75,9	0
AR-02	Máximo	26,6	705,6	6,7	97,0	0
	Mínimo	9,8	697,6	0,0	34,0	0
	Promedio	15,8	701,2	2,5	75,4	0

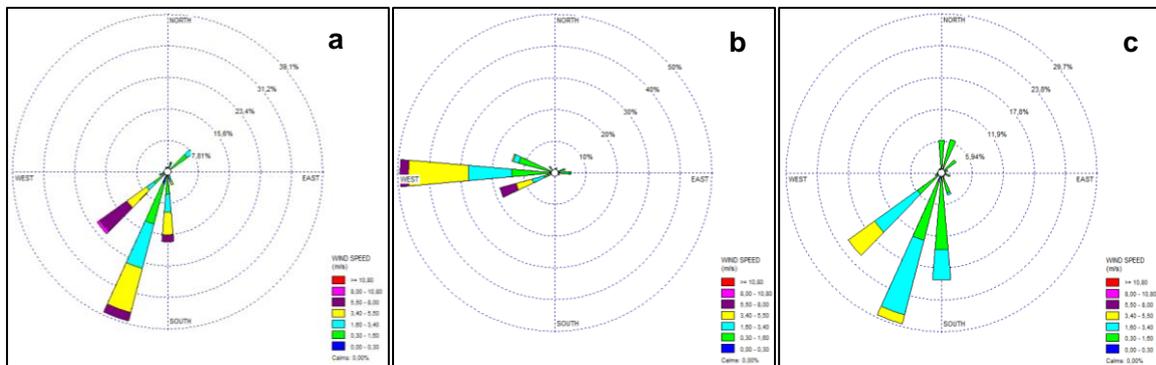
<sup>4</sup> Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto San Juan de Chorunga, aprobado mediante Resolución Directoral N.º 177-2013-MEM/AAM

Punto	Valor	Temperatura (°C)	Presión atmosférica (mmHg)	Velocidad del viento (m/s)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
ESP-AR-01	Máximo	26,4	703,3	4,0	96,0	0
	Mínimo	9,6	695,4	0,0	35,0	0
	Promedio	16,0	698,9	1,5	73,9	0

Fuente: Anexo 3: Reporte de resultados.

La representación gráfica de las rosas de vientos se realizó con el propósito de obtener información estadística relativa a la dirección y velocidad del viento, en la cual se observa que las direcciones predominantes de los vientos fueron sursuroeste (SSO) y suroeste (SO) para el punto ESP-AR-03, oeste (O) y oestesuroeste (OSO) para el punto AR-02, sursuroeste (SSO) y suroeste (SO) para el ESP-AR-01 (Figura 7.1).

Las frecuencias de los vientos respecto a la dirección de las predominancias fueron de 38,26 % (SSO) y 21,74 % (SO) para el punto ESP-AR-03, de 49,0 % (O) y 18,14 (OSO) para el punto AR-02, de 29,13 (SSO) y 21,74 (SO) para el punto ESP-AR-01.



**Figura 7.1.** Rosas de vientos de los puntos de monitoreo a) ESP-AR-03, b) AR-02 y c) ESP-AR-01; evaluados del 29/08/2019 al 8/09/2019

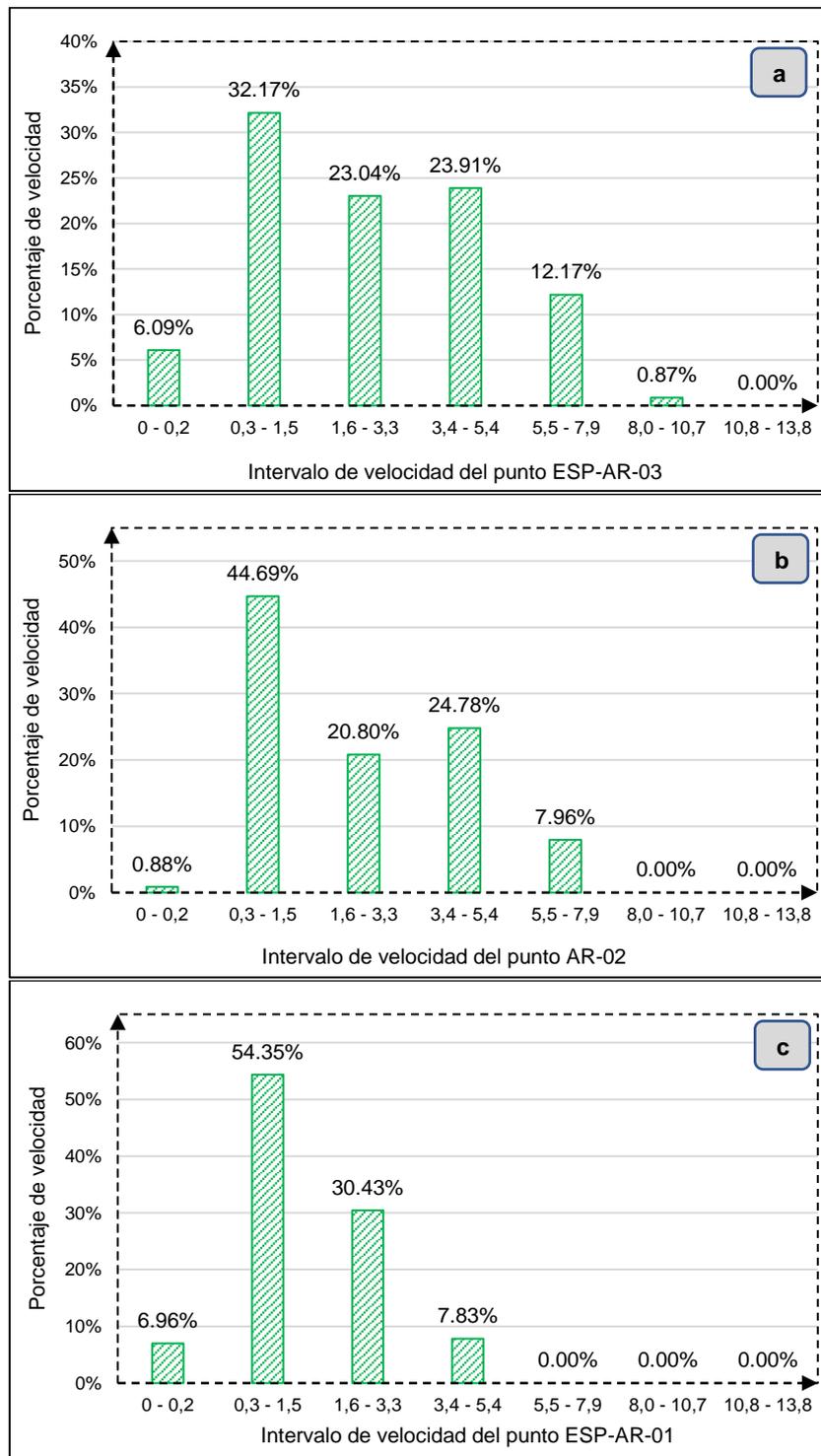
**7.1.1.2. Análisis de frecuencias de velocidades de viento**

En la Figura 7.2 se presentan la distribución de frecuencias de las velocidades del viento en el área de estudio; donde se observan los siguientes casos:

En la estación de monitoreo ESP-AR-03 se presentó los porcentajes de frecuencia de la siguiente forma: 6,09 % de veces ocurridos en el rango de 0 m/s a 0,2 m/s, 32,17 % de veces ocurrido en el rango de 0,3 m/s a 1,5 m/s, 23,04 % de veces ocurrido en el rango de 1,6 a 3,3 m/s, 23,91 % de veces ocurrido en el rango de 3,4 m/s a 5,4 m/s, 12,17 % de veces ocurrido en el rango de 5,5 m/s a 7,9 m/s y 0,87 % de veces ocurrido en el rango de 8,0 m/s a 10,7 m/s tal como se muestra en la Figura 7.2.a.

En la estación de monitoreo AR-02 se presentó los porcentajes de frecuencia de la siguiente forma: 0,88 % de veces ocurridos en el rango de 0 m/s a 0,2 m/s, 44,69 % de veces ocurrido en el rango de 0,3 m/s a 1,5 m/s, 20,80 % de veces ocurrido en el rango de 1,6 m/s a 3,3 m/s, 24,78 % de veces ocurrido en el rango de 3,4 m/s a 5,4 m/s y 7,96 % de veces ocurrido en el rango de 5,5 m/s a 7,9 m/s tal como se muestra en la Figura 7.2.b.

En la estación de monitoreo ESP-AR-01 se presentó los porcentajes de frecuencia de la siguiente forma: 6,96 % de veces ocurridos en el rango de 0 m/s a 0,2 m/s, 54,35 % de veces ocurrido en el rango de 0,3 m/s a 1,5 m/s, 30,43 % de veces ocurrido en el rango de 1,6 m/s a 3,3 m/s y 7,83 % de veces ocurrido en el rango de 3,4 m/s a 5,4 m/s tal como se muestra en la Figura 7.2.c.



**Figura 7.2.** Distribución de frecuencias de las velocidades del viento del 29/8/2019 al 7/9/2019 en los puntos de monitoreo: a) ESP-AR-03, b) AR-02 y c) ESP-AR-01

Para conocer la variabilidad horaria de las velocidades del viento durante el periodo de monitoreo, en la Tabla 7.2 se muestra la caracterización horaria en 24 horas de la

variabilidad de las velocidades del viento en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01. Asimismo, para su interpretación rápida de los datos, se asignaron colores a los rangos de velocidad<sup>5</sup>. Donde se observa que desde las 10:00 horas hasta la 17:00 horas se registraron las mayores velocidades del viento, y a medida que anochece, la velocidad disminuyó progresivamente.

- En la estación de monitoreo ESP-AR-03, se presentó variación de frecuencia de vientos menores a 4 m/s en horas de la noche, durante la mañana las velocidades del viento van aumentando paulatinamente hasta alcanzar velocidades mayores a los 4 m/s desde las 10 a 19 horas, alcanzando incluso velocidades hasta de 8 m/s. Cabe indicar que, las velocidades mayores o iguales a 3,4 m/s representaron el 36,96 % (Tabla 7.2.a).
- En la estación de monitoreo AR-02 se presentaron variaciones de frecuencia de vientos menores a 4 m/s en horas de la noche, durante la mañana las velocidades del viento fueron aumentando paulatinamente hasta alcanzar velocidades mayores a los 1,8 m/s desde las 10 horas hasta las 19 horas, alcanzando incluso velocidades hasta de 6,3 m/s. Cabe indicar que, las velocidades mayores o iguales a 3,4 m/s representaron el 32,74 % (Tabla 7.2.b).
- En la estación de monitoreo ESP-AR-01, se presentaron variaciones de frecuencia de vientos menores a 1,8 m/s en horas de la noche; durante la mañana las velocidades del viento fueron aumentando paulatinamente hasta alcanzar velocidades mayores a los 1,8 m/s desde las 10 horas hasta las 19 horas, alcanzando incluso velocidades hasta de 4 m/s. Cabe indicar que, las velocidades mayores o iguales a 3,4 m/s representaron el 7,83 % (Tabla 7.2.c).

**Tabla 7.2.** Caracterización horaria en 24 horas de la variabilidad de velocidades del viento en los puntos evaluados:

	29-Ago	30-Ago	31-Ago	1-Set	2-Set	3-Set	4-Set	5-Set	6-Set	7-Set	8-Set
<b>ESP-AR-03</b>											
00:00	-	0,9	0,0	0,9	0,0	0,9	1,8	0,4	0,0	0,4	1,8
01:00	-	1,8	0,4	0,4	0,0	1,8	1,3	0,4	1,3	1,8	2,2
02:00	-	0,4	0,0	0,4	0,4	0,4	0,9	2,7	0,0	1,8	2,2
03:00	-	0,4	0,0	0,4	0,0	0,9	2,2	0,9	0,4	1,8	0,9
04:00	-	0,4	0,9	0,9	0,9	0,4	1,3	0,4	0,9	1,8	3,1
05:00	-	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	1,8	2,2	0,4	2,2	3,6
06:00	-	0,4	0,9	0,4	1,3	0,0	0,4	1,8	1,8	2,2	2,7
07:00	-	1,3	2,2	1,3	0,9	0,9	2,2	1,3	0,0	0,9	3,1
08:00	-	0,4	0,9	0,4	0,9	1,3	1,3	1,3	1,8	1,3	0,9
09:00	-	0,9	0,4	0,9	0,0	3,6	0,9	3,1	2,2	2,7	2,2
10:00	-	3,6	3,6	2,2	3,6	4,9	3,6	2,7	2,2	3,6	2,7
11:00	-	3,1	3,6	4,0	4,5	4,5	2,7	4,0	4,0	3,6	3,6
12:00	-	4,0	4,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,9	5,4	4,5	5,8
13:00	-	4,9	5,4	4,5	4,9	4,0	5,4	6,7	5,4	5,8	6,3
14:00	-	6,3	6,7	5,8	5,8	5,8	7,2	5,8	8,0	7,2	-
15:00	-	7,2	7,2	6,3	7,2	6,3	6,7	5,4	7,2	8,0	-
16:00	5,4	7,2	6,7	6,3	7,2	5,8	6,7	6,3	6,3	6,3	-
17:00	5,4	6,7	4,9	5,4	5,8	4,5	5,8	6,3	6,3	6,7	-
18:00	4,9	5,4	5,4	5,4	4,5	4,9	4,5	4,9	4,9	5,4	-
19:00	3,1	3,6	4,0	3,6	3,1	1,3	4,0	4,0	4,0	4,9	-
20:00	2,2	3,1	2,7	2,2	0,9	1,3	3,1	4,0	3,1	3,6	-
21:00	0,0	1,8	0,9	1,3	1,3	1,8	2,7	3,1	1,8	1,8	-
22:00	0,9	1,8	0,9	0,4	1,8	0,4	0,9	4,0	0,9	0,9	-
23:00	0,9	0,4	0,4	0,0	0,9	1,8	1,3	1,8	1,3	2,7	-
<b>AR-02</b>											
00:00	-	0,9	0,4	1,8	0,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,4	1,8

<sup>5</sup> Guía de instrumentos y métodos de observaciones meteorológicas, Organización Meteorológica Mundial, Edición de 2008, Capítulo 5: Medición del viento de superficie, Cuadro 5.1: Equivalencia de las velocidades de viento.



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 Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

	29-Ago	30-Ago	31-Ago	1-Set	2-Set	3-Set	4-Set	5-Set	6-Set	7-Set	8-Set
01:00	-	1,3	0,9	0,9	0,0	1,8	2,2	0,4	1,3	1,3	1,8
02:00	-	0,9	0,4	0,4	0,9	0,4	0,9	2,2	0,9	1,8	2,7
03:00	-	0,4	0,4	0,9	0,4	0,9	1,3	0,9	0,4	1,3	1,3
04:00	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,3	0,4	1,3	1,8	3,1
05:00	-	0,4	1,3	0,4	0,9	0,9	0,9	1,3	1,3	1,8	3,6
06:00	-	1,3	0,9	0,4	0,9	0,9	0,4	1,3	1,3	2,2	2,2
07:00	-	0,9	1,3	0,9	0,9	0,9	1,3	0,9	0,0	1,3	2,7
08:00	-	0,4	0,9	0,4	0,9	0,9	1,3	1,3	1,3	1,3	1,8
09:00	-	0,9	0,4	0,9	0,9	2,7	1,3	3,1	2,2	2,2	1,8
10:00	-	2,7	2,2	1,8	2,7	4,0	3,1	3,1	2,2	4	2,7
11:00	-	2,7	4,0	4,0	4,0	4,5	3,1	4	4	3,6	4
12:00	-	4,5	4,5	-	4,0	4,0	4	5,4	5,4	4,5	5,4
13:00	-	4,5	4,9	-	4,5	-	4,9	5,8	5,4	5,8	5,4
14:00	-	5,4	5,8	-	4,9	-	5,8	4,9	6,3	6,7	-
15:00	-	6,3	6,3	-	5,8	6,3	6,3	4,9	6,3	6,7	-
16:00	-	6,3	6,3	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,4	5,8	-
17:00	4,0	5,4	4,9	5,4	4,9	4,5	4,9	5,4	5,4	5,8	-
18:00	4,5	5,4	5,4	4,5	3,6	4,0	4,9	4	4,5	4,9	-
19:00	3,1	3,6	4,0	3,1	3,1	1,8	4	3,6	3,6	4,5	-
20:00	1,3	2,7	2,7	1,8	0,9	1,3	3,1	3,6	2,2	3,1	-
21:00	0,4	1,3	2,2	0,9	1,8	1,3	-	2,7	1,8	2,2	-
22:00	0,9	1,3	0,9	0,4	1,3	1,3	0,9	3,6	0,9	0,9	-
23:00	1,3	0,4	0,9	0,4	2,2	0,9	1,3	1,3	0,9	2,2	-
<b>ESP-AR-01</b>											
00:00	-	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9
01:00	-	0,9	0,0	0,4	0,0	0,4	0,4	0,0	0,4	0,4	1,3
02:00	-	0,4	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,4	0,9	1,3
03:00	-	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,9	0,4	0,0	0,9	0,9
04:00	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	1,8
05:00	-	0,0	0,9	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	2,2
06:00	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	0,9	1,3
07:00	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,0	0,9	1,3
08:00	-	0,4	0,4	0,4	0,9	0,4	0,9	0,4	0,9	0,9	0,9
09:00	-	0,9	0,9	0,9	0,9	1,3	0,9	1,3	1,3	1,3	1,3
10:00	-	2,2	1,8	1,3	1,8	2,2	1,3	2,2	1,8	2,2	1,3
11:00	-	1,8	2,2	2,7	2,7	3,1	1,8	2,2	1,8	2,2	2,2
12:00	-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	3,1	3,1	2,7	3,6
13:00	-	3,1	3,1	2,7	2,7	2,7	3,1	4,0	3,6	3,6	3,6
14:00	-	3,1	3,6	3,1	3,1	3,6	3,6	3,1	4,0	4,0	4,0
15:00	-	4,0	4,0	3,1	3,1	4,0	3,6	2,7	3,6	4,5	-
16:00	-	3,6	4,0	3,6	3,1	3,6	3,1	3,1	3,1	4,0	-
17:00	-	2,7	3,1	3,1	2,7	2,7	3,1	3,1	3,1	3,6	-
18:00	2,7	3,1	2,7	2,2	1,8	2,2	2,7	2,2	3,1	3,1	-
19:00	1,8	1,8	2,2	1,8	1,3	0,9	1,8	1,3	2,2	3,1	-
20:00	0,9	0,9	1,3	0,9	0,4	0,9	1,3	2,2	1,3	1,8	-
21:00	0,4	0,9	1,3	0,4	0,4	0,4	0,9	1,3	0,9	0,9	-
22:00	0,4	0,4	0,0	0,0	0,4	0,9	0,9	1,8	0,9	0,9	-
23:00	0,9	0,0	0,4	0,0	1,3	0,4	0,4	0,9	0,4	0,9	-
<b>Rango de velocidad de viento</b>											
	0 - 0,2	0,3 - 1,5	1,6 - 3,3	3,4 - 5,4	5,5 - 7,9	8,0 - 10,7					

### 7.1.1.3. Análisis de frecuencias de dirección del viento

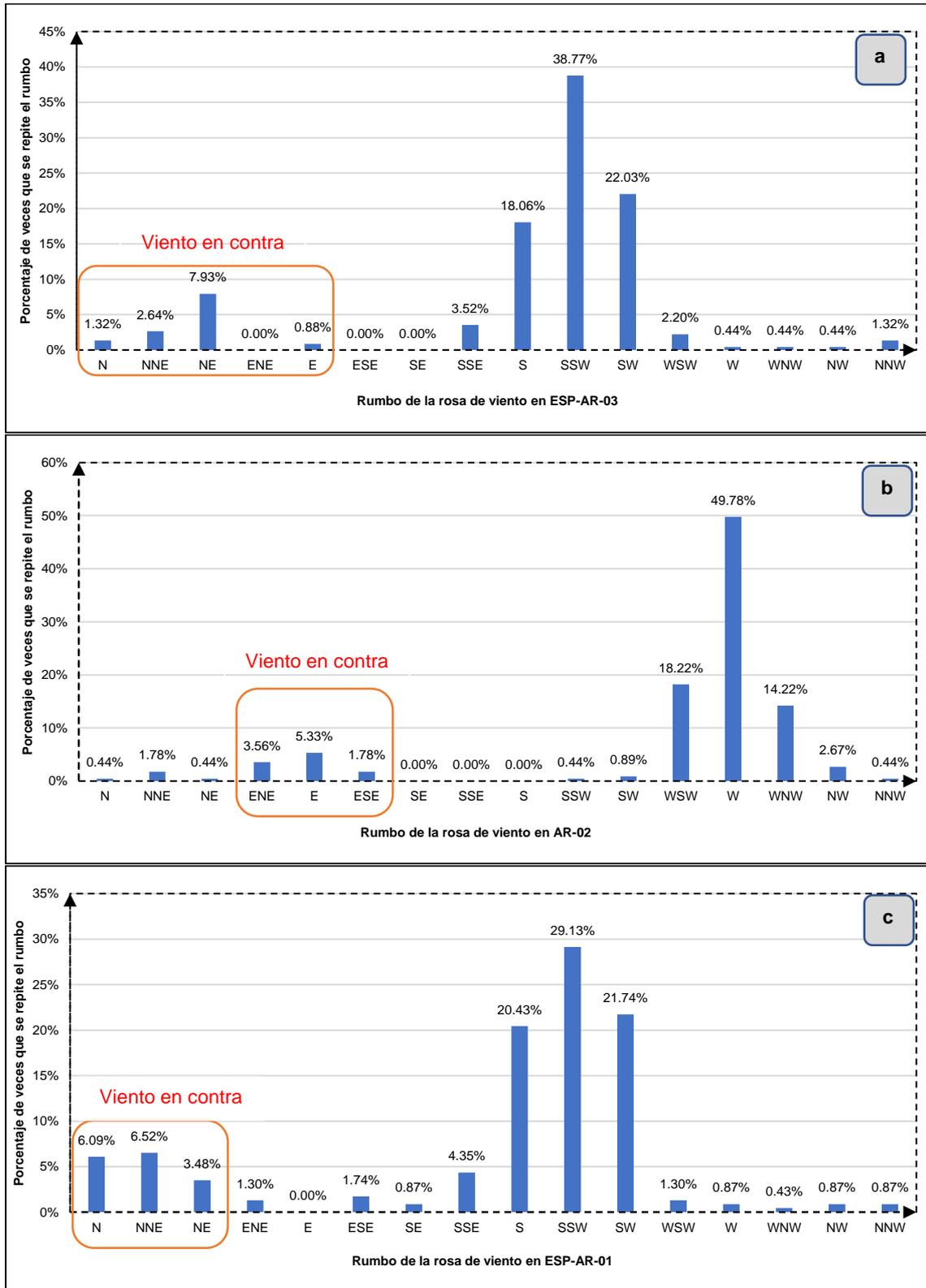
En la Figura 7.3 se evidencia la distribución de frecuencias de las direcciones del viento en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01; asimismo, se observa que las direcciones predominantes del viento provienen del sursuroeste (SSO) en el punto ESP-AR-03 con el 38,77 % de ocurrencia; de la dirección oeste (O) en el punto AR-02 con el 48,78 % de ocurrencia y de la dirección sursuroeste (SSO) en el punto ESP-AR-01 con el 29,13 % de ocurrencia.



En la estación de monitoreo ESP-AR-03, para el periodo de 24 horas del día, se observó vientos provenientes del sursuroeste (SSO) con una frecuencia de 38,77 %, seguido de vientos provenientes del suroeste (SO) con una frecuencia de 22,03 %, y vientos del sur (S) con una frecuencia de 18,06 %. Asimismo, los vientos en contra o vientos provenientes del norte (N), nortnoreste (NNE), noreste (NE), estenoreste (ENE) y este (E) representaron en su conjunto sólo el 12,77 %; dicho porcentaje equivale a 29 horas de un total de 227 horas monitoreadas (Figura 7.3.a).

En la estación de monitoreo AR-02, para el periodo de 24 horas del día, se observó vientos provenientes del oeste (O) con una frecuencia de 49,78 %, seguido de vientos provenientes del oestesuroeste (OSO) con una frecuencia de 18,22 %, y vientos del oestenoroeste (ONO) con una frecuencia de 14,22 %. Asimismo, los vientos en contra o vientos provenientes del estenoreste (ENE), este (E) y estesureste (ESE) representaron en su conjunto sólo el 10,67 %; dicho porcentaje equivale a 24 horas de un total de 225 horas monitoreadas (Figura 7.3.b)

En la estación de monitoreo ESP-AR-01, para el periodo de 24 horas del día, se observó vientos provenientes del sursuroeste (SSO) con una frecuencia de 29,13 %, seguido de vientos provenientes del suroeste (SO) con una frecuencia de 21,74 %, y vientos del sur (S) con una frecuencia de 20,43 %. Asimismo, los vientos en contra o vientos provenientes del norte (N), noreste (NNE) y noreste (NE) representaron en su conjunto sólo el 16,09 %; dicho porcentaje equivale a 37 horas de un total de 230 horas monitoreadas (Figura 7.3.c).



**Figura 7.3.** Distribución de frecuencias de direcciones del viento en los puntos de monitoreo: a) ESP-AR-03, b) AR-02 y c) ESP-AR-01

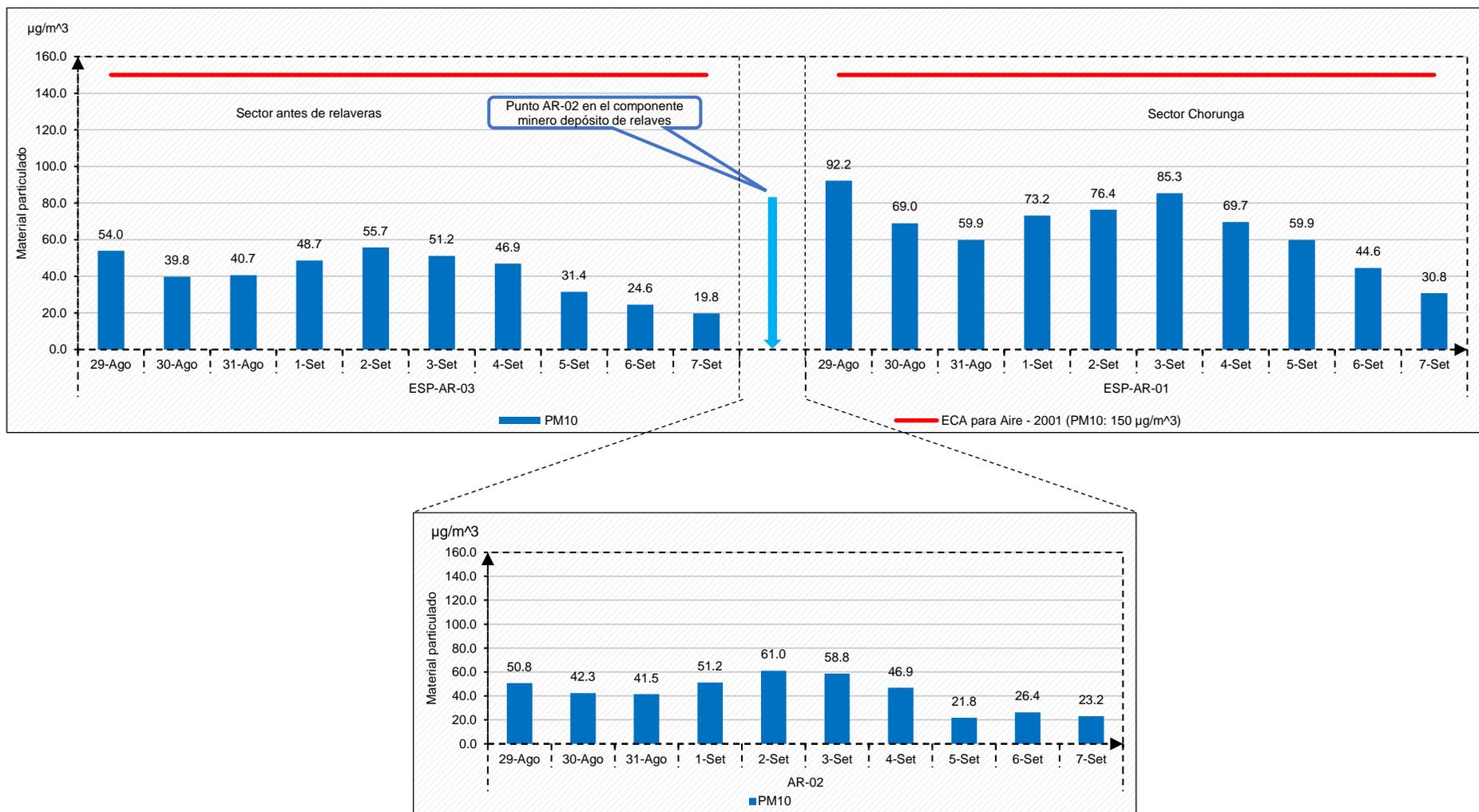


#### 7.1.1.4. Análisis de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>)

La Figura 7.4 muestra las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> registradas en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01, las cuales no superaron el valor establecido en los ECA para aire (2001) de PM<sub>10</sub> igual a 150 µg/m<sup>3</sup>, para un periodo de 24 horas. El punto de monitoreo AR-02, no fue comparado con ningún estándar por ser un punto ubicado dentro del área de operaciones de la UM Chorunga. Asimismo, la variación de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en los puntos evaluados estuvieron entre 19,8 µg/m<sup>3</sup> y 55,7 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo ESP-AR-03, entre 21,7 µg/m<sup>3</sup> y 60,8 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo AR-02 y entre 30,8 µg/m<sup>3</sup> y 92,3 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo ESP-AR-01.

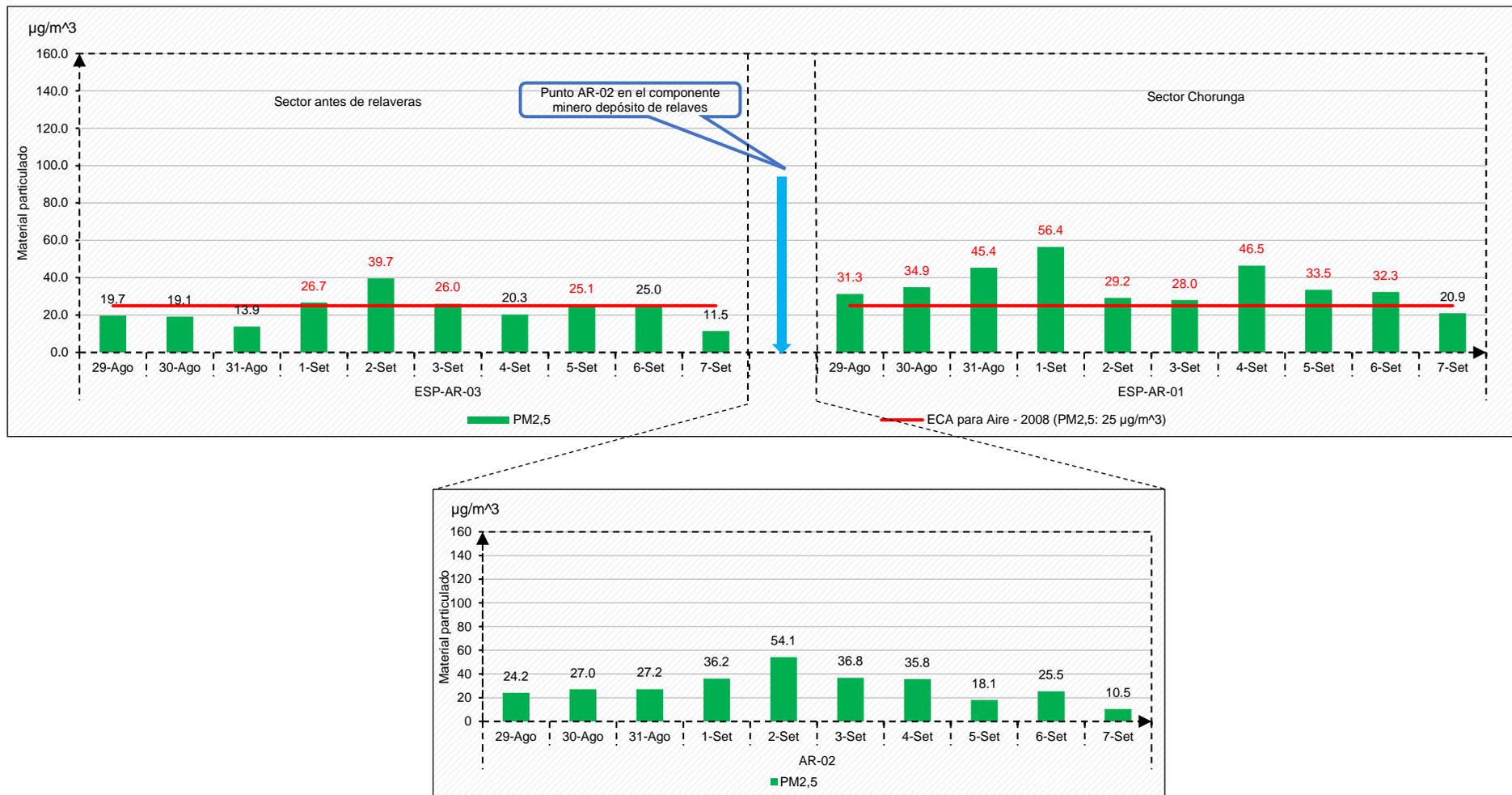
Durante los 10 días evaluados, las concentraciones diarias de PM<sub>2,5</sub> en el punto de monitoreo ESP-AR-03 (durante 4 días) y en el punto de monitoreo ESP-AR-01 (durante 9 días) superaron los valores de los ECA para aire (2008). El punto de monitoreo AR-02 no fue comparado con ningún estándar por estar ubicado dentro del área de operaciones de la UM Chorunga. Asimismo, la variación de las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en los puntos evaluados estuvieron entre 11,5 µg/m<sup>3</sup> y 39,7 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo ESP-AR-03, entre 10,5 µg/m<sup>3</sup> y 54,1 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo AR-02 y entre 20,9 µg/m<sup>3</sup> y 56,4 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo ESP-AR-01 (Figura 7.5).

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



**Figura 7.4.** Concentración diaria de PM<sub>10</sub> registrada en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01 comparados con los ECA para aire de PM<sub>10</sub> (2001), y en concentraciones diaria de PM<sub>10</sub> registrada en el punto de monitoreo AR-02; evaluados del 29/08/2019 al 8/09/2019

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



**Figura 7.5.** Concentración diaria de  $\text{PM}_{2.5}$  registrada en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01 comparada con los ECA para aire de  $\text{PM}_{2.5}$  (2008), y concentración diaria de  $\text{PM}_{2.5}$  registrada en el punto de monitoreo AR-02; evaluados del 29/08/2019 al 8/09/2019

### 7.1.1.5. Análisis de metal arsénico (As) en PM<sub>10</sub>

Las concentraciones de arsénico (As) determinados en PM<sub>10</sub>, correspondientes a los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01 no excedieron referencialmente el valor establecido en los NMP para aire, de arsénico igual a 6 µg/m<sup>3</sup>, para un periodo de 24 horas. El punto de monitoreo AR-02, no fue comparado con ningún estándar por ser un punto ubicado dentro del área de operaciones de la UM Chorunga. Cabe señalar que, las concentraciones obtenidas de As en todos los puntos de monitoreo evaluados, fueron menores al límite de detección del método de ensayo (Anexo 3: Reporte de resultados).

## 7.2. Comparación con normativa vigente y referencial

### 7.2.1. Aire

#### 7.2.1.1. Parámetros meteorológicos

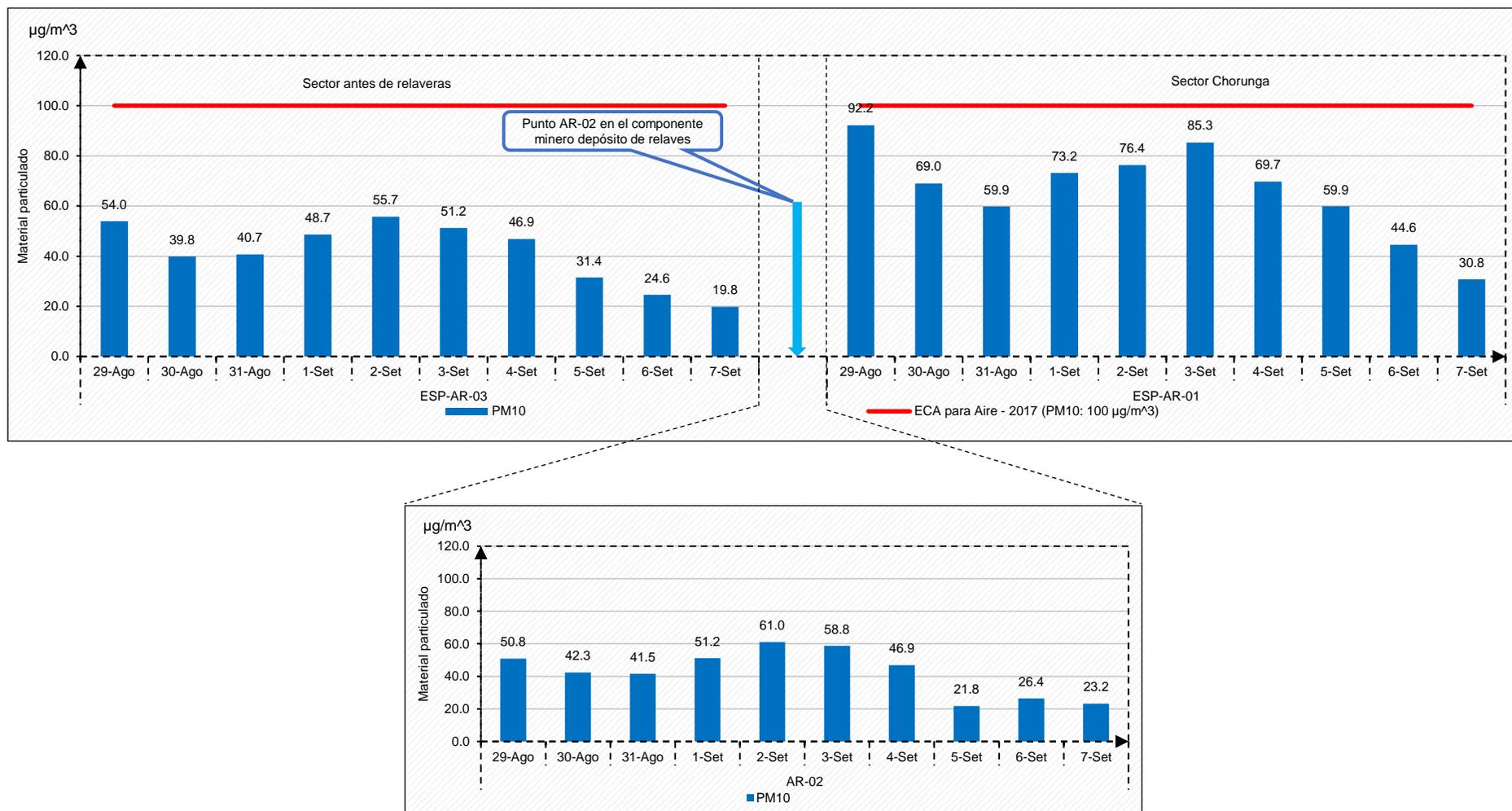
En la sección 7.1.1.1 se detallan los resultados de los parámetros meteorológicos obtenidos en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01.

#### 7.2.1.2. Análisis de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>)

La Figura 7.6 muestra las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> registradas en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01, las cuales no superaron el valor establecido en los ECA para aire de PM<sub>10</sub> igual a 100 µg/m<sup>3</sup>, para un periodo de 24 horas. El punto AR-02, no fue comparado con ningún estándar por ser un punto ubicado dentro del área de operaciones de la UM Chorunga. Asimismo, la variación de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en los puntos evaluados estuvieron entre 19,8 µg/m<sup>3</sup> y 55,7 µg/m<sup>3</sup> para el ESP-AR-03, entre 30,8 µg/m<sup>3</sup> y 92,3 µg/m<sup>3</sup> para el ESP-AR-01, y entre 21,7 µg/m<sup>3</sup> y 60,8 µg/m<sup>3</sup> para el AR-02.

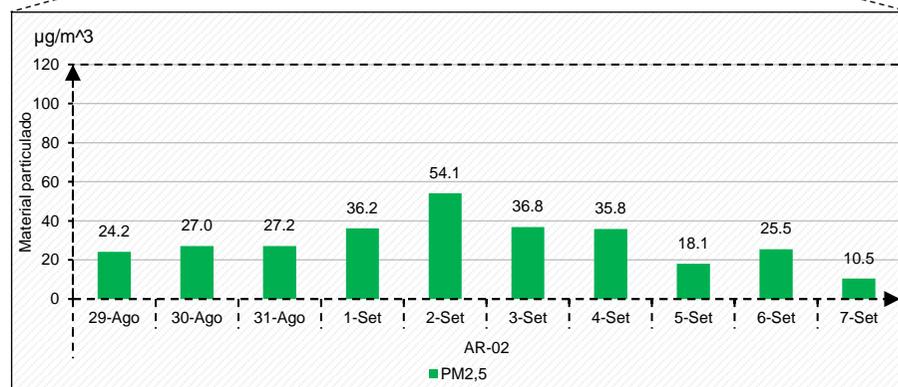
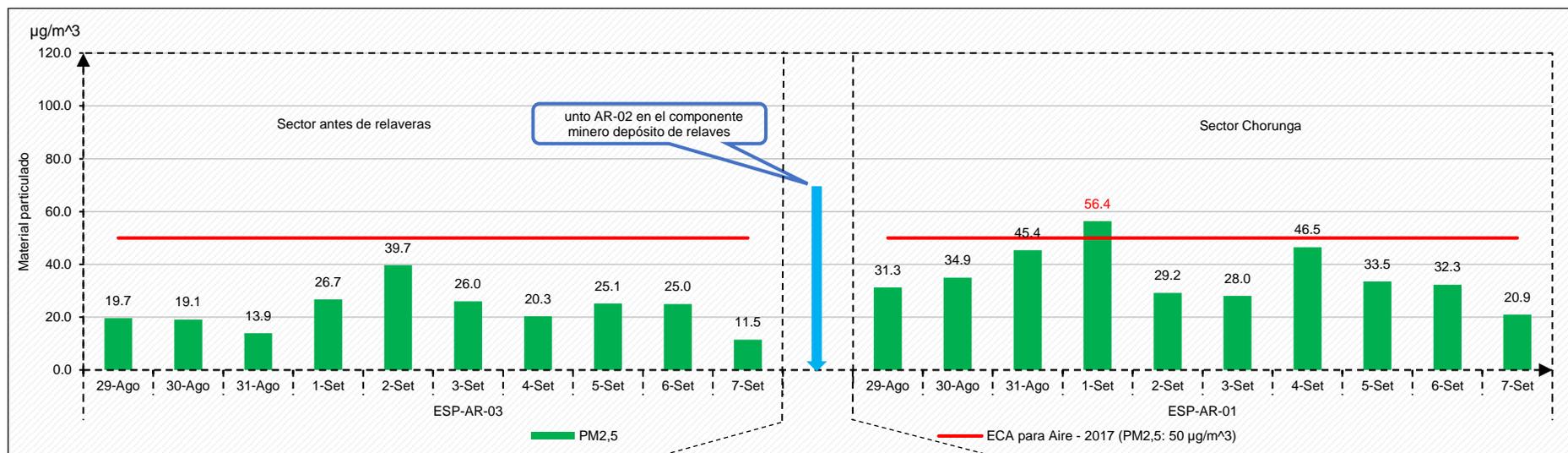
Las concentraciones diarias de PM<sub>2,5</sub> registradas en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01 (un 1 día de los 10 días evaluados) superaron los valores de los ECA para aire de PM<sub>2,5</sub> (2017) en el punto ESP-AR-01. El punto AR-02 no fue comparado con ningún estándar por ser un punto ubicado dentro del área de operaciones de la UM Chorunga. Asimismo, la variación de las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en los puntos evaluados estuvieron entre 11,5 µg/m<sup>3</sup> y 39,7 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo ESP-AR-03, entre 20,9 µg/m<sup>3</sup> y 56,4 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo ESP-AR-01, y entre 10,5 µg/m<sup>3</sup> y 54,1 µg/m<sup>3</sup> en el punto de monitoreo AR-02 (Figura 7.7).

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



**Figura 7.6.** Concentración diaria de PM<sub>10</sub> registrada en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01 comparada con los ECA para aire de PM<sub>10</sub> (2017), y concentración diaria de PM<sub>10</sub> registrada en el punto de monitoreo AR-02; evaluados del 29/8/2019 al 8/9/2019

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



**Figura 7.7.** Concentración diaria de PM<sub>2.5</sub> registrada en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01 comparada con los ECA para aire de PM<sub>2.5</sub> (2017), y concentración diaria de PM<sub>2.5</sub> registrada en el punto de monitoreo AR-02; evaluados del 29/08/2019 al 8/09/2019



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 Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

### 7.2.1.3. Análisis de metales en PM<sub>10</sub>

Las Figuras 7.8, 7.9 y 7.10 muestran las concentraciones de metales en PM<sub>10</sub> de los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01 representados por diagrama de cajas<sup>6</sup>; las cuales no excedieron referencialmente los valores de los criterios de calidad ambiental del aire (en adelante, AAQC), para un periodo de 24 horas, según la norma canadiense. Asimismo, se observa la variación de las concentraciones de los metales cromo, cobre, hierro, manganeso, plomo, estroncio, titanio, vanadio, aluminio, bario, calcio, magnesio, fósforo y silicio de cada punto de monitoreo en un periodo de 10 días consecutivos; los cuales presentan un incremento de las concentraciones en el punto de monitoreo ESP-AR-01 (sector Chorunga) respecto a las concentraciones del punto de monitoreo ESP-AR-03 (antes de relaveras).

<sup>6</sup> Conocido como Box Plot o diagrama de cajas y bigotes.

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

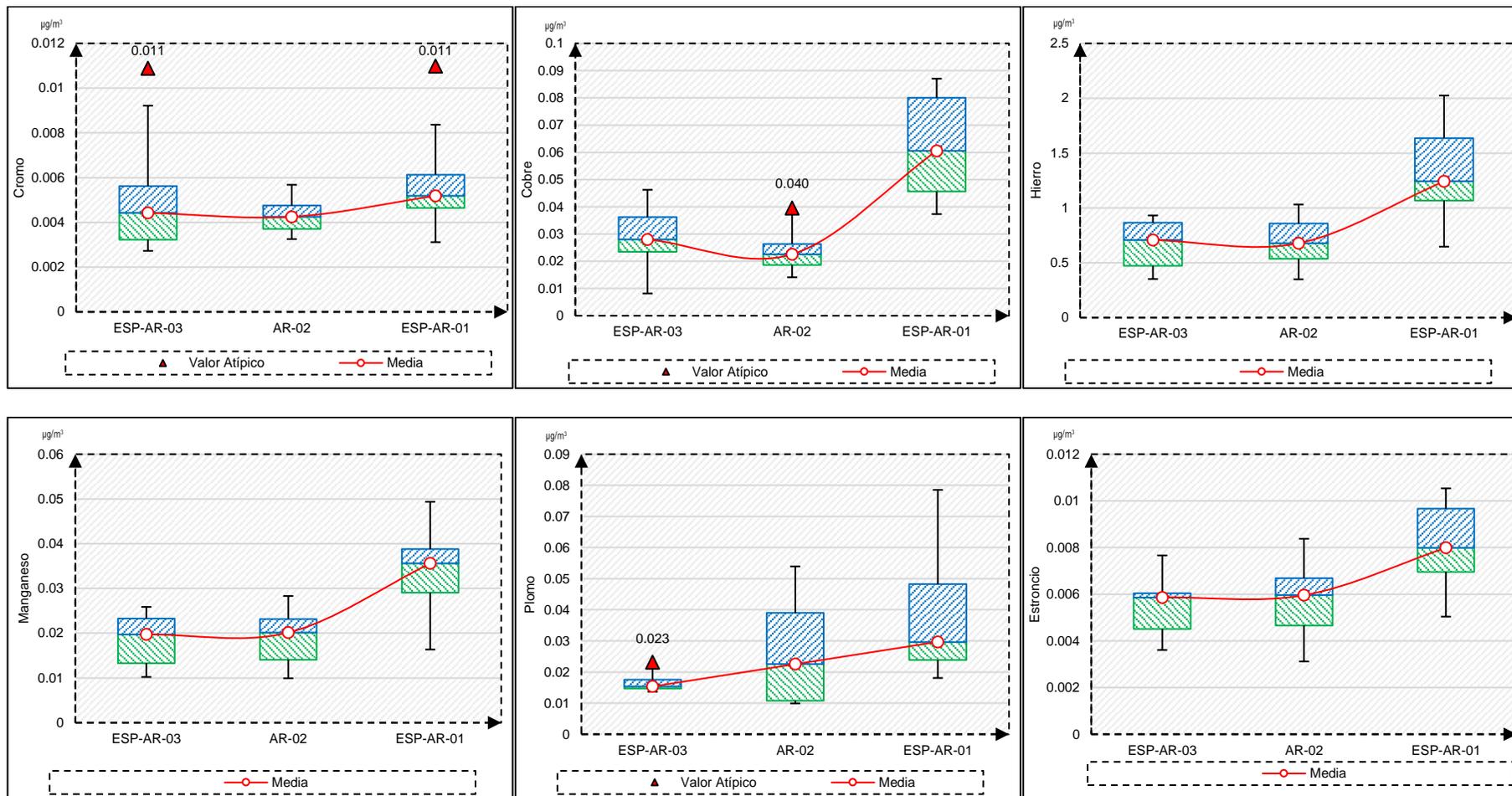


Figura 7.8. Concentración de metales en  $\text{PM}_{10}$  registrada en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01

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

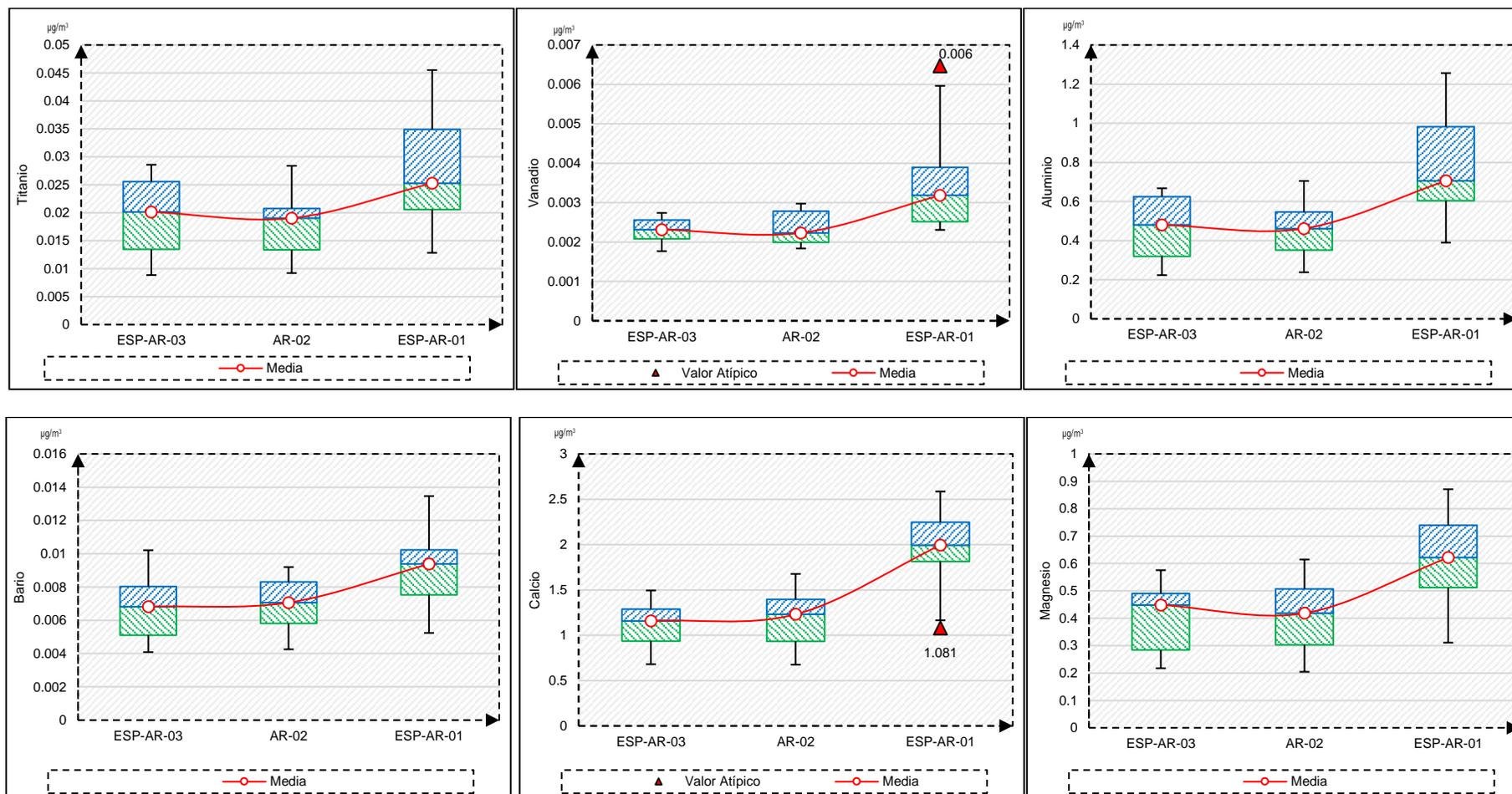
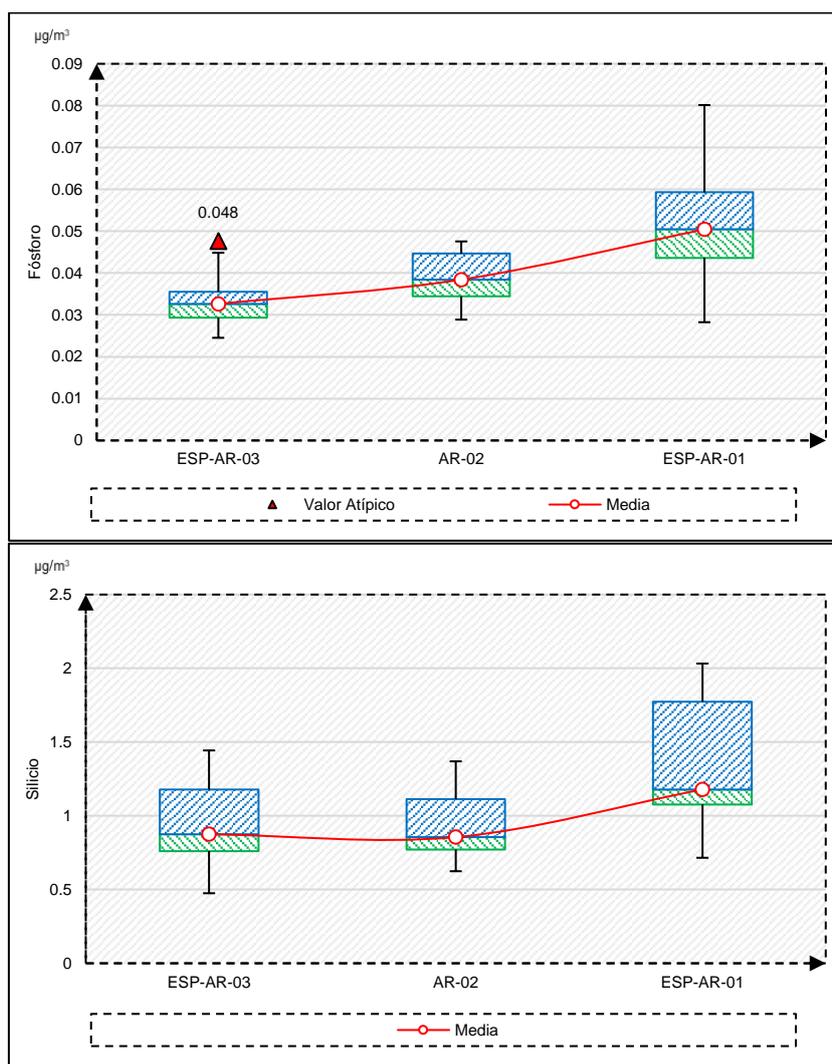


Figura 7.9. Concentración de metales en PM<sub>10</sub> registrada en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01



**Figura 7.10.** Concentración de metales en PM<sub>10</sub> registrada en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01

#### 7.2.1.4. Análisis mineralógico en PM<sub>10</sub>

El análisis mineralógico realizado en muestras de PM<sub>10</sub> determinó la composición cualitativa de minerales presentes, según se muestra en la Tabla 7.3.

**Tabla 7.3.** Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en filtros de aire PM<sub>10</sub>

N.º Orden	ESP-AR-03	N.º Espectros	AR-02	N.º Espectros	ESP-AR-01	N.º Espectros
1	Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> )	5	Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> )	4	Galena (PbS)	10
2	Fosfatos con contenidos de tierras raras (Ce, La).	5	Esfalerita (ZnS)	4	Vanaditina (Pb <sub>5</sub> (VO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Cl)	4
3	Barita (BaSO <sub>4</sub> )	4	Pirita (FeS <sub>2</sub> )	4	Esfalerita (ZnS)	2
4	Cobre elemental (Cu <sup>0</sup> )	3	Fosfatos con contenidos de tierras raras (Ce, La).	3	Arsenopirita (FeAsS)	1
5	Covelita (CuS)	2	Barita (BaSO <sub>4</sub> )	2	Calcopirita (CuFeS <sub>2</sub> )	1
6	Goethita (FeO.OH)	2	Galena (PbS)	2	Calcosita (Cu <sub>2</sub> S)	1

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

N.º Orden	ESP-AR-03	N.º Espectros	AR-02	N.º Espectros	ESP-AR-01	N.º Espectros
7	Pirita (FeS <sub>2</sub> )	2	Scheelita (CaWO <sub>4</sub> )	2	Cinabrio (HgS)	1
8	Esfalerita (ZnS)	1	Cinabrio (HgS)	1	Cobre elemental (Cu <sup>0</sup> )	1
9	Galena (PbS)	1	Arsenopirita (FeAsS)	1	Fosfatos con contenidos de tierras raras (Ce, La).	1
10	Hematita (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1	Cobre gris identificado como tetraedrita ((Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> )	1	Pirita (FeS <sub>2</sub> )	1
11	Mineral de cobres grises identificado como tenantita ((Cu,Fe) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ).	1	Covelita (CuS)	1	Pirrotita (Fe <sub>(1-x)</sub> S)	1
12	Pirrotita (Fe <sub>(1-x)</sub> S).	1	Herzenbergita (SnS)	1	Scheelita (CaWO <sub>4</sub> )	1
13	Sulfosal de plomo identificado como jordanita (Pb <sub>14</sub> (As,Sb) <sub>6</sub> S <sub>23</sub> ).	1	Párticula de acero (aleación Fe-Cr)	1	-	-

Fuente: El número de espectros corresponden a las regiones descritas en las figuras del informe de ensayo. Anexo 3 (Reporte de resultados N.º 044-2019-STEC: Anexo B.6.).

Por otro lado, en la Figura 7.11 se muestra las concentraciones horarias de material particulado (PM<sub>10</sub>) en el punto ESP-AR-01 (sector Chorunga) registradas desde el 29 de agosto (21:00 horas) hasta el 9 de setiembre (12:00 horas).

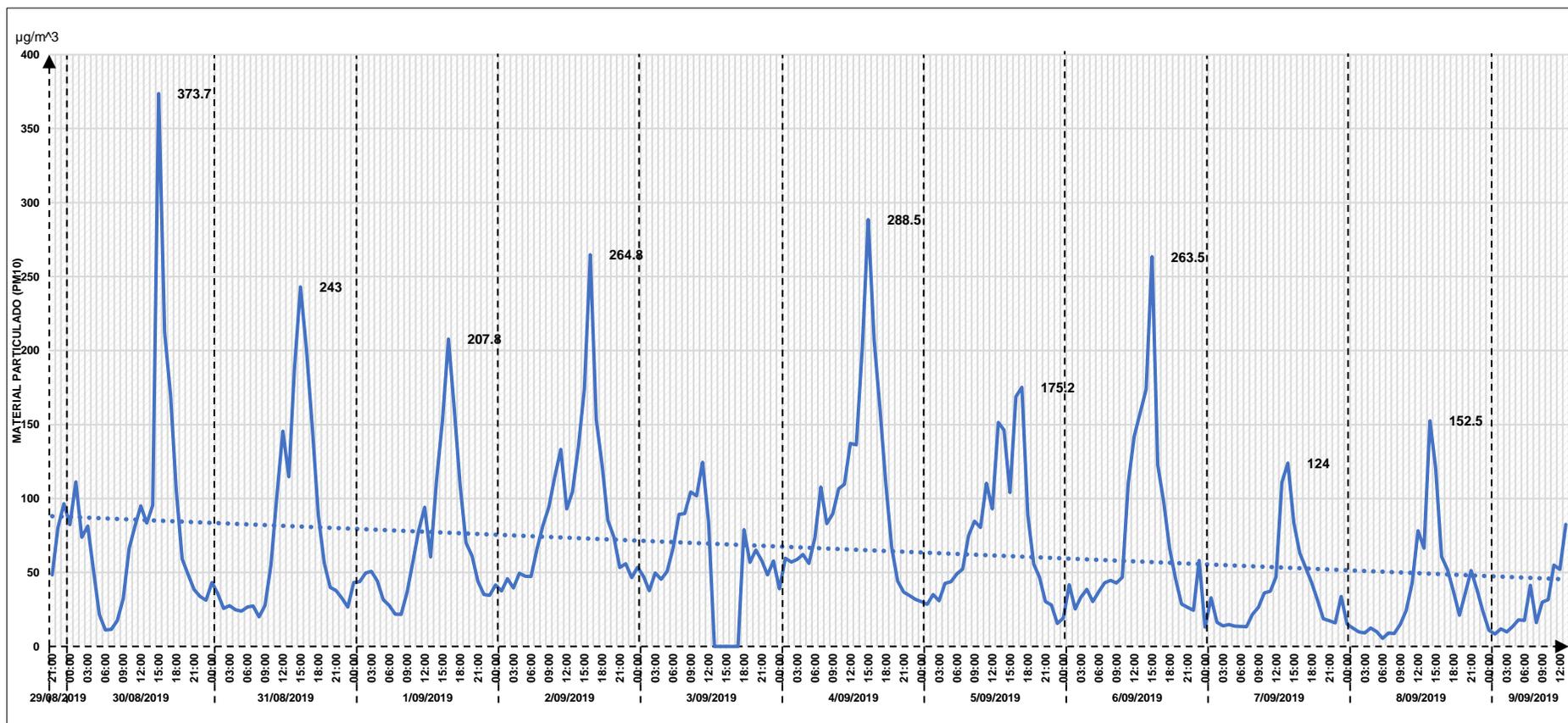
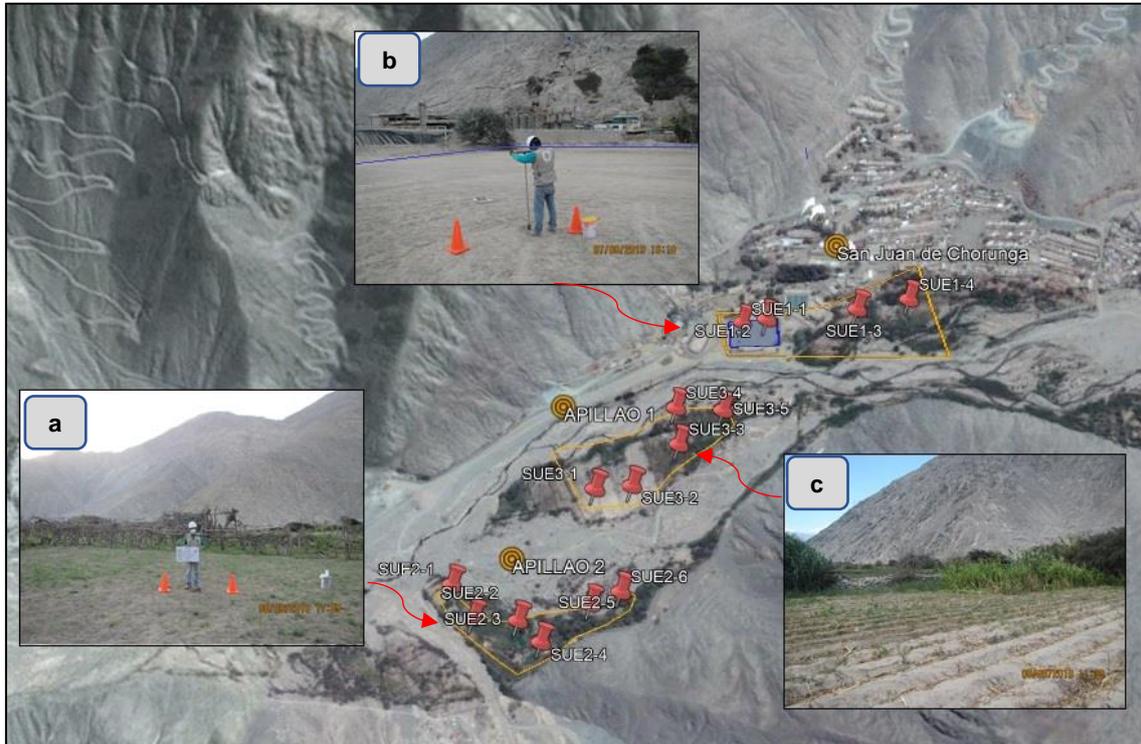


Figura 7.11. Concentración horaria de PM<sub>10</sub> registrada en el punto de monitoreo ESP-AR-01

### 7.2.2. Suelo

Se realizó el muestreo de suelo con un total de 15 puntos, distribuidos en 3 áreas de estudio (4 puntos en el sector San Juan de Chorunga, 5 puntos en Apillao 1 y 6 puntos en Apillao 2). En la figura 7.12 se muestran la ubicación de los puntos.



**Figura 7.12.** Ubicación de los puntos de suelo en los sectores: a) Apillao 2, b) San Juan de Chorunga y c) Apillao 1

#### 7.2.2.1. Características físicas

A continuación, se detallan las características físicas determinadas in situ de las muestras de suelo ubicado en los 3 sectores de estudio dentro del área de influencia de la UM Chorunga, donde predominaron un suelo arenoso, seco y con poca cobertura vegetal (Tabla 7.4.)

**Tabla 7.4.** Características físicas de las muestras de suelo ubicadas en el área de influencia de la UM Chorunga

Sector	Código OEFA	Características físicas				
		Textura	Color	Presencia de materia orgánica	Humedad	Observaciones
San Juan de Chorunga	SUE1-1	Arenoso	Gris claro (2.5Y 7/2)	No	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE1-2	Arenoso	Marrón pálido (2.5Y 7/3)	No	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE1-3	Arenoso	Gris claro (2.5Y 7/2)	No	Seco	Con poca cobertura vegetal
	SUE1-4	Arenoso	Gris claro (2.5Y 7/2)	No	Seco	Con poca cobertura vegetal
Apillao 1	SUE3-1	Arenoso	Gris claro (10YR 7/1)	No	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE3-2	Arena limosa	Amarillo pardusco (10YR 6/6)	Si	Seco	Con poca cobertura vegetal, chacra de alfalfa

Sector	Código OEFA	Características físicas				
		Textura	Color	Presencia de materia orgánica	Humedad	Observaciones
	SUE3-3	Arenoso	Marrón muy pálido (10YR 8/2)	No	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE3-4	Arena Limosa	Marrón pálido (10YR 6/3)	Si	Seco	Con poca cobertura vegetal
	SUE3-5	Arenoso	Gris claro (10YR 7/1)	No	Seco	Con poca cobertura vegetal
Apillao 2	SUE2-1	Arenoso	Gris claro (10YR 7/1)	No	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE2-2	Arena limosa	Marrón amarillento (10YR 5/4)	No	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE2-3	Limo	Marrón (10YR 4/3)	Si	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE2-4	Arenoso	Gris claro (10YR 7/1)	No	Seco	Con poca cobertura vegetal, chacra de alfalfa
	SUE2-5	Arenoso	Gris claro (10YR 7/1)	No	Seco	Sin cobertura vegetal
	SUE2-6	Arena limosa	Marrón muy pálido (10YR 7/3)	No	Seco	Con poca cobertura vegetal, chacra de alfalfa

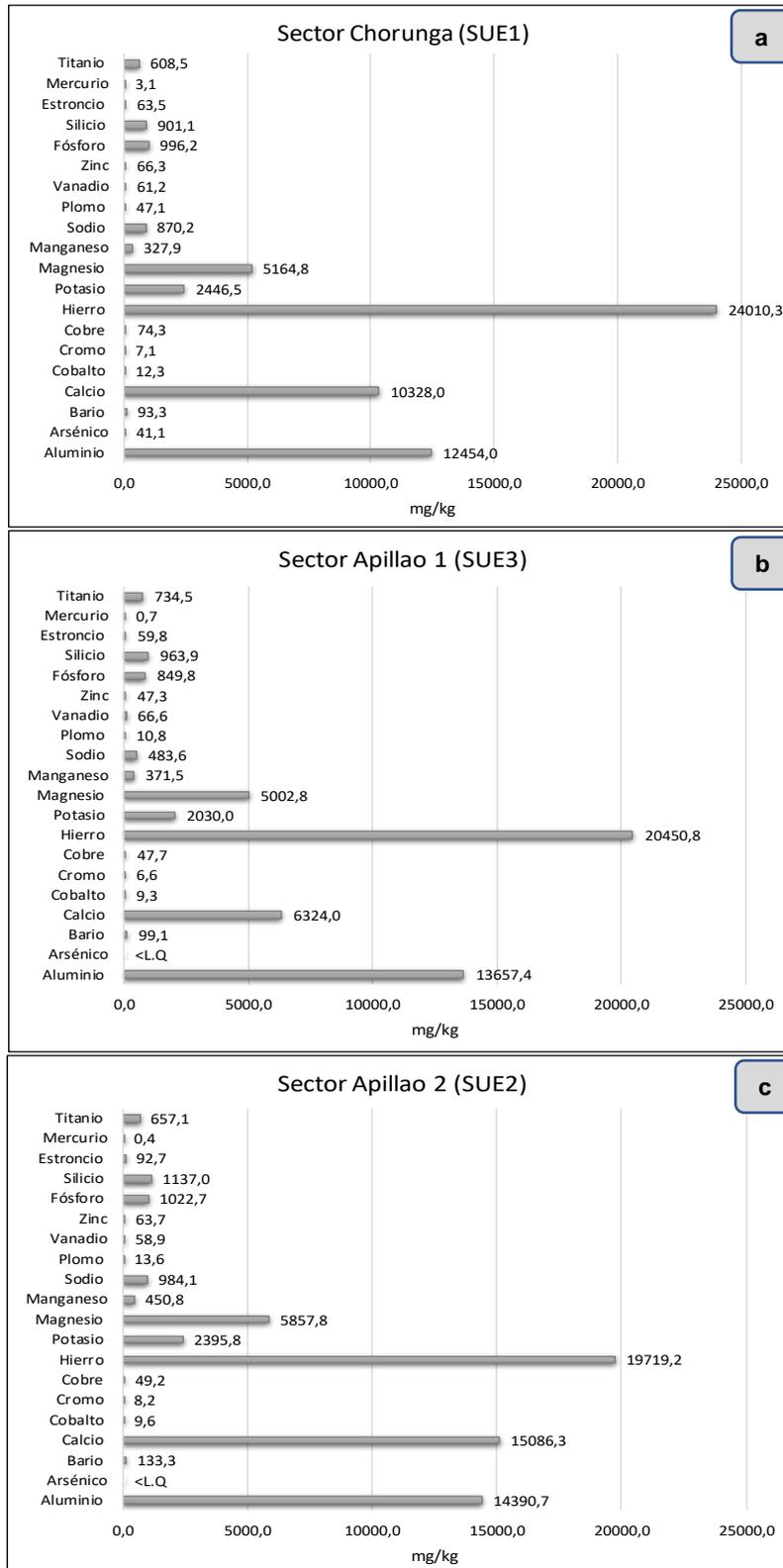
Fuente: Anexo 2: Reporte de campo RC-033-2019-STEC.

### 7.2.2.2. Análisis de metales

Las concentraciones de metales (arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurio, plomo) en los puntos SUE1-1 y SUE1-2, ubicados en la cancha de fútbol, no superaron los valores del ECA para suelo (clasificación residencial/parques); asimismo, las concentraciones de los metales precisados en los demás puntos comparados con la clasificación agrícola, tampoco superaron la referida normativa (Anexo 3: Reporte de resultados).

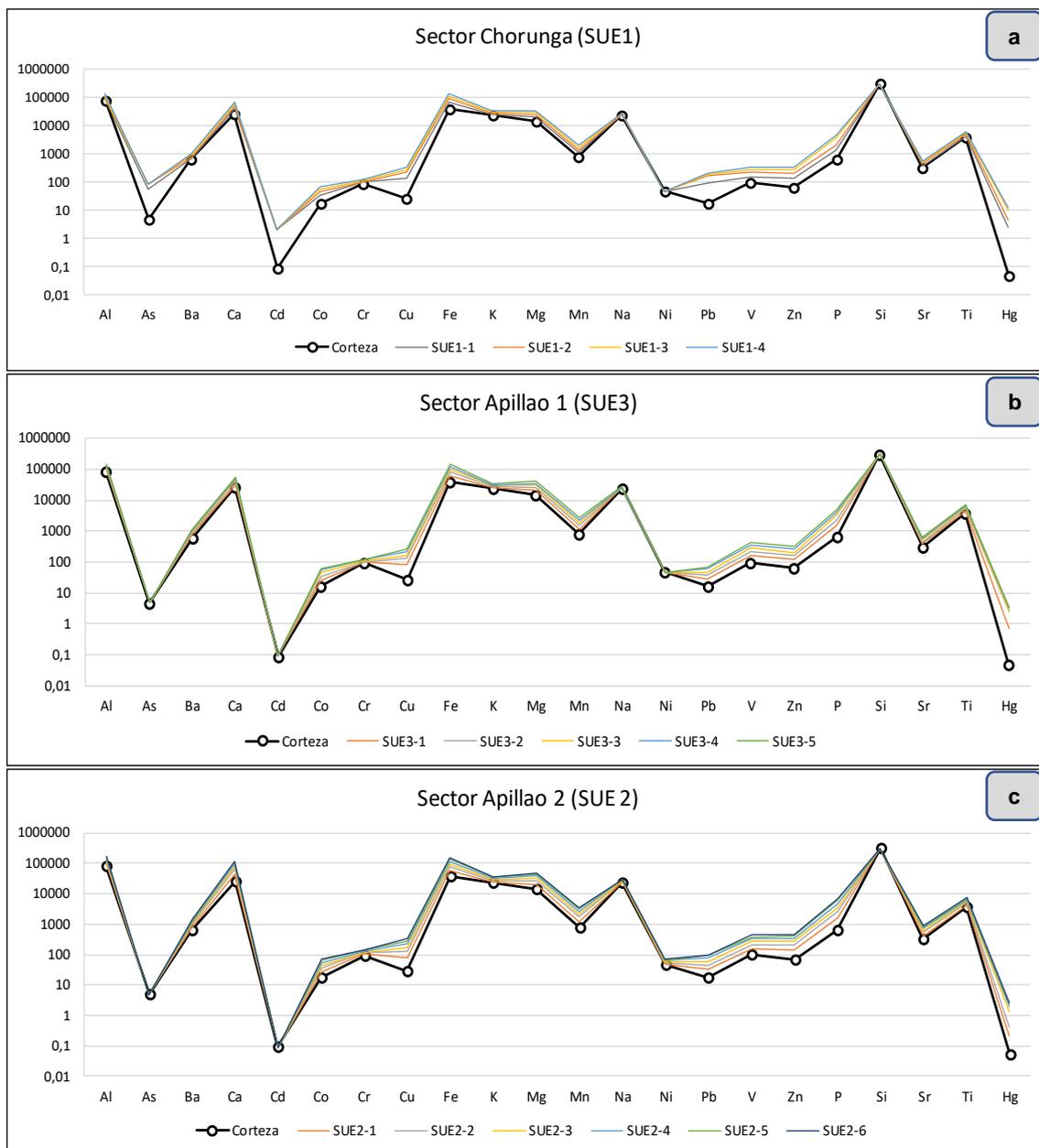
De los resultados obtenidos, en la Figura 7.13 se muestran los promedios por cada sector evaluado: SUE1 (San Juan de Chorunga), SUE3 (Apillao 1) y SUE2 (Apillao 2). Los 3 sectores evaluados presentaron altas concentraciones de hierro, aluminio, calcio, magnesio y potasio, en comparación a los demás metales.

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



**Figura 7.13.** Promedio de las concentraciones de metales en suelo, ubicados en los sectores de evaluación: a) SUE1, San Juan de Chorunga, b) SUE3, Apillao 1 y c) SUE2, Apillao 2

En la Figura 7.14 se muestran las concentraciones de metales en el suelo comparados referencialmente con el valor medio en la corteza continental superior (Rudnick, 2014); donde se observa en la Figura 7.14a que el sector Chorunga (SUE1) superó el valor medio de la corteza para arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, plomo, vanadio, zinc, fósforo y mercurio en todos los puntos de muestreo; en la Figura 7.14b sector Apillao 1 superaron el valor medio de la corteza principalmente en cobre, vanadio y mercurio; y en la Figura 7.14c sector Apillao 2 superaron principalmente el valor medio de la corteza: calcio, cobalto, cobre, hierro, magnesio, manganeso, plomo, vanadio, zinc, fósforo, estroncio y mercurio.



**Figura 7.14.** Comparación de los valores de la corteza continental (Rudnick, 2014) con las concentraciones de los puntos de suelo en: a) Sector San Juan de Chorunga, b) Sector Apillao 1 y c) Sector Apillao 2

### 7.2.2.3. Análisis de mineralógico

El análisis mineralógico por microscopía electrónica realizado en la muestra de suelo del punto SUE1-1 determinó la composición cualitativa de minerales presentes, con mayor predominancia la presencia de pirita, según se detalla en la Tabla 7.5.

**Tabla 7.5.** Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en el punto de muestreo de suelo SUE1-1

N.º Orden	Nombre del mineral	Fórmula general	N.º Espectros
1	Pirita	FeS <sub>2</sub>	7
2	Galena	PbS	2
3	Barita	BaSO <sub>4</sub>	1
4	Arsenopirita	FeAsS	1
5	Magnetita titanífera	Fe <sub>2</sub> +(Fe <sub>3</sub> +,Ti)2O <sub>4</sub>	1
6	Cotunnita	PbCl <sub>2</sub>	1

Fuente: El número de espectros corresponden a las regiones descritas en las figuras del informe de ensayo. Anexo (Reporte N.º de resultados N.º 044-2019-STEC).

### 7.3. Polvo sedimentado

El estudio de caracterización de polvo sedimentado en superficie foliar fue realizado en plantaciones de maíz, paltos entre otros distribuidos en 3 muestras compuestas en los sectores: Chorunga (PS1), Apillao 1 (PS3) y Apillao 2 (PS2) como se aprecia en la Fotografía 7.1.

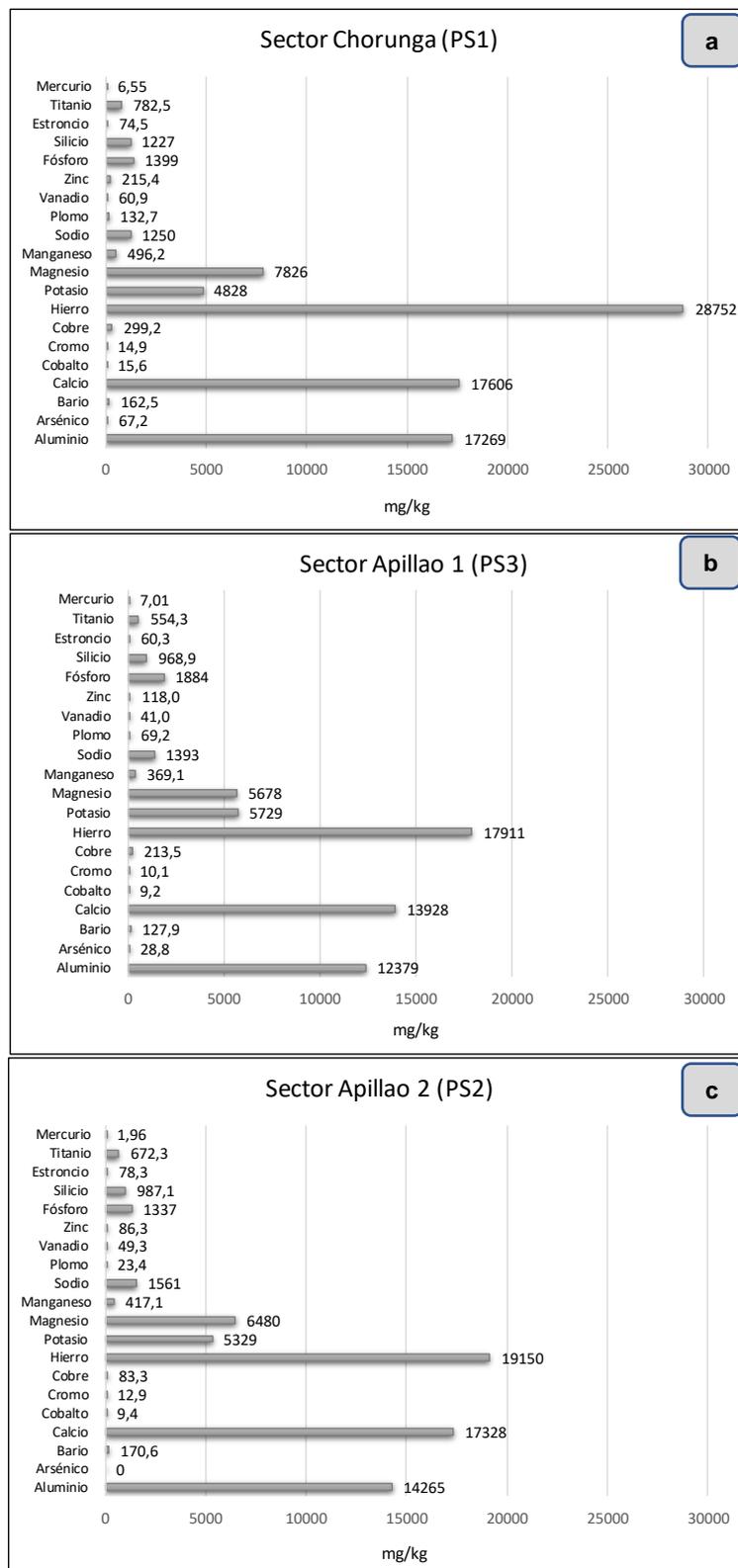


**Fotografía 7.1.** Toma de muestra de polvo sedimentado en hojas de maíz y paltos

#### 7.3.1. Análisis de metales

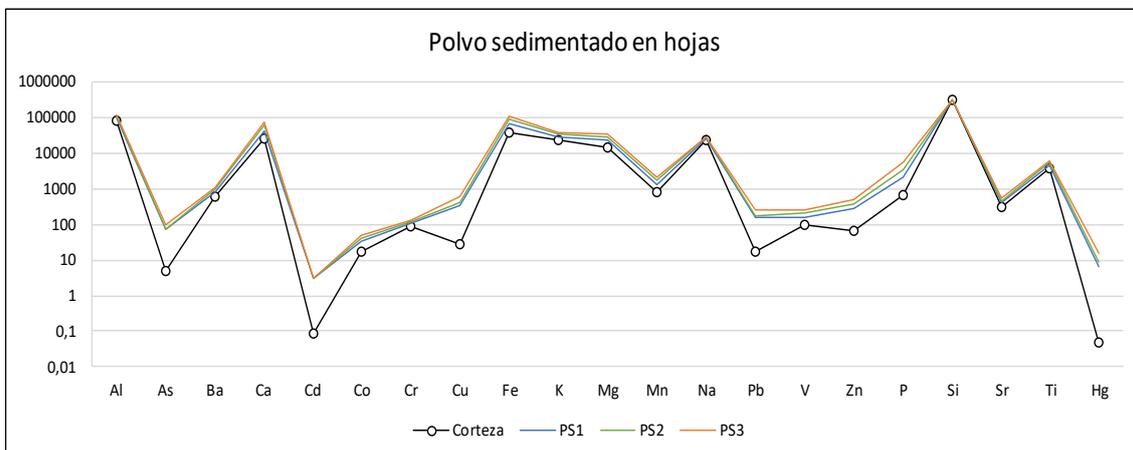
Los resultados de metales en polvo sedimentado fueron representados en la Figura 7.15, donde se observa que en las 3 muestras compuestas (PS1, PS2 y PS3) se presentan las mayores concentraciones de hierro (Fe), con valores por encima de 17911 a 28752 mg/kg; calcio (Ca) con valores por encima de 13928 a 17606 mg/kg y aluminio (Al), con valores por encima de 12379 a 17269 mg/kg. Los elementos magnesio (Mg), potasio (K), silicio (Si), fósforo (P) y sodio (Na) presentaron concentraciones superiores a 1000 mg/kg en todas las muestras compuestas. Los demás metales analizados se registraron en concentraciones menores a 1000 mg/kg.

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



**Figura 7.15.** Concentraciones de metales en los puntos de polvo sedimentado en hojas ubicados en los sectores de evaluación: a) PS1, Chorunga, b) PS3, Apillao 1 y c) PS2, Apillao 2

Las concentraciones de metales registradas en el polvo sedimentado siguen la misma tendencia referencial de la corteza continental (Rudnick, 2014) aunque con valores mayores para el As, Cd, Cu, Pb, Zn y Hg, presentándose los mayores valores en la muestra de polvo sedimentado PS3 del sector Apillao y las menores en la muestra de polvo sedimentado PS1 del sector Chorunga (Figura 7.16).



**Figura 7.16.** Comparación de valores en la corteza continental (Rudnick, 2014) con las concentraciones de metales en polvo sedimentado en los sectores a) Chorunga (PS1), b) Apillao 1 (PS3) y c) Sector Apillao 2 (PS2)

### 7.3.2. Análisis mineralógico

La composición mineralógica de la muestra de polvo sedimentado PS1, del sector Chorunga reportó en su mayoría minerales como piritita y galena.

En la Tabla 7.6 se lista la composición de minerales en la muestra de polvo sedimentado.

**Tabla 7.6.** Resultados del análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido en el punto de muestreo de suelo PS1

N.º Orden	Nombre del mineral	Fórmula general	N.º Espectros
1	Piritita	FeS <sub>2</sub>	8
2	Calcopiritita	CuFeS <sub>2</sub>	1
3	Galena	PbS	5
4	Apatito	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1
5	Pirrotita	Fe <sub>(1-x)</sub> S	1
6	Magnetita titanífera	Fe <sup>2+</sup> (Fe <sup>3+</sup> ,Ti)2O <sub>4</sub>	2
7	Zirconio	ZrSiO <sub>4</sub>	1

### 7.3.3. Análisis granulométrico

En la Figura 7.17 se presenta los resultados de granulometría de la muestra compuesta de todos los puntos evaluados para polvo sedimentado, donde se observa que está compuesta en mayor proporción (55%) por limos, seguido de arena (30%) y arcilla (15%).

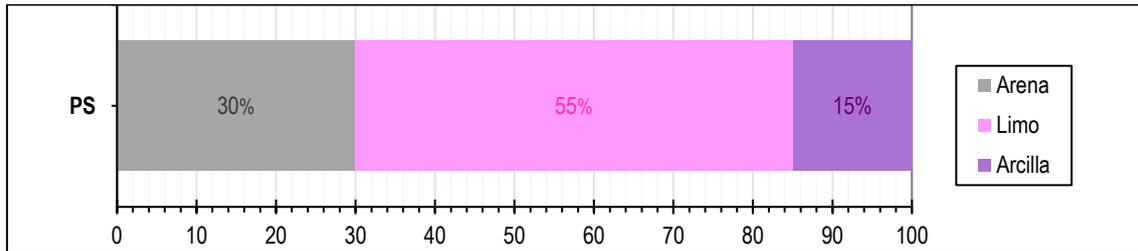


Figura 7.17. Granulometría en muestras de polvo sedimentado

## 7.4. Caracterización geológica (roca)

### 7.4.1. Geología regional

El proyecto de San Juan de Chorunga se encuentra en una región geológica donde la roca representativa es la granodiorita Incahuasi<sup>7</sup>, además en el contexto regional se encuentran el Complejo basal de la Costa, la Formación Labra del Jurásico, las Formaciones Hualhuani y Arcurquina del Cretácico inferior y los cuales pertenecen al Grupo Yura; asimismo, se encuentran las Formaciones Sotillo y Moquegua; el Grupo Tacaza del Paleógeno y las Formaciones del Neógeno como son las Formaciones Pisco, Huaylillas y Millo así como los volcánicos Alpbamba y Sencca. Cubriendo estas secuencias se presentan los depósitos Cuaternarios como son los depósitos coluviales y aluviales.

- **Complejo Basal**

Bellido y Narvas en 1960 designaron como Complejo Basal a las rocas que constituyen el basamento de la Cadena Costanera en el sur del Perú, estas secuencias se encuentran cubiertos discordantemente por diferentes formaciones los cuales van desde el Jurásico inferior hasta los depósitos cuaternarios. Constituido por rocas metamórficas y los gneis más representativos afloran en los flancos de los ríos Marán y Oconña (INGEMMET, 1983).

- **Grupo Yura**

#### Formación Labra

La litología en la parte superior consta de areniscas de coloración blanquecina a gris clara, las cuales presentan gradación inversa del tamaño de grano, donde las secuencias finas se encuentran en la base; asimismo, se encuentran muy pocos horizontes de lutitas. Esta formación sobryace en discordancia angular sobre el Complejo Basal (INGEMMET, 2003).

#### Formación Hualhuani

La Formación Hualhuani infrayace se encuentra compuesta por cuarcitas y areniscas cuarzosas de color blanco las cuales se encuentran compactados y varían de grosor desde niveles centimétricos a metros, se caracteriza por presentar en ciertos niveles estructuras de estratificación cruzada.

#### Formación Arcurquina

La Formación Arcurquina consiste en secuencias de calizas en estratos delgados, y estas rocas vendrían a ser el producto final de las transgresiones del Mesozoico y afloran en gran parte al sur del Perú (INGEMMET, 1983).

<sup>7</sup> Modificación del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Minero San Juan de Chorunga. Aprobado mediante R.D. N° 177-2013-MEM/AAM

- **Formación Sotillo**

Denominada inicialmente como Formación San José y esta formación consiste en areniscas, lutitas y arcillas las cuales se encuentran finamente estratificadas, y son cortadas por venillas de yeso. Esta formación sobreyace a la Formación Labra y subyace con discordancia erosional a la Formación Moquegua (INGEMMET, 2003).

- **Formación Moquegua**

La mencionada formación está representada por depósitos torrenciales, y fueron descritos tres facies, donde la facie inferior se encuentra conformada por conglomerados con un 60% de clastos redondeados a subredondeados de cuarcitas y rocas subvolcánicas; la facie media está constituida por lutitas, areniscas finas, limolitas con textura tobácea, mientras que la facie superior se encuentra conformada por conglomerados poco consolidados (INGEMMET, 1983).

- **Grupo Tacaza**

Consiste en derrames lávicos de andesitas porfíricas de coloración gris violácea y se encuentran intercaladas en la base con algunas brechas y conglomerados. La mencionada formación se tiene una mejor exposición hacia el norte de Caravelí.

- **Formación Pisco**

Está constituida por rocas sedimentarias depositadas que en su mayoría se tratan de areniscas gruesas interestratificadas con lutitas, areniscas tobáceas, areniscas arcillosas y margas. Estratigráficamente sobreyace con discordancia erosional a la Formación Moquegua e infrayace de igual modo a la Formación Millo.

- **Volcánico Alpabamba**

El volcánico Alpabamba se encuentra constituido por intercalación de areniscas tobáceas de tonos claros y verdes, de grano fino a conglomerado y bastante compacto. Su grosor se estima en unos 800 m.

- **Formación Huaylillas**

Fueron denominadas inicialmente como Formación Huaylillas y asignadas al Mioceno, se encuentran conformadas por tobas riolíticas a riodacíticas blancas variando a rosadas y niveles de vulcarenitas y tobas soldadas de composición riodacítica con estructura fiamme de pómez aplastada, evidenciando la típica textura eutaxítica. Cubre aproximadamente el 40 por ciento del área de la hoja (32-p).

- **Formación Millo**

Consiste en bancos gruesos de conglomerados intercalados con niveles de areniscas grises de grano grueso a fino, con una capa tobácea hacia la base. Estratigráficamente descansa sobre la Formación Pisco e infrayace a las tobas post-Huaylillas o también conocidas como Tobas Cuno Cuno (INGEMMET, 2003).

- **Volcánico Sencca**

Litológicamente constituido por tobas y brechas tobáceas de naturaleza mayormente dacítica a riolítica. Macroscópicamente se observan feldespatos, cuarzo, laminillas de biotita y vidrio volcánico, ya que presenta una coloración blanco rosáceo en fractura fresca, variando a gris amarillento o rojizo por intemperismo.

- **Rocas intrusivas**

Se encuentran presentes cuerpos plutónicos del Batolito de la costa en forma de stocks pertenecientes a las superunidades:

- ✓ Superunidad Linga: Consiste en granodioritas y monzonitas gris claras, de grano medio a grueso, con muchas concentraciones de ferromagnesianos (biotita, hornblenda). Las monzonitas tienen un alto contenido de cuarzo (16 % a 21 %), lo que las convierte en monzonitas cuarcíferas; Aflora a lo largo de la quebrada de Chorunga, en el sector sureste de la hoja (32-p), cortando a las rocas del Complejo Basal. Tiene una edad de 97 Ma y corresponde al Cretáceo superior.
- ✓ Superunidad Incahuasi: Consiste en tonalitas, granodioritas y dioritas. Entre los minerales principales se encuentran plagioclasa, ortosa, cuarzo; entre los accesorios se tiene biotita; los minerales secundarios están conformados por calcita, sericita. Aflora en ambos márgenes del valle de Ocoña y tiene una edad de 95 Ma, corresponde al Cretáceo superior.
- ✓ Superunidad Tiabaya: Consiste principalmente de granodioritas con concentraciones de ferromagnesianos, tiene como minerales constituyentes: plagioclasa, ortosa y cuarzo. Intruye a las rocas del Complejo Basal. Tiene una edad de 80 Ma, corresponde al Cretáceo superior.

- **Depósitos cuaternarios**

#### Depósitos Aluviales

Constituidos por gravas y cantos angulosos de diferentes tipos de roca en matriz fina. Se hallan formando terrazas antiguas y recientes. En las laderas de los valles y en las quebradas se les encuentra formando conos aluviales.

#### Depósitos Coluviales

Depósitos que forman parte de las laderas de montañas y cerca de las cimas. En su composición se observan bloques subangulosos en matriz de arena.

En la Figura 7.18. se presenta la columna estratigráfica con los grupos y formaciones geológicas que se encuentran en el área de evaluación.

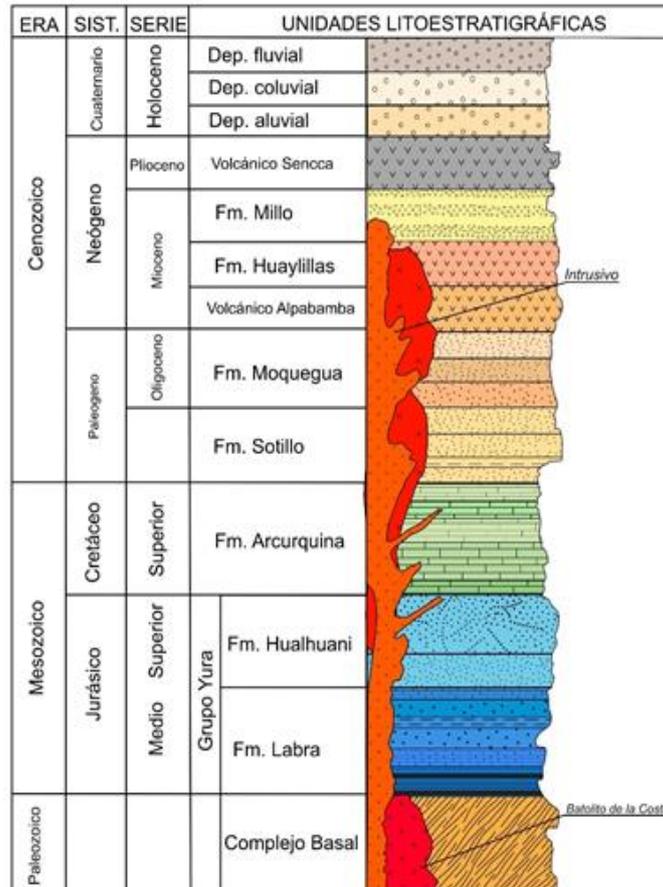


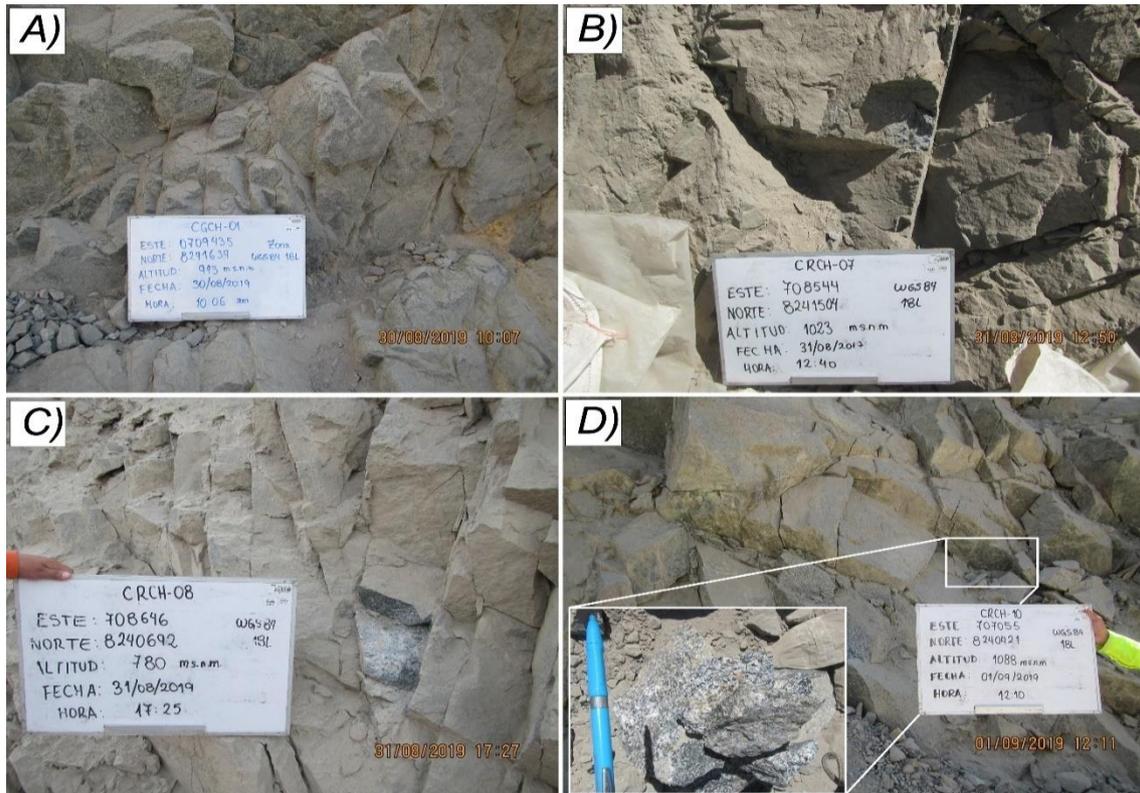
Figura 7.18. Columna estratigráfica en el área de evaluación.

### 7.4.2. Geología local

En el ámbito de la unidad minera San Juan de Chorunga se presentan principalmente rocas intrusivas del Batolito de la Costa, en el área de evaluación las rocas se encuentran asociadas al intrusivo de la Superunidad Incahuasi los cuales se encuentran dominados por granodioritas; sin embargo, los granitos y monzodioritas también se encuentran presentes (Martínez, 2016).

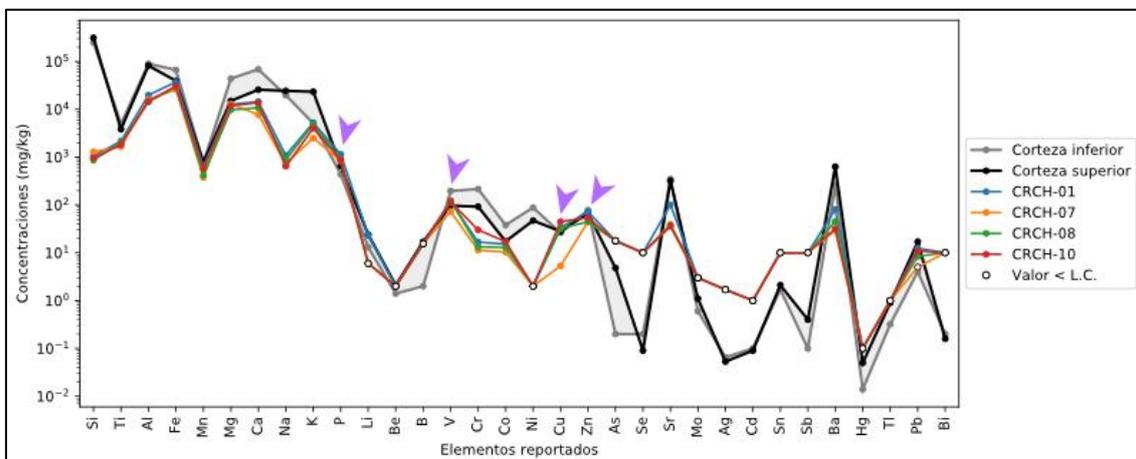
- **Granodiorita del Cretácico**

Las granodioritas son las rocas que dominan gran parte el área de evaluación aflorando a la margen derecha del río Chorunga y donde se encuentra emplazada la actividad minera de la unidad minera San Juan de Chorunga. Las granodioritas forman parte del intrusivo de la Superunidad Incahuasi las cuales se reconocieron en las estaciones de identificación y muestreo: CRCH-01, CRCH-07, CRCH-08 y CRCH-10 y estas presentan una coloración gris clara con textura granular (Figura 7.19). Asimismo, estas rocas se encuentran cortadas por diques porfíricos y afaníticos.



**Figura 7.19.** Puntos de muestreo de granodioritas de coloración gris clara de códigos A) CRCH-01, B) CRCH-07, C) CRCH-08 y D) CRCH-10.

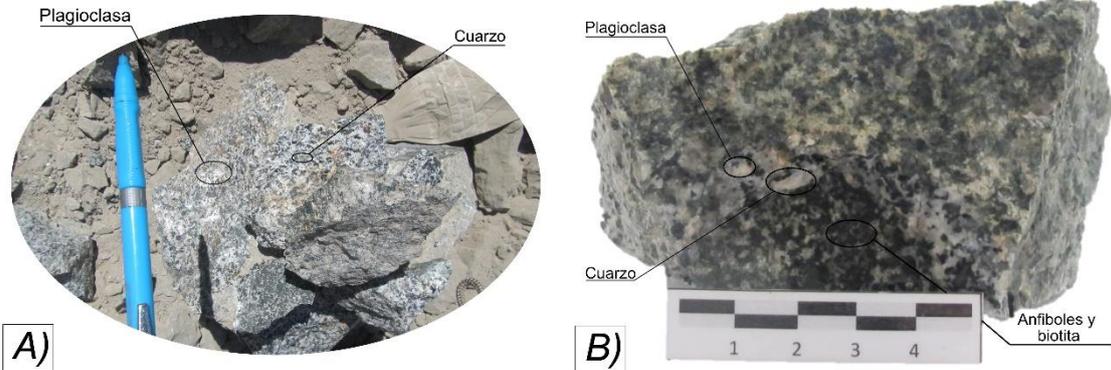
Se presentan los resultados de la geoquímica de rocas de las 4 muestras de granodioritas en relación a los valores de la corteza continental (Rudnick, 2014) y se observa que las concentraciones de cobre son mayores al valor medio referencial de la corteza continental superior en las rocas de los puntos de caracterización geológica CRCH-01, CRCH-08 y CRCH-10; asimismo, similar comportamiento presentó el vanadio, mientras que el zinc solo superó el valor referencial de la corteza continental superior en el punto de caracterización geológica CRCH-01 y el fósforo superó su correspondiente valor referencial en los 4 puntos de caracterización geológica descritos (Figura 7.20).



**Figura 7.20.** Concentraciones de metales en muestras de granodioritas comparados con los valores estándar de la corteza continental (Rudnick, 2014)

La muestra de roca CRCH-10, presentó textura granular de color blanquecino donde se observaron cristales de plagioclasas con cuarzo, feldespatos potásicos, anfíboles y biotita; así como la presencia de óxidos de hierro (Figura 7.21).

**Granodiorita**

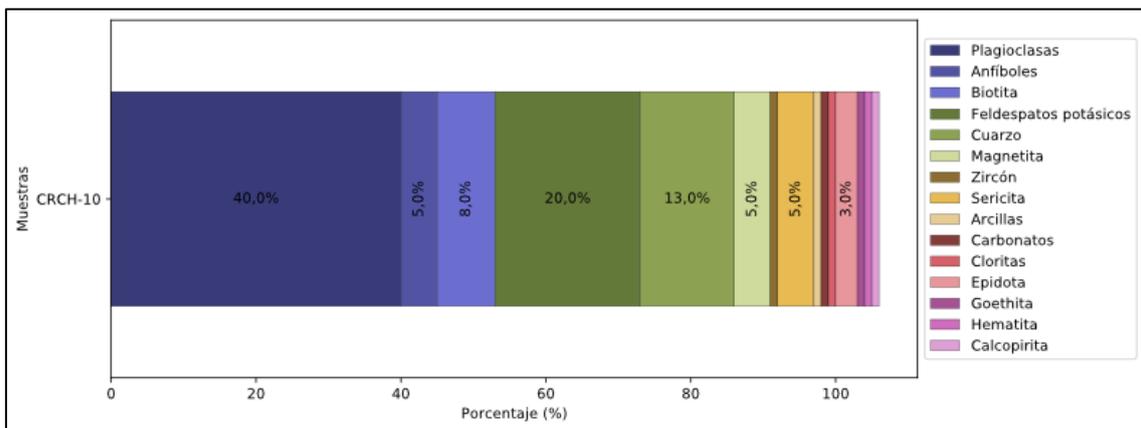


**Figura 7.21.** Muestra de granodiorita con presencia de cuarzo, plagioclasa, anfíboles y biotita. A) Descripción macroscópica en campo B) Descripción macroscópica en laboratorio

Fuente: Imagen modificada del informe de ensayo IL-001MI-1133-OEFA-OT-1076 (Anexo 3: Reporte de resultados).

De acuerdo con la descripción microscópica la granodiorita se encontró conformada por cristales de plagioclasa los cuales se encuentran alterados por sericita, arcillas, carbonatos y epidota; además, feldespatos potásicos, cuarzo, anfíboles y biotita.

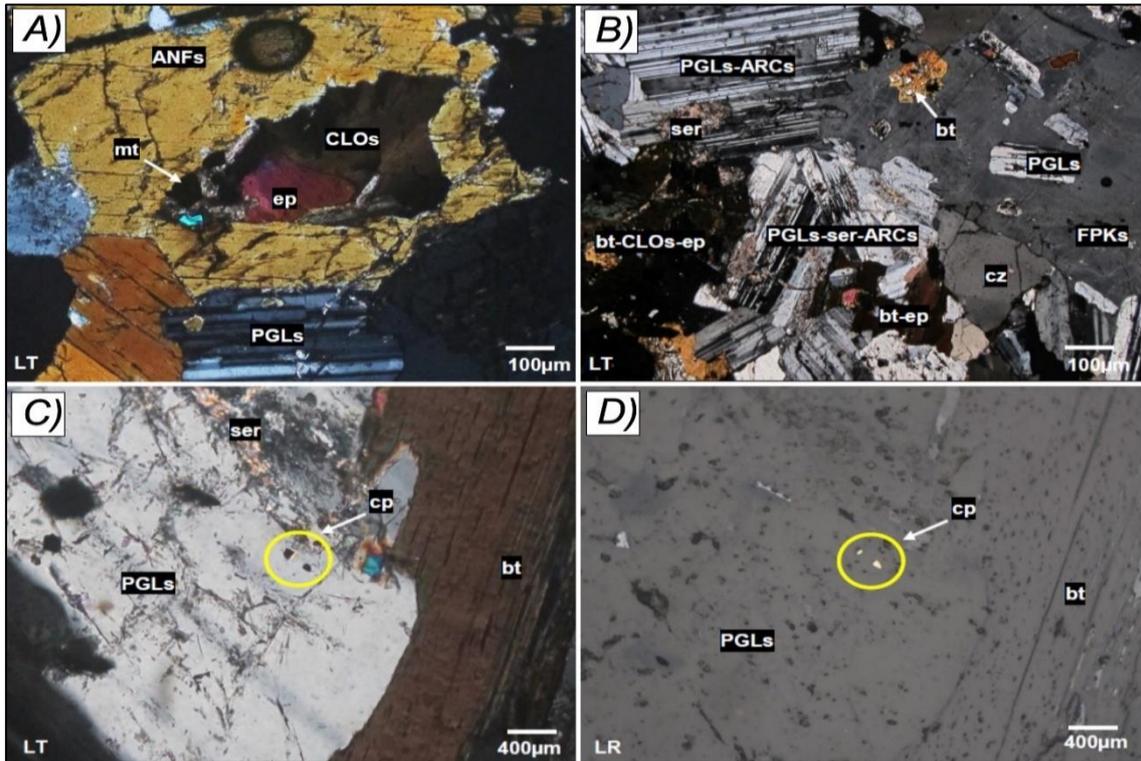
En la Figura 7.22. se presentan el porcentaje de minerales primarios y secundarios que se registraron en la muestra de granodiorita de código CRCH-10.



**Figura 7.22.** Porcentaje de minerales primarios y secundarios presentes en la muestra CRCH-10

Fuente: Informe de ensayo IL-001MI-1133-OEFA-OT-1076 Lote A (Anexo 3: Reporte de resultados).

La probable secuencia paragenética estaría dada por: magnetita, rutilo, calcopirita hematita y goethita. Las fotomicrografías de la muestra CRCH-10 (Figura 7.23A) muestran que los cristales de plagioclasas (PGLs) junto a los cristales de anfíboles (ANFs) son alterados por cloritas (CLOs) y epidota (ep); además los feldespatos potásicos (FPKs) se presentan englobando a pequeños cristales de biotita (bt) y alterados por epidota (ep). En las Figura 7.23 (C y D) se puede apreciar pequeños cristales de calcopirita (cp) los cuales se encuentran a manera de inclusiones en cristales de plagioclasas alterados por sericita junto a cristales de biotita.



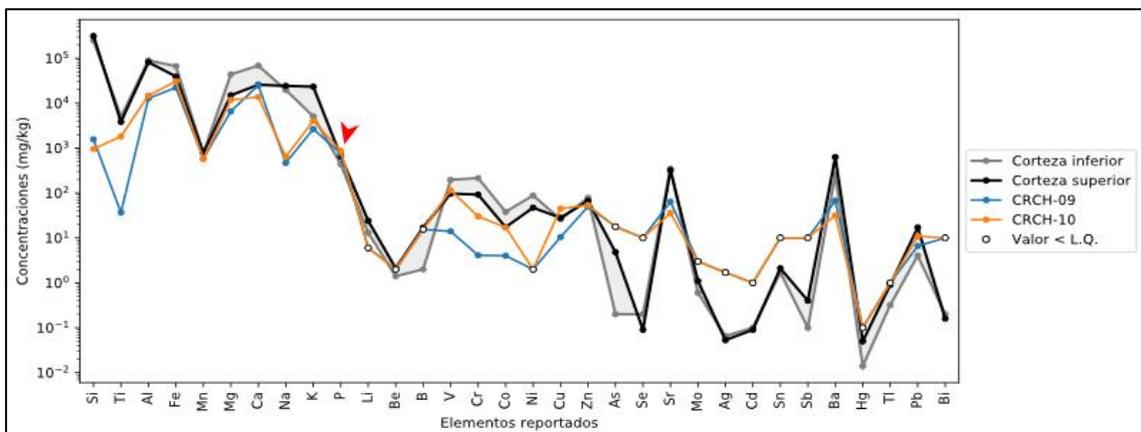
**Figura 7.23.** Fotomicrografías de la muestra CRCH-10 presentando la textura granular de la granodiorita

Nota: Barra de escala que varía de 100 a 400 µm. ANFs-anfiboles, ep-epidota, PGLs-plagioclasas, mt-magnetita, bt-biotita, cz-cuarzo, ser-sercita

Fuente: Informe de ensayo IL-001MI-1133-OEFA-OT-1076 Lote A (Anexo 3: Reporte de resultados).

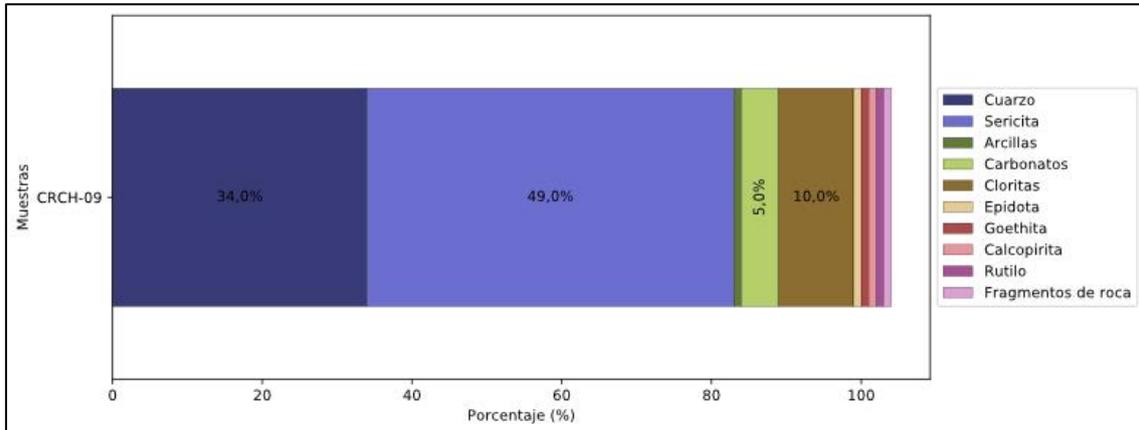
Es importante mencionar que la superunidad Incahuasi presenta diques; y según el estudio petrominerográfico, la muestra CRCH-09 representa a una roca volcánica denominada dacita, la cual aflora al este de la veta Millonaria.

En la Figura 7.24 se muestra el resultado de metales de la muestra de roca CRCH-10 en comparación referencial con el valor medio de la corteza continental y con la muestra CRCH-10 (granodioritas); se observa que el único elemento que superó el valor medio de la corteza continental fue el fósforo.



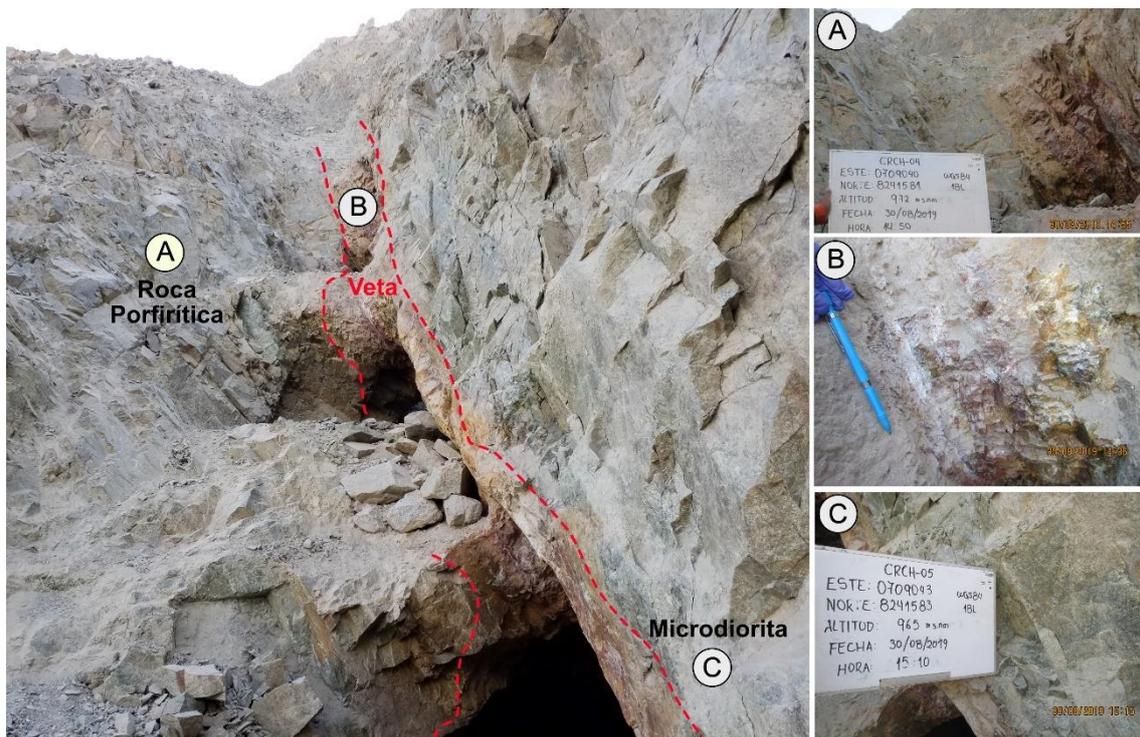
**Figura 7.24.** Concentraciones de metales en la muestra de dacita comparados con los valores medios de la corteza continental (Rudnick, 2014)

En la Figura 7.25 se muestran los porcentajes de minerales primarios y secundarios que componen la dacita.



**Figura 7.25.** Porcentaje de minerales primarios y secundarios presentes en la muestra CRCH-09

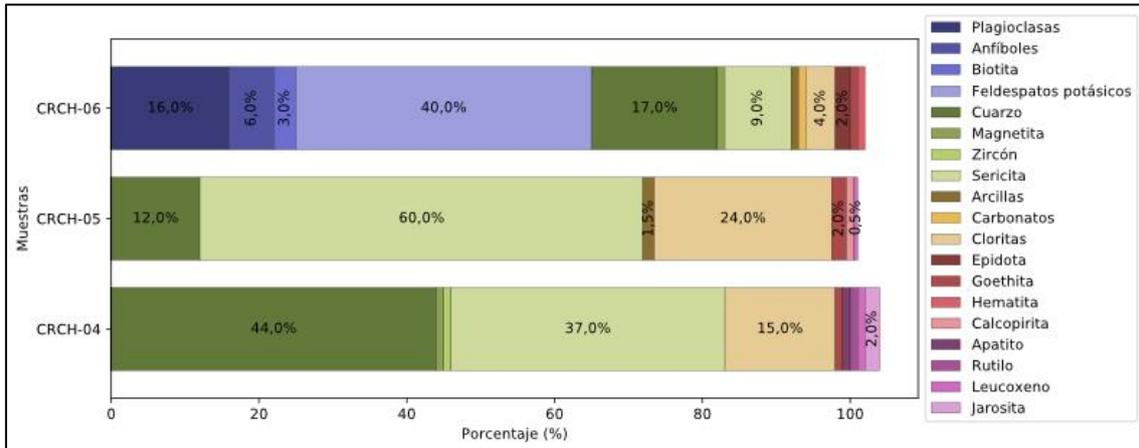
En la Figura 7.26 se observa la veta San Juan que aflora en superficie (muestras CRCH-02 y CRCH-03) y la roca caja (Figura 7.26 B); siendo el piso de la veta la muestra CRCH-04 y la muestra al techo de la veta la muestra CRCH-05.



**Figura 7.26.** Puntos de muestreo de la veta (B) y roca caja (piso: A y techo:C)

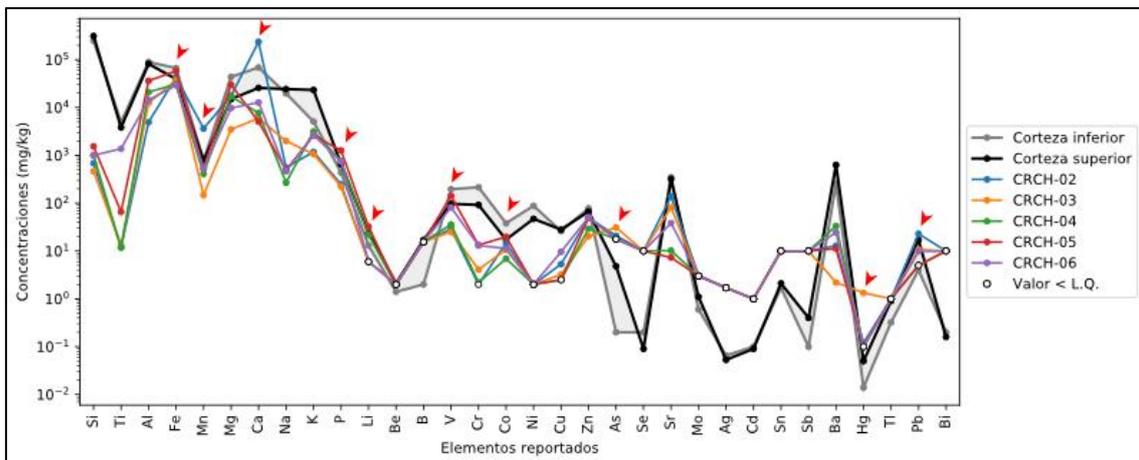
El estudio petromineralógico por microscopía óptica de las muestras de roca CRCH-04, CRCH-05 y CRCH-06, indican que la muestra CRCH-04 corresponde a una roca porfírica, la muestra CRCH-05 corresponde a una roca microdiorita porfírica y la muestra CRCH-06 corresponde a una roca monzogranito.

En la Figura 7.27 se presentan los porcentajes de minerales primarios y secundarios que componen las rocas mencionadas.



**Figura 7.27.** Porcentaje de minerales primarios y secundarios presentes en la muestra CRCH-04, CRCH-05 y CRCH-06

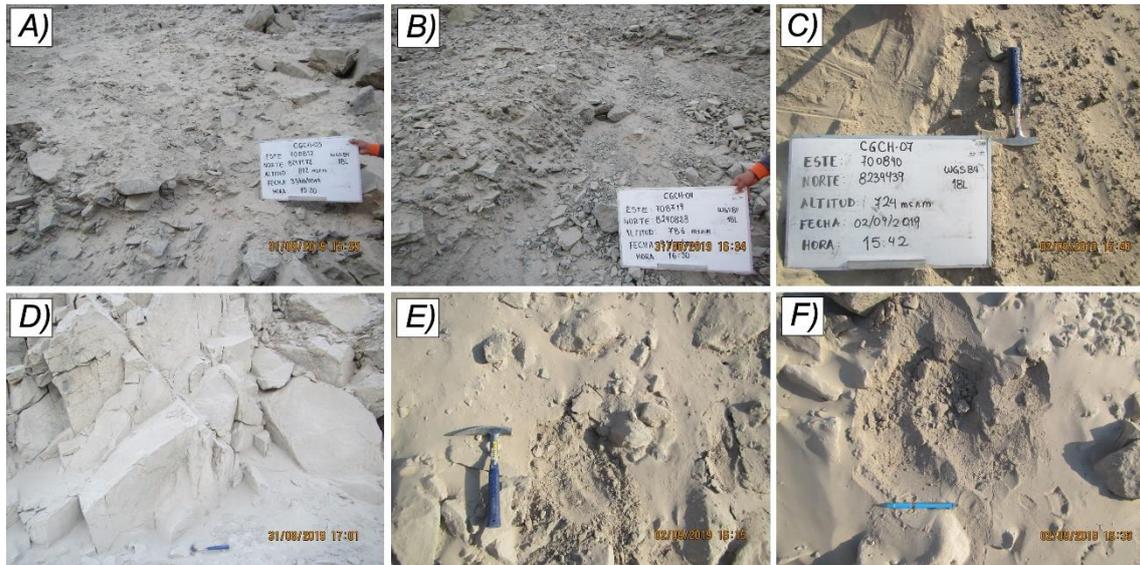
En la Figura 7.28 se presentan los resultados en las muestras de las vetas (CRCH-02 y CRCH-03) y la roca caja (CRCH-04 y CRCH-05), donde las concentraciones de plomo de la veta CRCH-02 superaron el valor medio referencial de la corteza continental y la muestra CRCH-03 presentó concentraciones de arsénico y mercurio que superaron el valor mencionado.



**Figura 7.28.** Concentraciones de metales en muestras de la veta y roca caja comparados con los valores medios de la corteza continental (Rudnick, 2014)

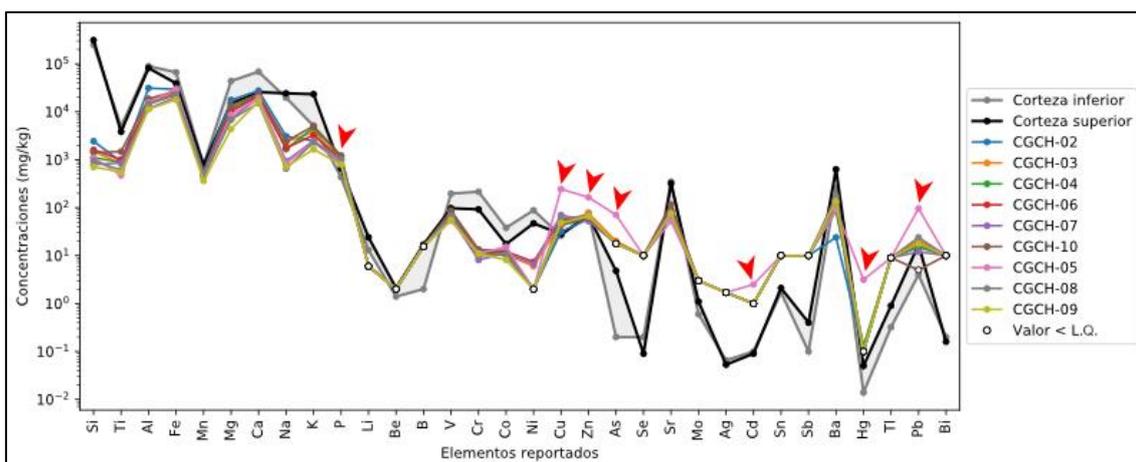
• **Depósitos coluviales**

Los depósitos coluviales son fragmentos angulosos de roca, los cuales se encuentran en una matriz de material fino, el cual es transportado y acumulado por la acción de la gravedad de los suelos (Figura 7.29).



**Figura 7.29.** Puntos de muestreo de material fino de los depósitos coluviales: A) CGCH-03, B) CGCH-04, C) CGCH-07 y material depositado en las vías de acceso: D) CGCH-05, E) CGCH-08 F) CRCH-10

En la Figura 7.30 se muestran los resultados del material coluvial y material depositado en las vías de acceso comparados con el valor medio de la corteza continental superior (Rudnick, 2014); se aprecia que el material coluvial superó ligeramente el valor medio de la corteza para arsénico en 2 muestras (CGCH-02 y CGCH-03), para cobre y fósforo en todos los puntos de caracterización geológica, para plomo en los 2 puntos de caracterización geológica (CGCH-03 y CGCH-06), 1 punto de caracterización geológica para zinc (CGCH-03) y el punto CGCH-04 superó el valor medio para mercurio; sin embargo los elementos mencionados anteriormente superaron el valor medio de la corteza continental considerablemente en el punto de caracterización geológica CGCH-05 y además presentaron mayores concentraciones que el material coluvial e incluso que las vías de acceso en los puntos de caracterización geológica CGCH-08 y CGCH-09.



**Figura 7.30.** Concentraciones de metales en muestras del material coluvial (CGCH-02, CGCH-03, CGCH-04, CGCH-06, CGCH-07, CGCH-10) y material fino depositado en las vías de accesos (CGCH-05, CHCG-08 y CGCH-09) en comparación con el valor medio de la corteza continental superior (Rudnick, 2014)

En las muestras del material coluvial se realizó el análisis mineralógico por microscopía electrónica (Tabla 7.7). Se observó que los minerales metálicos se encuentran en la parte fina con tamaños que van de 2 µm a 50 µm.

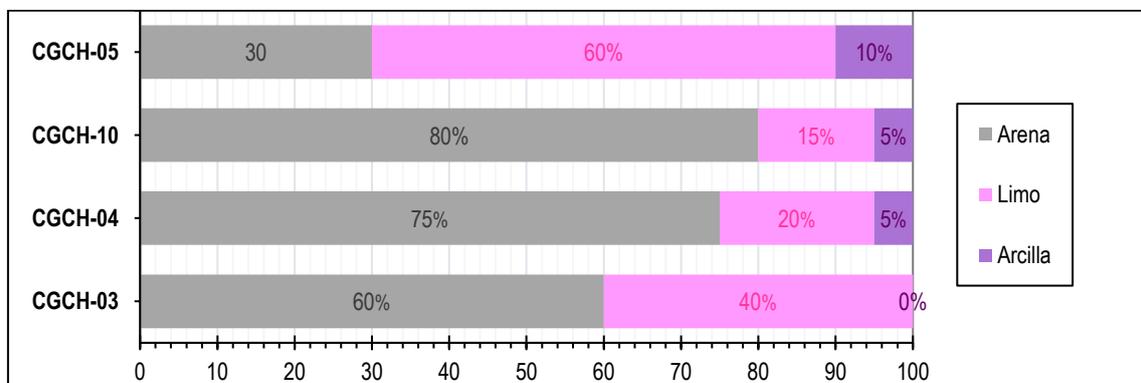
**Tabla 7.7.** Resultados de análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido

Depósitos coluviales			Material de la vía de acceso
CGCH-03	CGCH-04	CGCH-10	CGCH-05
Pirita (1)	Pirita (6)	Pirita (3)	Pirita (7)
Galena (12)	Galena (7)	Galena (6)	Galena (5)
Magnetita titanífera (1)	Calcopirita (2)	Arsenopirita (1)	Barita (1)
Arsenopirita (1)	Magnetita (1)	Barita (2)	Calcopirita (6)
Fosfatos con contenidos de elementos de tierras raras (1)	Magnetita titanífera (2)	Magnetita (1)	Fosfatos con contenidos de elementos de tierras raras (1)
Hematita (4)	Fosfatos con contenidos de elementos de tierras raras (1)	Magnetita titanífera (3)	Esfalerita (2)
Pirrotita (1)	Hierro-carbono (2)	Fosfatos con contenidos de elementos de tierras raras (1)	--
--	Hematita (3)	Zircón (1)	--
--	--	Hematita (1)	--

(): Número de observaciones de mineral (espectros).

Fuente: Informe de ensayo IL-001MI-1067-OEFA-OT-1007 Lote K Rev.01 (Anexo 3: Reporte de resultados).

En la Figura 7.31 se presenta los resultados de granulometría de las muestras obtenidas de los depósitos coluviales (CGCH-03, CGCH-04 y CGCH-10) y material depositado en la vía de acceso para el transporte de mineral hacia la planta de beneficio de la unidad minera Chorunga con código CGCH-05.



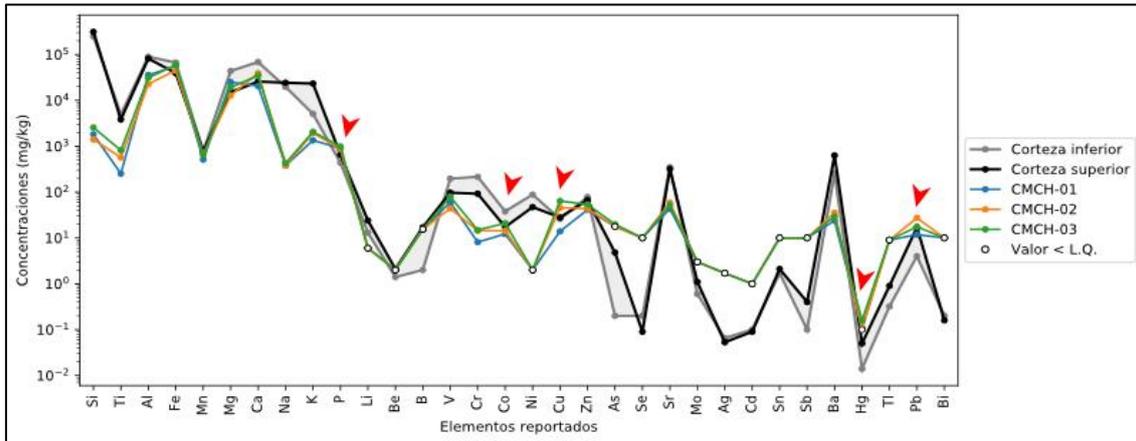
**Figura 7.31.** Granulometría en muestras material coluvial

## 7.5. Caracterización de componentes mineros

En el presente ítem se presentan los resultados de la caracterización geoquímica de los componentes mineros: depósito de desmonte y depósito de relaves de la UM Chorunga. A continuación, se describen los resultados de los ensayos realizados en los diferentes componentes.

### 7.5.1. Depósito de desmonte

Las concentraciones de metales se presentan en la Figura 7.32, donde la muestra de código CMCH-03 presentó elevadas concentraciones de cobalto en relación al valor medio de la corteza, las muestras CMCH-02 y CM-03 presentaron valores mayores al valor medio de la corteza continental de cobre, mercurio y plomo.



**Figura 7.32.** Concentraciones de metales en muestras de desmonte (CMCH-01, CMCH-02 y CMCH-03) en comparación con el valor medio de la corteza continental superior (Rudnick, 2014).

El análisis mineralógico por microscopía electrónica a la muestra de desmonte del Nv 150 registró que los minerales metálicos se encuentran en la parte fina con tamaños que van de 4 a 30 µm (Tabla 7.8).

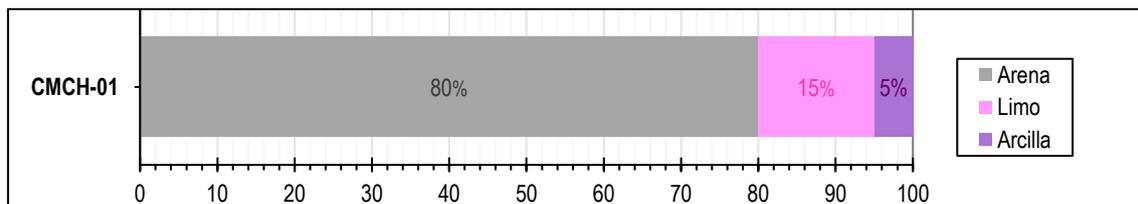
**Tabla 7.8.** Análisis mineralógico por microscopía electrónica de barrido

N.º	Depósito de desmonte
	CMCH-01
1	Pirita (5)
2	Galena (5)
3	Barita (1)
4	Arsenopirita (1)
5	Fosfatos con contenidos de elementos de tierras raras (7)
6	Goethita (1)
7	Esfalerita (1)

(): Número de observaciones de mineral

Fuente: Informe de ensayo IL-001MI-1067-OEFA-OT-1007 Lote J (Anexo 3: Reporte de resultados).

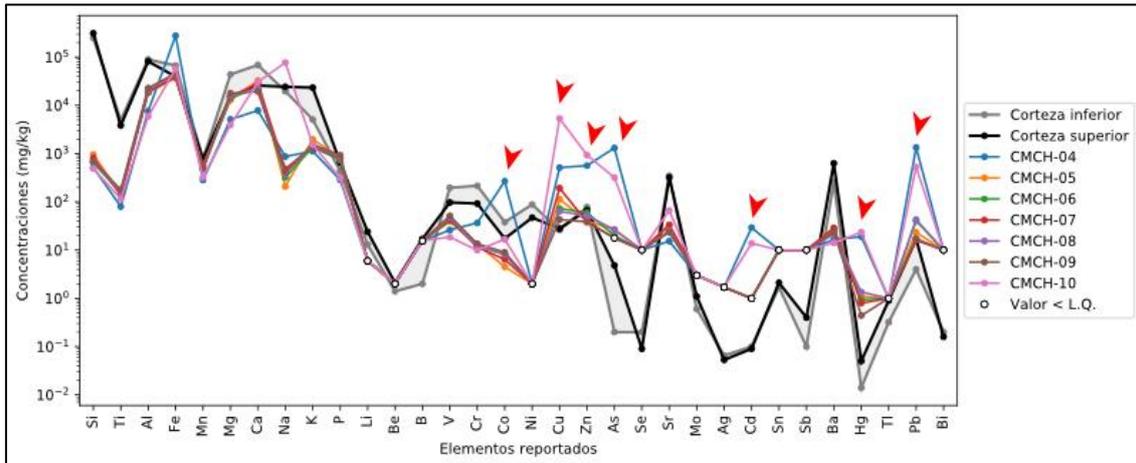
En la Figura 7.33 se presenta los resultados de granulometría de la muestra CMCH-01 obtenida del depósito de desmonte Nv 150.



**Figura 7.33.** Granulometría en la muestra de material de desmonte Nv 150

### 7.5.2. Depósito de relaves

La caracterización de la muestra de relave que se colectó en el litigio (CMCH-04) presentó concentraciones con tendencia similar a la muestra CMCH-10 correspondiente al depósito de relaves CIL N°1, en comparación a las muestras de las canchas de relave N° 1 (CMCH-05), N° 2 (CMCH-06), N° 3 (CMCH-07), N° 4 (CMCH-08) y N° 5 (CMCH-09) como se presenta en la Figura 7.34.



**Figura 7.34.** Concentraciones de metales en muestras de relave en comparación con el valor medio de la corteza continental superior (Rudnick, 2014)

En el análisis mineralógico por microscopía electrónica de las muestras de relaves se observó que los minerales metálicos se encuentran en la parte final con tamaños que van de 1 a 100 µm (Tabla 7.9).

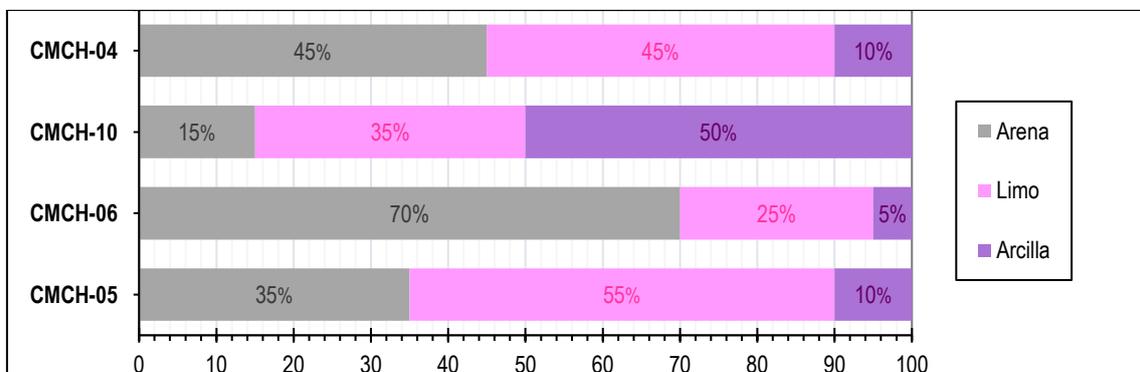
**Tabla 7.9.** Resultado de análisis mineralógico por microscopía electrónica en material de relave

Relaves			
Material que se encuentra en litigio	Depósito de relaves de las canchas de relave		
	CMCH-05	CMCH-06	CMCH-10
CMCH-04	CMCH-05	CMCH-06	CMCH-10
Pirita (5)	Pirita (3)	Pirita (8)	Pirita (6)
Galena (14)	Galena (5)	Galena (5)	Galena (7)
Arsenopirita (1)	Calcopirita (2)	Arsenopirita (4)	Arsenopirita (3)
Molibdenita (1)	Arsenopirita (1)	Barita (1)	Calcopirita (1)
--	Enargita (1)	Esfalerita (2)	Esfalerita (1)
--	Cobre elemental (2)	Fosfatos con contenidos de elementos de tierras raras (1)	--
--	Esfalerita (1)	Molibdenita (1)	--
--	Zircón (1)	--	--
--	Scheelita (2)	--	--
--	Hematita (1)	--	--

(): Número de observaciones de mineral

Fuente: Informe de ensayo IL-001MI-1067-OEFA-OT-1007 Lote L (Anexo 3: Reporte de resultados).

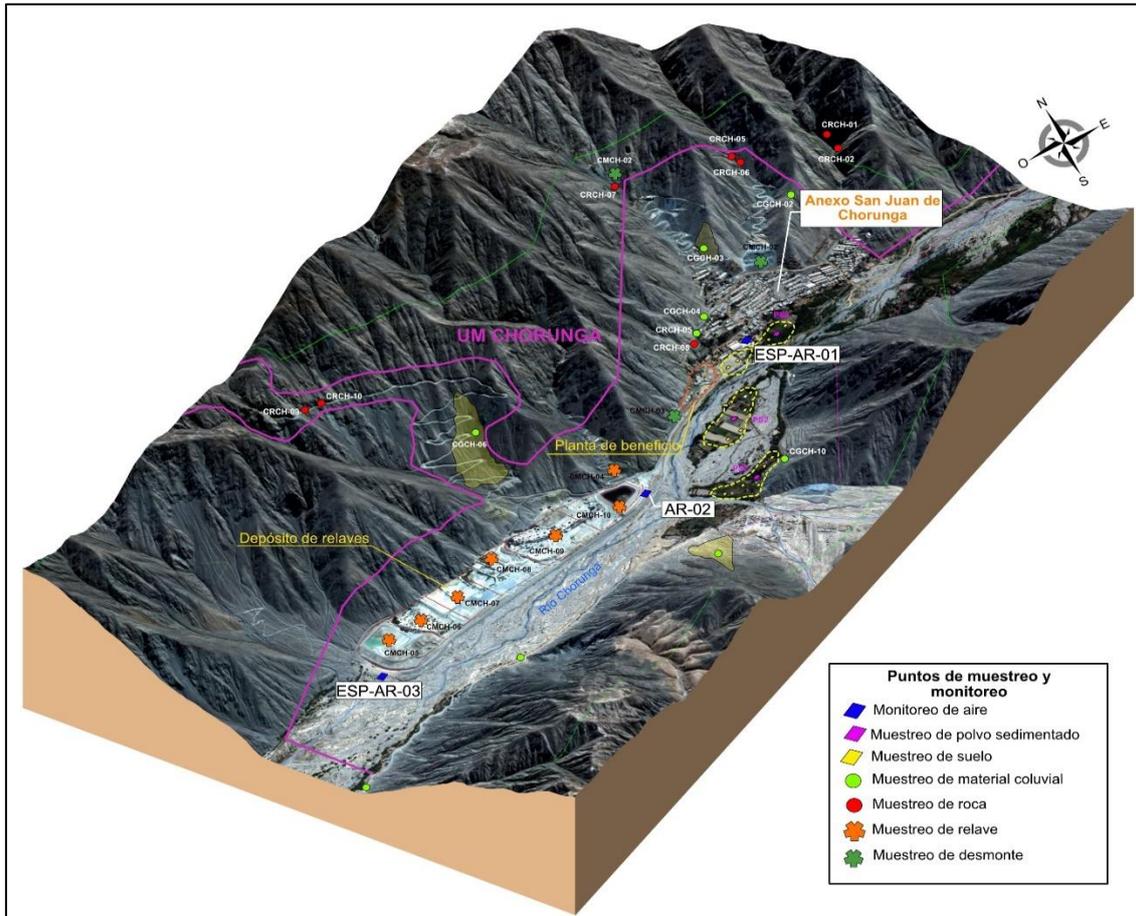
En la Figura 7.35 se presenta los resultados de granulometría de las muestras de relave CMCH-04, CMCH-05, CMCH-06 y CMCH-10.



**Figura 7.35.** Granulometría en la muestra de material de relaves

## 8. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo realizar la vigilancia ambiental en el área de influencia de la UM Chorunga operada por Century, para lo cual se evaluó los componentes ambientales (aire y suelo), así como la caracterización de polvo sedimentado en la superficie foliar, componentes mineros (depósitos de relaves y desmontes) y caracterización geológica (Figura 8.1).



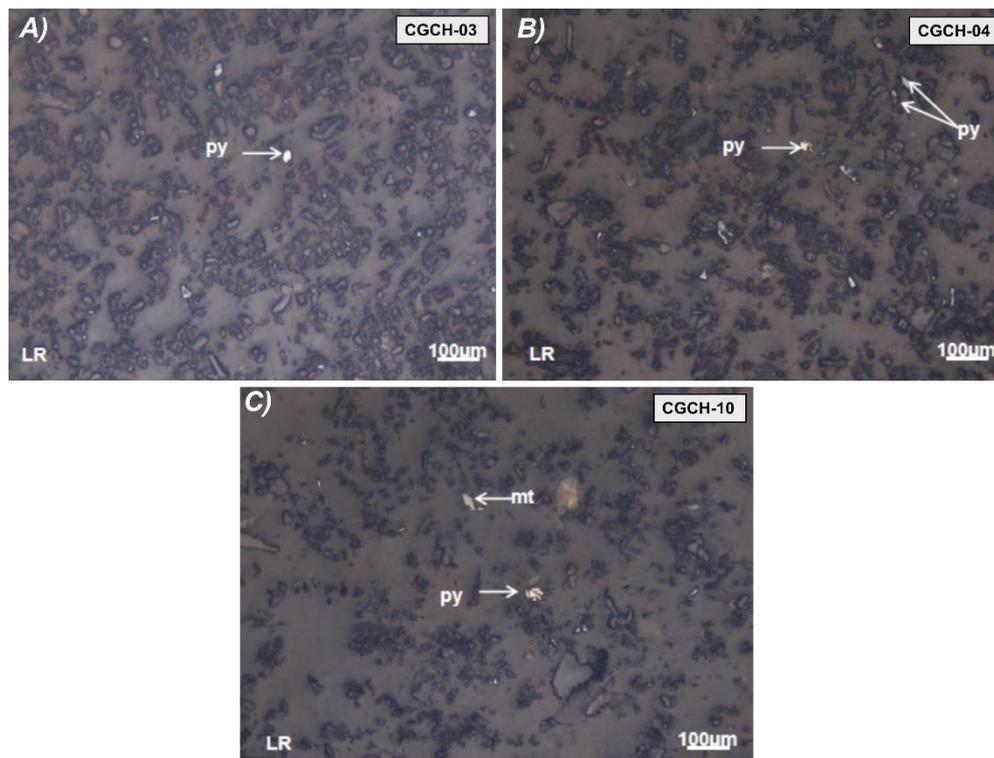
**Figura 8.1.** Esquema de ubicación de componentes ambientales y componentes mineros en el área de influencia de la UM Chorunga

De acuerdo a la caracterización geológica de la UM Chorunga se encuentra emplazada sobre rocas ígneas del Cretácico (granodioritas) que forman parte de la superunidad Incahuasi, las granodioritas presentaron textura granular y de acuerdo de la composición mineralógica<sup>8</sup> presentó minerales primarios como: cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas, anfíboles, biotita, magnetita y zircón; además de presentar minerales secundarios producto de la alteración propilítica (epidota, carbonatos y cloritas), seritización (sericita), oxidación (goethita y hematita) y argilización (arcillas). Asimismo, presentan cristales pequeños de calcopirita los cuales se encuentran en oquedades de las plagioclasas.

Debido a la meteorización física de las granodioritas (macizo rocoso) y sus minerales que son fragmentados y depositados por acción de la gravedad, se forman los depósitos coluviales los cuales presentaron principalmente minerales no metálicos (cuarzo, feldespatos potásicos,

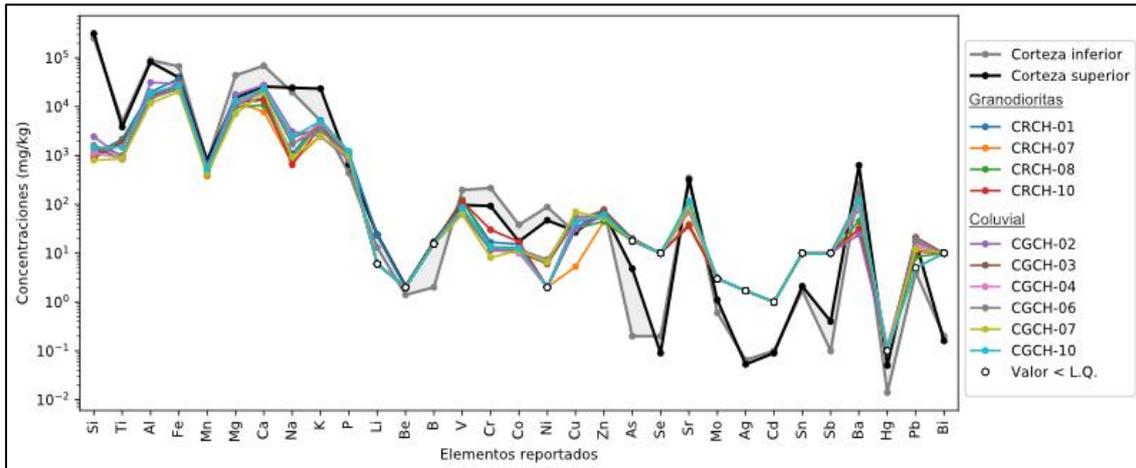
<sup>8</sup> Estudio de petrominerografía, informe de ensayo N.º IL-001MI-1133-OEFA-OT-1076 Lote A.

anfíboles y biotita) como se observa en la fotomicrografía de la Figura 8.2 del análisis mineralógico por microscopía electrónica de las muestras de material coluvial (CGCH-03, CGCH-04 y CGCH-10); además, del producto de la alteración de los minerales primarios de las granodioritas se forman minerales secundarios (hematita y pirrotita) que se encuentran también en el material del depósito coluvial. Es importante precisar que el material coluvial presentó una granulometría que corresponde a un porcentaje bajo de arcillas con 5 % (en la muestra de material coluvial CHCG-04).



**Figura 8.2.** Fotomicrografías de las muestras de material coluvial A) CGCH-03, B) CGCH-04 y C) CGCH-10 donde se aprecia que los minerales metálicos como la pirita (py) y magnetita (mt) no son los que integran principalmente las muestras.

Asimismo, de acuerdo con la geoquímica de la granodiorita (CRCH-10) en relación con el material coluvial muestreado (CGCH-02, CGCH-03, CGCH-04, CGCH-06, CGCH-07 y CGCH-10), se observó (Figura 8.3) que los valores de la granodiorita presentan similar tendencia que los valores del material coluvial; es decir, el material coluvial proviene de las granodioritas. Es importante mencionar que las concentraciones de Cu, Zn, Hg y Pb se registraron en el área de evaluación en mayores valores a los de la corteza continental superior.



**Figura 8.3.** Concentraciones de metales totales de la muestra de roca (granodioritas) y material coluvial

Según los resultados meteorológicos obtenidos durante el monitoreo realizado del 29 de agosto al 9 de setiembre de 2019, se registró temperaturas con una variación entre los 10 °C a 26 °C, con variaciones de humedad relativa entre 36 % a 98 % mientras que, no se registró precipitación pluvial en el área de estudio. Los vientos tienen influencia en el transporte del material particulado dado que provienen desde los componentes mineros de la unidad minera y van hacia el sector Chorunga. Al respecto, en el sector relaveras, las mayores velocidades de viento se registraron entre las 10 horas y 19 horas con valores de hasta 6,3 m/s y con dirección oeste, mientras que en el sector Chorunga (receptor) las mayores velocidades de viento a las mismas horas no superaron los 4 m/s, cabe indicar que las velocidades mayores a 3,4 m/s representaron el 7,83 % y la dirección fue sursuroeste. Asimismo, estudios (Yao, Cai y Zhang, 2010; Pateraki *et al.* 2012) indican que la contaminación atmosférica a causa del material particulado está influenciada por las fuentes de emisión de las partículas y por factores meteorológicos. Además, Csavina *et al.* (2012) menciona que las operaciones mineras es la actividad antropogénica más notable en términos de generar cantidad de partículas y emisiones de aerosoles.

El análisis granulométrico en el componente minero determinó el tamaño de las partículas presentes en las muestras del depósito de relaves de flotación en la cancha N.º 1 (CMCH-05), y depósito de relaves de cianuración CIL N.º 1 (CMCH-10), las cuales presentaron porcentajes altos de arcillas ( $\phi < 3,8 \mu\text{m}$ ) y limos ( $\phi = 3,8 - 45 \mu\text{m}$ ), adicionalmente el material de relave que se encuentra en litigio (CMCH-04) presentó un porcentaje elevado de limos y arcillas 60 % y 10 % respectivamente (Figura 8.4); lo que nos indica que los materiales de relave de los depósitos mencionados presentaron partículas muy finas de arcillas y limos; las cuales, al encontrarse sin cobertura, serían transportadas por el viento.

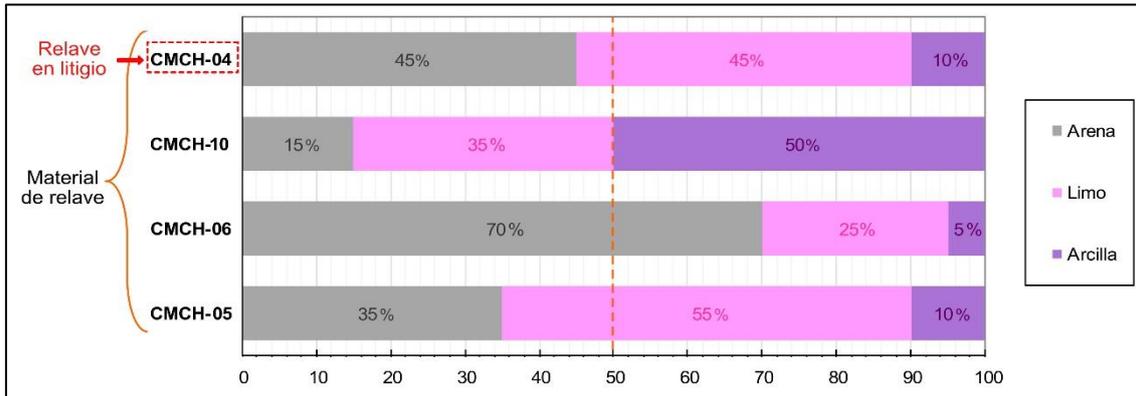


Figura 8.4. Comparación de granulometría del material de relave

En cuanto a la muestra CMCH-06 que caracteriza a la cancha N.º 2 presentó 70 % de arenas ( $\phi=45$  a  $200 \mu\text{m}$ ) y en menor porcentaje de limos y arcillas; en la cual se evidenció la presencia de rizaduras onduladas que son estructuras sedimentarias (Huggett, 2003) que se forman por la migración del material no consolidado por efecto del viento; es importante mencionar que la dirección del viento proveniente del suroeste y tiene influencia en la formación de las rizaduras tal como se observa en la Figura 8.5.

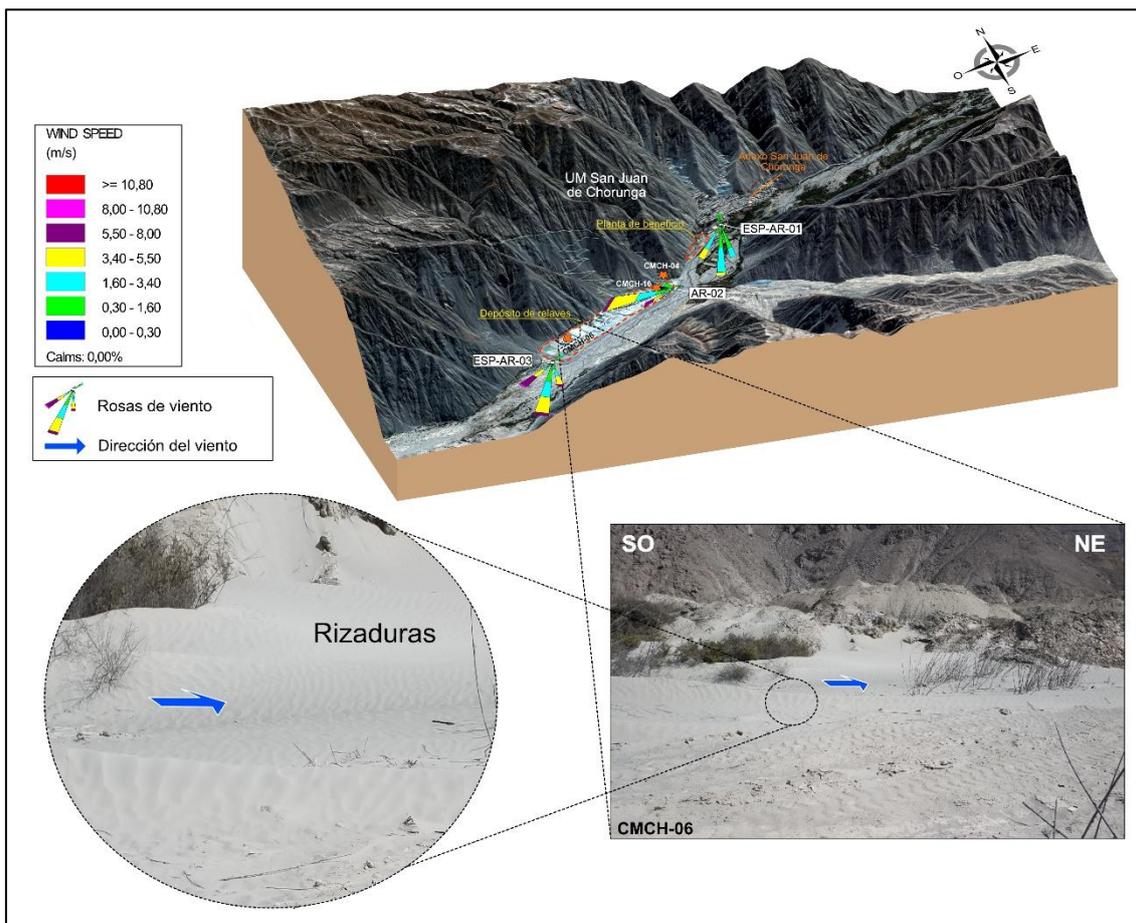
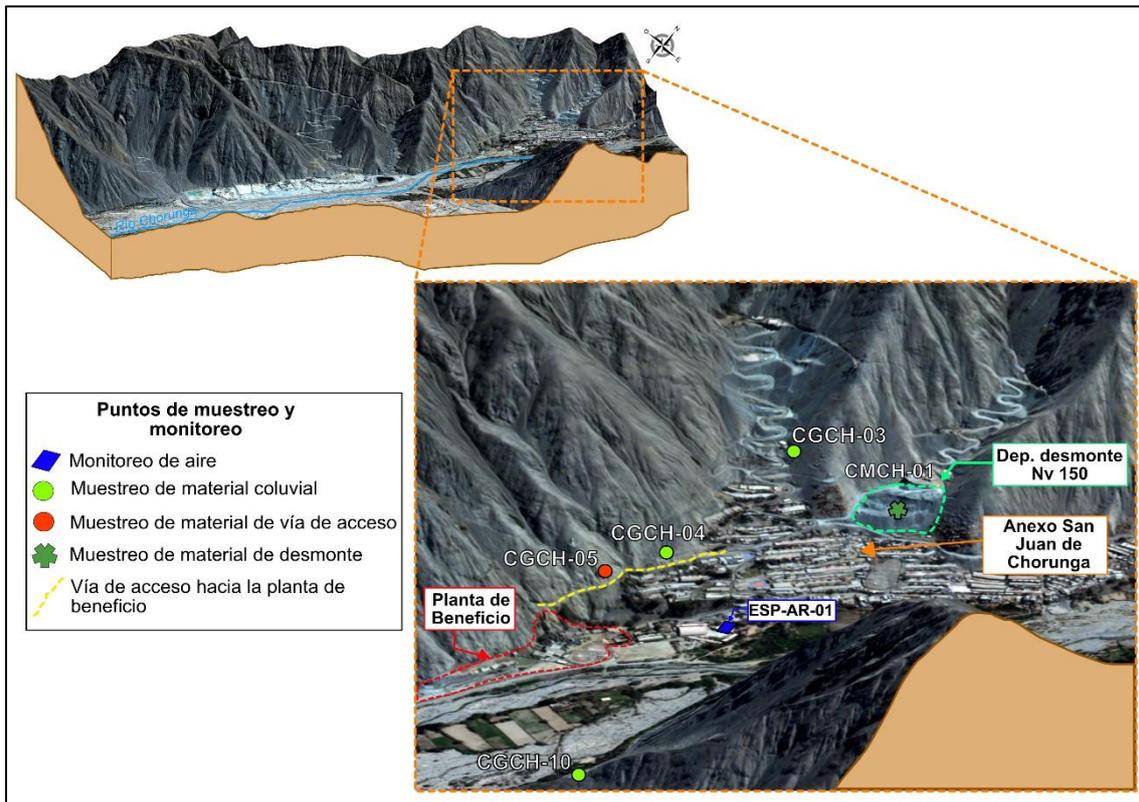


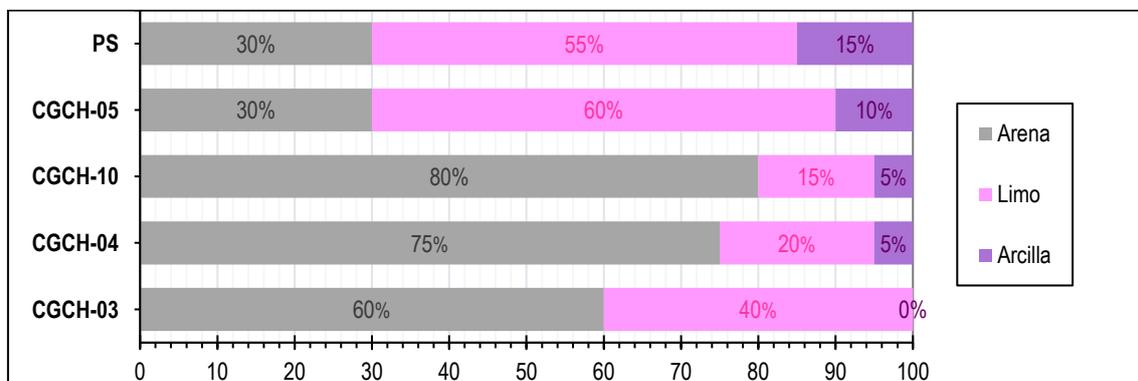
Figura 8.5. Esquema de la dirección de las rosas de vientos y rizaduras formadas por las arenas del material de relave

Durante la evaluación se identificaron fuentes de material fino adicional a los depósitos de relave, como son el material de desmonte del Nv 150 (CMCH-01), material depositado en la vía de acceso de transporte de mineral hacia la planta de beneficio (CGCH-05) y el material coluvial mencionado anteriormente (CGCH-10, CGCH-04 y CGCH-03). Es importante precisar que el material colectado en el punto CGCH-05 se encuentra cerca a la estación de monitoreo de aire (ESP-AR-01) como se observa en la Figura 8.6.



**Figura 8.6.** Ubicación de puntos de muestreo de material fino en el sector Chorunga

Adicionalmente, se observa en la Figura 8.7 que la granulometría del material depositado en el punto CGCH-05 y PS presenta mayor porcentaje de material fino comprendido de limo y arcillas en comparación con el material de los depósitos coluviales, los cuales presentan mayor porcentaje de arena que es producto de la meteorización de las granodioritas (roca ígnea).

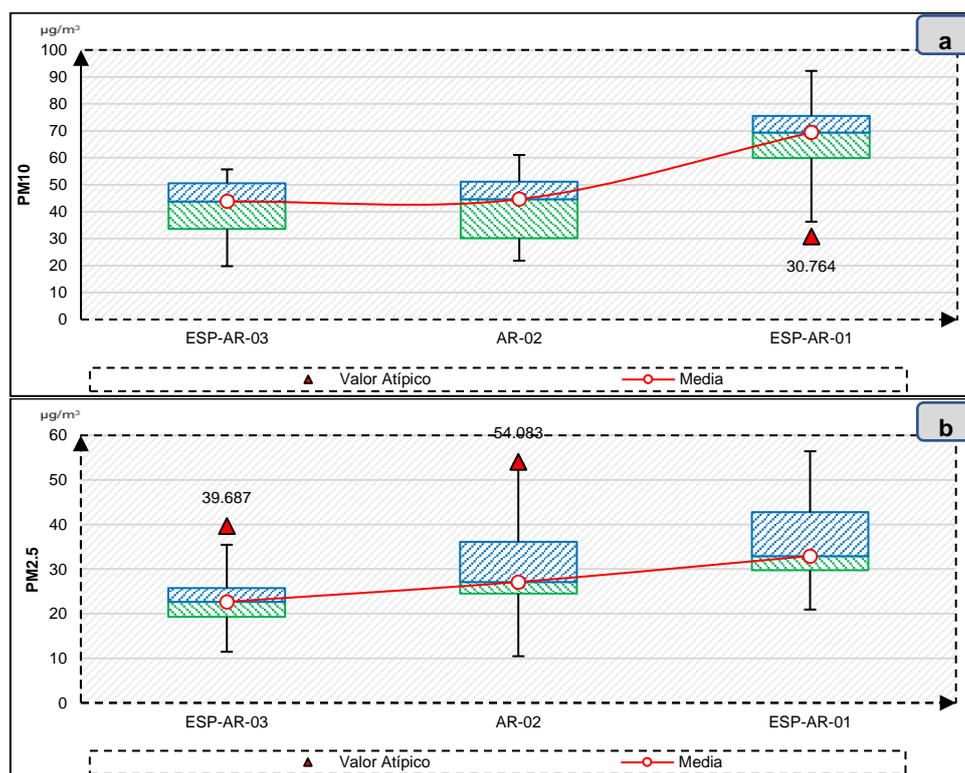


**Figura 8.7.** Comparación de granulometría del material coluvial, material de la vía de acceso de transporte de mineral hacia la planta de Beneficio y material de desmonte

Según indica Vallero (2014), el material particulado incluye a las sustancias sólidas y líquidas presentes en el aire y la EPA<sup>9</sup> los clasifica de acuerdo con el diámetro de la partícula, los PM<sub>10</sub> son aquellas con diámetro de partículas de hasta 10 µm, y las finas PM<sub>2,5</sub> presentan diámetros de hasta 2,5 µm. Para la evaluación se consideró al material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.

Los resultados de las concentraciones de PM<sub>10</sub> presentaron mayor variabilidad de estas en los puntos ESP-AR-03 (antes de relaveras) y AR-02 (sector relaveras), los cuales presentaron la mayor dispersión de datos por efecto de vientos con velocidades en el rango de 5,5 m/s a 7,9 m/s y frecuencias de 12,17 % y 24,78 %, lo que generó el levantamiento de polvo (OMM, 2014) del depósito de relaves (Cancha N°1, 2, 3 4 y 5) y CIL N°1. Según Wark y Warner (2010) indican que la dispersión de un contaminante en la atmósfera es el resultado del movimiento del aire que transporta el contaminante en la dirección del viento.

En la Figura 8.8, se observan medias similares en los puntos ESP-AR-03 y AR-02, y su incremento al llegar al punto ESP-AR.01, siendo en este último superior a las demás, debido a que en este punto se registraron menores velocidades de vientos, la geomorfología de la zona al ser un valle y presencia de los componentes mineros (cancha de acopio, planta de planta de beneficio, vías de acceso a la planta y depósitos de desmonte) los cuales favorecieron a la suspensión del PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.



**Figura 8.8.** Diagrama de cajas de las concentraciones promedio diarias de a) PM<sub>10</sub> y b) PM<sub>2,5</sub>

<sup>9</sup> Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés). Extraído de: <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>, el 18 de diciembre de 2018.

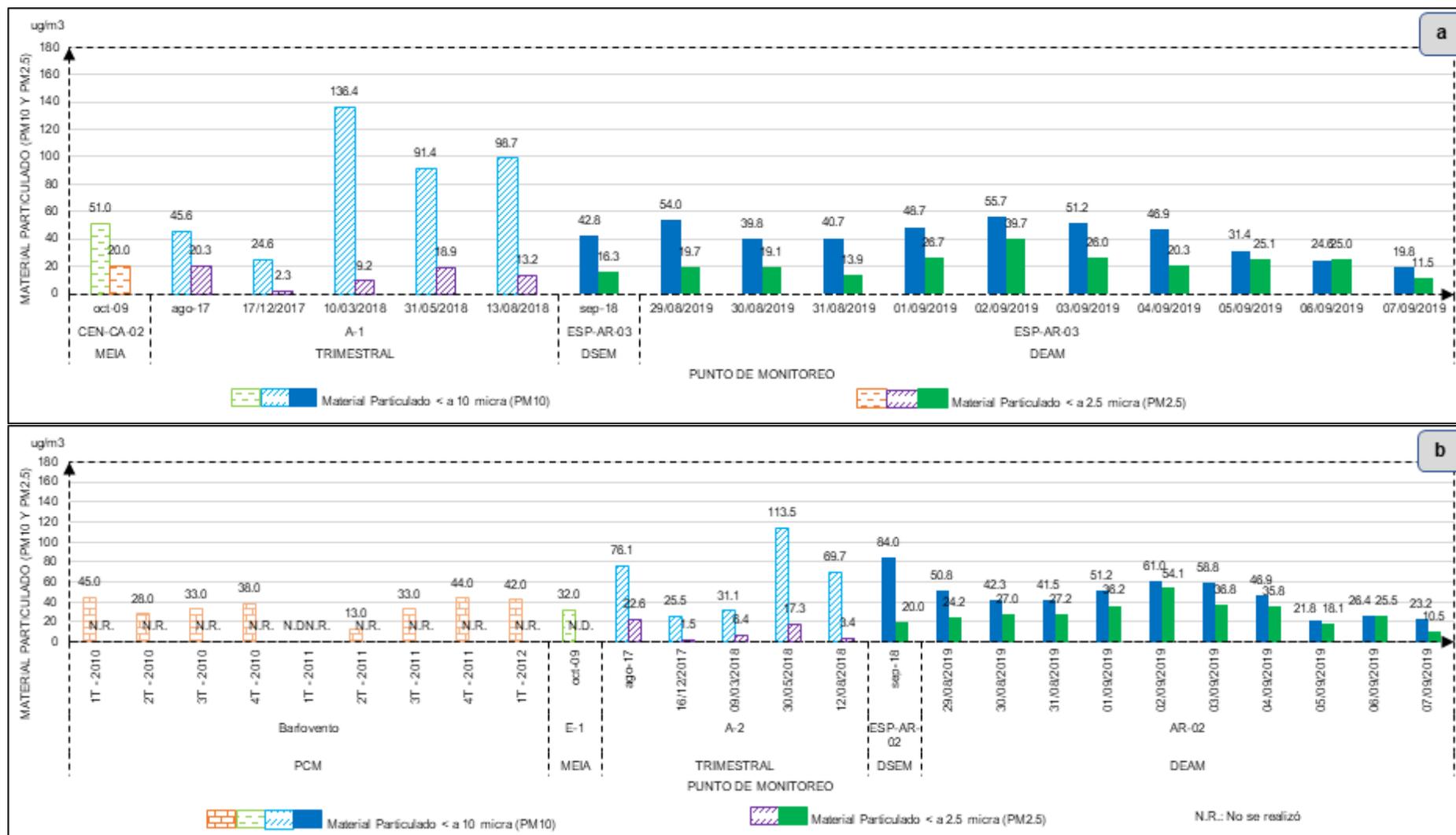


De acuerdo con Mézáros (1999), las partículas de diámetro  $>20 \mu\text{m}$  permanecen en suspensión varias horas y las partículas de  $2 \mu\text{m} - 3 \mu\text{m}$  permanecen suspendidas en la atmósfera de 2 a 4 días, mientras que las partículas de  $0,1 \mu\text{m} - 1 \mu\text{m}$  son las que permanecen mayor tiempo suspendidas. Esto se asocia a la presencia del material suspendido proveniente de los componentes mineros (depósitos de relaves) y material de la vía de acceso de transporte de mineral hacia la planta de beneficio (CGCH-05) los cuales presentan mayor porcentaje de limos y arcillas con diámetros de partículas que van desde 1 a  $45 \mu\text{m}$ .

Sin embargo, las concentraciones diarias de  $\text{PM}_{10}$  registradas en los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y ESP-AR-01, no excedieron los ECA para aire (2001 y 20017) de  $\text{PM}_{10}$ <sup>10</sup>. Por otro lado, las concentraciones de  $\text{PM}_{2,5}$  superaron en el punto de monitoreo ESP-AR-01 (sector Chorunga) los ECA para aire (2008) para  $\text{PM}_{2,5}$ <sup>11</sup>, en 9 de los 10 días y superó el valor del ECA para aire (2017), solo en 1 de los 10 días. Por otro lado, el comportamiento histórico de los resultados de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$  de las estaciones evaluadas en el área de influencia de la UM Chorunga, evidenció picos en distintos meses de los periodos evaluados; sin embargo, en ningún caso excedió el ECA para aire (2001) establecido en su IGA, excepto el punto (ESP-AR-01) en el cuarto trimestre del 2010 que reportó un valor de  $169 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (figuras 8.9 y 8.10).

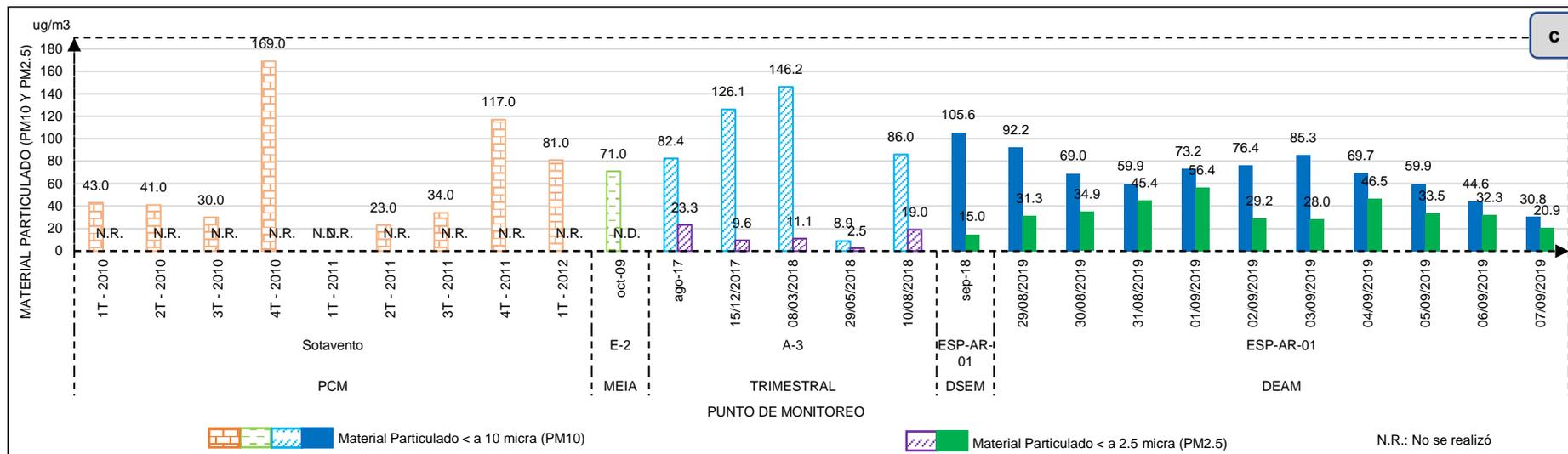
<sup>10</sup> Decreto Supremo N.º 074-2001-PCM ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

<sup>11</sup> Decreto Supremo N.º 003-2008-MINAM ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )



**Figura 8.9.** Comparación de las concentraciones de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) evaluados en el año 2019 con los instrumentos ambientales de la UM Chorunga en los puntos a) ESP-AR-03, b) AR-02

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



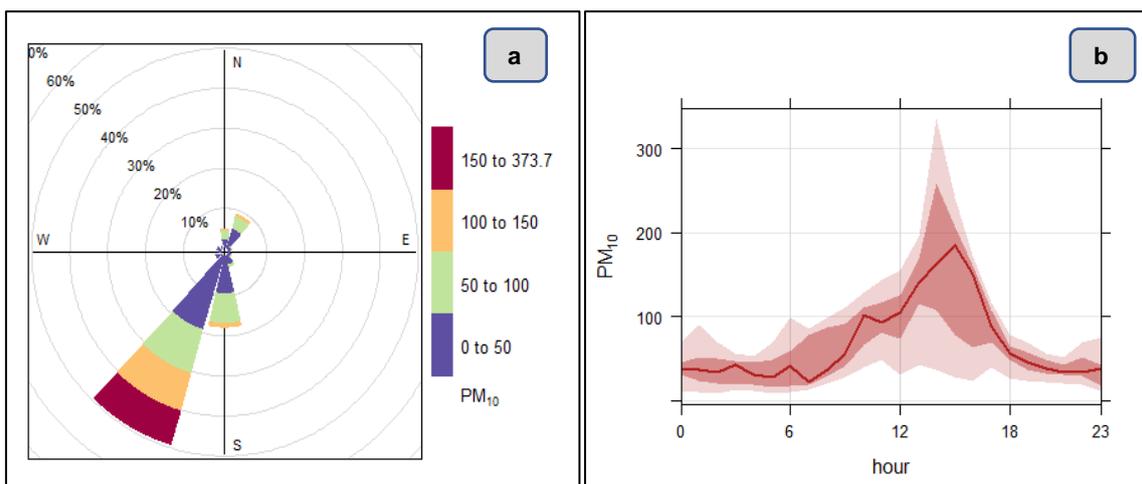
**Figura 8.10.** Comparación de las concentraciones de material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) evaluados en el año 2019 con los instrumentos ambientales de la UM Chorunga en el punto c) ESP-AR-01

Asimismo, el punto ESP-AR-01 considerado en la supervisión de 2018, superó el ECA para aire en  $PM_{10}$  ( $105,550 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); mientras que en la vigilancia 2019, los resultados de concentraciones tuvieron la mayor concentración en el primer día de muestreo ( $92,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para luego presentar una tendencia decreciente, debido al riego por aspersión realizado por la UM Chorunga durante el periodo de ejecución del monitoreo, tal como se observa en la Figura 8.11. y en los vídeos adjuntos en el Anexo 4.



**Figura 8.11.** Riego por aspersión en las vías de acceso en el área de influencia de la UM Chorunga

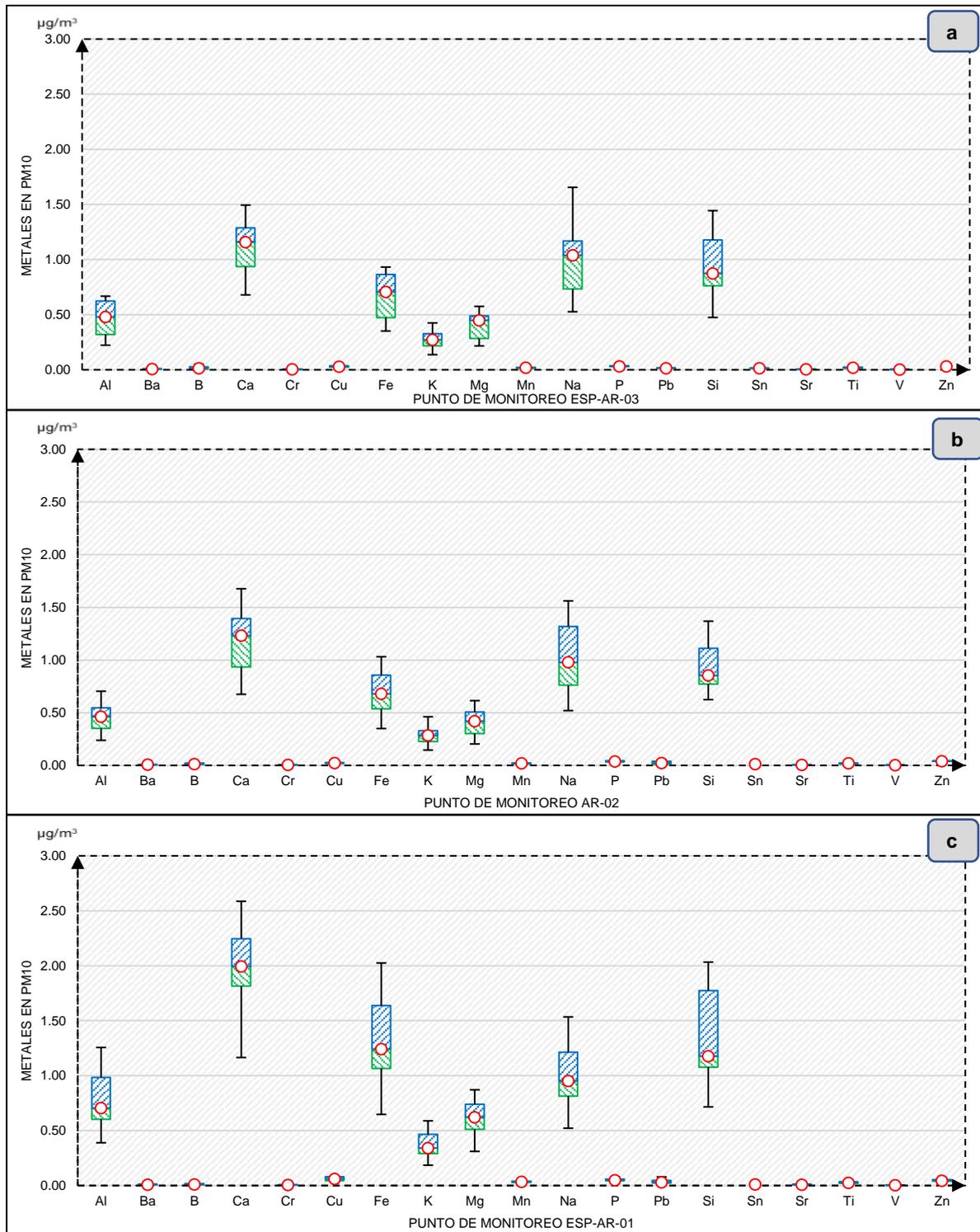
La Figura 8.12.a presenta la rosa de concentración para el punto ESP-AR-01 (sector Chorunga), a través de la cual se observan los máximos valores de concentración en el rango de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $373,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , con vientos que proceden del sur suroeste (SSO). Es evidente que, estos vientos están asociados a altas concentraciones de material particulado en este sector, lo cual indica un aporte de material particulado  $PM_{10}$  proveniente de los componentes del administrado. Mientras que, en la Figura 8.12.b se presentan los valores de las medianas horarias de las concentraciones de  $PM_{10}$ , en donde se observa el incremento desde las 10:00 horas hasta las 14:00 horas; además, desde las 12:00 horas hasta las 17:00 horas, se presentan los valores más altos, mayores a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 8.12.** a) Representación gráfica de rosa de concentración en el punto de monitoreo ESP-AR-01 y b) Mediana horaria (línea roja) de las concentraciones de  $PM_{10}$  en el punto ESP-AR-01

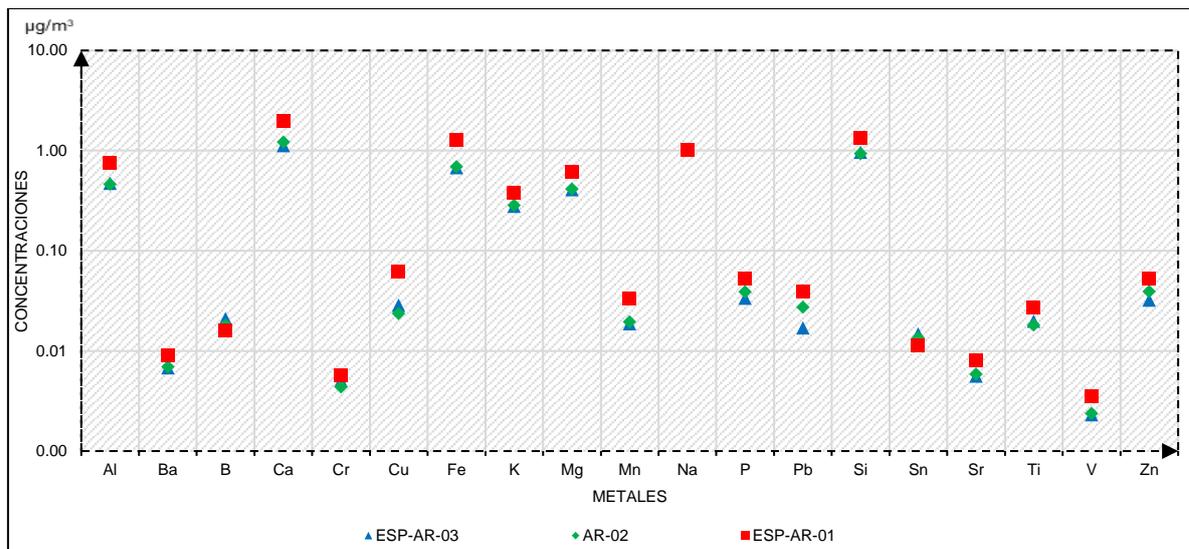
Sobre los metales en  $PM_{10}$  en los 3 sectores evaluados el aluminio, calcio, hierro, potasio, magnesio, sodio y silicio fueron predominantes (Figura 8.13). Las concentraciones de arsénico determinados en  $PM_{10}$ , correspondientes a los puntos de monitoreo ESP-AR-03 y

ESP-AR-01, no excedieron el valor establecido en los niveles máximos permisibles NMP para arsénico en aire igual a  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Asimismo, dichos metales sufrieron un incremento en el punto de monitoreo ESP-AR-01 (sector Chorunga) respecto al punto de monitoreo ESP-AR-03 (sector antes de relaveras). Además, los metales evaluados no excedieron referencialmente los criterios de calidad ambiental del aire (AAQC) incluidos en la norma canadiense.



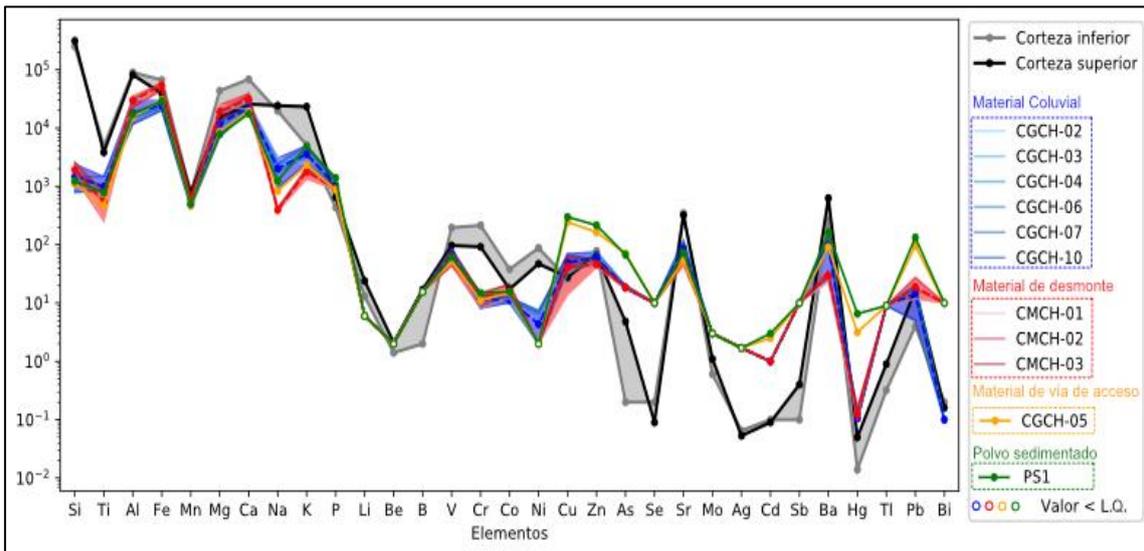
**Figura 8.13.** Caja y bigotes de las concentraciones de metales en las estaciones de monitoreo de la UM Chorunga

En la Figura 8.14. se evidencia la dispersión de los promedios de las concentraciones de metales en los 10 días evaluados en el área de influencia directa de la UM Chorunga, de las cuales se observa que los elementos mayoritarios (aluminio, calcio, hierro, magnesio, potasio y silicio) incrementaron sus concentraciones en el punto de monitoreo ESP-AR-01 (sector Chorunga), respecto al punto ESP-AR-03 (sector antes de relaveras). Asimismo, las concentraciones de cromo, cobre, plomo, vanadio y zinc presentaron el mismo comportamiento; estos elementos en el PM<sub>10</sub> se sustentan por la presencia de los minerales metálicos identificados: pirita (sulfuro de Fe), calcopirita (sulfuro de Cu), galena (sulfuro de Pb), vanaditina (óxido de plomo, vanadio y cloro), esfalerita (sulfuro de Zn) y presencia de partículas de espectros acero (aleación de cromo-hierro) los cuales presentaron tamaños de partículas hasta 10 µm.



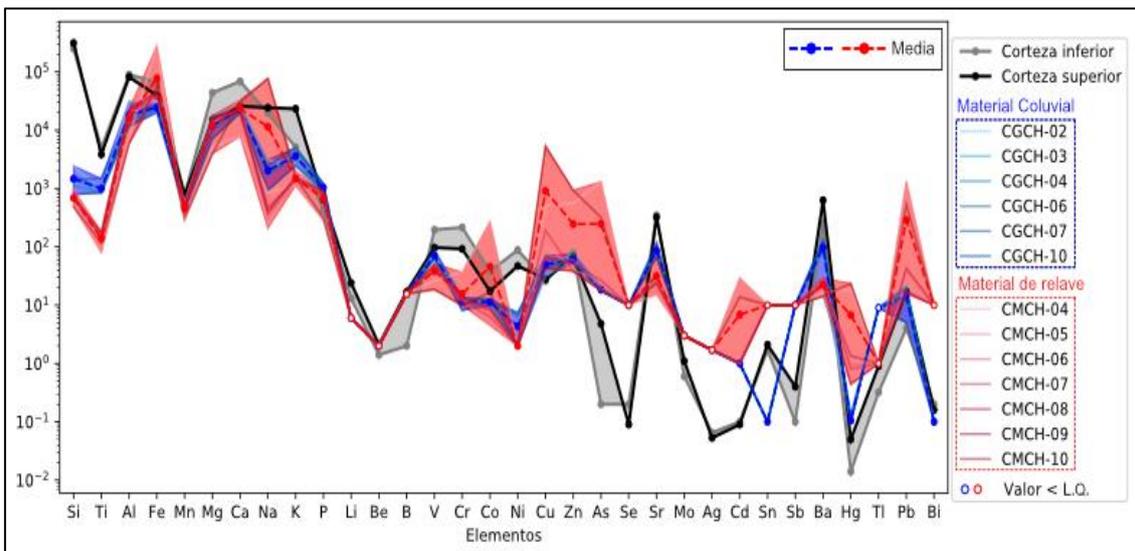
**Figura 8.14.** Dispersión de los promedios de las concentraciones de metales en los puntos de monitoreo de aire en la UM Chorunga.

Asimismo, durante la evaluación se evidenció la presencia de polvo sedimentado en la superficie foliar; en la Figura 8.15, de los 3 puntos evaluados la muestra PS1 (sector Chorunga) presentó concentraciones elevadas de cobre, zinc, arsénico, cadmio, mercurio y plomo con respecto a los puntos PS2 (sector Apillao 2) y PS3 (sector Apillao 1), similares valores de concentración fueron reportados en el punto CGCH-05 (material de la vía de acceso), debido a la descarga de mineral, al procesamiento en la planta de beneficio y al tránsito de vehículos de carga pesada; los cuales generan material particulado que se depositan en zonas aledañas.

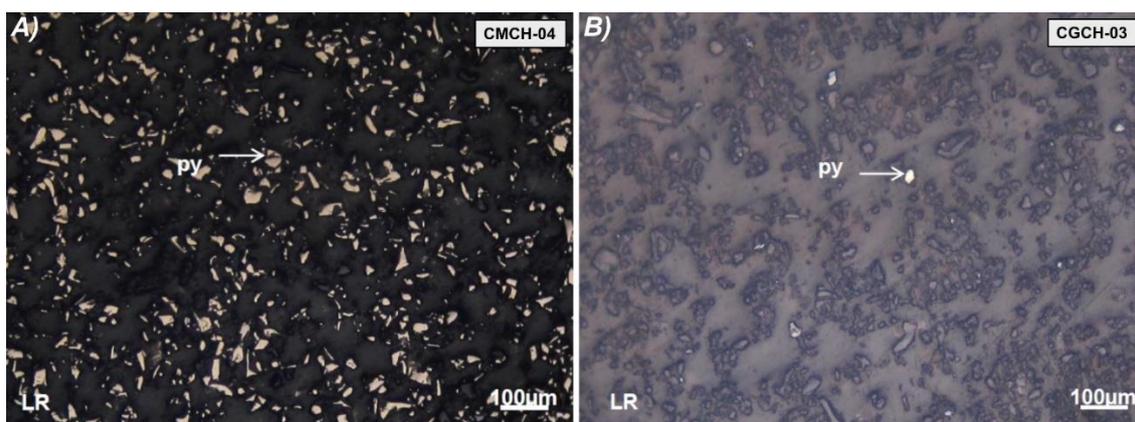


**Figura 8.15.** Comparación de concentraciones de metales de la muestra de material coluvial, componente minero en el depósito de relave y material de la vía de acceso.

De la Figura 8.16 se observa que los puntos CMCH-04 y CMCH-10 presentaron las mayores concentraciones de Fe, Cu, Zn y Pb, dichos elementos se presentan en los minerales metálicos como la pirita (sulfuro de Fe), calcopirita (sulfuro de Cu), esfalerita (sulfuro de Zn) y galena (sulfuro de Pb) los cuales se encontraron presentes en los filtros con PM<sub>10</sub> colectado. En cuanto a la geoquímica del material de los depósitos coluviales y material del depósito de relave se observa que el material coluvial presentó menores concentraciones en comparación a los componentes mineros por la composición mineralógica de ambos tipos de muestra (Figura 8.17). Asimismo, los resultados de granulometría de las muestras de relave presentaron mayor porcentaje de limo y arcilla (Figura 8.4) lo que indicaría que el material particulado presente en el filtro proviene del depósito de relaves de las canchas N° 1, cancha N°2, cancha N° 5 (CMCH-05, CMCH-06 y CMCH-10) y relave en litigio (CMCH-04)

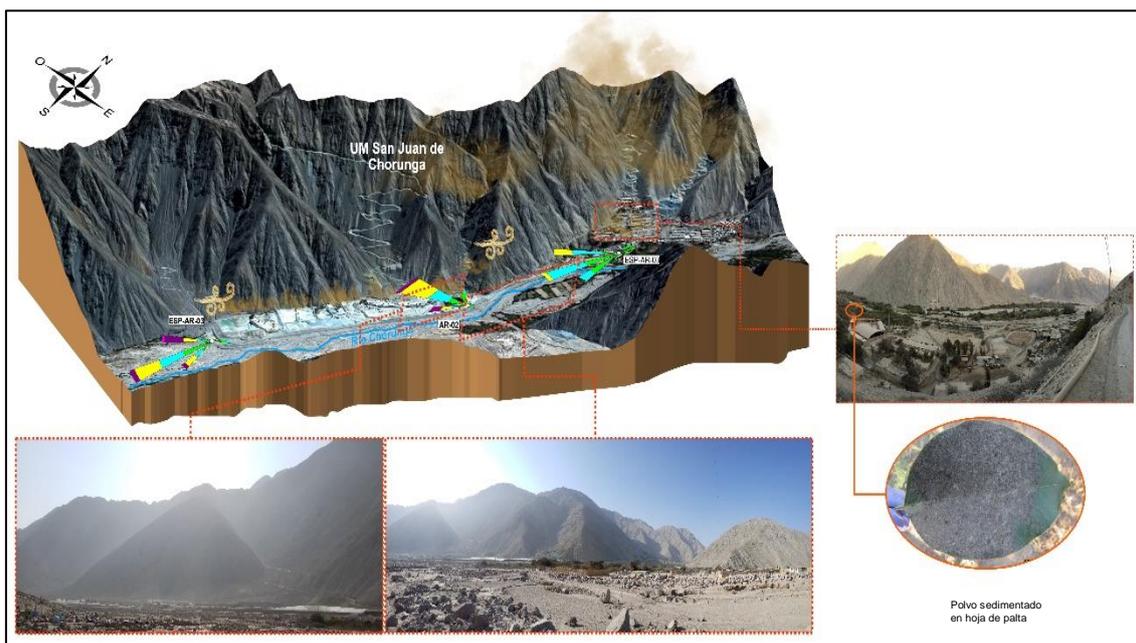


**Figura 8.16.** Comparación de concentraciones de metales totales de la muestra de material coluvial y componente minero en el depósito de relave



**Figura 8.17.** Fotomicrografías de las muestras de relave A) CMCH-04 y material coluvial B) CGCH-03 donde se aprecia que los minerales metálicos son los que integran principalmente las muestras de relave en comparación con el material coluvial

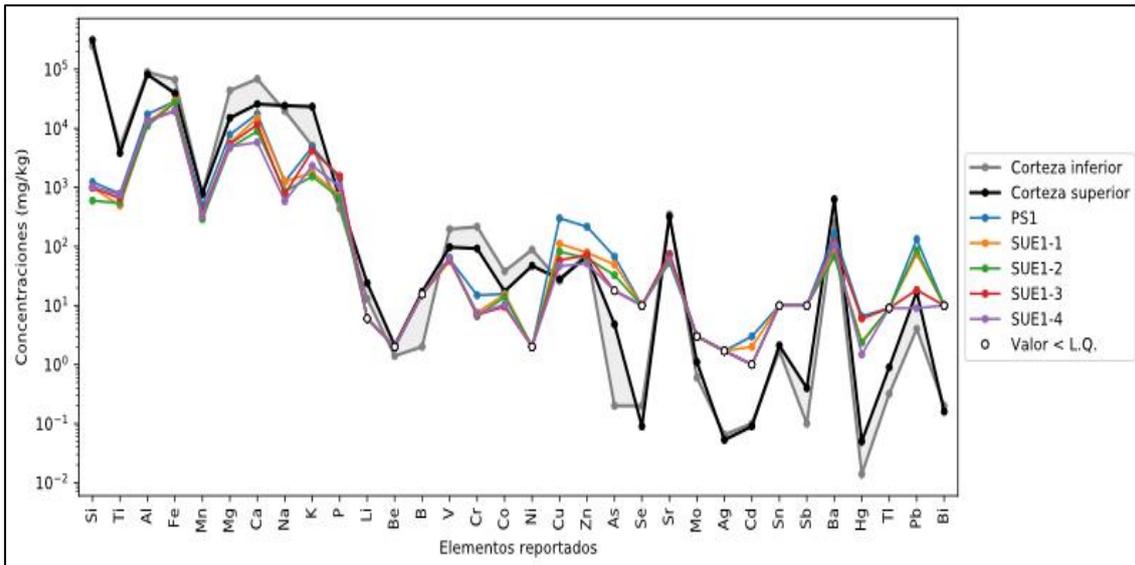
Las concentraciones de cobre, zinc y plomo presentes en la muestra PS1 están asociadas a la actividad de la planta de beneficio, vía de acceso (CGCH-05) y los depósitos de relaves (CMCH-04, CMCH-05, CMCH-06 y CMCH-10) los cuales presentan similar composición mineralógica por la presencia de calcopirita, esfalerita y galena. Asimismo, el análisis granulométrico nos indica que la muestra compuesta PS presentó mayor porcentaje de limo y arcilla, lo que corrobora que los componentes mineros mencionados son las principales fuentes de material particulado y metales (Figura 8.18).



**Figura 8.18.** Esquema conceptual del transporte del material particulado proveniente del depósito de relaves hacia sector Chorunga.

Los resultados de las concentraciones de metales en suelo de los sectores Chorunga (SUE1), Apillao 2 (SUE3) y Apillao 1 (SUE2) no superaron los ECA para suelo de uso agrícola (2017). Sin embargo, las concentraciones de cobre, zinc y plomo en el sector Chorunga presentaron similar tendencia al polvo sedimentado (PS1); asimismo, en los puntos de muestreo SUE1-1 y SUE1-2 se presentaron las mayores concentraciones como se observa en la Figura 8.19. Del análisis mineralógico en la muestra SUE1-1 se identificaron minerales metálicos con mayor número de observaciones como la pirita y galena. Por lo

mencionado, dicho comportamiento se debería a la proximidad del área de operaciones (planta de beneficio y vía de acceso de transporte de mineral).



**Figura 8.19.** Comparación de concentraciones de metales totales de la muestra de polvo sedimentado y suelo en el sector Chorunga

## 9. CONCLUSIONES

- Durante los 10 días de monitoreo el material particulado ( $PM_{2.5}$ ) en el punto ESP-AR-03 (4 días) y en el punto ESP-AR-01 (9 días) superó el valor de los Estándares de Calidad Ambiental para Aire del Decreto Supremo N.º 003-2008-MINAM, y en el punto ESP-AR-01 (1 día) superó referencialmente el valor del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Aire del Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM. El material particulado ( $PM_{10}$ ) en dichos puntos de monitoreo no superó el valor de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire del Decreto Supremo N.º 074-2001-PCM, ni referencialmente el ECA para aire 2017.
- Las concentraciones de metales en  $PM_{10}$  no excedieron referencialmente la norma Ontario's Ambient Air Quality Criteria Standards (AAQC) - 2012, ni los Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos gaseosos provenientes de las unidades minero-metalúrgicas de la Resolución Ministerial N.º 315-96-EM/VMM para arsénico (1996). Sin embargo, se evidencia incremento de metales en el punto ESP-AR-01 (sector Chorunga) en comparación con el punto ESP-AR-03 (sector antes de las relaveras).
- En el punto de monitoreo ESP-AR 01 se registró incrementos de las concentraciones horarias de  $PM_{10}$ , alcanzando valores mayores de concentraciones a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre las 12:00 horas y 17:00 horas.
- Los registros meteorológicos del 29 de agosto al 8 de setiembre de 2019 en los puntos de monitoreo ESP-AR-03, AR-02 y ESP-AR-01, evidenciaron que las direcciones de vientos fueron sursuroeste, oeste y sursuroeste, respectivamente y, las velocidades de viento mayores se presentaron en el horario diurno desde las 10:00 horas hasta las 19:00 horas.
- Durante el periodo de monitoreo no se registró precipitaciones, por lo cual, los vientos tienen influencia en el transporte del material particulado desde los componentes mineros de la unidad minera Chorunga hacia sector Chorunga.

- Se determinó que los componentes mineros (depósito de relaves, vía de acceso de transporte de mineral y las actividades de la operación de la UM Chorunga) son las fuentes principales de material particulado de acuerdo con el análisis mineralógico y granulométrico. Dado que su caracterización presentó concentraciones de cobre, zinc y plomo mayores a los contenidos en el material coluvial y roca.
- Respecto a la caracterización del polvo sedimentado y suelo en el sector Chorunga se evidenció que las concentraciones de cobre, zinc y plomo fueron similares al material de la vía de acceso de transporte de mineral hacia la planta de beneficio y a los depósitos de relaves de la Cancha N.º 5 (CIL N.º 1) y el relave que se encuentra en litigio de acuerdo con los resultados del análisis mineralógico y granulométrico.

## 10. RECOMENDACIONES

- Remitir una copia del presente informe a la Dirección de Supervisión Ambiental en Energía y Minas (DSEM).
- Continuar con la vigilancia ambiental en el área de influencia de la unidad minera Chorunga.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Barnes, J. W., & Lisle, R. J. (2004). Basic Geological Mapping.

Coe, A. L., Argles, T. W., Rothery, D. A., & Spicer, R. A. (2010). Geological Field Techniques.

Csavina, J., Field, J., Taylor, M. P., Gao, S., Landázuri, A., Betterton, E. A., & Sáez, A. E. (2012). A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations. *Science of the Total Environment*, 433, 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.013>

Huggett, R. (2003). *Fundamentals of Geomorphology* (Vol. 5). New York. Retrieved from <https://www.crcpress.com/Fundamentals-of-Picoscience/Sattler/p/book/9781466505094#googlePreviewContainer>

INGEMMET. (1983) Geología de los cuadrángulos de: Pausa 31-p y Caravelí 32-p. Lima. [http://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/ingemmet/156/4/A-037-Boletin\\_Pausa-31p\\_Caraveli-32p.PDF](http://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/ingemmet/156/4/A-037-Boletin_Pausa-31p_Caraveli-32p.PDF)

INGEMMET. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (32-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p). Lima.

Lisle, R. J. (1989). Geological structures and maps. *Journal of Structural Geology*, 11(3), 370–371. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(89\)90079-5](https://doi.org/10.1016/0191-8141(89)90079-5)

Martinez, A. M. (2016). Compositional Diversity in Arcs: A Record of Magmatic Processes in the Peru Coastal Batholith, Ica. Retrieved from <http://scholarsrepository.llu.edu/etd/389>

Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Akadémiai Kiado.

Organización Meteorológica Mundial. (2014). Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos.

Pateraki, S., Asimakopoulos, D.N., Flocas, H.A., Maggos, T. & Vasilakos, C. (2012). The role of meteorology on different sized aerosol fractions (PM10, PM2.5, PM2.5–10). *Science of the Total Environment*. 419:124–135.

Rudnick, R. L. (2014). *Composition of the Continental Crust*. (Elsevier Ltd., Ed.) (3rd ed.). USA.

USGS. (2006). *FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization*, (August).

Song, Maher, Li, Wang, Sun y Zhang (2015). Particulate matter deposited on leaf of five evergreen species in Beijing, China: Source identification and size distribution Particulate

Vallero, D. (2014). *Fundamentals of Air Pollution (Fifth Edition)*. 1-999.

Wark, K. & Warner, C. (2010). *Contaminación del aire: origen y control*. Editorial Limusa. 650pp.

Yao, Q., Cai, Z.Y. & Zhang, C.C. (2010). Variety characteristics and influence factors of aerosol mass concentrations in Tianjin City. *Ecology and Environmental Science*. 19: 2225–2231.

Yu & Yang (2016). Analysis on Dust Retention Measurement of Common Plant Leaves in Shenyang.

## 12. ANEXOS

Anexo 1: Mapas

Anexo 2: Reporte de campo (Fichas de campo, cadenas de custodia, certificados de calibración de equipos de monitoreo, registro fotográfico, etc.)

Anexo 3: Reporte de resultados (registro meteorológico, cálculos de concentraciones de aire, informes de ensayo de aire, suelo, polvo sedimentado, componente minero y caracterización geológica)

Anexo 4: Videos de evidencia (transporte de material particulado por el viento)

Es cuanto informamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente:

[LFAJARDO]

[LANCCO]



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 Lucha contra la Corrupción y la Impunidad

**[CAMAYA]**

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

**[DRAMOS]**



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 01511648"



01511648