

**INFORME N° 00278-2019-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 JORGE KELVIN ALVAREZ TEJADA Especialista de Evaluaciones Ambientales
ASUNTO	:	Caracterización geológica del área de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada, y los pasivos ambientales mineros (depósitos de desmonte) ubicados en las márgenes del río Michiquillay, la quebrada Carbón y el sector aeropuerto.
CUE	:	2018-03-0004
CÓDIGO DE ACCIÓN	:	0003-3-2019-401 y 0002-6-2019-401
REFERENCIA	:	Planefa 2019
FECHA	:	Lima, 11 de noviembre de 2019

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

1. INFORMACIÓN GENERAL**Tabla 1.1.** Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona evaluada	Comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada localizadas en el distrito La Encañada, provincia y departamento Cajamarca
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Proyecto minero Michiquillay
c.	La actividad se realizó en el marco de	Planefa 2019 / POI 2019
d.	Tipo de evaluación	Estudio especializado de la EAT Michiquillay
e.	Periodo de ejecución	Del 5 al 14 de marzo 2019 Del 3 al 12 de junio 2019

Profesionales que aportaron a este documento:

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N°	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero Químico	Gabinete
2	Luis Angel Ancco Pichuilla	Ingeniero Químico	Gabinete
3	Jacqueline Pechuga Melgar	Ingeniera Geóloga	Gabinete/campo

N°	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada
4	Gady Janine Ascencio Jurado	Ingeniera Química	Gabinete
5	Jorge Kelvin Alvarez Tejada	Biólogo	Gabinete

2. INTRODUCCIÓN

En el área de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada -ubicadas en el distrito La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca- se encuentra el proyecto minero Michiquillay de Southern Perú Corporation Sucursal del Perú¹. Este informe contiene la caracterización geológica de las mencionadas comunidades campesinas, y de los pasivos ambientales mineros existentes en las márgenes del río Michiquillay, la quebrada Carbón y el sector aeropuerto (en adelante, área de estudio).

El proyecto minero Michiquillay de Southern Perú Corporation Sucursal del Perú es un yacimiento minero de tipo pórfido Cu-Mo (Au) relacionada a la Franja metalogenética N° XX (INGEMMET, 2009). Caracterizada por presentar rocas del mesozóico al cenozóico que incluye al grupo goyllarisquizga compuesto por rocas sedimentarias - silicoclasticas y el basamento ígneo intrusivo cuarzomonzonítico, granodiorítico, tonalítico y diorítico, además de depósitos cuaternarios recientes de origen fluvial, coluvial, eluvial.

Las rocas que se distribuyen en las comunidades campesinas de La Encañada y Michiquillay fueron delimitadas de acuerdo a las variedades litológicas, conjuntamente con los análisis de geoquímica. Además, los pasivos ambientales mineros que se encuentran en el área de estudio fueron caracterizados a través del análisis de los resultados fisicoquímicos que ayudaron a determinar su posible influencia química en los componentes ambientales.

El análisis conjunto de la información recolectada, sirvió de sustento para evaluar las condiciones naturales que existen en el área de estudio.

3. OBJETIVO

3.1 Objetivo general

- Caracterizar la geología del área de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada, y los pasivos ambientales mineros (depósitos de desmonte) ubicados en las márgenes del río Michiquillay, la quebrada Carbón y el sector aeropuerto.

3.2 Objetivos específicos

- Describir la geología local del área de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada.
- Caracterizar los principales afloramientos rocosos del área de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada
- Caracterizar los depósitos de desmonte aledaños al túnel Michiquillay, sector aeropuerto y a la margen izquierda de la quebrada Carbón.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende las comunidades campesinas La Encañada (CC. La Encañada) y Michiquillay (CC. Michiquillay) pertenecientes al distrito La Encañada,

¹ Adjudicado a Southern Perú Copper Corporation el 20 de febrero del 2018 por ProInversión y cuya firma de contrato se realizó el 12 de junio de 2018.

provincia y departamento Cajamarca (Figura 5.1), a una altitud que varía de 3275 a 4000 m s.n.m.

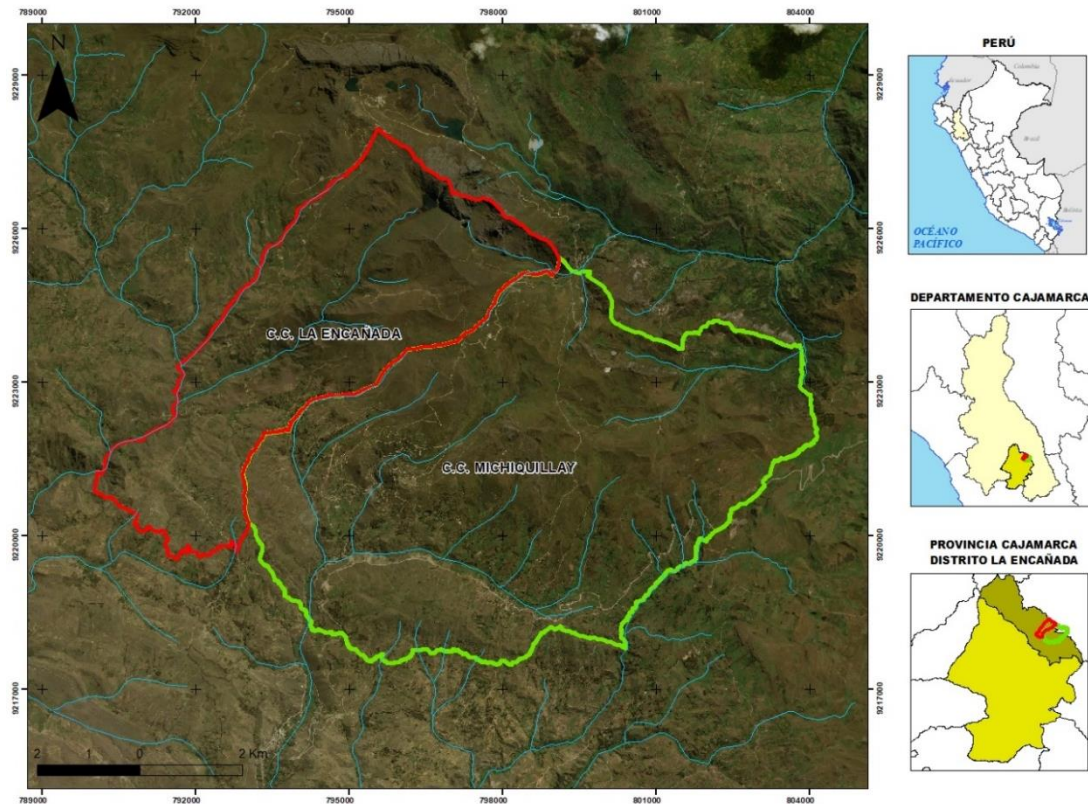


Figura 5.1. Ubicación del área de estudio que comprende las comunidades campesinas de La Encañada y Michiquillay

5. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la caracterización geológica, de roca y de pasivos ambientales mineros, se detallan en los siguientes ítems:

5.1. Protocolo de monitoreo

5.1.1. Caracterización geológica

La caracterización geológica consistió en la descripción litológica, estructural, alteración y mineralización en el área de las CC. La Encañada y CC. Michiquillay.

Los estándares o protocolos tomados como referencia para la caracterización geológica corresponden a los servicios geológicos del Perú, Colombia y Estados Unidos, además, las recomendaciones mencionadas en las guías y manuales internacionales que se listan en la Tabla 5.1. De manera complementaria se utilizó la información geológica descrita en el Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado del Proyecto de Exploración Michiquillay aprobado con Resolución Directoral N.º 057-2009-MEM/AAM el 12 de marzo de 2009 (en adelante, EIASd Michiquillay 2009) y en la Primera Modificación al Estudio de Impacto Ambiental SemiDetallado del Proyecto de Exploración Michiquillay aprobado con Resolución Directoral N.º 182-2013-MEM/AAM el 10 de junio de 2013 (en adelante, MEIASd Michiquillay 2013).

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

Tabla 5.1. Referencias para la caracterización geológica

Autoridad emisora / autor	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	Reino unido	Basic Geological Mapping	2011
Angela L. Coe, Tom W. Argles, David A. Rothery y Robert A. Spicer	Reino unido	Geological field techniques	2010
Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, en inglés <i>United States Geological Survey</i>)	Estados Unidos	FGDC Digital Cartographic Standard for Geological Map Symbolization	2006
Richard J. Lisle	Reino unido	Geological Structures and Maps	2004
Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS)	Colombia	Estándares cartográficos y de manejo de información gráfica para mapas geológicos	2001

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1. Ubicación de puntos

La caracterización geológica se realizó en las comunidades de Michiquillay y La Encañada, considerando la delimitación de las concesiones mineras; además, de otros aspectos como zonas mineralizadas, no mineralizadas y componentes ambientales. El detalle de los puntos de control geológico se encuentra en el Anexo 1.1.

5.1.1.2. Equipos y metodología de análisis

Las mediciones y descripciones macroscópicas de afloramientos rocosos se realizaron *in situ*, se tomaron datos de rumbo/azimut, buzamiento y dirección de buzamiento de estratos (EN), fallas geológicas (FA), diaclasas (DI), fracturas (FR), estructuras geológicas (EG: diques y venillas). La descripción macroscópica consistió en determinar la litología, minerales de alteración, primarios, secundarios y accesorios.

La descripción litológica y el mapa de campo fueron georeferenciados y digitalizados en el software ArcGis 10.3 que posteriormente fueron plasmados en el mapa geológico local a escala 1:200000. Además, se generaron secciones geológicas a escala 1:5000, con la finalidad de conocer la disposición estratigráfica de las rocas en profundidad.

Los equipos y herramientas utilizados para la caracterización geológica se detallan en el Tabla 5.2.

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

Tabla 5.2. Equipos y herramientas utilizados para la caracterización geológica

Equipos/ Materiales	Marca	Modelo	Serie
GPS	Garmin	Montana 680	4HU004989
Cámara digital	Canon	Powershot d30BL	92051001958
Brújula	Brunton	S/M	S/S
Picota	Estwing	Picota mango largo	S/S
Lupa	Bausch-Lomb	10x	S/S

5.1.1.3. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos en el cartografiado de campo fueron interpretados y plasmados en un mapa geológico local, el mismo que contiene las unidades litológicas, litoestratigráficas, estructurales (diaclasas, fracturas, fallas, pliegues, diques, etc.) y alteraciones. Se generaron secciones geológicas relacionadas a los componentes ambientales (agua y suelo), así como, la información detallada de cada litológica.

5.1.2. Caracterización de roca

Las referencias para el muestreo de roca fueron tomadas del servicio geológico de Perú y Chile, además, se tomó en consideración las recomendaciones establecidas en los libros, guías y manuales internacionales indicados en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Referencias para la caracterización geoquímica de roca

Título	Autor	País	Año
Manual de inventario de recursos minerales	Dirección de Recursos Minerales y Energéticos de INGEMMET	Perú	2013
Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras	Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)	Chile	2015
Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials	Natural Resource Canada CANMET- Mining and Mineral Sciences Laboratories Smithers VOJ 2N0	Canadá	2009
Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto	Ángel Lambert B.	Chile	2006
Introducción al muestreo minero	Marco Antonio Alfaro Sironvalle	Chile	2002

Fuente: Elaboración propia

5.1.2.1. Ubicación de puntos de muestreo

Se realizó el muestreo de roca con la finalidad de conocer la química de la roca a través del análisis de resultados fisicoquímicos en condiciones naturales, para lo cual se extrajeron muestras en afloramientos ígneos, metamórficos y sedimentarios en el área de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada. En la Tabla 5.4. y en la Figura 5.2. se muestran la ubicación de los puntos de muestreo de roca.

Tabla 5.4. Ubicación de puntos de muestreo de roca

N°	Microcuencua	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 17 M		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	La Encañada	RM-01	798040	9221734	3839	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Nellas y área aledaña a la laguna Brava
2		RM-02	798423	9221493	3737	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Nellas y área aledaña a la laguna Cochecorral
3		RM-03	797847	9223861	3906	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Quinuayoc y Seca

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

N°	Microcuenca	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 17 M		Altitud (m s. n. m.)	Descripción	
			Este (m)	Norte (m)			
4		RM-04	796930	9223723	3907	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Quinuayoc y área aledaña a la laguna Huachacocha	
5		RM-05	796597	9223381	3862	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Quinuayoc y área aledaña a la laguna Caballero	
6		RM-06	796644	9222965	3833	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Seca y área aledaña a la laguna Señoracocha	
7		RM-08	795094	9219831	3360	Muestra ubicada en la margen izquierda del río Michiquillay a 1.2 kilómetros del túnel Michiquillay	
8		RM-09	798377	9222668	3735	Muestra ubicada de la margen izquierda del río Michiquillay, a 600 metros de la antena de telefonía celular	
9		RM-10	796751	9221777	3668	Muestra ubicada en la margen derecha del río Michiquillay, a 1,2 kilómetros de la antena de telefonía celular	
10		RM-11	795951	9221504	3577	Muestra ubicada de la margen izquierda del río Michiquillay, a 600 metros del túnel Michiquillay	
11		RM-12	795248	9221154	4314	Muestra ubicada de la margen derecha del río Michiquillay, a 300 metros del túnel Michiquillay	
12		RM-13	795284	9220890	3827	Muestra ubicada de la margen derecha del río Michiquillay, a 600 metros del sector Michiquillay	
13		RM-14	797265	9220118	3525	Muestra ubicada en la margen derecha de la quebrada Las Nellas	
14		RM-15	794160	9221481	3481	Muestra ubicada en la margen derecha del río Seco	
15		RM-16	797636	9223687	3921	Muestra ubicada en la naciente del río Seco y la quebrada Quinuayoc	
16		RM-18	796952	9224930	3882	Muestra ubicada en el área aledaña a la laguna Lipiac	
17		RM-24	800360	9221105	3822	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada La Toma	
18		Cotocuna	RM-19	799503	9222574	3767	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Vigón
19			RM-20	799977	9223324	3824	Muestra ubicada en el área aledaña a la laguna Tarucacocha
20	RM-21		799154	9223342	3828	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada Punre	
21	Chanche	RM-07	799555	9219639	3627	Muestra ubicada en la margen izquierda de la quebrada La Toma	
22		RM-22	799600	9224555	3682	Muestra ubicada en la margen izquierda de la quebrada Punre	
23		RM-23	797260	9226199	3759	Muestra ubicada en la naciente de la quebrada El Carbón y El Lago	
24		RM-17	798716	9225446	3709	Muestra ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Lago	

Fuente: Fichas de datos de campo de roca (Anexo 1.2)

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

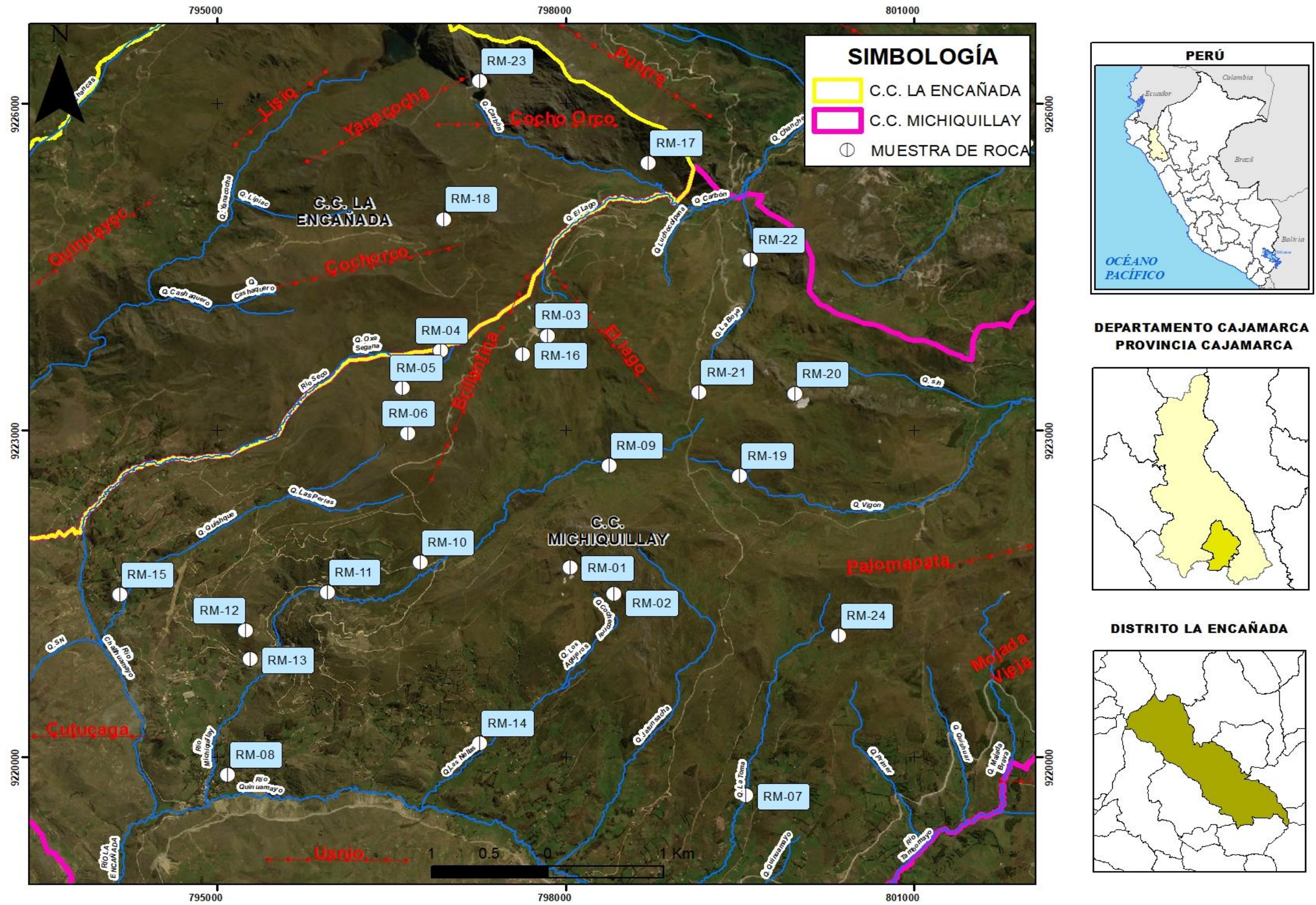


Figura 5.2. Ubicación de los puntos de muestreo de roca en las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada

5.1.2.2. Equipos y metodología de análisis

Los equipos que se utilizaron para el muestreo de roca se detallan en Tabla 5.5., y los parámetros de análisis en la Tabla 5.6.

Tabla 5.5. Equipos y herramientas utilizados para el muestreo de roca

Equipos/ Materiales	Marca	Modelo	Serie
Equipo de posicionamiento GPS	GARMIN	Montana 680	4HU004998
Cámara fotográfica digital	CANON	Powershot d30BL	92051001601
Brújula	Brunton	S/M	S/S
Picota	Estwing	Picota mango largo	S/S
Lupa	Bausch-Lomb	10x	S/S

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.6. Equipos y herramientas utilizados para muestreo de roca

Parámetro	Método de Análisis	Laboratorio	Requerimiento de servicio	N.º de muestras ejecutadas	Observaciones
Prueba de lixiviación SPLP (metales)	PE-4412	AGQ PERÚ S.A.C.	1463-2019	12	-
ABA	PE-4416 PE-4407 PE-4402 PE-4409	AGQ PERÚ S.A.C.		23	-
Prueba de lixiviación SPLP (aniones)	EPA METHOD 300.1 Rev. 1 1997	ALS LS Perú S.A.C.	1875-2019	12	-
Análisis de roca total - Whole rock	PE-4041 PE-4043	AGQ PERÚ S.A.C.	1874-2019	6	-
Análisis mineralógico	Difracción de rayos x	BIZA LAB	1462-2019	12	-
Metales totales y mercurio	EPA 3050 B. 1996/EPA 6010 B: 1996 EPA 7471 B. Rev. 2, febrero 2007	ALS LS Perú S.A.C.	1467-2019	26	Incluye 2 duplicados

Fuente: Elaboración propia

5.1.2.3. Procesamiento de datos

El análisis de la caracterización geoquímica de roca se realizó a través de la descripción y análisis de la composición mineralógica, contenido de metales totales (ICP-OES). Además, la caracterización de cada litología fue complementada con la prueba estática de balance ácido-base (ABA) y las pruebas de SPLP (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure*) en metales y aniones para representar la posible movilidad de analitos inorgánicos (metales) presentes. Finalmente, se complementó con el análisis de whole rock para la comparación con las concentraciones de la corteza terrestre (Wedepohl, 1995).

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

5.1.3. Caracterización de los pasivos ambientales mineros

Las referencias para la caracterización de componentes mineros se detallan en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Guías utilizadas para la caracterización para pasivo ambiental minero

Nº	Nombre del Protocolo / Guía
1	Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras, Ministerio de Minería de Chile (Sernageomin, 2015)
2	Manual de inventario de recursos minerales (Ingemmet, 2013)
3	Manual de muestreo para exploración, minería subterránea y rajo abierto (Lambert, 2006)
4	Introducción al muestreo minero (Alfaro, 2002)
5	Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros (Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros)

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.1. Ubicación de puntos de muestreo

La ubicación de los puntos de muestreo en los pasivos ambientales mineros se realizó considerando los lineamientos de la guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras (Sernageomin, 2015).

El muestreo fue puntual y se realizó en los depósitos de desmontes adyacentes al túnel Michiquillay y en el sector aeropuerto que corresponden a las concesiones de Southern Perú Copper Corporation Sucursal Perú. Además, se evaluó el material aledaño a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón que pertenece a la concesión minera de Yanacocha S.R.L (Minas Conga 6), el detalle se presenta en las Tabla 5.8, Figura 5.3 y Anexo 1.3.

Tabla 5.8. Ubicación de puntos de muestreo de pasivo ambiental minero

Nº	Microcuenca	Código	Coordenadas UTM WGS-84 Zona 17 M		Altitud (m s. n. m.)	Descripción
			Este (m)	Norte (m)		
1	Michiquillay	PM-01	794713	9221782	3575	Muestras ubicadas en el sector aeropuerto
2		PM-02	794705	9221756	3578	
3		PM-03	794703	9221726	3576	
4		PM-04	794690	9221674	3574	
5		PM-05	795612	9221022	3507	Muestras ubicadas en el depósito de desmonte adyacentes al túnel Michiquillay
6	PM-06	795608	9220985	3498		
7	Chanche	PM-07	798952	9225346	3729	Muestras ubicadas en la margen izquierda de la quebrada El Carbón
8		PM-08	799026	9225201	3707	

Fuente: Fichas de datos de campo de pasivos ambientales mineros (Anexo 1.3)

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

5.1.3.2. Equipos y metodología de análisis

Los equipos que se utilizaron para el muestreo de pasivos ambientales mineros se detallan en Tabla 5.9., y los parámetros de análisis en la Tabla 5.10.

Tabla 5.9. Equipos y herramientas utilizados para pasivo ambiental minero

Equipos/ Materiales	Marca	Modelo	Serie
Equipo de posicionamiento GPS	GARMIN	Montana 680	4HU004998
Cámara fotográfica digital	CANON	Powershot d30BL	92051001601
Brújula	Brunton	S/M	S/S
Picota	Estwing	Picota mango largo	S/S
Lupa	Bausch-Lomb	10x	S/S

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.10. Parámetros evaluados en los pasivos ambientales mineros

Parámetro	Método de Análisis	Laboratorio	Requerimiento de servicio	N.º de muestras ejecutadas
Prueba de lixiviación SPLP (metales)	PE-4412	AGQ PERÚ S.A.C.	1463-2019	3
ABA	PE-4416 PE-4407 PE-4402 PE-4409	AGQ PERÚ S.A.C.		5
Prueba de lixiviación SPLP (aniones)	EPA METHOD 300.1 Rev. 1 1997	ALS LS Perú S.A.C.	1875-2019	3
Análisis de roca total - Whole rock	PE-4041 PE-4043	AGQ PERÚ S.A.C.	1874-2019	3
Análisis mineralógico	Difracción de rayos x	BIZA LAB	1462-2019	3
Metales totales y mercurio	EPA 3050 B. 1996/EPA 6010 B: 1996 EPA 7471 B. Rev. 2, febrero 2007	ALS LS Perú S.A.C.	1467-2019	8

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.3. Procesamiento de datos

Para caracterizar la composición química, mineralógica, potencial generación de acidez, lixiviación y movilidad de metales y aniones presentes en los depósitos de desmontes adyacentes al túnel Michiquillay, sector aeropuerto y bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón; se evaluaron los resultados de metales totales, análisis mineralógico, prueba estática de balance ácido-base (ABA), whole rock (roca total) y pruebas de SPLP (Synthetic Precipitation Leaching Procedure) para metales y aniones.

6. RESULTADOS Y ANALÍISIS

6.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La geología del área de estudio está compuesta por rocas del cretácico inferior correspondiente al grupo goyllarisquizga representada por rocas silicoclasticas y rocas ígneas intrusivas granodioríticas, tonalíticas y dioríticas. En tanto, que el cuaternario se halla conformado por depósitos antiguos y recientes de origen fluvial, coluvial y aluvial que constituyen el relleno del fondo de los valles y cubierta de las laderas de los cerros.

Estratigráficamente el área de estudio, está conformada por calizas, cuarcitas, areniscas, lutitas e intrusiones dioríticas, cuarzomozoníticas, además de materiales recientes, consolidados y semiconsolidados de gravas, arenas y arcillas, que forman parte del cuaternario (Figura 6.1).

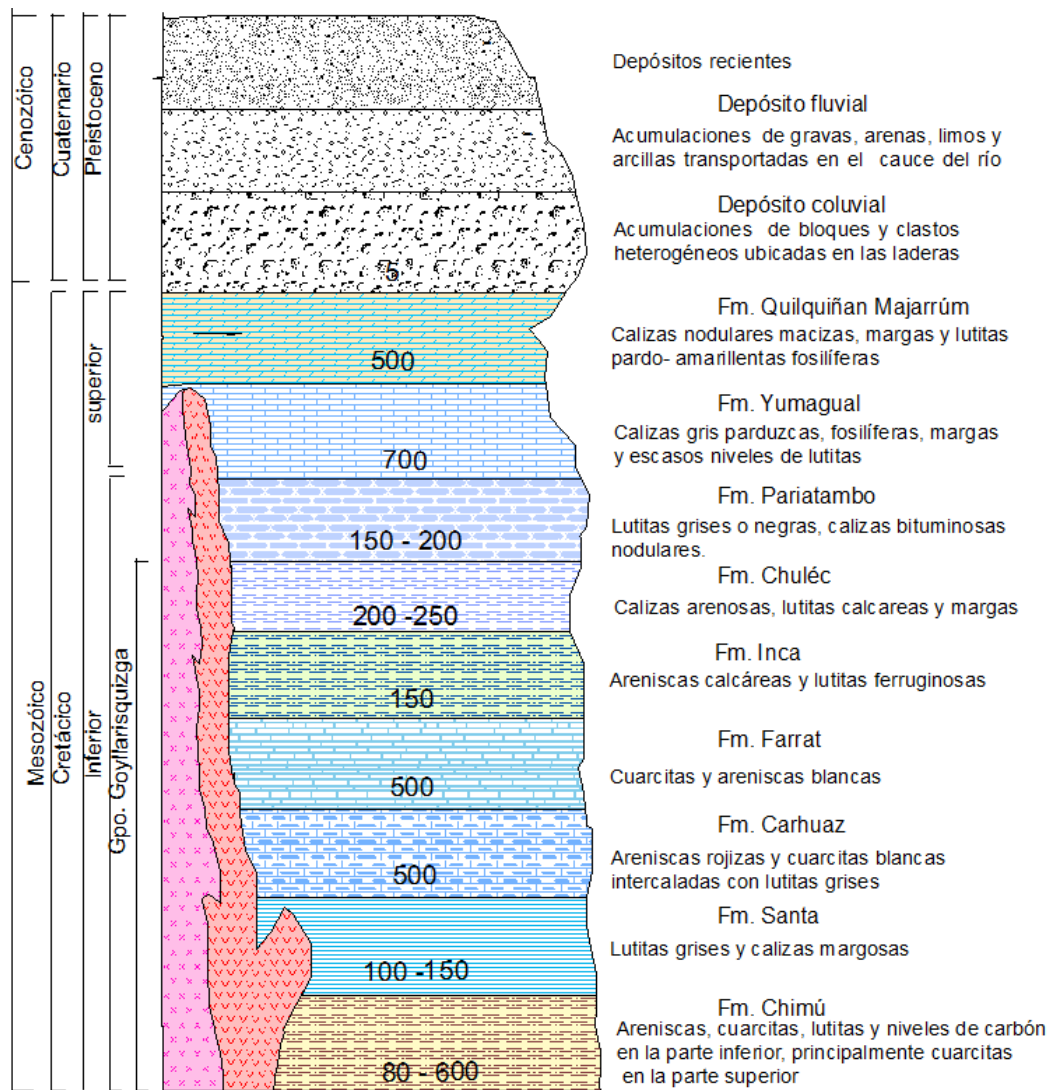


Figura 6.1. Columna estratigráfica en el área de estudio

6.1.1. Grupo Goyllarisquizga

Este grupo está compuesto por rocas clásticas, con espesores entre 200 y 500 metros, con tendencia a adelgazarse hacia oeste y está compuesta por las siguientes formaciones:

Formación Chimú

Esta formación fue designada por Benavides (1956), y se extiende ampliamente hacia el noreste del área estudio cubriendo gran parte del cerro Cocho Orco y el sector del Punre. Está constituida principalmente por areniscas y lutitas en la parte inferior y cuarcitas en la parte superior que forman grandes sinclinales y anticlinales. Además, es frecuente encontrar niveles de carbón en forma de mantos, que forman parte de la cuenca carbonera del Alto Chicama.

Formación Santa

Esta formación fue designada por Benavides (1956), y aflora por el área de la Institución Educativa (I.E) N° 821332 Chim Chim y laderas bajas del cerro Cocho Orco, y está constituida por lutitas, calizas margosas y areniscas grises, cuyos espesores son de 100 a 150 metros y se encuentra aflorando hacia el noreste del área de estudio. Asimismo, esta unidad se caracteriza por presentar intemperismo de color gris marrón, con existencia de nódulos calcáreos y topográficamente forman depresiones cubiertas principalmente por suelo.

Formación Carhuaz

Fue descrita inicialmente por Benavides (1956) y aflora en la parte baja de las laderas del cerro Yanacocha, y constituida por una alternancia de areniscas y lutitas grises y se extiende hacia el noreste del área de estudio. En la parte superior se tienen bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas, ocasionalmente se presentan delgados estratos carbonosos.

Formación Farrat

Esta formación está constituida por cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso que aflora en la parte baja de las laderas de los cerros Palomapata y El Lago. Los espesores promedio son de 500 metros caracterizada por presentar escarpas y altas cumbres agudas.

Formación Inca

Según Tafur (1950) denominada Capas rojas, están constituidas por areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcita de color amarillento, que infrayacen a la formación Chuléc y suprayace a la formación Inca. Esta unidad se encuentra cubriendo gran parte del cerro Mojada Vieja.

Formación Chuléc

Esta formación fue determinada por Mc Laughilin (1925), y aflora en el área de estudio desde el cerro Hermelinda hacia la quebrada Yanacocha. Está constituida por caliza arenosa, lutitas calcáreas y margas. La característica principal de estos afloramientos

es la textura terrosa amarillenta de los estratos, cuyos espesores varían entre 200 a 250 metros.

6.1.2. Formación Quilquiñan-Mujarrum

Según Tafur (1950), esta formación está compuesta por calizas nodulares macizas con intercalaciones de margas, lutitas amarillentas, lechos de caliza, lutitas arenosas y margas delgadas. Esta unidad se encuentra aflorante hacia el suroeste del área de estudio entre los cerros Rollo, Cutucaga, Chiflón y Chancanillos y generalmente forman depresiones por poseer litologías blandas y posee una cubierta de suelo amarillento.

6.1.3. Formación Yumagual

Esta formación fue denominada por Tafur (1950), que consiste de una secuencia de margas y calizas gris parduzca, que se encuentran aflorantes al suroeste del área de estudio entre los cerros Chiflón y Chancanillos. Asimismo, la litología de esta formación forma escarpas elongadas debido a su dureza uniforme.

6.1.4. Depósitos cuaternarios

Los materiales cuaternarios en el área de estudio ocupan la mayor extensión, cubriendo discordantemente a las rocas sedimentarias, metamórficas e intrusivas, además de formar depósitos consolidados, semiconsolidados de variado grosor; generado por la interacción fisicoquímica del medio.

6.1.5. Rocas intrusivas

Las rocas intrusivas regionalmente se encuentran representada por las rocas monzograníticas, granodioríticas, monzogranodiorita, dioríticas y tonalíticas que intruyen extensas áreas de rocas sedimentarias y metamórficas. Ocasionalmente, estos plutones sufrieron alteración hidrotermal, manifestada por carbonatación, sericitización, cloritización y epidotización.

En la sección geológica A-A (Figura 6.2), se muestra al cuerpo intrusivo ígneo diorítico relacionado a la zona de mineralización que corta a las rocas de la formación Farrat, controladas estructuralmente por fallas inversas de moderado ángulo; en tanto que las rocas sedimentarias- silicoclásticas se distribuyen formando pliegues. Además, los depósitos cuaternarios, se distribuyen de manera uniforme en toda el área de estudio.

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

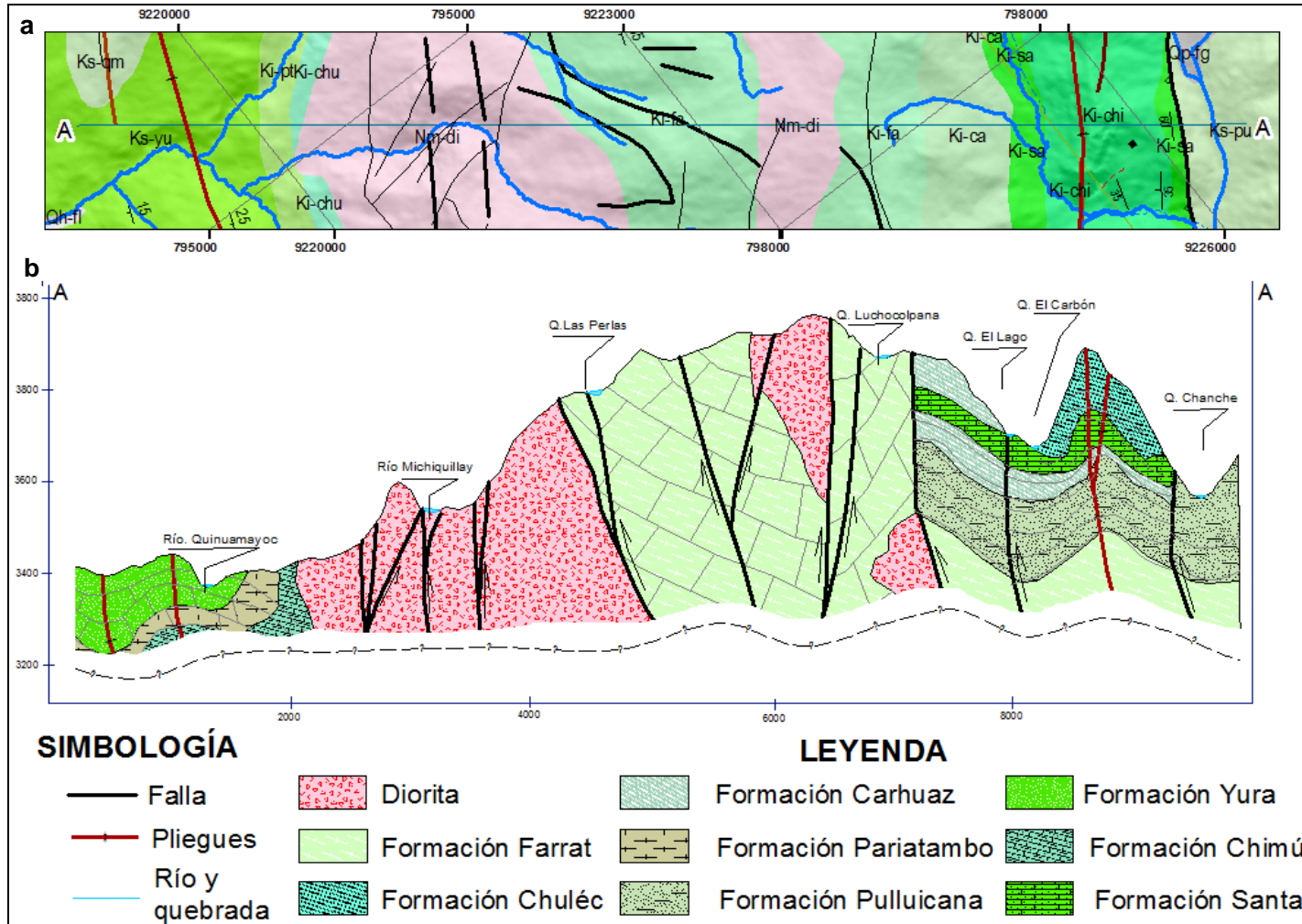


Figura 6.2. Geología regional del área de estudio a. Planta y b. Perfil

6.2. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio destacan las rocas pórfido cuarzomonzonítico, pórfido diorítico, brecha de hidrotermal, cuarcitas y calizas. En tanto que los depósitos cuaternarios están representados por los materiales de origen fluvial, coluvial, aluvial y biogénico.

6.2.1. Quarzomonzonita / diorita

Estas rocas, se extienden a manera de cuerpos elongados en sentido noroeste-sureste, diferenciándose 2 características.

La primera de ellas, es una roca gris clara, de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa insertos en una matriz de grano grueso a medio (Figura 6.3a). Además, presenta xenolitos de la misma roca con una variación parcial de su química (mayor porcentaje de máficos) y con tamaños menores a 30 centímetros (Figura 6.3b).

Los afloramientos de esta roca en algunos sectores, son de color gris oscuro por la existencia de hornblenda, augita, etc. en la matriz, abarcando principalmente el borde interno de los cerros Lago y Cochorco (Figura 6.3.c). Además, estos afloramientos se encuentran hacia el este y oeste del cuerpo principal de mineralización.

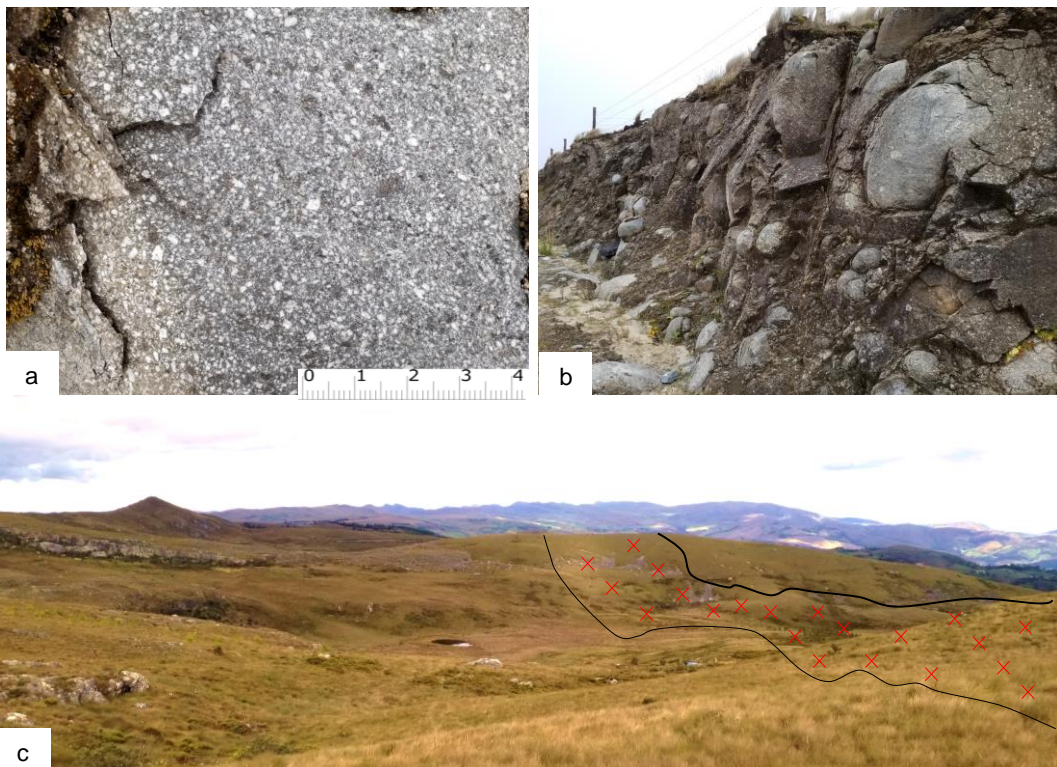


Figura 6.3. Cuarzomonzonita/diorita **a.** Muestra macroscópica de cuarzomonzonita **b.** Existencia de xenolitos de cuarzomonzonita con mayor abundancia de máficos y **c.** Afloramiento de cuarzomonzonita que cubren los cerros Lago y Cochorco

En segundo lugar, existen afloramientos de esta roca de color blanquecino a rosáceo, cuya pigmentación se relaciona con sobreimposición de alteración potásica, sericita y vetillas de óxidos de hierro como consecuencia del metasomatismo potásico (Figura 6.4a). Se encuentra emplazada en la zona central del complejo de pórfido cuarmonzonítico del área de estudio (Figura 6.4b y 6.4c).

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

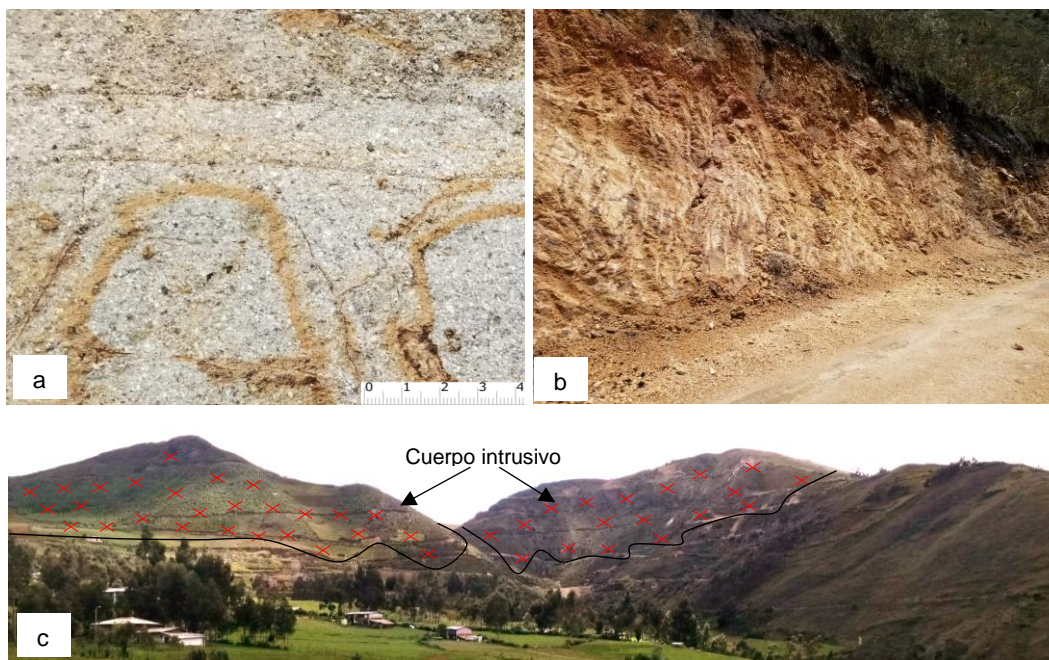


Figura 6.4. a. Cuarzomonzonita/diorita, b. Cuarzomonzonita de color blanquecina con sobreimpresión potásica y c. Ubicación central del cuerpo intrusivo cuarzomonzonítico

6.2.2. Brecha hidrotermal

El cuerpo de brecha se encuentra hacia el norte del C.C Michiquillay, asociado a rocas intrusivas (Figura 6.5a). El contacto entre la brecha y las rocas intrusivas (cuarzomonzonita, diorita, dacita) es abrupto, evidenciado a través de las zonas de fractura verticales densamente espaciadas.

En la Figura 6.5b, los fragmentos que constituyen la brecha varían desde angulosos a subredondeados, alcanzando diámetros menores a 30 centímetros. Su composición es heterolítica y se encuentra envuelta en una matriz silíceo con existencia de sulfuros primarios como pirita, calcopirita, galena, etc., y posee coloraciones rojizas por la pigmentación de óxidos de hierro.

Ocasionalmente estas brechas se encuentran craqueladas y fracturadas a consecuencia de la actividad hidrotermal y la formación de un diatrema (fragmentación y movimiento ascendente de material), Figura 6.5c.

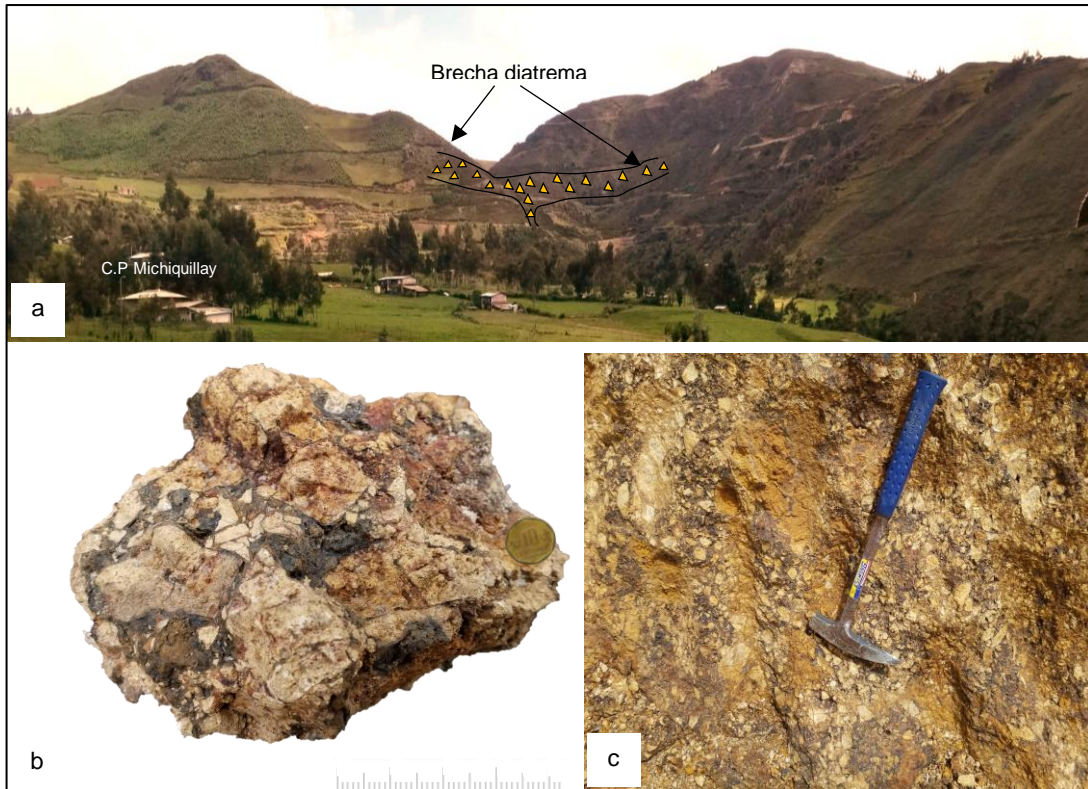


Figura 6.5. Brecha hidrotermal **a.** Desarrollo de un diatrema localizada al norte del centro poblado Michiquillay, **b.** Muestra macroscópica de brecha hidrotermal con presencia de goethita, pirita y óxidos de hierro y **c.** Craquelamiento de brecha hidrotermal a consecuencia de actividad hidrotermal y desarrollo del diatrema.

6.2.3. Cuarzita

Esta litología constituye la roca encajante y es principalmente de coloración parda, blanquecina y con presencia de óxidos de hierro en matriz y fracturas. Se localizan al noreste del área de estudio, y presentan una dirección noroeste-sureste con un buzamiento entre 30° y 40° y se distribuyen en el cerro Punre y Yanacochoa (Figura 6.6a).

En el sector el Punre la cuarzita presenta solidificación pervasiva con coloración gris, que forman bancos compactos con relictos de estructuras sedimentarias y con existencia débil de fracturamiento. Además, estos afloramientos forman parte de los pliegues en sentido noroeste-sureste que forman los cerros Yanacochoa y Punre (Figura 6.6b).

En el sector aledaño a la laguna El Carbón, las cuarzitas se encuentran intercaladas con niveles de carbón y lutitas con potencias de 3-5 metros aproximadamente. Estos mantos de carbón, poseen alto contenido de ceniza y pizarras lutíticas (Figura 6.6c).

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

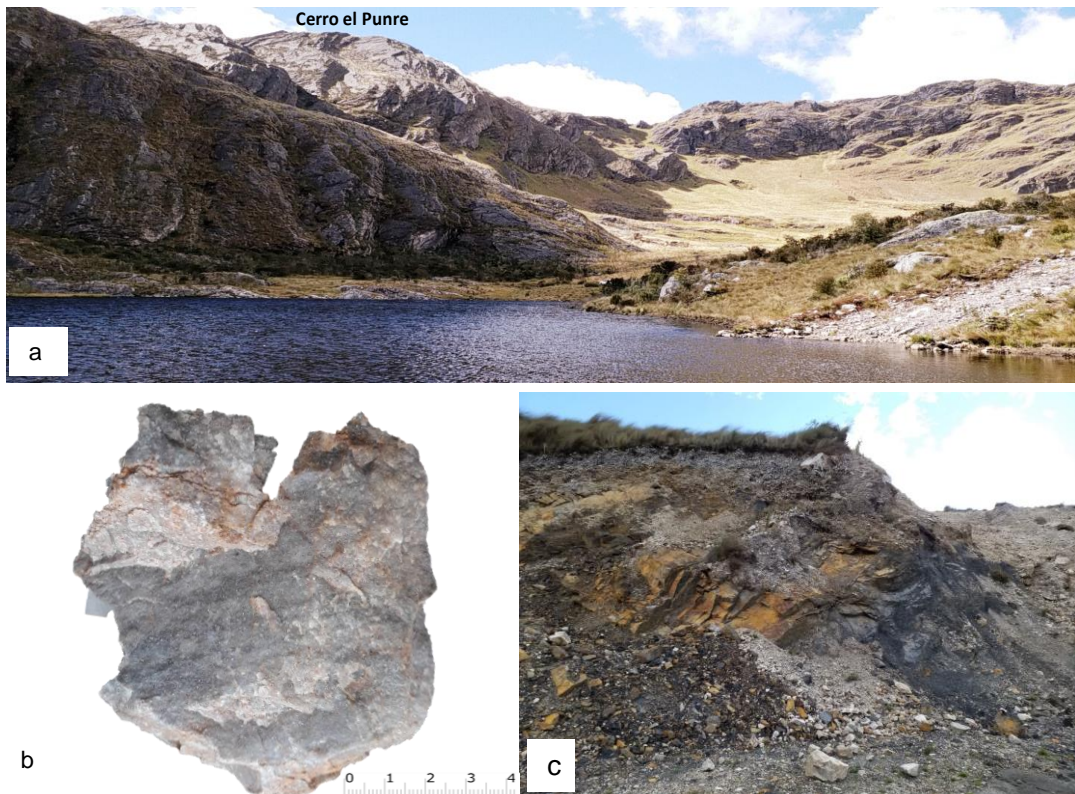


Figura 6.6. Cuarcitas grises **a.** Afloramiento de cuarcita distribuida en los cerros Punre y Yanacocha, **b.** Muestra macroscópica de cuarcita con presencia de óxidos de hierro y **c.** Intercalaciones de cuarcita con niveles de carbón

Las cuarcitas blanquecinas, son de grano fino, y se encuentran dispuestas a manera de bancos de espesores potentes (> 1m). Esta litología se encuentra formando los anticlinales y sinclinales de los cerros Brillantina y Palomapata que se ubican al norte del área de estudio.

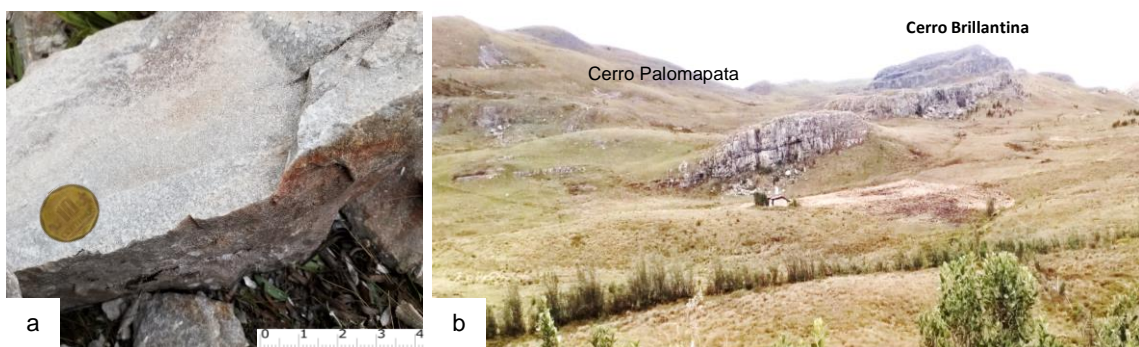


Figura 6.7. Cuarcitas blanquecinas **a.** Afloramiento de cuarcita de grano fino y **b.** Distribución de pliegues en bancos potentes que forman los cerros Brillantina y Palomapata

Las cuarcitas de grano fino de coloración gris amarillento con presencia de óxidos de hierro se encuentran distribuidas uniformemente en zonas aledañas a la laguna Tarucacocha. Cuya composición principal, es el cuarzo con minerales accesorios en menor proporción como clorita y muscovita.

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



Figura 6.8. Cuarcitas de coloración gris amarillento **a.** Afloramiento de cuarcita distribuida en zonas aledañas a la Laguna Tarucacocha y **b.** Afloramiento de cuarcita de coloración gris amarillenta

6.2.4. Caliza

Las calizas se encuentran ubicadas al sur de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada, poseen coloraciones pardo amarillentas y grises, que se encuentran formando pliegues (Figura 6.9a).

Se han reconocido dos unidades de calizas, la primera de ellas de coloración parda amarillenta, localizada al suroeste del área de estudio, que forma parte de los cerros Hermelinda y Mojada Vieja (Figura 6.9b). Usualmente este tipo de calizas presenta laminación moderadamente fina y con texturas micríticas alternadas con lutitas de coloración verdosa y gris amarillenta (Figura 6.9c).

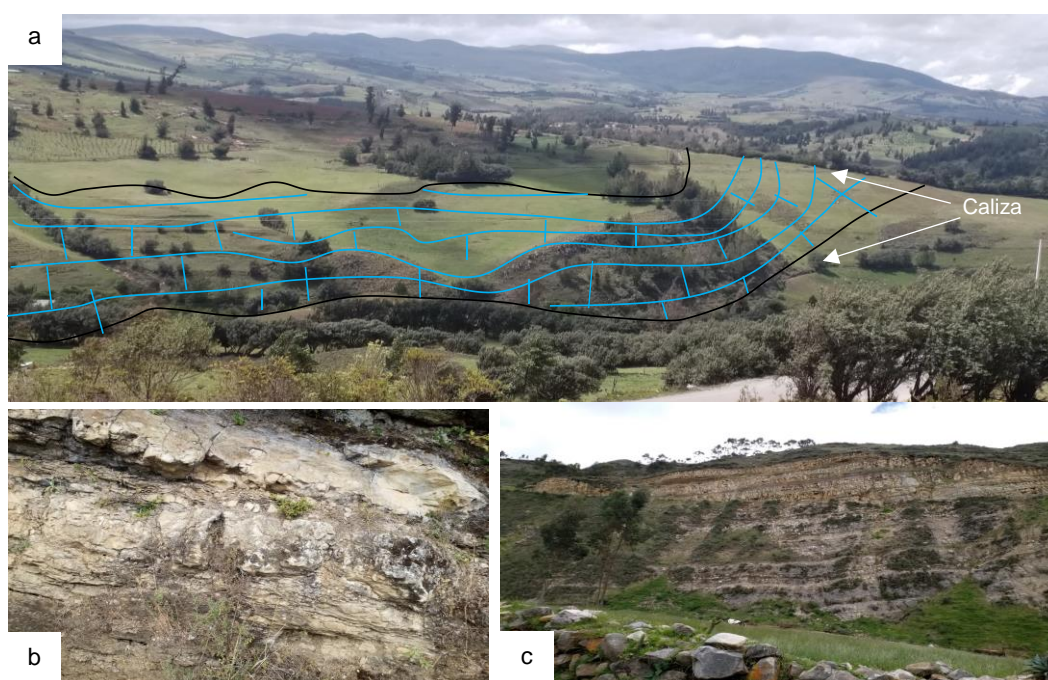


Figura 6.9. Calizas **a.** Afloramiento de caliza formando pliegues, **b.** Caliza parda amarillenta y **c.** Existencia de caliza con laminaciones finas y texturas micríticas

Las calizas grises ubicadas al sureste del área de estudio, se encuentran en capas que buzcan al noreste (Figura 6.10a) y forman parte de los pliegues isoclinales, mostrando estratos moderadamente empinados y con un buzamiento hacia el sureste (Figura 6.10b). Además, presenta clivaje de fractura a manera de esquistosidad propia de la serie sedimentaria.

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

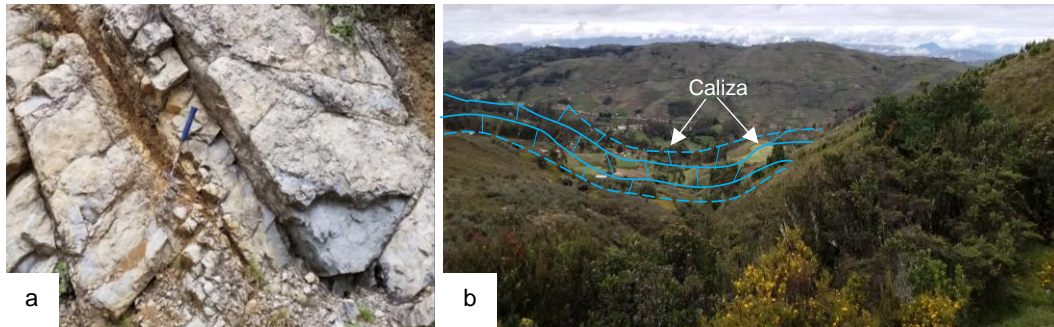


Figura 6.10. Calizas grises **a.** Calizas con estratificación preferencial noreste, **b.** Formación de pliegues isoclinares mostrando estratos moderadamente empinados

6.2.5. Skarn de hierro

Este afloramiento se encuentra localizado hacia el este de las comunidades campesinas de La Encañada y Michiquillay, y fueron originadas por el contacto entre una serie de plutones ígneos (cuarzomonzonita, granodiorita, diorita) y formaciones sedimentarias (caliza, lutita y margas).

Esta litología se encuentra intercalada con las calizas bituminosas de color negro, con presencia de magnetita (Figura 6.11a) y óxidos de hierro en planos de estratificación y fracturas (Figura 6.11b).



Figura 6.11. Skarn de hierro **a.** Afloramiento de skarn con intercalaciones de calizas bituminosas y **b.** Muestra macroscópica de skarn de hierro con patinas de óxidos de hierro

6.2.6. Lutitas

Hacia el sur aflora una secuencia constituida por limolitas de color gris a gris oscuro parcialmente meteorizada, que forma la base de los cerros Palomapata y Mojada Vieja (Figura 6.12a). Este tipo de litología se presenta a manera de una sucesión de lutitas de color gris oscuro a verdoso con algunas intercalaciones de limolitas.

En la Figura 6.12b, afloran arcillas grises con intercalaciones de areniscas laminares de grano medio a fino con espesor de 10 metros aproximadamente.

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

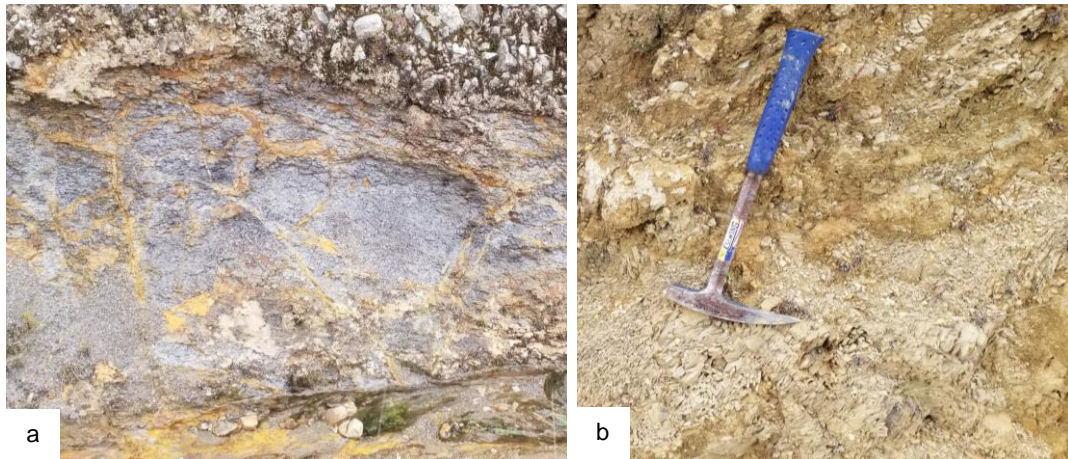


Figura 6.12. Lutitas **a.** Afloramiento de lutitas de color gris con intercalaciones de limolitas y **b.** Arcillas grises con intercalaciones de areniscas laminares de grano medio a fino.

6.2.7. Depósitos coluviales

Estos depósitos coluviales se encuentran distribuidos discontinuamente al norte y sur de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada por lo general cubren gran parte de los afloramientos rocosos y están constituidos por capas gruesas de gravas envueltas en matriz areno arcillosa con clastos polimicticos de cuarcitas, calizas, cuarzomonzonitas, lutitas, etc. (Figura 6.13a).

En la Figura 6.13b, estos materiales fueron depositados en forma caótica, ya que se puede observar clastos heterométricos subangulosos a angulosos que rellenan parcialmente las depresiones formadas por los sinclinales cuyo grosor se va adelgazando hacia las quebradas.

Estos materiales cuaternarios se caracterizan por albergar vegetación y la formación de acuíferos locales (bofedales) hacia el norte del área de estudio (Figura 6.13c)

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

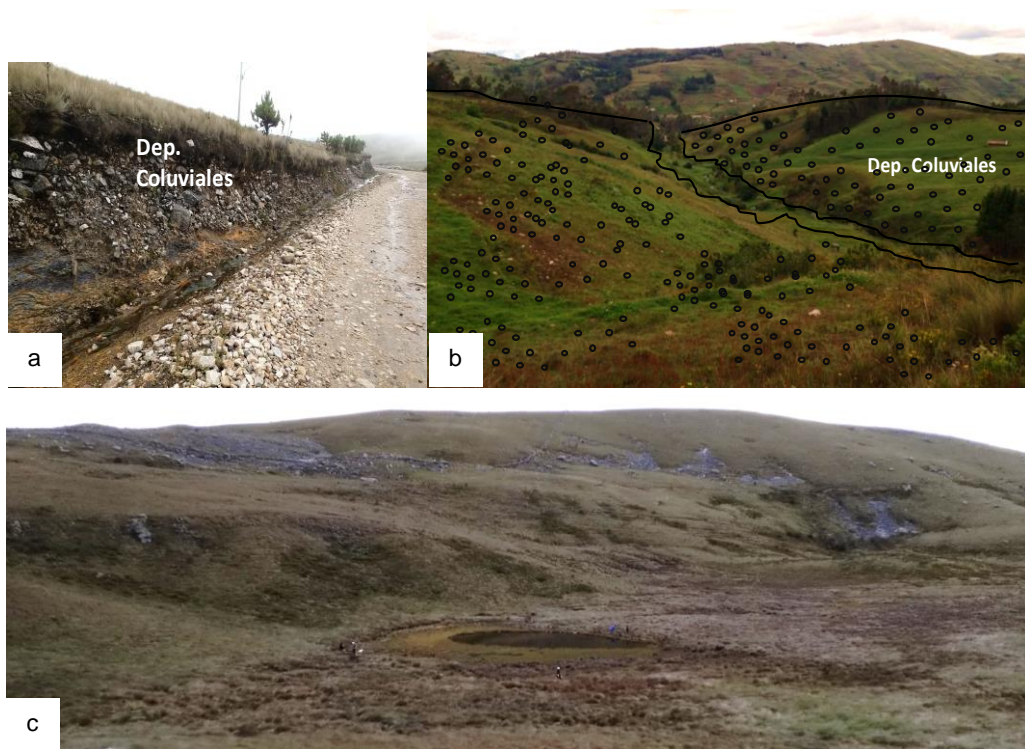


Figura 6.13. Depósitos coluviales **a.** Depósitos coluviales con contenido de gravas envueltas en matriz arenosa arcillosa, **b.** Materiales coluviales que cubren gran parte de los sinclinales y **c.** Materiales cuaternarios que albergan vegetación y bofedales

6.2.8. Depósitos fluviales

Los depósitos fluviales en el área de estudio ocupan la mayor extensión, cubriendo a los afloramientos de roca monzogranítica, cuarcita, caliza y constituyendo depósitos no consolidados de variado grosor que se van adelgazando por topografía.

Los materiales generados por los depósitos fluviales, están compuestos por arenas, limos, cubierto por gravas y bloques subangulosos a redondeados, que se disponen de manera elongada con espesores variables y caracterizadas por formar suelos arenosos, los cuáles fueron movilizados por acción fluvial y redepositados a lo largo del paso del río (Figura 6.14a).

Como se puede observar en la Figura 6.14b en las quebradas Quinuayoc, Las Nellas, Jatunsacha, La Toma, Yanacocha entre otras, existe una predominancia de los materiales gruesos sobre los finos. La depositación de materiales varía de acuerdo a la morfología del río adoptando coloraciones pardas amarillentas superficialmente sobre la superficie de las terrazas y generalmente se encuentran cubiertas por vegetación (Figura 6.14c).

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



Figura 6.14. Depósitos fluviales **a.** Depósitos fluviales que constituyen depósitos no consolidados de variado grosor, **b.** Predominancia de materiales gruesos sobre los finos en las quebradas Quinuayoc, Las Nellas, Jatunsacha, La Toma y Yanacocha, y **c.** Terrazas fluviales generalmente se encuentran cubiertas por vegetación

6.3. Geología estructural

Regionalmente el área de estudio está relacionado a movimientos tectónicos del ciclo andino diferenciadas según su magnitud y el estilo de deformación, además de la variabilidad e intensidad de esfuerzos compresivos o distensivos que dieron lugar a la formación de pliegues, fallas y localmente fracturas.

Las características estructurales de la zona sugieren la existencia de un sistema de fallas con rumbo predominante noroeste - sureste y se encuentra disectada por fallas transversales noreste-suroeste. Estos rasgos estructurales son los que originaron morfologías planas a ondulantes relacionadas a los plegamientos, cerros, valles, entre otras, las cuales se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios.

Pliegues

Al norte de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada las cuarcitas correspondientes a la formación Chimú, forman anticlinales suaves e isoclinares de orientación noroeste – sureste con inclinación hacia el suroeste y generalmente sus estratos buzan entre 30° a 40°. Cuyo desplazamiento inicia en el sector de Chim Chim hasta el Punre, siendo este último sector el que alcanzaría cotas de hasta 4000 m s.n.m. (Figura 6.15a).

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

Los pliegues formados por calizas se encuentran localizadas hacia el sur del área de estudio, cuyos estratos se encuentran parcialmente cubiertos con vegetación y poseen inclinaciones menores a 45°.

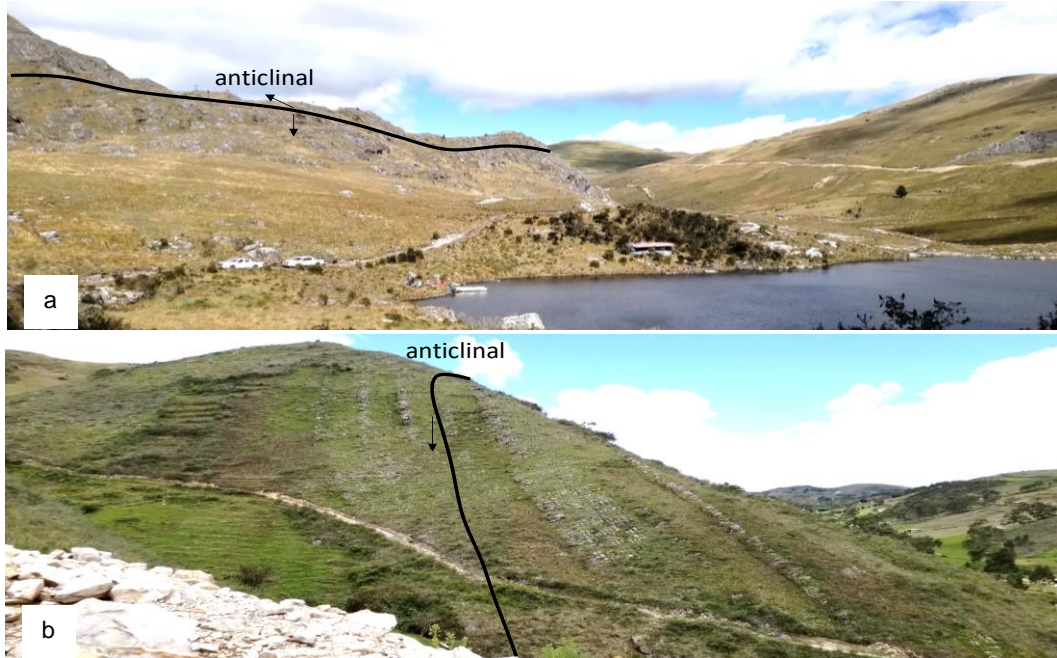


Figura 6.15. Pliegues **a.** Plegamientos de rocas de la Formación Chimú en el sector del Punre y **b.** Estratos originados por los plegamientos se encuentran parcialmente cubiertos con vegetación en el sector Pampa Grande

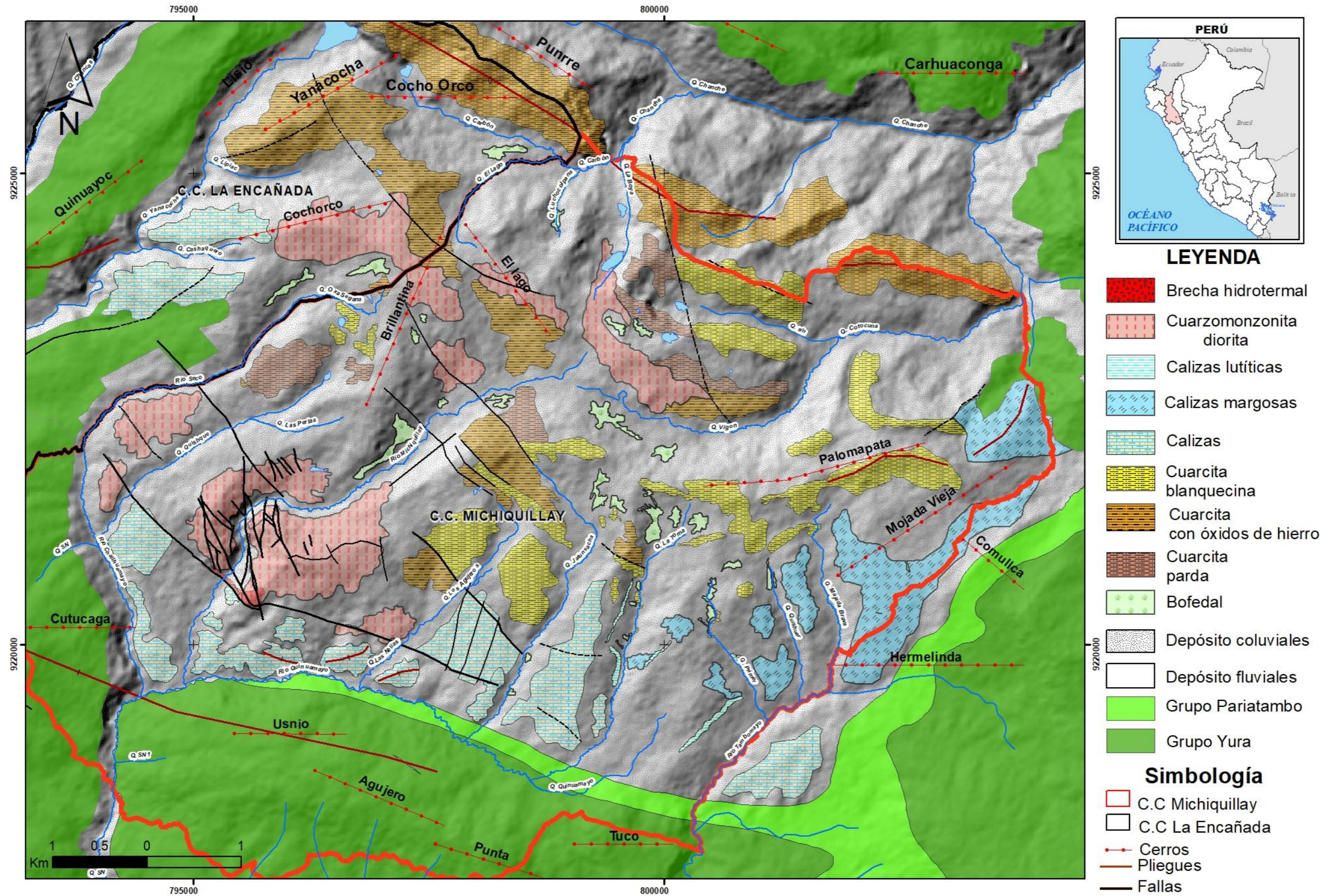
Fallas

El área de estudio posee dos zonas estructurales. La primera de ellas con rumbo noreste suroeste y la segunda en dirección antiandina noreste-suroeste (Figura 6.16). Estas estructuras tienen longitudes que varían entre 200 metros hasta 5 kilómetros se encuentran bien definidas y tienden a ser más complejas cuando cortan los cuerpos intrusivos. La mayor densidad de fallas se encuentra cercana al contacto entre los cuerpos intrusivos de mineralización y las brechas hidrotermales.



Figura 6.16. Falla con dirección noreste-suroeste ubicada en la naciente del río Michiquillay

En la Figura 6.17. se muestra el plano geológico local del área de estudio.



6.4. GEOMORFOLOGÍA

El área del estudio geomorfológicamente se sitúa en el flanco occidental de la cordillera de los Andes al noroeste peruano. Se eleva entre 3000 y 4200 m s.n.m. aproximadamente y está representada por una superficie de erosión ondulada y rocas intrusivas, sedimentarias y metamórficas de naturaleza compleja, abarcando las vertientes de los ríos Michiquillay y quebradas Quinuayoc, Las Nellas, Yanacochoa, Jatunsacha, La Toma, entre otras.

La topografía se caracteriza por la existencia de montañas de cimas elevadas y accidentadas, ondulantes colinas y valles con pendientes entre suaves y pronunciadas como el cerro Cochorco, Lago, Brillantina, Palomapata, Mojada Vieja, Comullca, Quinuayoc, entre otros.

El área de estudio se encuentra dominada por un paisaje alto andino típico, con existencia de laderas, faldas de cerros, con pendientes convexas, cóncavas, planicies, afloramientos rocosos y zonas muy escarpadas.

Montañas

Estas geoformas son las más predominantes en las CC. Michiquillay y CC. La Encañada, se manifiestan por encima de 2754 m s.n.m. hasta 4125 m s.n.m., exponiendo cumbres relativamente onduladas y formando pliegues, a consecuencia de la tectónica y agentes externos como la erosión y actividad pluvial y fluvial (Figura 6.18). Los principales cerros de las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada son Quinuayoc, Cochorco, Brillantina, Palomapata, Mojada Vieja, Agujero, Cuticaga, La Punta.

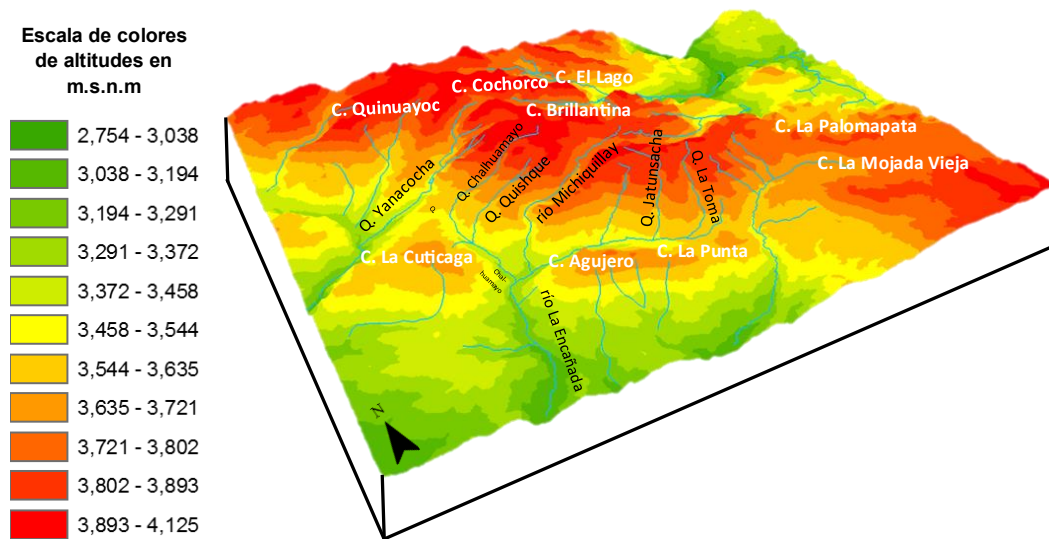


Figura 6.18. Representación de las altitudes en las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada

A nivel general sobre los 3800 m s.n.m. los taludes se encuentran parcialmente desprovistos de suelos residuales, y se encuentran cubiertas por delgadas capas de vegetación que varían entre 5 a 15 centímetros aproximadamente. Asimismo, se pudo evidenciar deslizamientos antiguos recubiertos por vegetación, generando la estabilidad de los flancos (Figura 6.19).

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



Figura 6.19. Deslizamientos antiguos recubiertos por vegetación

De la parte media a baja de las laderas de montañas, se cubren parcialmente por suelos gravosos arcillosos de hasta 1.50 metros, con tendencia a disminuir hacia los ríos y quebradas, por lo que es posible observar una estabilidad topográfica en el terreno (Figura 6.20).



Figura 6.20. Laderas de montañas con suelo arcilloso gravoso que disminuye hacia los ríos y quebradas

Las laderas de montañas en el área de estudio, según el mapa de pendientes², varían entre 1° a 38° (Figura 6.21).

² Mapa de pendientes que determina rangos de valores que representan igual pendiente o inclinación, en diferentes sectores (Demek, 1972)

Valles

En el área de estudio los valles son más o menos profundos, con moderada pendiente y con perfiles transversales predominantemente en forma de V. Por ello, la morfología que genera los valles son de poca profundidad con laderas suaves y fondos más o menos anchos (Figura 6.22).

Los niveles intermedios a bajos de estos valles muestran un mayor incremento de suelos y de cobertura vegetal.



Figura 6.22. Valles de poca profundidad con laderas suaves y fondos más o menos anchos en las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada

Quebradas

Las quebradas en el área de estudio se encuentran regidas por el ensanchamiento o erosión lateral de los ríos y poseen un drenaje divergente.



Figura 6.23. Río Michiquillay que originó el ensanchamiento y erosión lateral en la quebrada

6.5. GEOQUÍMICA

Se presentan los resultados del análisis geoquímico en muestras de cuarcita, caliza, skarn de hierro, intrusivos aledaños y alejados de la zona mineralizada (Figura 6.24). Además, se extrajeron muestras de pasivos ambientales mineros ubicados en el depósito de desmonte del sector aeropuerto, túnel Michiquillay y bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón (Figura 6.25).

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

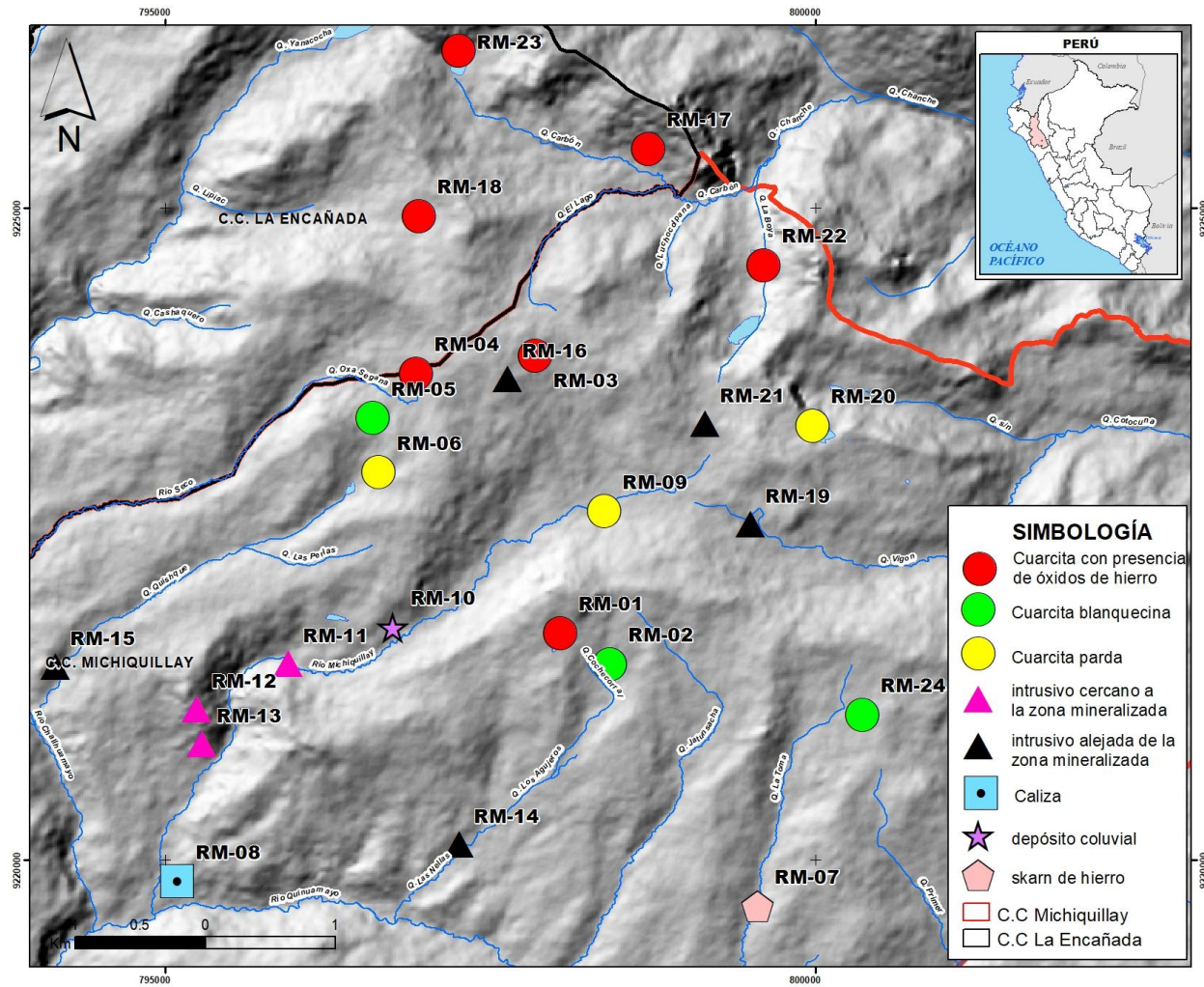


Figura 62.24. Distribución de muestras de roca en las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada

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

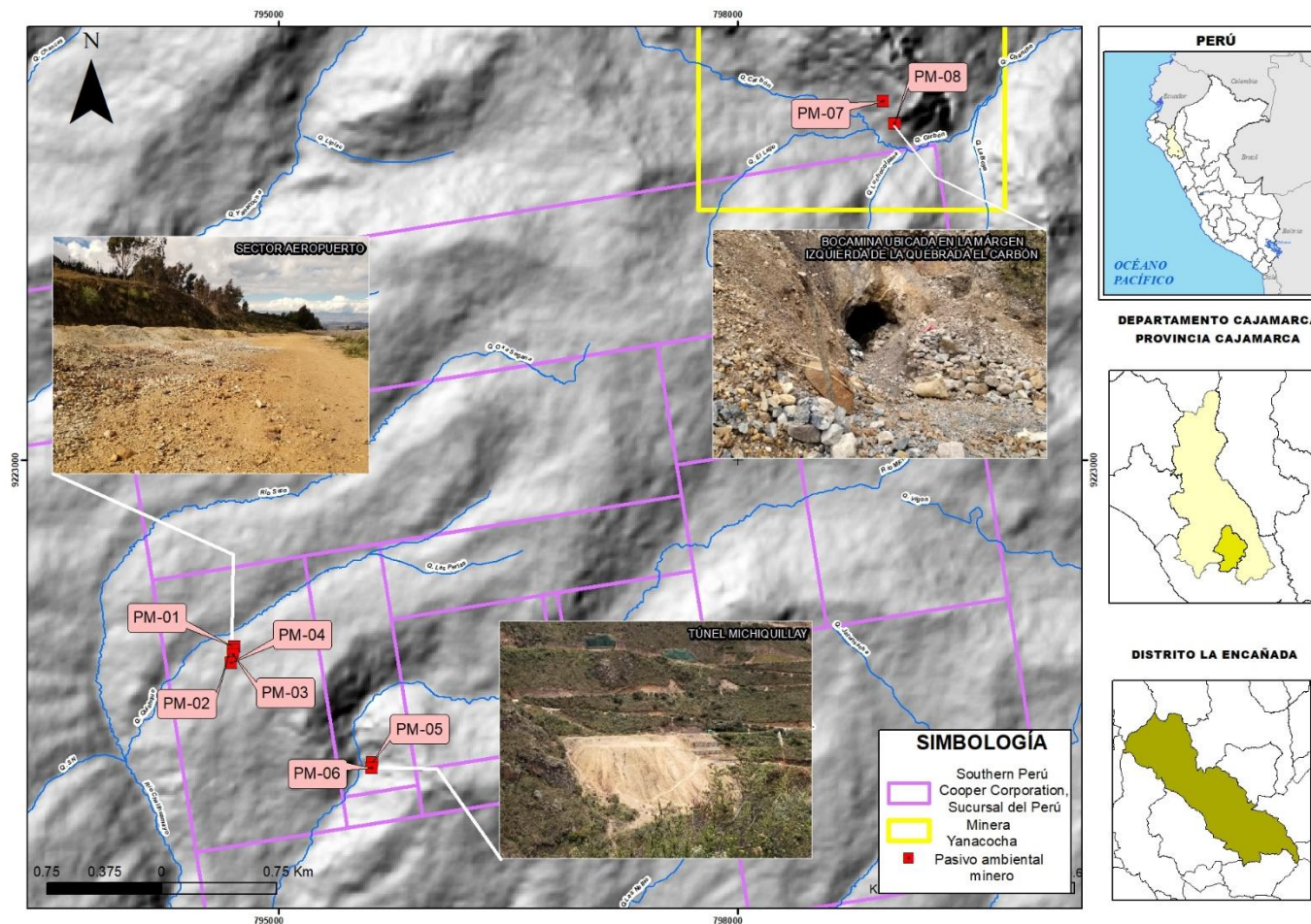


Figura 63.25. Distribución de muestras de pasivos ambientales mineros en las concesiones de Southern Perú Copper Corporation Sucursal del Perú y Minera Yanacocha S.R.L.

6.5.1. Metales

En la Figura 6.26. se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en cuarcitas blanquecinas codificadas como RM-02, RM-05 y RM-24. Obteniéndose una mayor concentración de hierro y aluminio; en comparación con el bario, calcio, cromo, potasio, manganeso, fosforo, silicio, titanio, vanadio y zinc. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

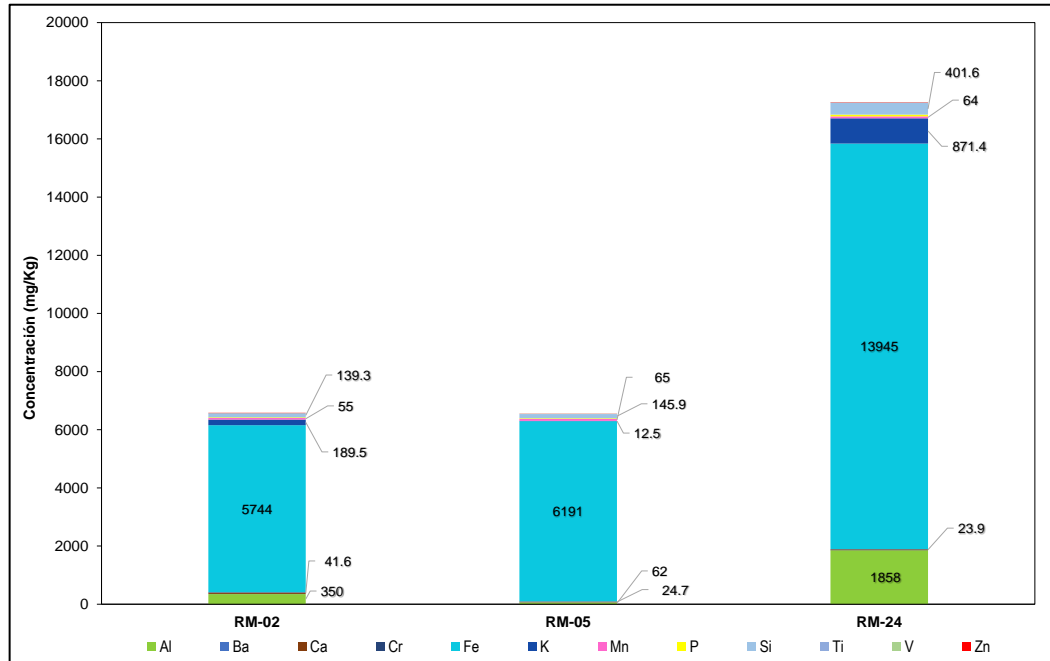


Figura 6.26. Metales totales en cuarcitas blanquecinas.

En la Figura 6-27, se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en cuarcitas con presencia de óxidos de hierro en matriz y planos de fractura, codificadas como RM-22, RM-23, RM-01, RM-17, RM-04, RM-03 y RM-18. Obteniéndose una mayor concentración de hierro y aluminio; en comparación con el arsénico, bario, calcio, cromo, cobre, potasio, manganeso, fosforo, silicio estroncio, titanio, zinc y mercurio. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

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

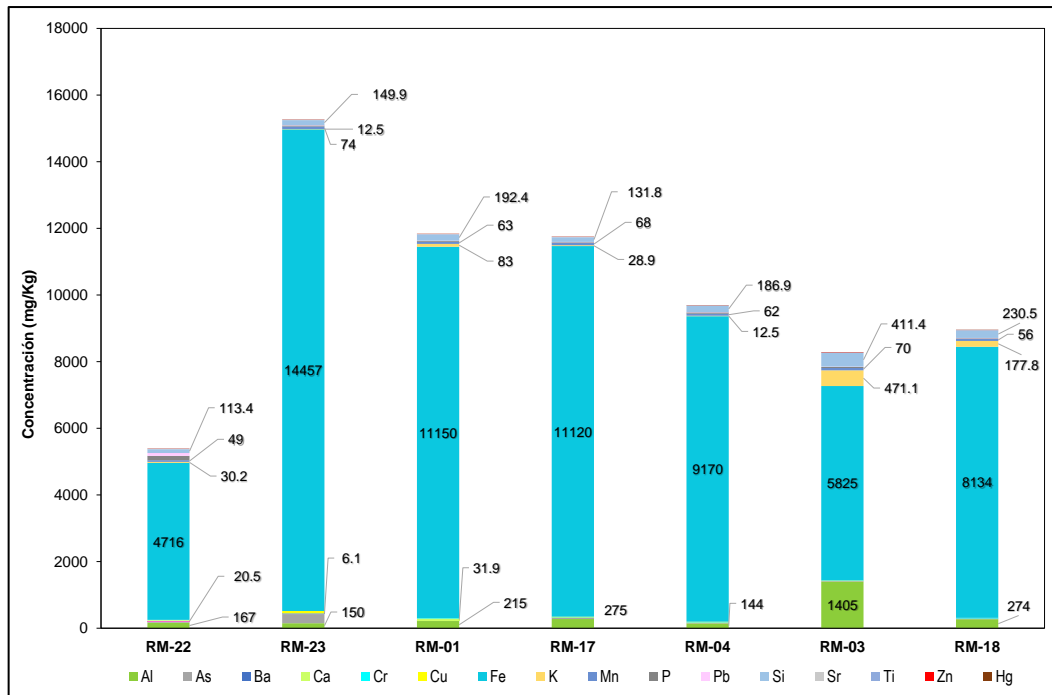


Figura 64.27. Metales totales en cuarcitas con presencia de óxidos de hierro en matriz y planos de fractura.

En la Figura 6.28 se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en cuarcitas pardas, codificadas como RM-06, RM-09 y RM-20. Obteniéndose mayor concentración de hierro, aluminio y silicio; en comparación con el zinc, titanio, manganeso magnesio, potasio, cromo, calcio y bario. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

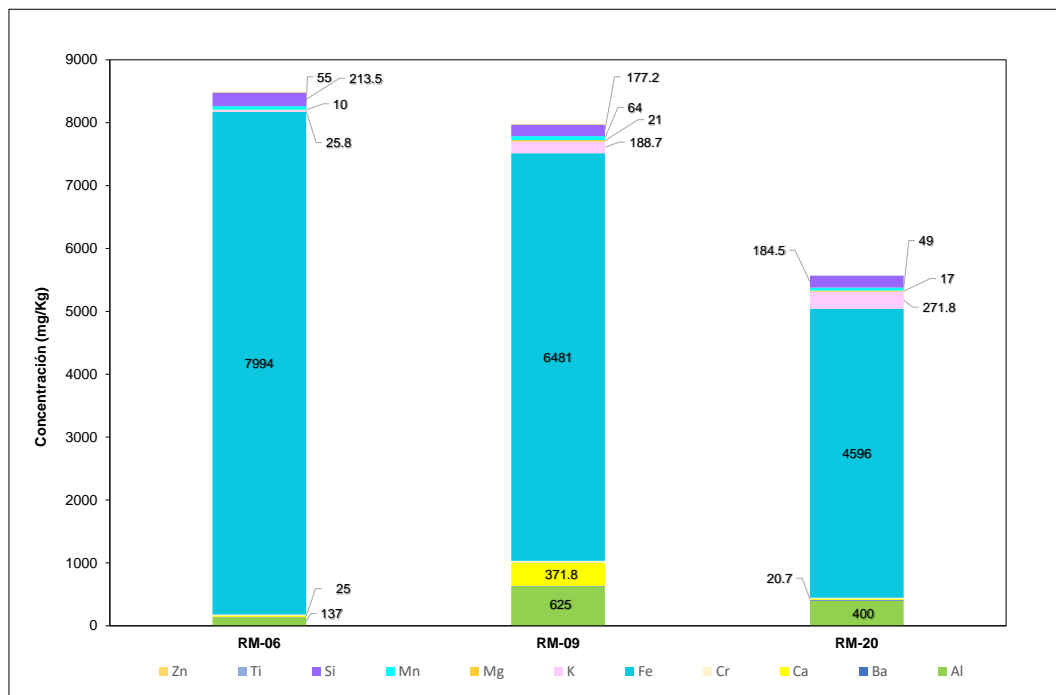


Figura 6.28. Metales totales en cuarcitas pardas

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

En la Figura 6.29 se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en intrusivos aledaños a las zonas mineralizadas (cuarzomonzonita/diorita), codificadas como RM-11, RM-12 y RM-13. Obteniéndose mayor concentración de hierro y aluminio en comparación al bario, calcio, cobre, potasio, magnesio, manganeso, sodio, fosforo, silicio, estroncio, titanio, vanadio y zinc.

Los intrusivos que se encuentran alejados de la zona mineralizada (cuarzomonzonita/diorita), codificada con RM-14, RM-16, RM-18, RM-19 y RM-21, presentan mayores concentraciones de aluminio, hierro, magnesio y calcio en comparación con el bario, cobre, potasio, manganeso, sodio, fosforo, potasio, silicio, estroncio, titanio, vanadio y zinc.

Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

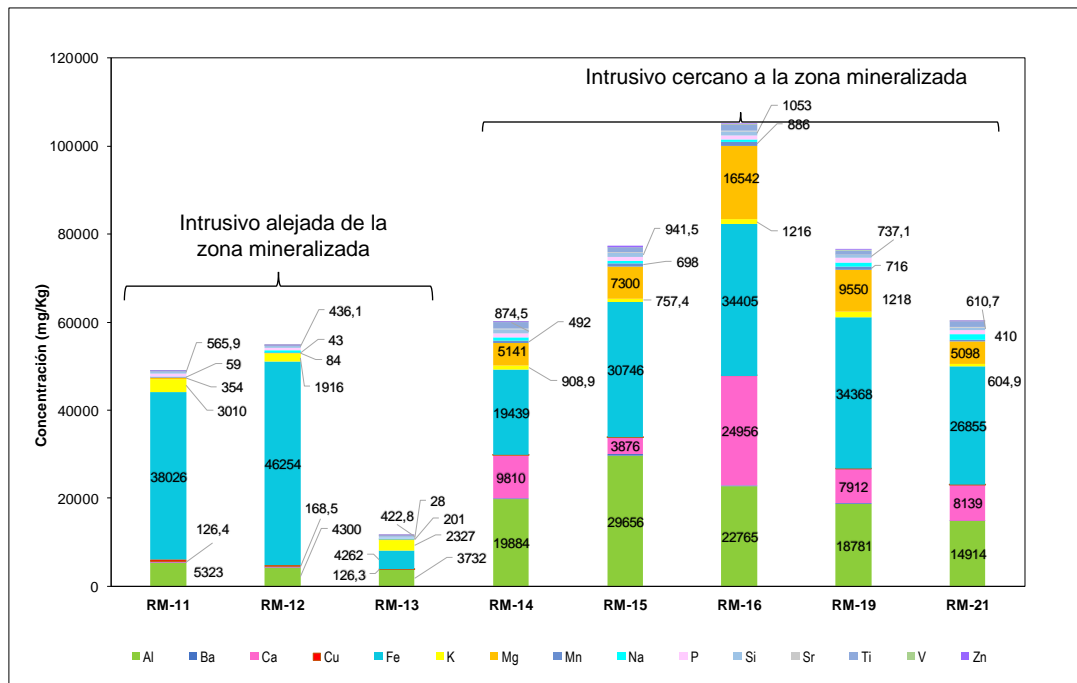


Figura 6.29. Metales totales en intrusivos cercanos y alejados de la zona mineralizada.

En la Figura 6.30 se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en Skarn de hierro codificada como RM-07. Obteniéndose mayor concentración de hierro y aluminio; en comparación con el zinc, vanadio, titanio, estroncio, silicio, plomo, fosforo, níquel, sodio, manganeso, magnesio, potasio, cobre, cromo, cobalto, calcio y bario. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

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

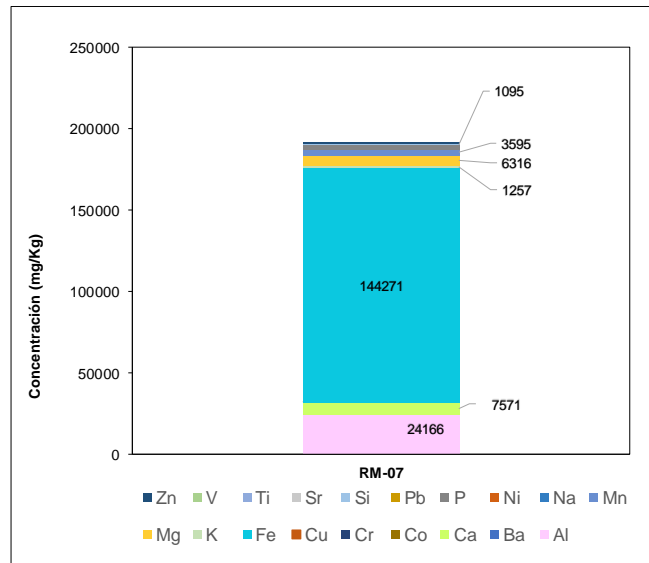


Figura 6.30. Metales totales en Skarn de hierro

En la Figura 6.31 se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en caliza codificada como RM-08. Obteniéndose mayor concentración de hierro, calcio y aluminio; en comparación con el zinc, vanadio, titanio, estroncio, silicio, fosforo, níquel, sodio, manganeso, magnesio, potasio, cobre, cromo y bario. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

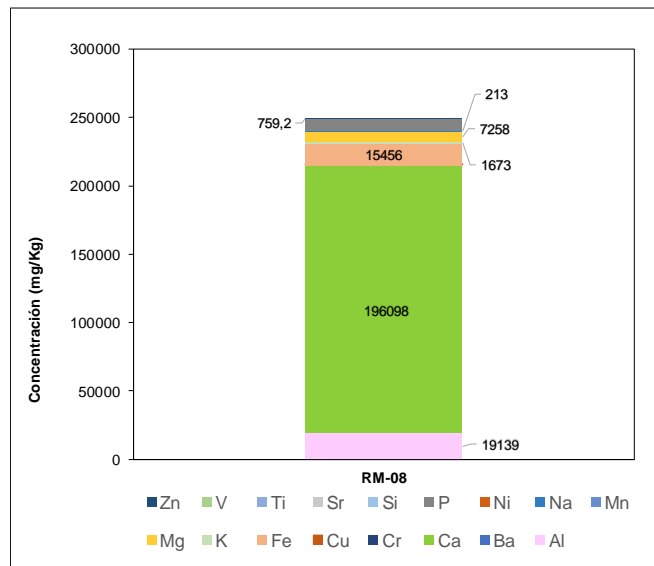


Figura 6.31. Metales totales en caliza parda

En la Figura 6.32 se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en depósito coluvial codificada como RM-10. Obteniéndose mayor concentración de hierro y aluminio; en comparación con el zinc, vanadio, titanio, estroncio, silicio, plomo, fosforo, níquel, sodio, manganeso, magnesio, potasio, cobre, cromo, cobalto, calcio y bario. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

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

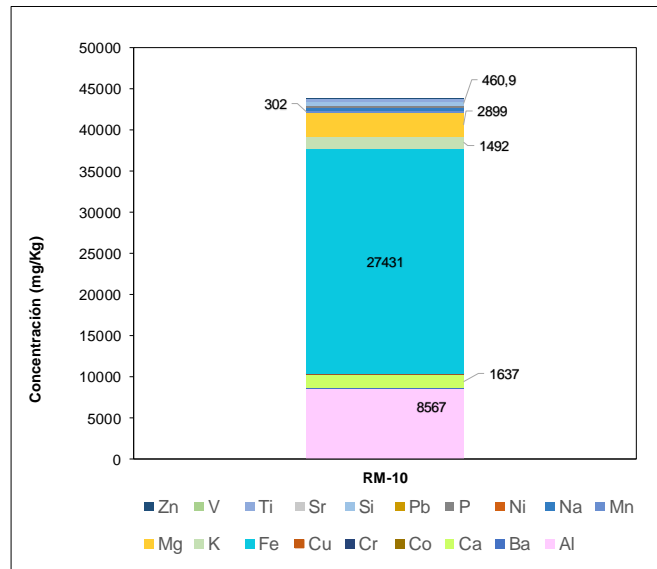


Figura 6.32. Metales totales en depósito coluvial

6.5.2. SPLP Metales

En la Figura 6.33 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en metales las rocas intrusivas aledañas a la zona mineralizada codificadas como RM-11, RM-12 y RM-13; mayormente se lixivian el potasio, silicio, sodio, calcio en comparación con el aluminio, cobre, hierro y manganeso. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

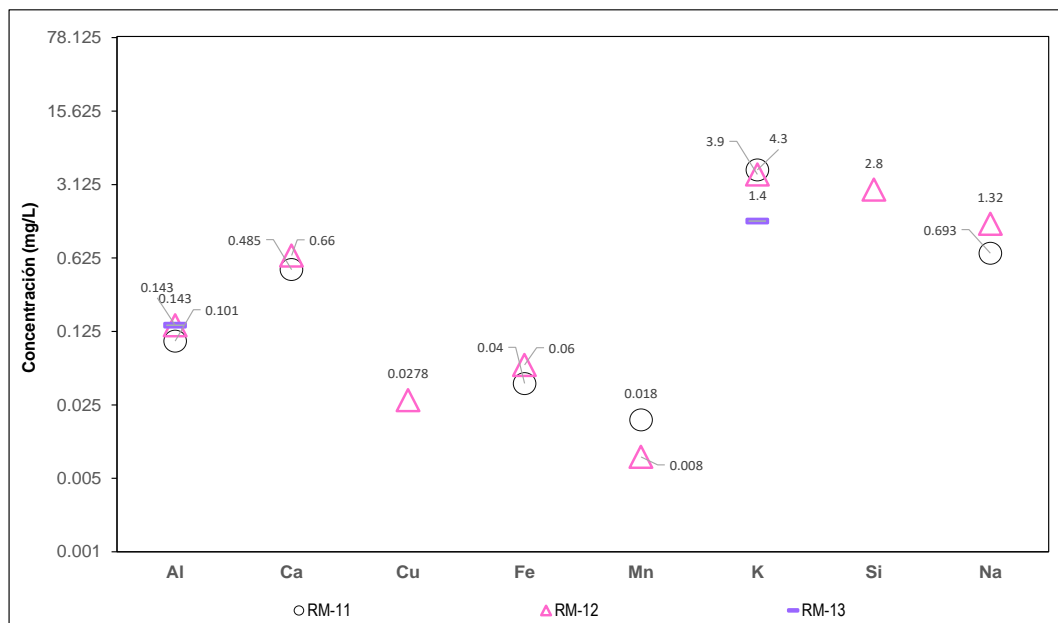


Figura 6.33. Prueba SPLP en muestra de rocas intrusivas aledañas a la zona mineralizada

En la Figura 6.34 que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en metales las rocas intrusivas alejadas de la zona mineralizada (cuarzomonzonita/diorita) codificadas como RM-14, RM-15, RM-16, RM-19 y RM-21; se lixivian el calcio, silicio,

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

potasio y sodio en comparación con el aluminio, cobre, hierro y manganeso. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

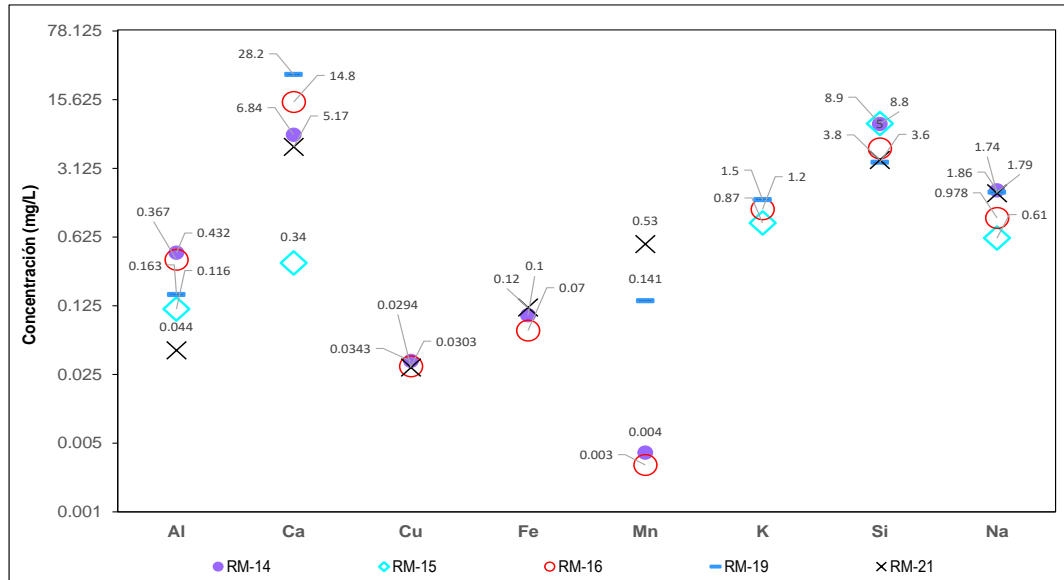


Figura 6.34. Prueba SPLP en muestra de rocas intrusivas alejadas de la zona mineralizada

En la Figura 6.35 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en metales, la cuarcita blanquecina RM-02 lixivía mayormente el calcio y manganeso en comparación al cobre y hierro. Asimismo, la cuarcita con contenido de óxido de hierro RM-03 mayormente lixivía el potasio en comparación al aluminio, calcio, cobre, hierro y manganeso; en tanto que en la cuarcita parda RM-06 lixivía mayormente el hierro en comparación al cobre y manganeso. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

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

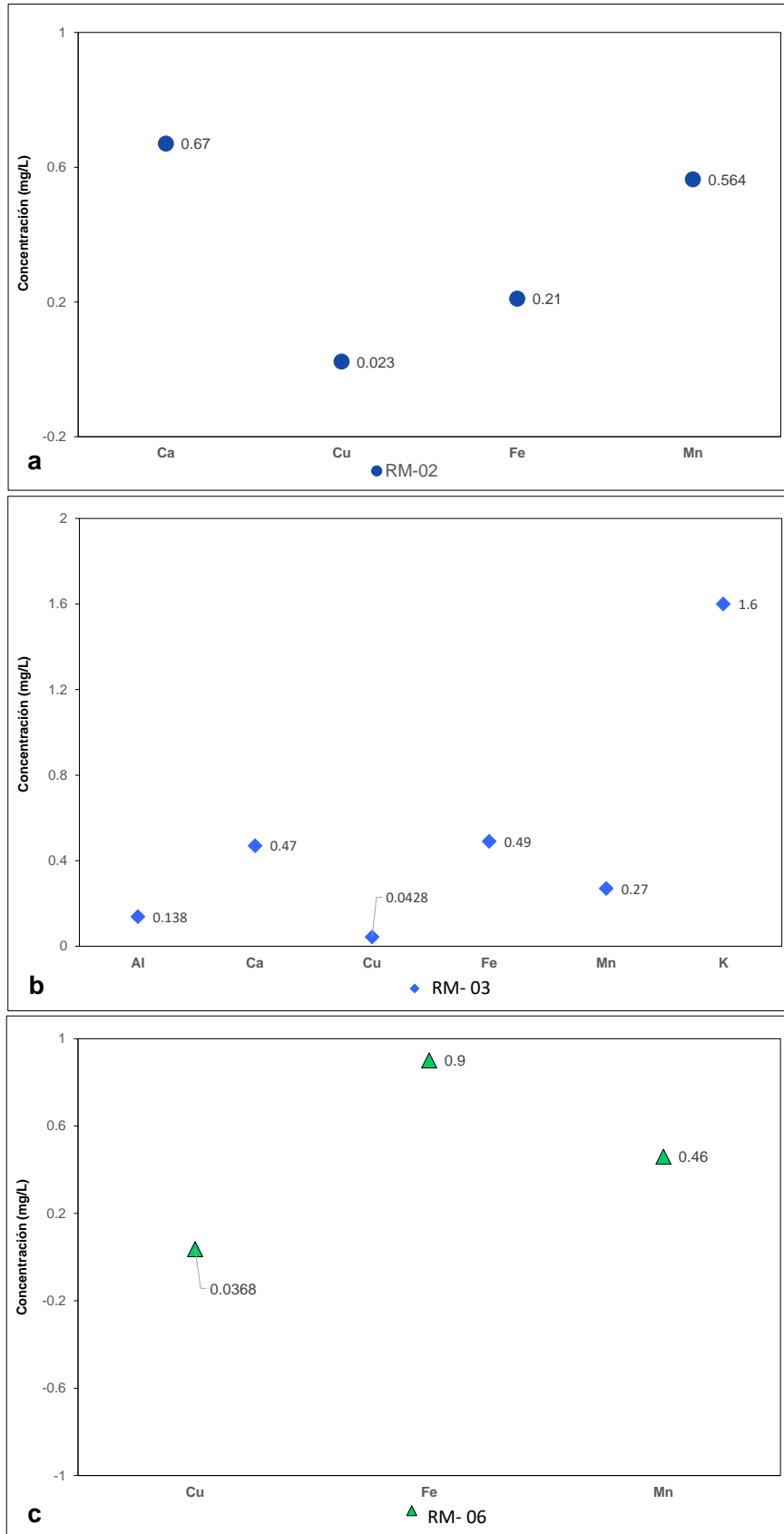


Figura 6.35. Prueba SPLP en muestra de cuarcita **a.** Blanquecinas, **b.** Óxidos de hierro y **c.** Pardas

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

En la Figura 6.36 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en metales, la caliza codificada como RM-08; lixivia principalmente el azufre y calcio, en comparación al aluminio, cobre, estroncio, magnesio y silicio. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

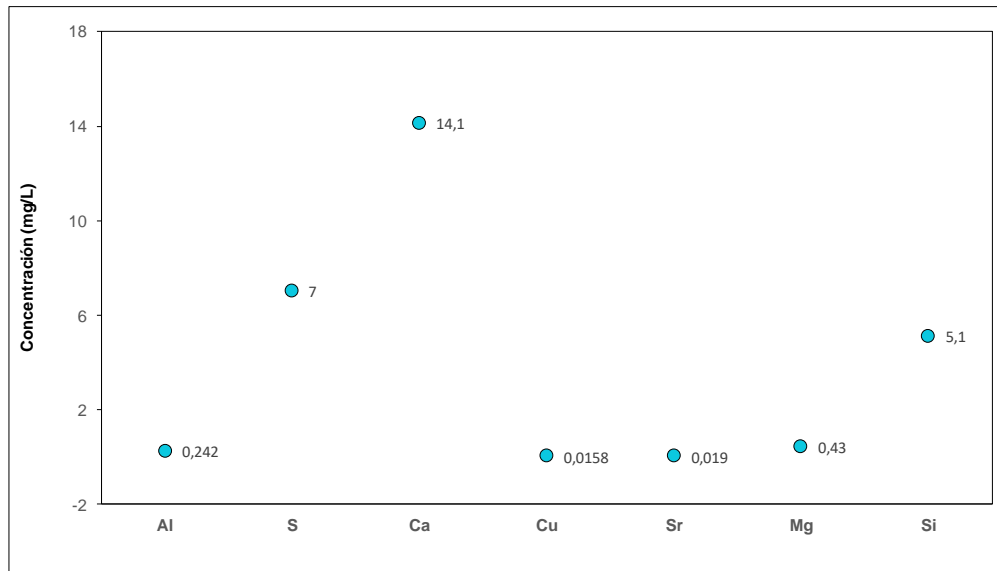


Figura 6.36. Prueba SPLP en muestra de roca caliza parda

6.5.3. SPLP aniones

En la Figura 6.37 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en aniones, las cuarcitas blanquecinas RM-02, cuarcitas con óxidos de hierro RM-03 y cuarcitas pardas RM-06, lixivian principalmente sulfatos en comparación con los cloruros y nitratos. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

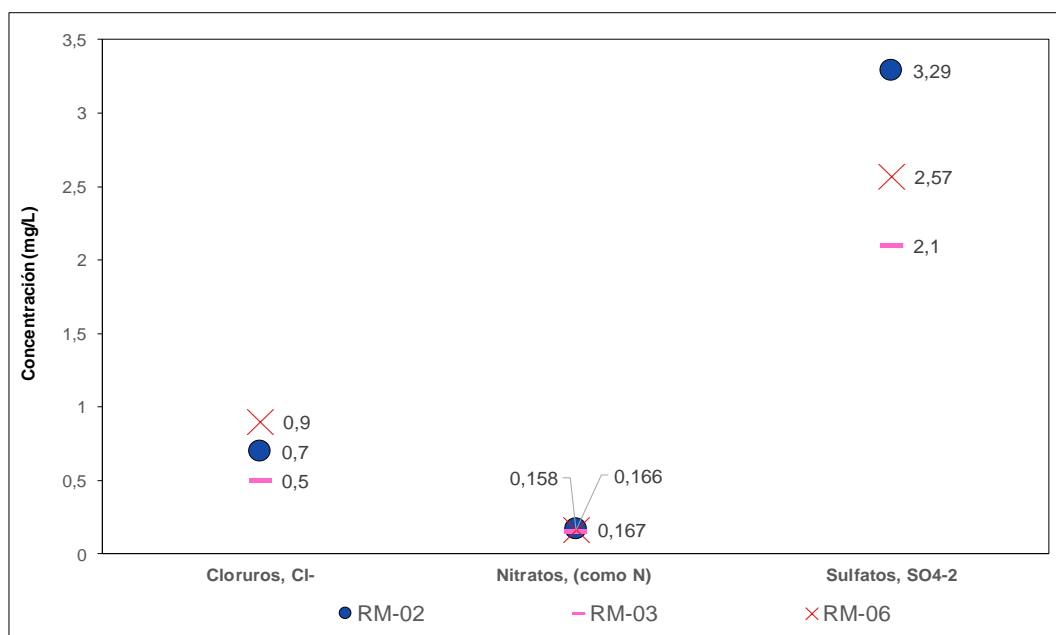


Figura 6.37. Prueba SPLP en aniones de la muestra de cuarcitas

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

En la Figura 6.38 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en aniones en caliza parda (RM-08) se lixivian principalmente los sulfatos en comparación a los cloruros y nitratos.

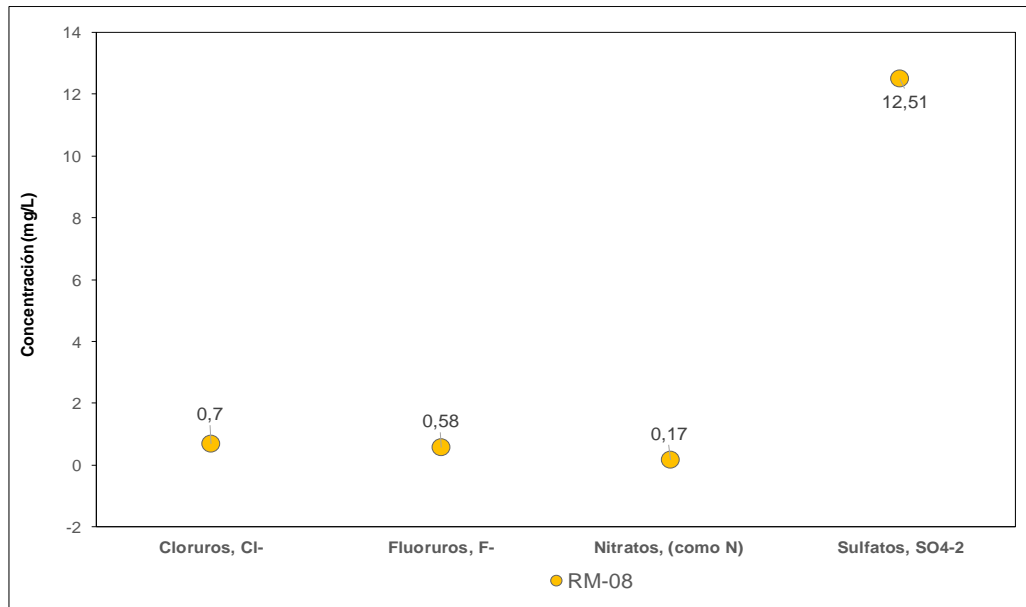


Figura 6.38. Prueba SPLP en aniones de la muestra de caliza parda

En la Figura 6.39 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en aniones en muestras de roca aledañas a la zona mineralizada (RM-11, RM-12 y RM-13) y alejadas de la zona mineralizada (RM-14, RM-15, RM-16, RM-19 y RM-21) lixivian principalmente los sulfatos en comparación con los cloruros, fluoruros y nitratos.

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

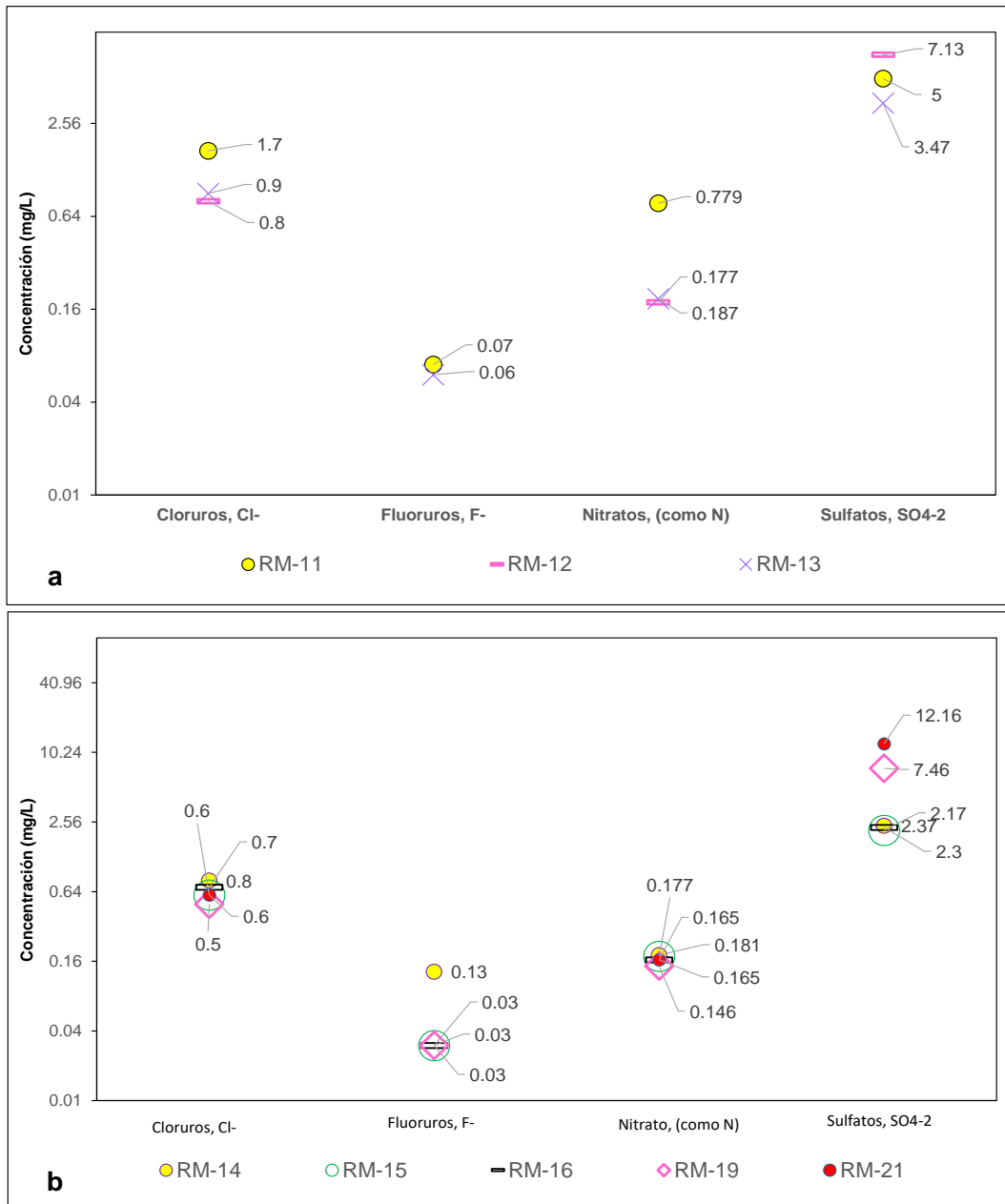


Figura 6.39. Prueba SPLP en roca intrusiva **a.** Cercana a la zona mineralizada y **b.** Alejada de la zona mineralizada

6.5.4. ABA

De acuerdo a los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para definir la generación de acidez de las cuarcitas con presencia de óxidos de hierro en matriz y planos de fractura, las muestras codificadas como RM-18, RM-22, RM-23, RM-17, RM-03, RM-04 y RM-01 según el primer criterio se ubicaron en la zona de incertidumbre.

En cuanto al segundo criterio, las muestras con códigos RM-01, RM-04 y RM-03 son potenciales generadores de acidez; asimismo, las muestras codificadas como RM-23 y RM-22, se encuentran en la zona de incertidumbre y, las muestras con códigos RM-17 y RM-18 son no generadores de acidez (Figura 6.40).

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

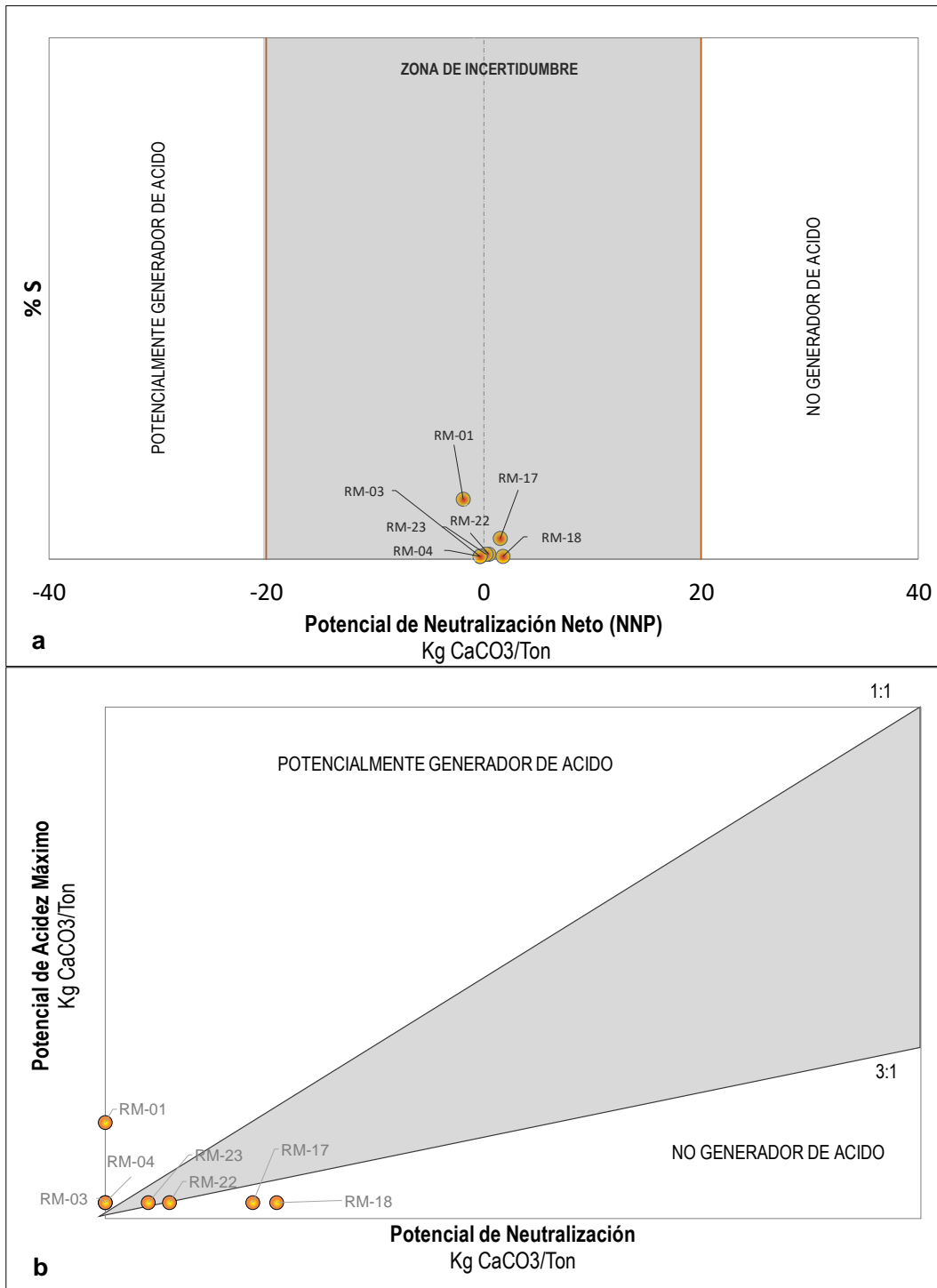


Figura 6.40. Prueba ABA en cuarcitas con presencia de óxidos de hierro **a.** Primer criterio y **b.** Segundo criterio

Las cuarcitas blanquecinas codificadas como RM-05 y RM-02 según el primer criterio se encuentran en la zona de incertidumbre. Asimismo, en el segundo criterio la muestra de código RM-05 es potencial generador de acidez, mientras que la muestra codificada como RM-02 se encuentra en la zona de incertidumbre (Figura 6.41).

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

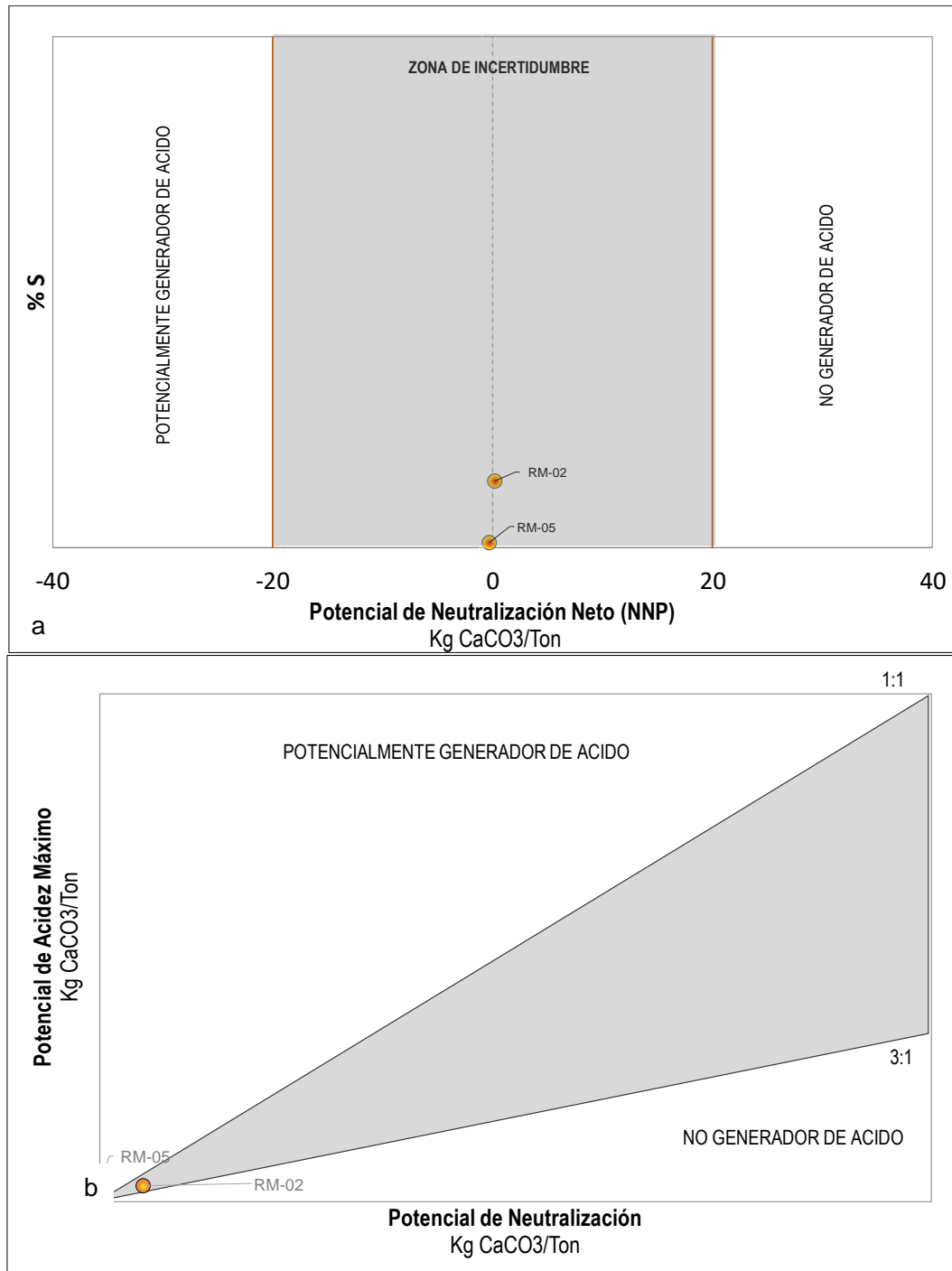


Figura 6.41. Prueba ABA en cuarcitas blanquecinas **a.** Primer criterio y **b.** Segundo criterio

Las cuarcitas pardas con códigos RM-06, RM-09 y RM-20 según el primer criterio se encuentran en la zona de incertidumbre; en tanto que, en el segundo criterio son potenciales generadores de acidez (Figura 6.42).

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

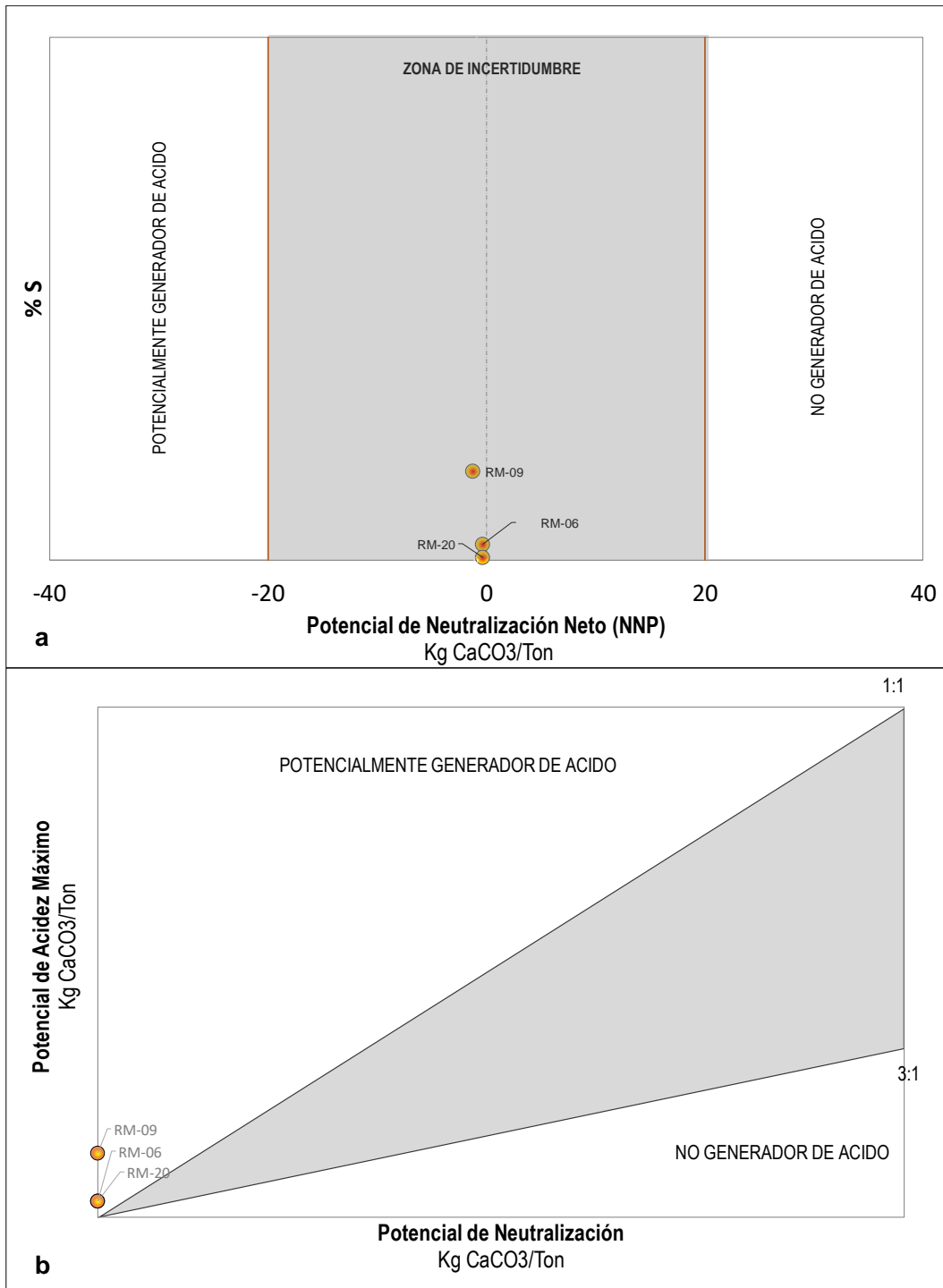


Figura 6.42. Prueba ABA en cuarcitas pardas **a.** Primer criterio y **b.** Segundo criterio

Los intrusivos aledaños a la zona mineralizada codificados como RM-11, RM-12 y RM-13 según el primer criterio y segundo criterio se encuentran en la zona de incertidumbre.

En cuanto a los intrusivos alejados de la zona mineralizada codificados como RM-19, RM-21, RM-14 y RM-15 según el primer criterio se encuentra en la zona de incertidumbre a excepción del RM-16 que es no generadora de acidez. Por otro lado, en el segundo criterio las muestras con códigos RM-19 y RM-21 se encuentran en

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

zona de incertidumbre, mientras que las muestras codificadas como RM-14, RM-15 y RM-16 son no generador de acidez (Figura 6.43).

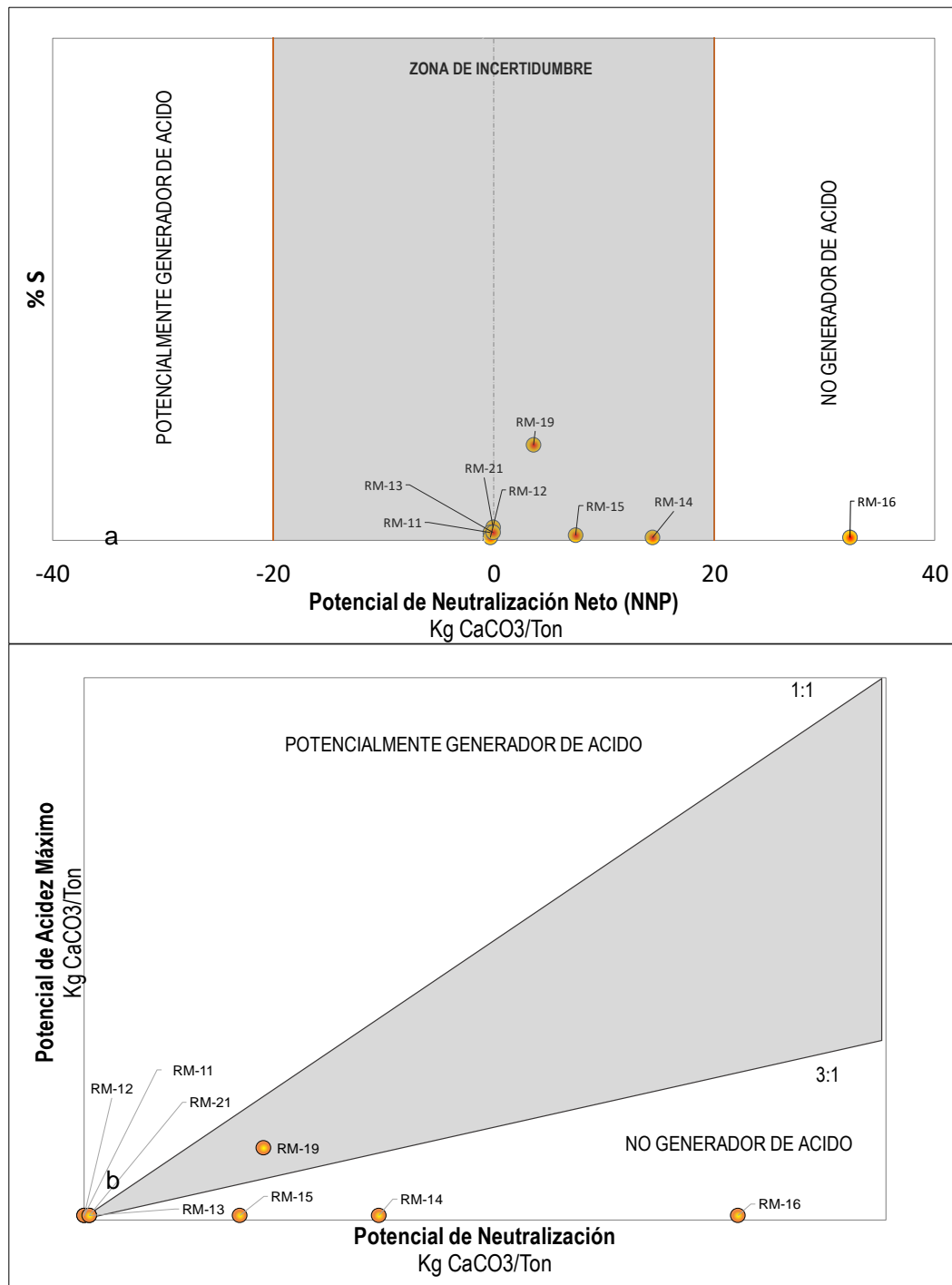


Figura 6.43. Prueba ABA en intrusivos aledaños y alejados de la zona mineralizada **a.** Primer criterio y **b.** Segundo criterio

En cuanto al skarn de hierro (RM-07) y la caliza parda (RM-08) según el primer y segundo criterio son no generadoras de acidez (Figura 6.44).

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

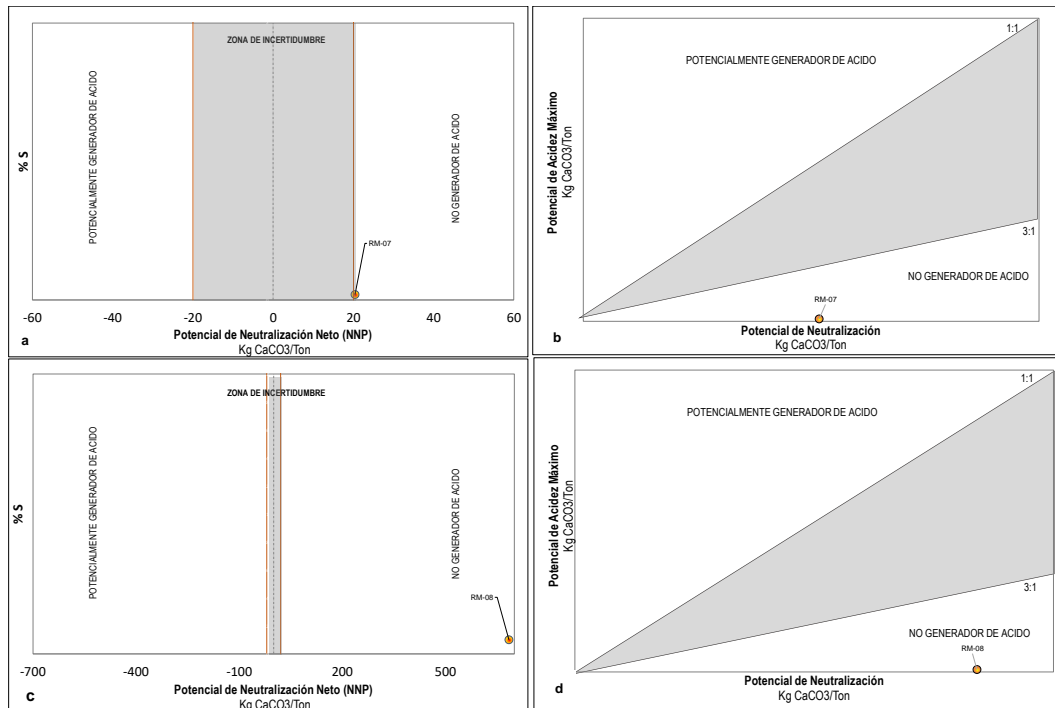


Figura 6.44. Prueba ABA en skarn de hierro y caliza parda **a.** Primer criterio y **b.** Segundo criterio

La muestra correspondiente a depósito coluvial (RM-10), en el primer criterio se ubica en la zona de incertidumbre; mientras que en el segundo criterio es potencial generador de acidez (Figura 6.45).

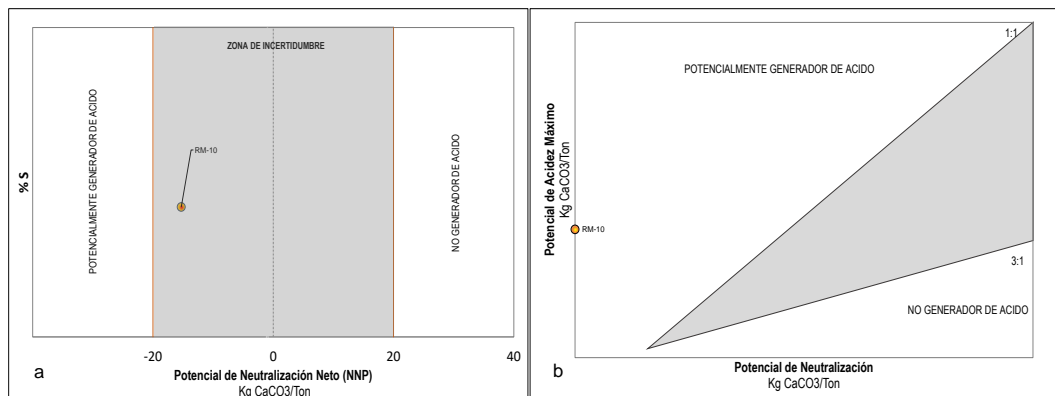


Figura 6.45. Prueba ABA en depósito coluvial **a.** Primer criterio y **b.** Segundo criterio

6.5.5. WHOLE ROCK

Las concentraciones de elementos a través del whole rock, muestran patrones químicos similares entre las rocas intrusivas aledañas (RM-11 y RM-13) y alejadas de la zona mineralizada (RM-14, RM-15, RM-16, RM-19 y RM-21). Esto es reflejado a través de la tendencia que siguen las concentraciones de metales en las rocas ígneas que afloran en las comunidades campesinas de Michiquillay y La Encañada comparadas con las concentraciones de metales de la corteza terrestre (Wedepohl, 1995).

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

Existe una mayor concentración de cobre y molibdeno en las rocas intrusivas aledañas a la zona mineralizada (Figura 6-46a) y existencia de zinc y molibdeno en zonas alejadas de la zona mineralizada (Figura 6-46b).

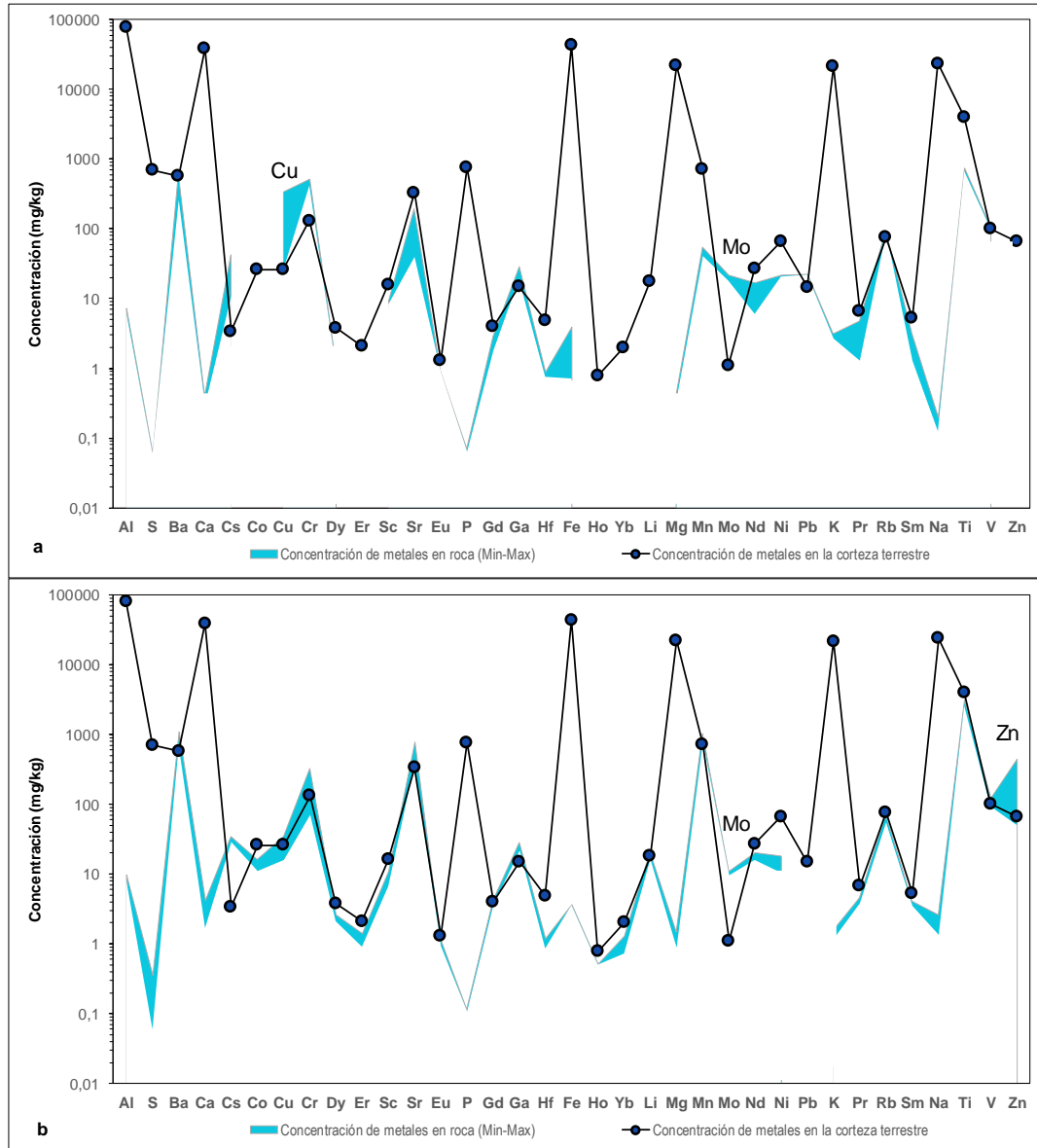


Figura 6.46. Comparación entre las concentraciones de metales en rocas ígneas con las concentraciones de metales de la corteza terrestre (Wedepohl, 1995) **a.** muestras aledañas y **b.** alejadas de la zona mineralizada

6.5.6. MINERALOGÍA

Las cuarcitas (RM-02, RM-03 y RM-06) y la caliza (RM-08) poseen mayor proporción de cuarzo con respecto a los demás minerales. Además, los intrusivos cercanos a la zona mineralizada codificados como RM-11, RM-12 y RM-13 poseen mayor porcentaje de cuarzo, mica y andalucita en comparación a lo intrusivos alejados (Figura 6.47).

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

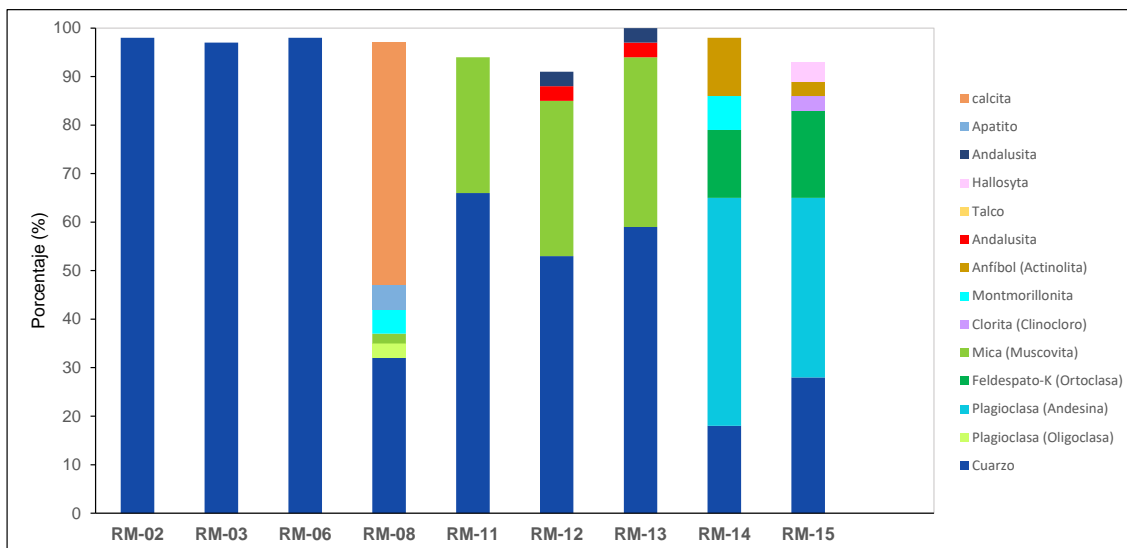


Figura 6.47. Mineralogía de las muestras de cuarcitas y calizas

6.6. PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

6.6.1. Depósito de desmonte en el sector aeropuerto

En la Figura 6.48 se presenta las concentraciones de metales totales en las muestras codificadas como PM-01, PM-02, PM-03 y PM-04. Obteniéndose mayor concentración de aluminio y hierro; en comparación con el arsénico, bario, calcio, cobalto, cromo, cobre, potasio, magnesio, manganeso, sodio, níquel, fósforo, plomo, silicio, estroncio, titanio, vanadio y zinc. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

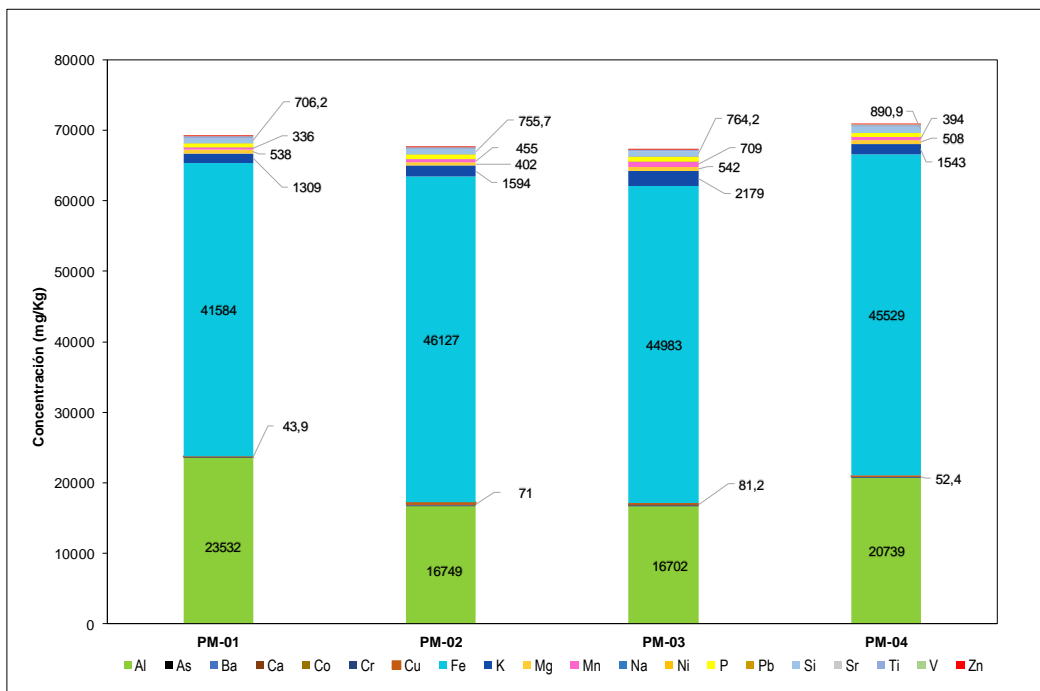


Figura 6.48. Metales totales en muestras de pasivo ambiental minero del depósito de desmonte del sector aeropuerto

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

En la Figura 6.49 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en metales en las muestras codificadas como PM-02 y PM-04; lixivian principalmente el azufre, silicio, aluminio en comparación al bario, calcio, cobalto, cobre, manganeso y potasio. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis laboratorio.

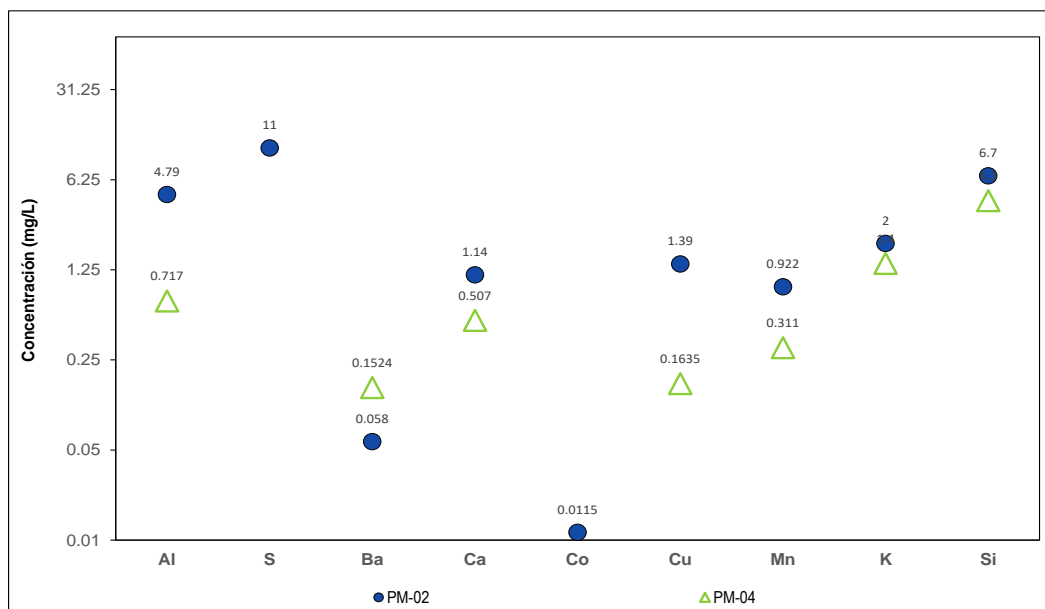


Figura 6.49. SPLP metales en muestras de pasivo ambiental minero del depósito de desmonte aeropuerto

De acuerdo a los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para definir la generación de acidez de las muestras con códigos PM-02 y PM-04, según el primer criterio se encontró en la zona de incertidumbre (Figura 6.50). En tanto que, en el segundo criterio, la muestra de código PM-04 es potencialmente generador de acidez y la muestra con código PM-02 se encuentra en la zona de incertidumbre (Figura 6.51).

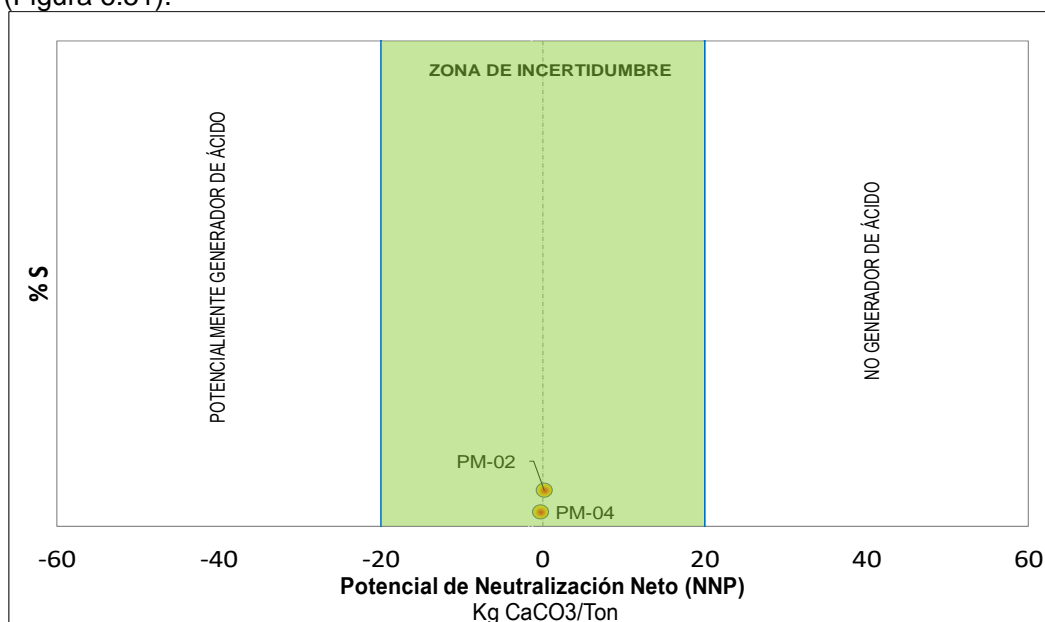


Figura 6.50. Prueba ABA en muestras de pasivo ambiental minero del sector aeropuerto según el primer criterio

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

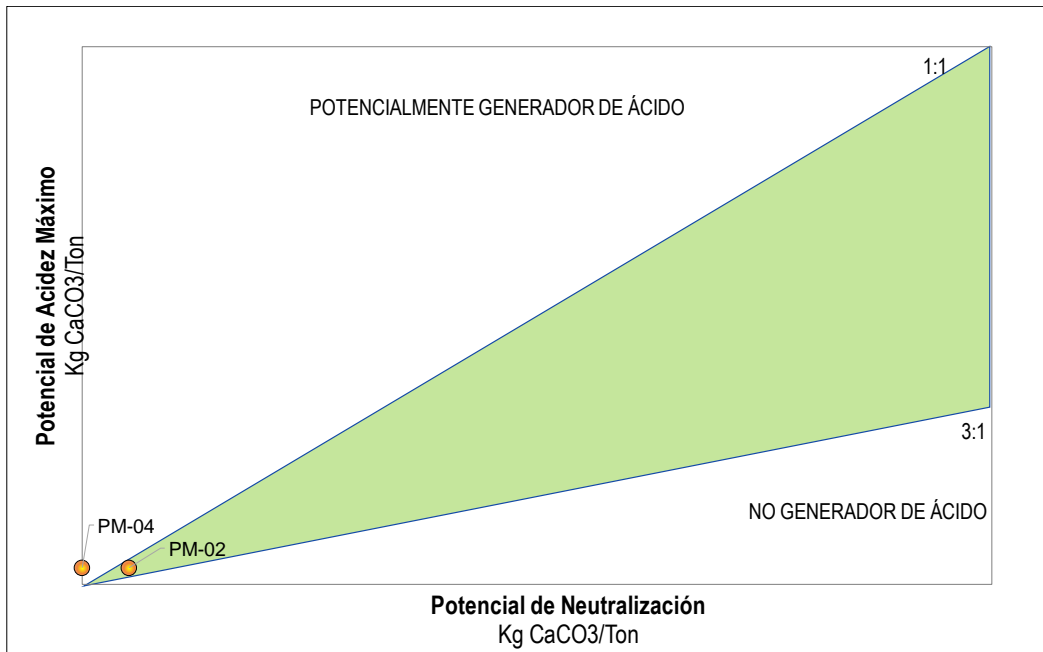


Figura 6.51 Prueba ABA en muestras de pasivo ambiental minero del depósito de desmonte del sector aeropuerto según el segundo criterio

En la Figura 6.52 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en aniones en las muestras con códigos PM-02 y PM-04, lixivian principalmente sulfatos en comparación con los cloruros y nitratos. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

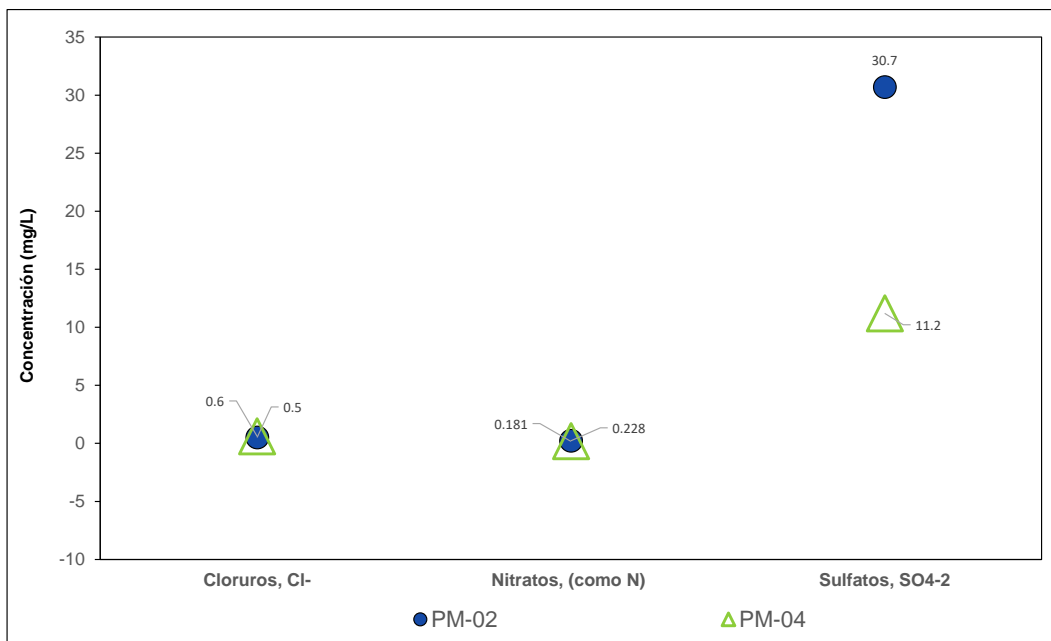


Figura 6.52. Prueba SPLP aniones en muestras de pasivo ambiental minero del depósito de desmonte del sector aeropuerto

Como se observa en la Figura 6.53, las muestras con códigos PM-02 y PM-04 poseen mayor proporción de cuarzo, caolinita, mica (muscovita), goethita con respecto a la jarosita, diáspora, anatasa, gibsita y andalucita.

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

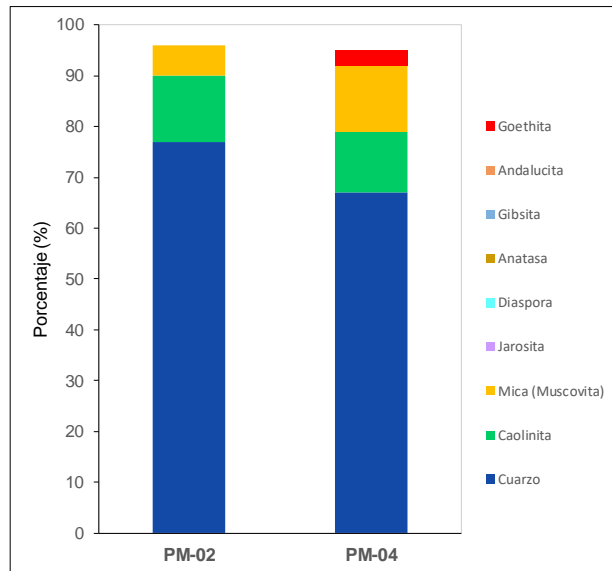


Figura 6.53. Mineralogía de las muestras de pasivo ambiental minero del depósito de desmonte del sector aeropuerto

6.6.2. Depósito de desmonte cercano al túnel Michiquillay

En la Figura 6.54 se presenta las concentraciones de metales totales obtenidas en la parte baja del túnel Michiquillay, muestras con códigos PM-05 y PM-06. Obteniéndose mayor concentración de aluminio, hierro y potasio; en comparación con el arsénico, bario, calcio, cromo, cobre, magnesio, manganeso, sodio, fosforo, plomo, silicio, estroncio, titanio, vanadio y zinc. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis laboratorio.

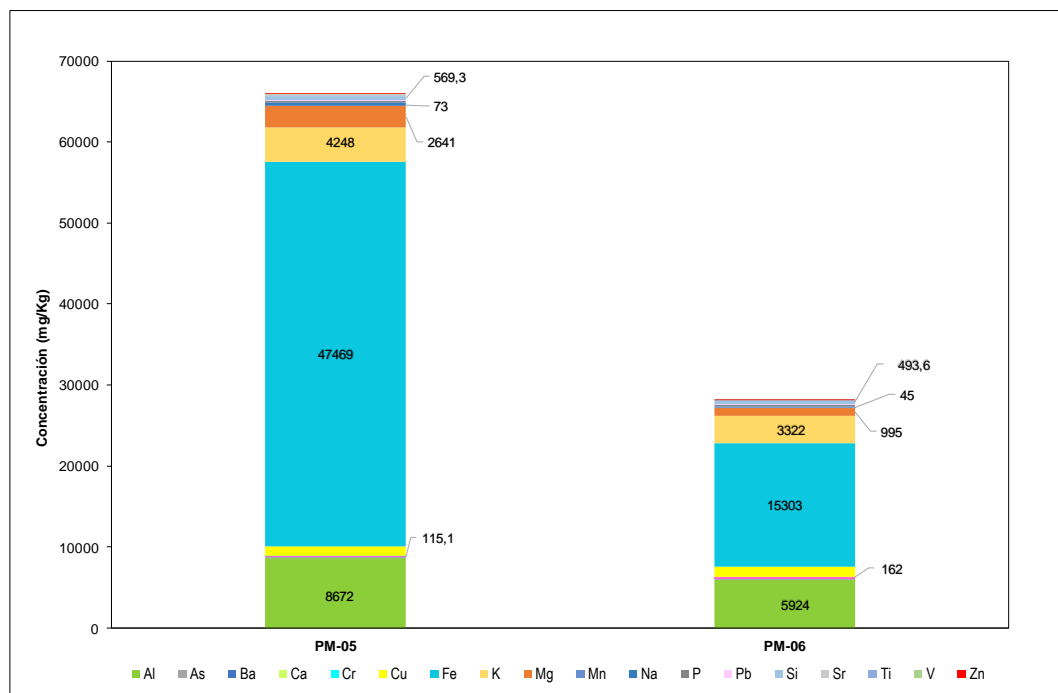


Figura 6.54. Metales totales en muestras de pasivo ambiental minero del desmonte cercano al túnel Michiquillay

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

De acuerdo a los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para definir la generación de acidez de la muestra con código PM-06, según el primer criterio se encontró en la zona de incertidumbre (Figura 6.55). En tanto que, en el segundo criterio es potencialmente generador de acidez (Figura 6.56).

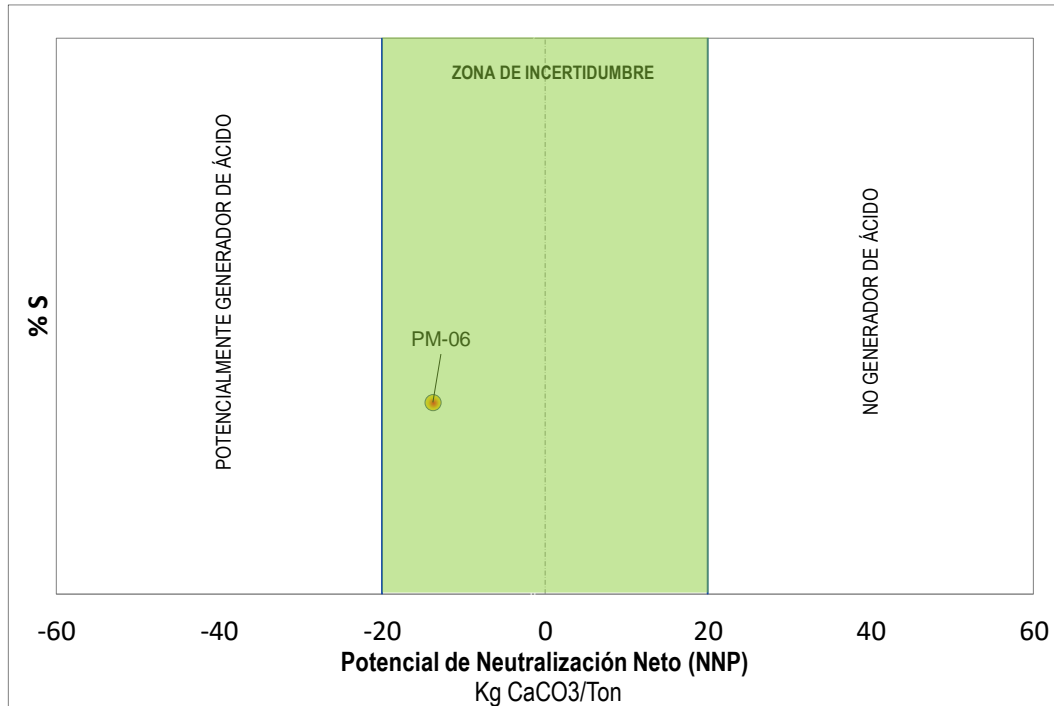


Figura 6.55. Prueba ABA en muestras de pasivo ambiental minero del desmonte cercano al túnel Michiquillay según el primer criterio

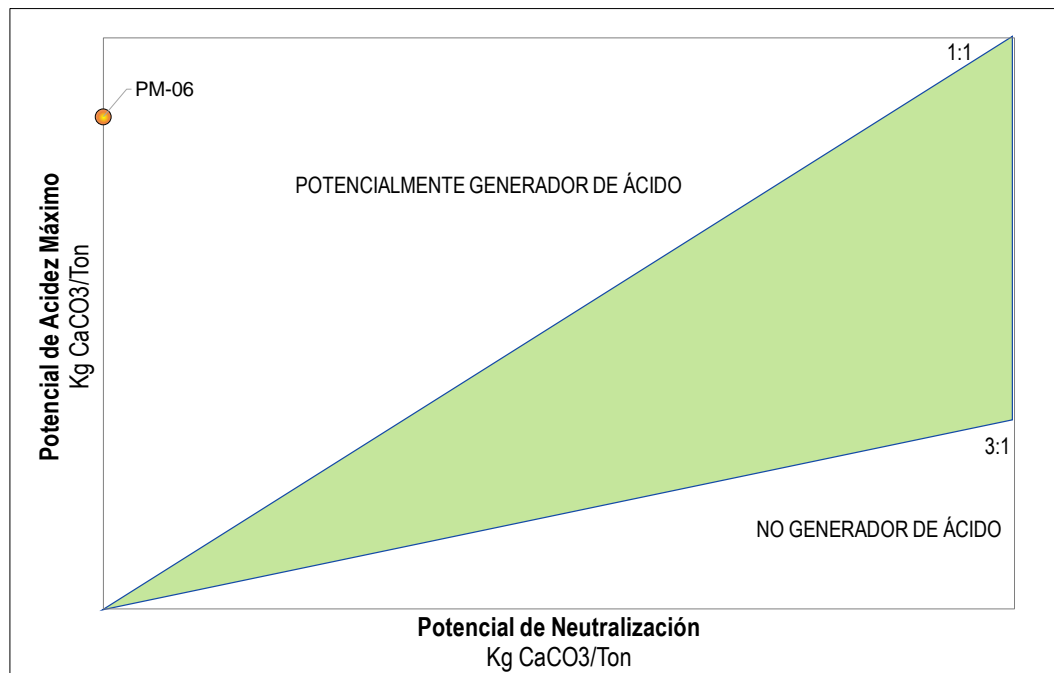


Figura 6.56. Prueba ABA en muestras de pasivo ambiental minero del desmonte cercano al túnel Michiquillay según el segundo criterio

6.6.3. Bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón

En la Figura 6.57 se presenta las concentraciones de metales totales de las muestras obtenidas aledañas a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón (PM-07 y PM-08). Obteniéndose mayor concentración de hierro; en comparación a plata, aluminio, arsénico, bario, calcio, cadmio, cobalto, cromo, cobre, potasio, magnesio, manganeso, fosforo, plomo, antimonio, silicio, estroncio, titanio, vanadio, zinc y mercurio. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

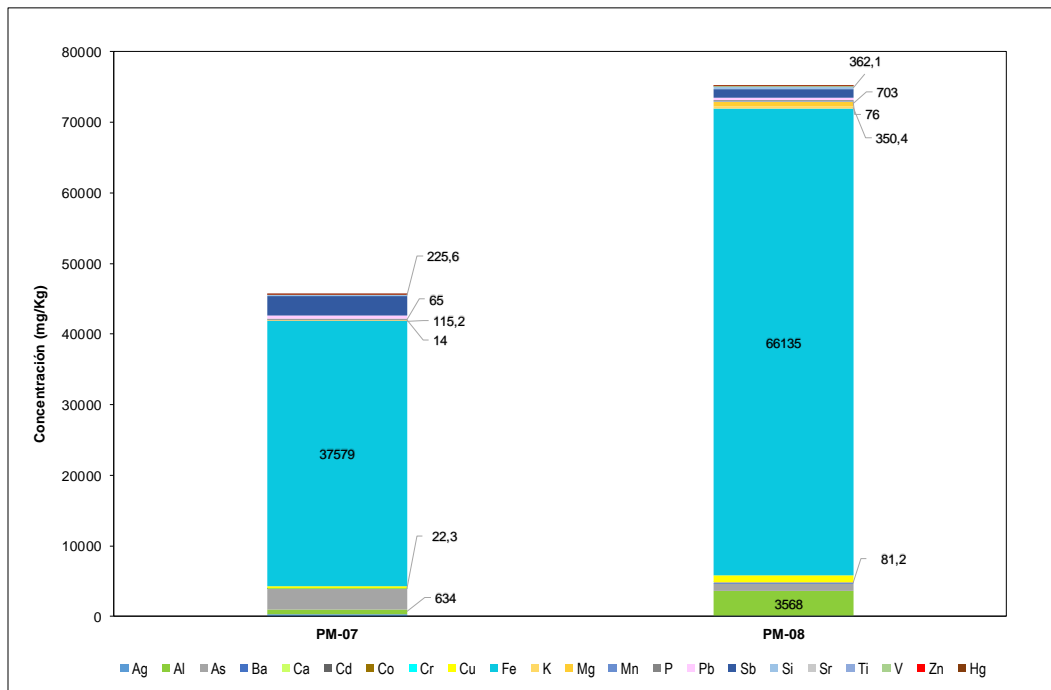


Figura 6.57. Metales totales en muestras de pasivo ambiental minero aledaño a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón

La Figura 6.58 muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en metales, la muestra con código PM-08; lixivía mayormente el silicio, en comparación con el aluminio, bario, calcio, cobre, manganeso y potasio. Cabe precisar que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis laboratorio.

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

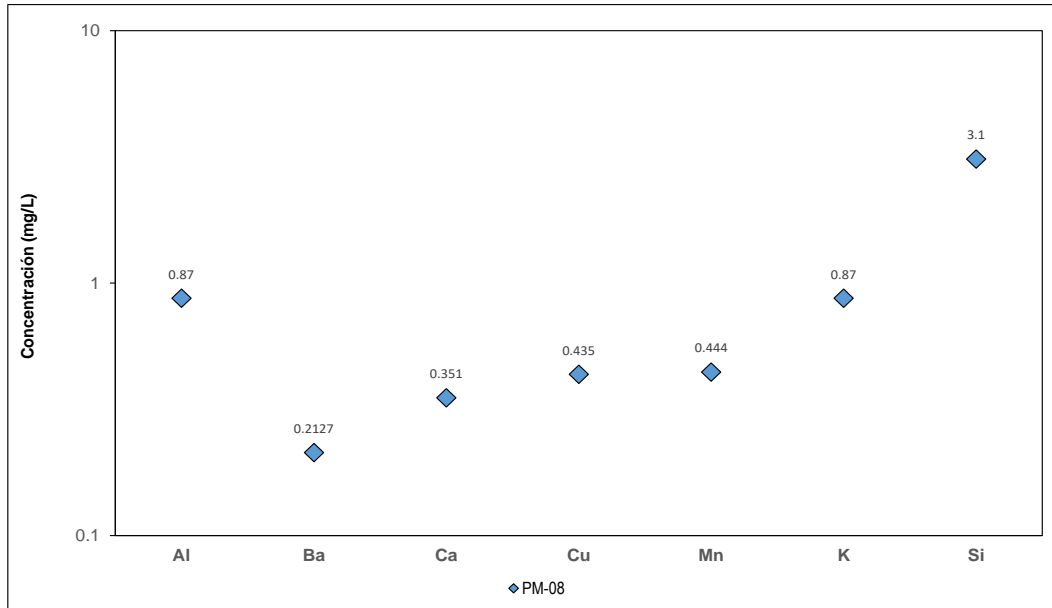


Figura 6.58. SPLP metales en la muestra con código PM-08 correspondientes a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón

De acuerdo a los resultados de la prueba estática de balance ácido-base (ABA) para definir la generación de acidez de la muestra con código PM-07 según el primer criterio se encuentra en la zona de incertidumbre, mientras que en el segundo criterio es potencialmente generador de acidez. Asimismo, la muestra codificada como PM-08 según el primer y segundo criterio es potencialmente generadora de acidez (Figuras 6.59 y 6.60).

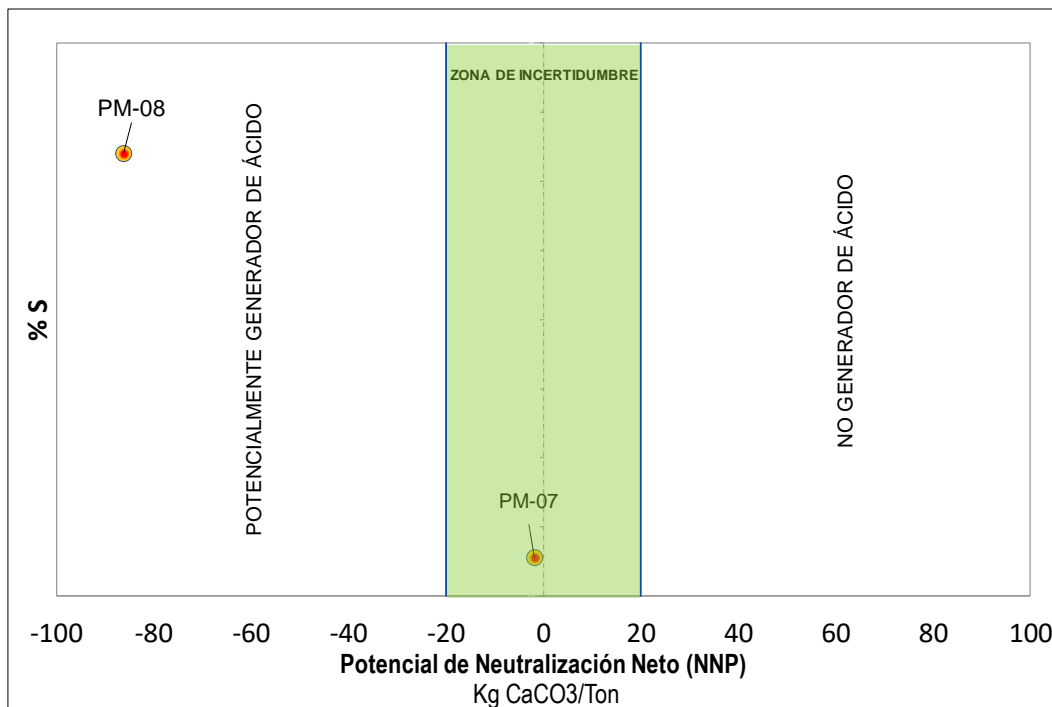


Figura 6.59. Prueba ABA en muestras de pasivo ambiental minero aledaño a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón según el primer criterio

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

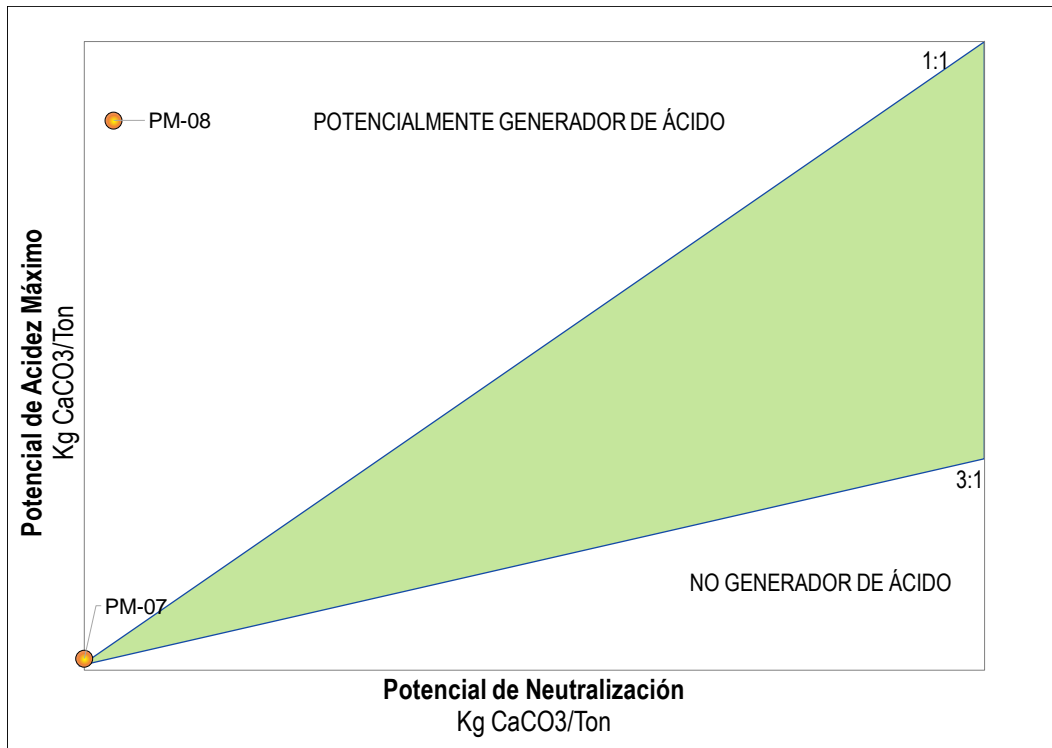


Figura 6.60. Prueba ABA en muestras de pasivo ambiental minero aledaño a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón según el segundo criterio

En la Figura 6.61 se muestra que bajo condiciones de pH ácidos de la prueba SPLP en aniones de la muestra PM-08, se lixivian principalmente sulfatos en comparación con los cloruros y nitratos. Cabe precisar, que los demás elementos no mencionados se encuentran por debajo del límite de detección del método de análisis del laboratorio.

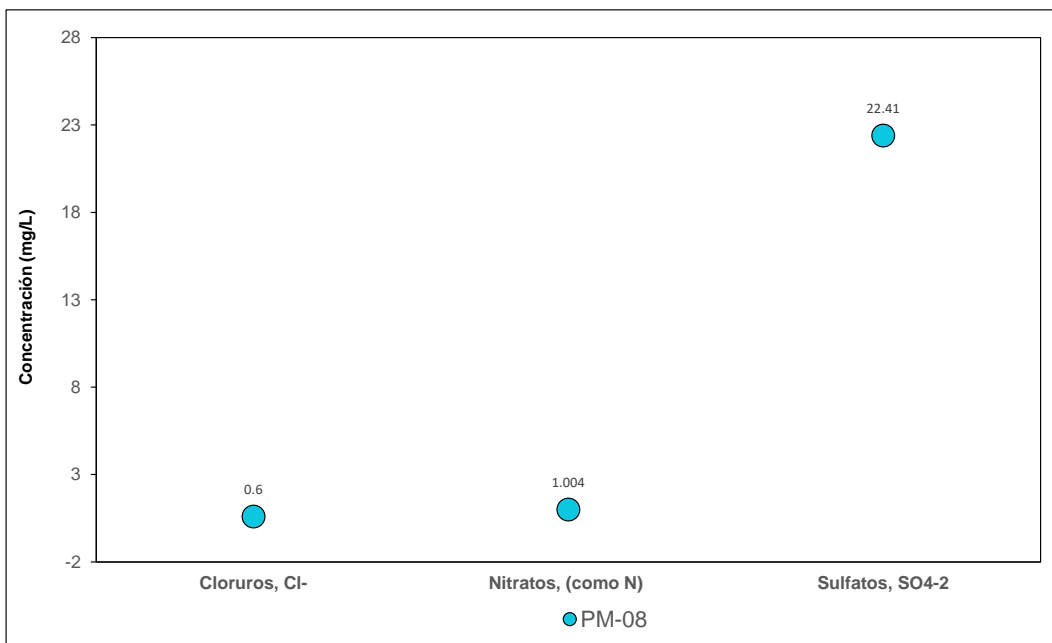


Figura 6.61. Prueba SPLP en muestras de pasivo ambiental minero aledaño a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón

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

Como se observa en la Figura 6.62, las muestras poseen mayor proporción de cuarzo, caolinita, con respecto a pirita, lepidocrosita, anatasa, pirofilita, clorita, esvanbergita.

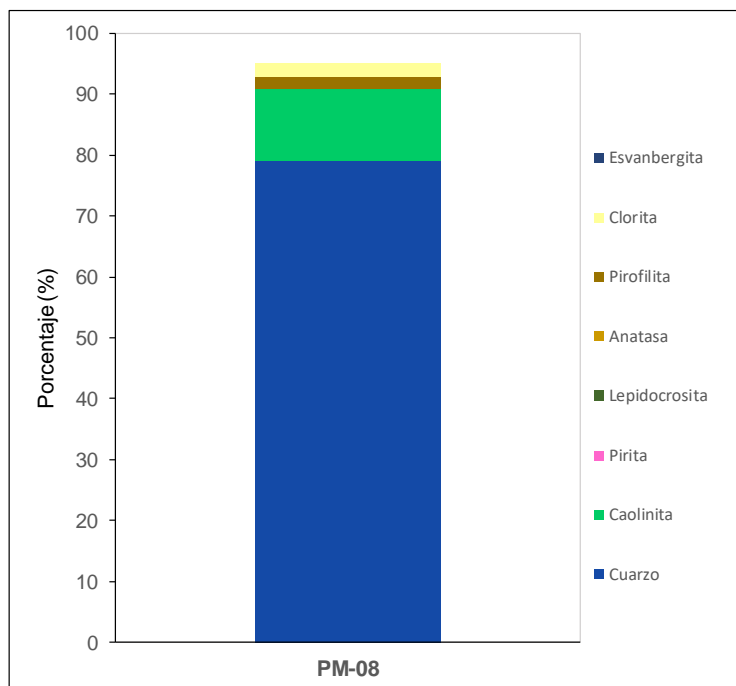


Figura 6.62. Mineralogía en muestra de pasivo ambiental minero aledaño a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón

7. DISCUSION

Se realizó el muestreo de intrusivos cercanos y alejados en el complejo mineralizado de las comunidades campesinas Michiquillay y La Encañada, definido en dimensión y ubicación por Davies y Williams (2005)³. Obteniéndose en estos intrusivos, así como en la cuarcitas y calizas, elevadas concentraciones de hierro y aluminio en comparación a los otros metales totales; que según Mason (1960) son los más abundantes en la corteza terrestre, por lo tanto, los elementos antes mencionados no fueron considerados para geoquímica de roca.

En el modelo conceptual (Figura 7.1) se muestra que existe mayor concentración de metales totales de cobre, potasio, silicio y fósforo en las muestras intrusivas codificadas como RM-11, RM12 y RM-13, cuya existencia se debería a su cercanía al cuerpo principal de mineralización (Cu) y la alteración potásica presente en esta zona, corroborada a través de los trabajos de perforación de Metal Mining Agency (1970). Además, las mencionadas muestras sometidas a las condiciones de prueba SPLP resultan tener condiciones geoquímicas para la liberación de potasio, silicio, calcio y sulfatos; en tanto que las pruebas de generación de acidez (ABA), se encuentran en la zona de incertidumbre.

Los intrusivos alejados codificados como RM-14, RM-15, RM-16, RM-19 y RM-21 del complejo mineralizado presentaron una mayor concentración de calcio y magnesio total, siendo estos elementos los que guardarían relación con la existencia de piroxenos, anfíboles y plagioclasas (andesina), según lo mencionado por Padilla (2014). Asimismo, según la prueba SPLP se podrían liberar calcio, silicio y potasio, en tanto que los resultados de ABA indican que no son generadores de acidez (Figura 7.1).

De la comparación con las concentraciones de la corteza terrestre (Wedepohl, 1995), se desprende que existe mayor concentración de cobre en las rocas intrusivas aledañas al complejo mineralizado y existencia de zinc en zonas alejadas al mismo. Lo que sugiere que el cobre bajo condiciones oxidantes tiene una movilidad moderada; en tanto que el zinc muestra una dispersión más amplia en ambientes silíceos (cuarcita), información que es mencionada en los estudios de Rivera (2002). Es importante mencionar que el área de estudio constituye el primer evento magmático (20 a 22 millones de años) correspondiente a la franja Metalogenética N° XX de pórfidos de Cu-Mo (Au) (Ingemmet, 2009).

Del análisis exploratorio para establecer la relación entre elementos presentes en los intrusivos (Anexo 4), existe una buena correlación entre el potasio, silicio y zinc con el aluminio; silicio, estroncio, zinc y cobre con el potasio. Estas correlaciones guardan relación con la alteración potásica – fílica del complejo mineralizado (Davies y Williams, 2005).

En cuanto a las agrupaciones geoquímicas de los elementos que forman las cuarcitas (roca huésped) de acuerdo a su composición poseen similares concentraciones de metales, diferenciándose de algunos elementos de acuerdo a su cercanía a los cuerpos intrusivos. De ello, se desprende que las cuarcitas con contenidos de óxidos de hierro en planos de fractura y matriz que entran en contacto con los intrusivos presentan concentraciones de metales totales de silicio, manganeso y potasio; asimismo, según las pruebas SPLP se liberan mayormente el potasio y sulfatos, y de acuerdo al ABA tres de siete muestras son generadoras de acidez.

³ Davies R. y Williams P. 2005. The Galeno and Michiquillay porphyry Cu-Au-Mo deposits: geological descriptions and comparison of miocene porphyry systems in the Cajamarca district, northern Peru (Pág. 26-28),



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

Los afloramientos de cuarcita (blanquecina y parda) que entran en contacto con calizas, muestran una correlación de potasio y titanio con el aluminio; cromo con calcio; silicio con hierro. Siendo las cuarcitas blanquecinas las que presentaron potasio y silicio en mayor cantidad que otros metales, y según las pruebas SPLP se liberan calcio, manganeso y sulfatos; en tanto que la prueba ABA indica que una de dos muestras fue potencial generador de acidez. Las cuarcitas pardas presentaron mayor contenido de silicio, potasio y calcio que los otros metales y según las pruebas SPLP se libera el hierro, sulfatos, asimismo la prueba ABA indica que fue potencial generador de acidez.

Los afloramientos de caliza se ubican hacia el sur del complejo mineralizado, presentando una mayor concentración de calcio; de acuerdo a las pruebas SPLP, se libera el azufre, calcio y sulfatos. Por otro lado, se extrajo una muestra del depósito coluvial aldeaño al río Michiquillay codificada como RM-10, que presentó altas concentraciones de magnesio, calcio y potasio, y según las pruebas SPLP se lixivian principalmente el calcio, azufre y sulfatos, asimismo las pruebas ABA indica que fue potencial generador de acidez.

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

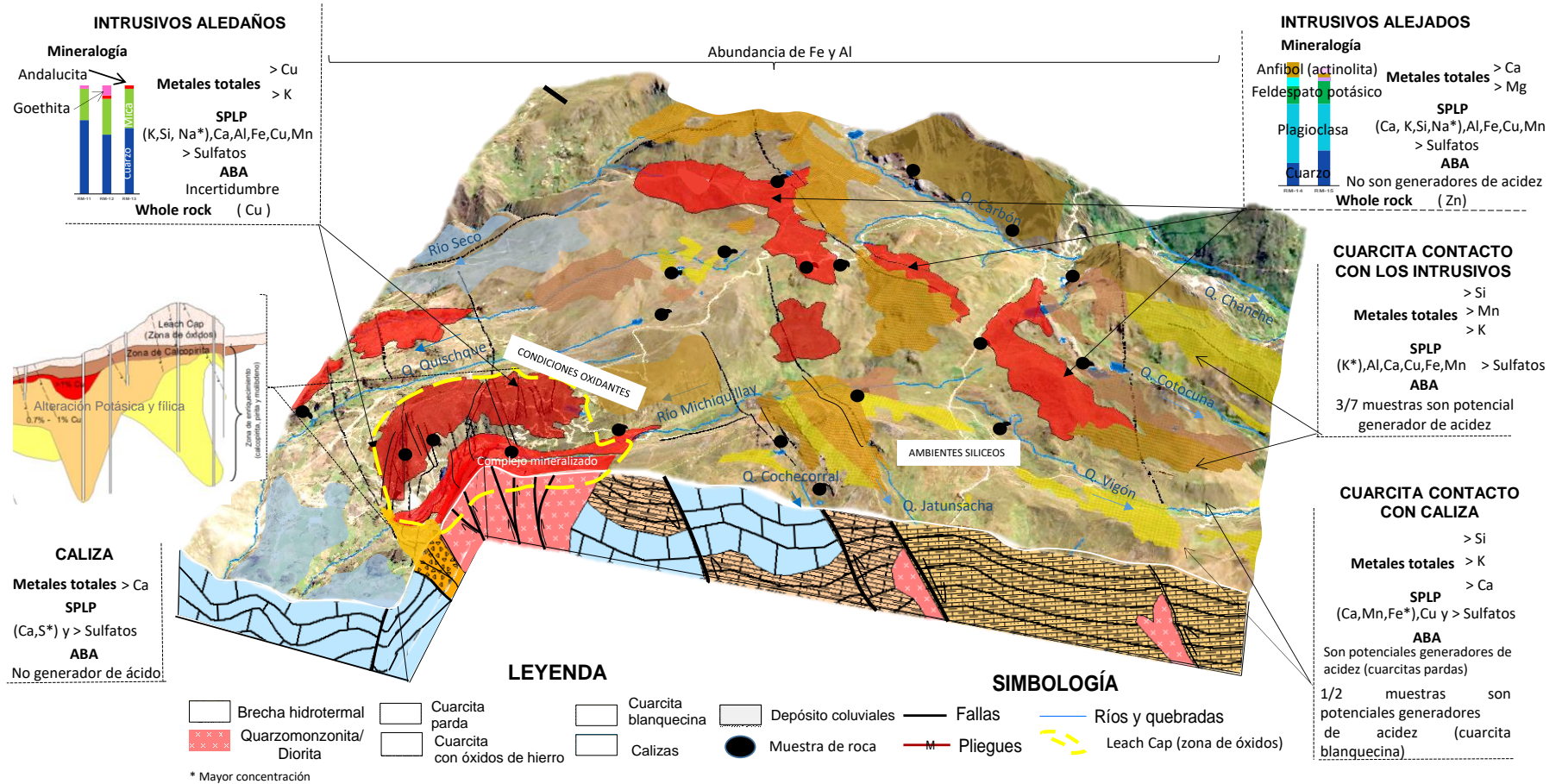


Figura 7.1. Modelo conceptual litoestratigráfico-geoquímico del área de estudio

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

En el área de estudio se tienen identificados 15 pasivos ambientales mineros de tipo producto químico (1), infraestructura (7), residuo minero (6) y labor minera (1) (Minem, 2019⁴). En esta evaluación se priorizó los residuos mineros como el desmote ubicado aledaño al túnel Michiquillay y al sector aeropuerto, por presentar mayores áreas. Adicionalmente, se caracterizó el material aledaño a una bocamina artesanal ubicada en la margen izquierda de la quebrada el Carbón, por su posible influencia a los cuerpos de agua (Figura 7.5).

El desmote cercano al túnel Michiquillay de área 5352 m² y volumen 10635 m³ (Centromín Perú S.A. 2006)⁵, se encuentra emplazado sobre el contacto entre la brecha hidrotermal y el intrusivo cuarzomonzonítico/diorítico, estructuralmente se encuentra afectada por sistemas de fallas noroeste-sureste. Además, este material está compuesto por fragmentos gruesos de roca solidificada con presencia de sericita, óxidos de hierro con diseminaciones de pirita, y arcillas con ausencia de carbonatos, que concuerda con lo descrito por CESEL Ingenieros (2009)⁶.

El desmote cercano al túnel Michiquillay presentó cárcavas a consecuencia del agua de precipitación pluvial (lluvia) y de escorrentía, tal como lo reportaron (Centromín Perú S.A. 2006)⁷ en el Informe de supervisión N.º 1102-2017-OEFA/DS-MIN del OEFA⁸. Asimismo, los resultados fisicoquímicos de este componente muestran altas concentraciones de aluminio, hierro y potasio en comparación a otros metales; en tanto, que los ensayos de balance ácido base (ABA) evidencian su potencial generador de acidez (Figura 7.2).

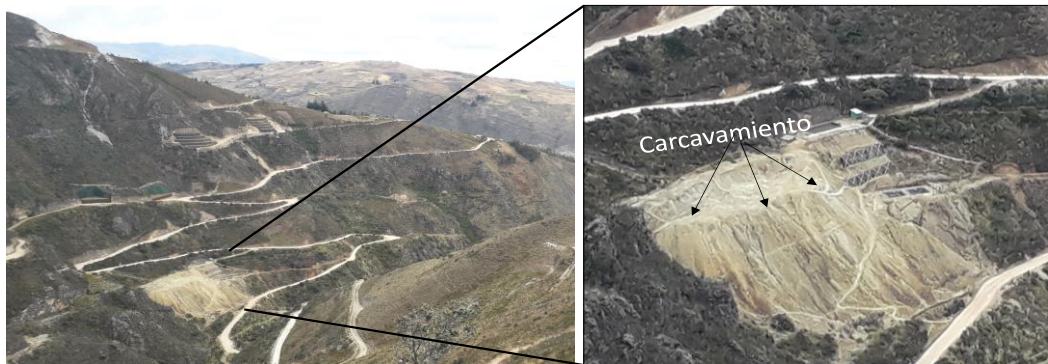


Figura 7.2. Depósito de desmote aledaño al túnel Michiquillay

El depósito de desmote en el sector aeropuerto de área 4989 m² y volumen 1726 m³ (Centromin Perú S.A. 2006)⁹, está emplazado sobre depósitos cuaternarios coluviales y se encuentra a 150 metros aproximadamente de la falla Michiquillay y según CESEL

⁴ Resolución Ministerial N° 010-2019-MEM/DM. Actualizan el Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros. Aprobado el 11 de enero de 2019.

⁵ Empresa Minera del Centro del Perú S.A. 2006. Plan de cierre de los Pasivos Ambientales Mineros del Proyecto Michiquillay de CENTROMIN PERÚ S.A. diciembre 2006. Aprobado mediante Resolución Directoral N° 214-2007-MEM/AAM de fecha 21 de junio del 2007. Pág.13

⁶ CESEL Ingenieros. 2009. Auditoría Ambiental en el Proyecto Michiquillay, preparado para Activos Mineros S.A.C. Setiembre 2009. Pág.4

⁷ Empresa Minera del Centro del Perú S.A. 2006. Plan de cierre de los Pasivos Ambientales Mineros del Proyecto Michiquillay de CENTROMIN PERÚ S.A. diciembre 2006. Aprobado mediante Resolución Directoral N° 214-2007-MEM/AAM de fecha 21 de junio del 2007.

⁸ Informe de supervisión N.º 1102-2017-OEFA/DS-MIN. Supervisión regular realizada del 20 al 22 de abril de 2017 a los Pasivos Ambientales Mineros del Proyecto Michiquillay a cargo de Activos Mineros S.A.C. Pág.14

⁹ Empresa Minera del Centro del Perú S.A. 2006. Plan de cierre de los Pasivos Ambientales Mineros del Proyecto Michiquillay de CENTROMIN PERÚ S.A. diciembre 2006. Aprobado mediante Resolución Directoral N° 214-2007-MEM/AAM de fecha 21 de junio del 2007. Pág. 13

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

Ingenieros (2009), para la construcción de la pista de aterrizaje se utilizó material de desmonte, además de acumulados de minerales del stock pile¹⁰, información que fue corroborada en campo (Figura 7.3).

El el componente antes mencionado se obtuvieron muestras con códigos PM-01, PM-02, PM-03 y PM-04, cuyos resultados indican altas concentraciones de aluminio y hierro, y a las condiciones de la prueba SPLP lixivian el azufre, silicio, aluminio y sulfatos, en tanto que una (PM-04) de las dos muestras extraídas demostró ser potencial generador de acidez, información que es corroborada según CESEL Ingenieros (2009)¹¹. CESEL Ingenieros (2015)¹² menciona que este material está compuesto por roca gris con alteración cuarzo-sericita, presencia de pátinas de óxidos de hierro (hematita, limolita) y contenido de pirita en diseminación, microvenillas o rellenando microfracturas, información que fue corroborada en campo (Figura 7.3).



Figura 7.3. Depósito de desmonte del sector aeropuerto conformado por material de desmonte y mineral de stockpile

El material proveniente de labor minera artesanal aledaño a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada Carbón (Figura 7.4), está constituido principalmente de hierro y aluminio y en menor proporción silicio, plomo, antimonio, cobre y arsénico, es potencial generador de acidez, y libera aluminio, bario, calcio, cobre, manganeso, potasio y silicio.



Figura 7.4. Bocaminas ubicadas en la margen izquierda de la quebrada Carbón

¹⁰ Empresa Minera del Centro del Perú S.A. 2006. Plan de cierre de los Pasivos Ambientales Mineros del Proyecto Michiquillay de CENTROMIN PERÚ S.A. Diciembre 2006. Aprobado mediante Resolución Directoral N° 214-2007-MEM/AAM de fecha 21 de junio del 2007. Pág. 7

¹¹ CESEL Ingenieros. 2009. Auditoría Ambiental en el Proyecto Michiquillay, preparado para Activos Mineros S.A.C. Setiembre 2009. Pág. 83

¹² CESEL Ingenieros. 2015. Auditoría sobre el impacto ambiental de las labores realizadas por la empresa Anglo American Michiquillay S.A. en el proyecto Michiquillay, preparado para Activos Mineros S.A.C. Pág. 49

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

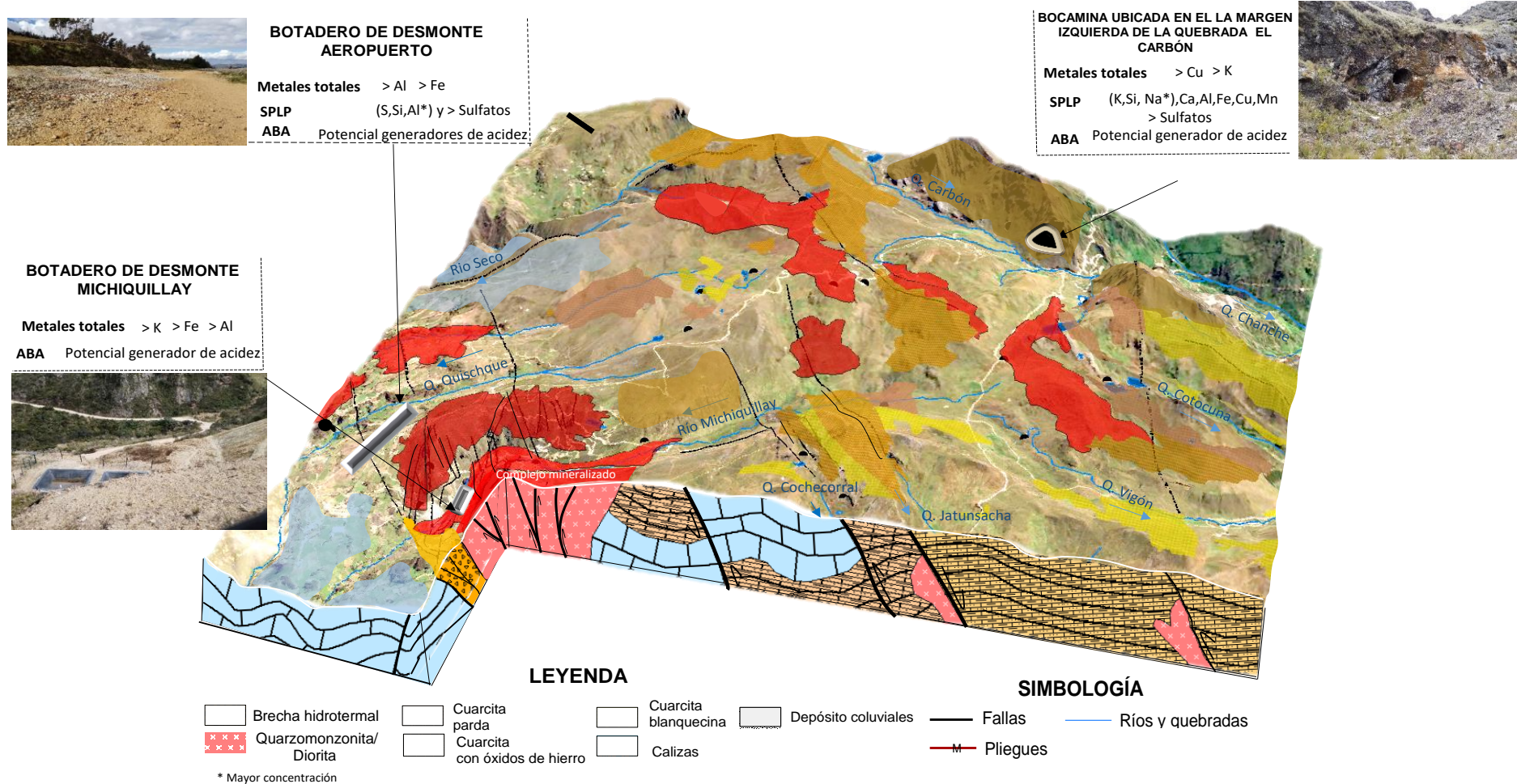


Figura 7.5. Modelo conceptual litoestratigráfico-geoquímico de pasivos ambientales minero

8. CONCLUSIÓN

El área de estudio presenta afloramientos rocosos con bajas concentraciones de metales o metaloides, que podrían migrar a los componentes ambientales por dispersión geoquímica primaria o secundaria, principalmente el hierro y aluminio al ser los mayores constituyentes de la corteza terrestre.

Las rocas intrusivas aledañas al complejo mineralizado aportarían cobre, potasio, silicio y fósforo total por su cercanía al mismo y la existencia de alteración potásica – fílica; en tanto, que los intrusivos alejados, tienen concentraciones de calcio y magnesio por presentar mayor cantidad de piroxénos, anfíboles y plagioclasas (andesina).

Los intrusivos cercanos al complejo mineralizado presentaron cobre como elemento móvil debido a las condiciones oxidantes en esta capa (Leach Cap); mientras que los intrusivos alejados, presentaron liberación de zinc por aflorar en ambientes silíceos (cuarcitas). Además, según la prueba de lixiviación (SPLP) los intrusivos cercanos al complejo mineralizado tienen condiciones para la liberación de potasio, silicio, calcio y sulfatos, y según la prueba de generación de acidez (ABA), se encontraron en la zona de incertidumbre; en comparación con los intrusivos alejados de este complejo mineralizado que según SPLP se reportó calcio, silicio y potasio, y no fue generador de drenaje ácido.

Del análisis exploratorio para establecer la relación entre elementos de los intrusivos, existe una buena correlación entre el potasio, silicio y zinc con el aluminio; y silicio, estroncio, zinc y cobre con el potasio debido a la alteración potásica – fílica.

Las cuarcitas que entran en contacto con los intrusivos presentan mayores concentraciones de silicio, manganeso y potasio, liberando principalmente potasio y sulfatos, asimismo, tres de siete muestras evaluadas fueron generadoras de acidez.

Las cuarcitas blanquecinas presentaron potasio y silicio en mayor cantidad que otros metales, libera calcio, manganeso y sulfatos; y según la prueba ABA una de dos muestras fue potencial generador de acidez. Además, las cuarcitas pardas presentaron mayor contenido de silicio, potasio y calcio que los otros metales, liberando hierro y sulfatos, y fue potencial generador de acidez.

La caliza posee condiciones geoquímicas para liberación de calcio, azufre y sulfatos, y no fue potencial generador de acidez.

El depósito coluvial en las márgenes del río Michiquillay fue potencial generador de acidez, y presentó mayores concentraciones de magnesio, calcio y potasio, Asimismo, según la prueba SPLP libera principalmente calcio, azufre y sulfatos.

El desmonte aledaño al túnel Michiquillay constituye una fuente de generación de drenaje ácido, producto de la interacción entre el agua y los fragmentos gruesos de roca silicificada con presencia de sericita, óxidos de hierro con diseminaciones de pirita y arcillas que contienen principalmente aluminio y hierro, y en menor proporción cobre, potasio, silicio y magnesio.

El desmonte en el sector aeropuerto es otra fuente de generación de drenaje ácido, debido a la interacción entre el agua y el material de stock pile que contiene principalmente aluminio

y hierro, y en menor proporción silicio, potasio, manganeso, magnesio, potasio y cobre; y libera azufre, silicio, calcio, cobre, manganeso y sulfatos.

El material proveniente de la labor minera artesanal aledaña a la bocamina ubicada en la margen izquierda de la quebrada El Carbón fue potencial generador de acidez, y está constituido principalmente de hierro y aluminio, y en menor proporción silicio, plomo, antimonio, cobre y arsénico, liberando aluminio, bario, calcio, cobre, manganeso, potasio y silicio.

9. ANEXOS

ANEXO 1: Fichas de datos de campo

Anexo 1.1 Fichas de datos de campo de caracterización geológica

Anexo 1.2 Fichas de datos de campo de roca

Anexo 1.3 Fichas de datos de campo de pasivos ambientales mineros

ANEXO 2: Registro fotográficos

Anexo 2.1 Registro fotográfico de caracterización geológica

Anexo 2.2 Registro fotográfico de roca

Anexo 2.3 Registro fotográfico de pasivos ambientales mineros

ANEXO 3: Resultados de laboratorio

Anexo 3.1 Roca

Anexo 3.2 Pasivos ambientales mineros

Anexo 3.3 Informes de ensayo

ANEXO 4: Correlación exploratoria de metales en rocas

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, J.; Rivera, R.; Valencia, M.; Chirif, H.; Huanacuni, D.; Rodríguez, I.; Villarreal, E.; Paico, D.; & Santisteban, A. (2009). Memoria: Mapa Metalogenético del Perú. 2009. Lima, Perú: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico - INGEMMET.

Wedepohl, K.H. (1984). The composition of the continental crust (abstract). Mineral. Mag. 58, suppl. 959-960.

Rivera H.; (2001). Introducción a la geoquímica aplicada, Pág, 25-35

Mason L, (1960). Revista de la Asociación geológica Argentina, Tomo XXXIV-N°3, Pág 22-28

Davies R. y Williams P. 2005. The Galeno and Michiquillay porphyry Cu-Au-Mo deposits: geological descriptions and comparison of miocene porphyry systems in the Cajamarca district, northern Perú (Pág. 26-28)

Ficklin, W., Plumlee, G., Smith, K., & McHugh, J. (1992). Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas. (Y. Kharaka, & A. Maes, Edits.) Proceedings of water-rock interaction no 7, Vol I. Balkema, Rotterdam, 381-394.



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

Atentamente:

[LFAJARDO]

[LANCCO]

[JALVAREZT]

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

Atentamente:

[FGARCIA]



"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: 01992407"



01992407