

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TESIS

**Interpretación de las ocurrencias mineralógicas tipo skarn para
incrementar los recursos minerales al suroeste de la mina**

Rosario

Para obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo

Elaborado por

Jose Ferrari Saavedra Cabada

 [0009-0004-6927-0495](https://orcid.org/0009-0004-6927-0495)

Asesor

MSc. Gustavo Baltazar Vélez Arana

 [0000-0001-6903-512X](https://orcid.org/0000-0001-6903-512X)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Saavedra Cabada [1]
Referencia/Reference	[1] J. Saavedra Cabada, <i>“Interpretación de las ocurrencias mineralógicas tipo skarn para incrementar los recursos minerales al suroeste de la mina Rosario”</i> [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Saavedra, 2025)
Referencia/Reference	Saavedra, J. (2025). <i>Interpretación de las ocurrencias mineralógicas tipo skarn para incrementar los recursos minerales al suroeste de la mina Rosario</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi madre por estar constantemente motivándome y apoyándome para lograr mis objetivos, por ser la principal impulsora en el desarrollo de este trabajo.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería, que fue el pilar fundamental sobre el cuál desarrollé mis conocimientos geológicos gracias a sus prestigiosos profesores.

Asimismo, agradezco al Ing. Gustavo Vélez y al Ing. Carlos Rojas, por sus valiosas contribuciones en el desarrollo de esta tesis.

Resumen

La mina Rosario se encuentra ubicada en la región de Lima, cerca al límite con la región Pasco, en la cordillera occidental entre las cotas 4300 y 5000 m.s.n.m., a 180 km al noreste de Lima.

En el área de estudio afloran la formación Jumasha, la formación Celendín, el grupo Calipuy y la formación Casapalca. Las calizas de la formación Jumasha albergan la mineralización. Estructuralmente se presentan dos sistemas de fallas de rumbo NE-SW y rumbo NW-SW a E-W.

Se realizaron estudios petrominerográficos en secciones delgadas-pulidas. Los resultados de los estudios señalan la presencia de calcopirita-esfalerita-galena con menor contenido de arsenopirita, sulfosales de Ag y cobres grises acompañados de un ensamble de alteración prógrada compuesto por granates, piroxenos y wollastonita así como un ensamble de alteración retrógrada compuesto por epidota, cloritas y carbonatos. Asimismo, se han identificado ensambles de argilización y oxidación incipientes que acompañan al ensamble retrógrado. La mineralización se presenta diseminada y masiva en algunos sectores y está asociada a la alteración retrógrada.

Palabras claves — Estudios petrominerográficos, alteración prógrada, alteración retrógrada, argilización, oxidación.

Abstract

The mine Rosario is located in Lima region, near the limit with Pasco region, in the western cordillera, between the heights of 4300 and 5000 m.a.s.l., 180 km northeast of Lima.

In the study area, outcrops the Jumasha and Celendín formations, the Calipuy group and Casapalca formation. Jumasha's limestones bear the mineralization. Structurally two fault systems are identified, the first strikes NE-SW while the second strikes NW-SW, in some cases strikes E-W.

Petromineragráfic studies were carried out in thin-pulled sections of the samples. The results show the presence of an association between chalcopyrite, sphalerite and galena with minor contents of arsenopyrite, Ag sulfosalts and grey coppers. A prograde alteration has been identified which is composed of garnets, pyroxenes and wollastonite. Also, a retrograde alteration has been registered composed of epidote, chlorites and carbonates. Finally, incipient argilization and oxidation is related with retrograde alteration as well as the mineralization. Ore is disseminated and massive in some sectors.

Keywords — Petromineragráfic studies, prograde alteration, retrograde alteration, argilization, oxidation.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.1.1 Ubicación y acceso	1
1.1.2 Clima	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.2.1 Situación problemática	3
1.2.2 Formulación del problema general	4
1.2.3 Formulación de los problemas específicos	4
1.2.4 Justificación de la investigación	4
1.3 Objetivos del estudio	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Hipótesis del estudio	5
1.4.1 Hipótesis general	5
1.4.2 Hipótesis específicas	5
1.5 Antecedentes investigativos	5
1.5.1 Antecedentes internacionales	6
1.5.2 Antecedentes nacionales	7
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual	8
2.1 Marco teórico	8
2.1.1 Yacimiento skarn	8
2.1.2 Recursos minerales	12
2.2 Marco conceptual	14

2.2.1 Estudios mineragráficos	14
2.2.2 Estudios petromineragráficos	14
2.2.3 Microscopio de polarización	15
2.2.4 LeapFrog Geo	18
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	19
3.1 Marco geológico regional	19
3.1.1 Geomorfología	20
3.1.2 Estratigrafía.....	21
3.1.3 Rocas intrusivas.....	27
3.2 Marco geológico local.....	27
3.2.1 Geomorfología	28
3.2.2 Estratigrafía.....	29
3.2.3 Rocas intrusivas.....	34
3.2.4 Columna estratigráfica	35
3.2.5 Geología estructural.....	37
3.2.6 Alteraciones	44
3.2.7 Mineralización	46
3.3 Metodología	49
3.3.1 Trabajo de gabinete pre-campo	49
3.3.2 Trabajo de campo	50
3.4 Estudios petromineragráficos	52
3.4.1 Muestra M-2.....	52
3.4.2 Muestra M-7	54
3.4.3 Muestra M-10	56
3.4.4 Muestra M-13.....	58
3.4.5 Muestra M-15.....	60
Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	62
4.1 Análisis de resultados	62

4.1.1	Ensamble mineralógico	62
4.1.2	Secuencia paragenética	63
4.1.3	Alteraciones	63
4.1.4	Zonas ligadas a mineralización en el depósito	66
4.2	Propuesta de ingeniería	66
4.2.1	Perforación diamantina para la estimación de recursos mineros	66
4.2.2	Modelamiento geológico	67
	Conclusiones	69
	Recomendaciones	71
	Referencias bibliográficas	72
	Anexos	77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Ruta 1 de acceso a la Unidad Minera.....	1
Tabla 2: Ruta 2 de acceso a la Unidad Minera.....	1
Tabla 3: Minerales característicos de los depósitos skarn	10
Tabla 4: Ubicación de muestras para estudios petrominerográficos	51

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 : Ubicación de la Unidad Minera	2
Figura 2 : Clima en la Unidad Minera.....	3
Figura 3 : Ubicación sector de estudio	4
Figura 4 : Estadíos de evolución de los depósitos skarns	9
Figura 5 : Línea de tiempo de los depósitos skarn	11
Figura 6 : Distribución geográfica de los skarns en el mundo	12
Figura 7 : Interacción entre exploraciones, recursos y reservas minerales	14
Figura 8 : Secciones para análisis mineragráfico y petrográfico.....	15
Figura 9 : Microscopio de polarización.....	17
Figura 10: Plano de geología regional de la Unidad Minera.....	20
Figura 11: Cordillera Raura.....	21
Figura 12: Contacto de la formación Oyón con la formación Chimú.....	22
Figura 13: Grupo Goyllarisquizga y formación Chúlec	23
Figura 14: Calizas formación Jumasha	26
Figura 15: Plano de geología local de la Unidad Minera	29
Figura 16: Ubicación de la Unidad Minera en un circo glaciar	30
Figura 17: Miembro medio formación Jumasha	31
Figura 18: Vista interior mina formación Jumasha	32
Figura 19: Miembro inferior, medio y superior de la formación Jumasha.....	33
Figura 20: Formación Casapalca	34
Figura 21: Intrusivo dacítico en sondajes.....	35
Figura 22: Pórfido andesítico	35
Figura 23: Columna estratigráfica del distrito minero	36
Figura 24: Faja corrida y plegada de Marañón.....	38
Figura 25: Falla Cachipampa	39
Figura 26: Falla Socorro	40

Figura 27: Anticlinal Uchucchacua	41
Figura 28: Bloques estructurales del distrito minero.....	43
Figura 29: Arquitectura de los bloques estructurales	45
Figura 30: Veta mineralizada	47
Figura 31: Afloramientos de las vetas Camucha y Rosa	48
Figura 32: Brecha mineralizada en superficie	49
Figura 33: Metros de perforación diamantina	50
Figura 34: Ubicación de las muestras	52
Figura 35: Muestra macroscópica M-2.....	53
Figura 36: Fotomicrografías M-2.....	54
Figura 37: Muestra macroscópica M-7	55
Figura 38: Fotomicrografías M-7	56
Figura 39: Muestra macroscópica M-10.....	56
Figura 40: Fotomicrografías M-10	57
Figura 41: Muestra macroscópica M-13.....	58
Figura 42: Fotomicrografías M-13.....	59
Figura 43: Muestra macroscópica M-15.....	60
Figura 44: Fotomicrografías M-15.....	61
Figura 45: Ensamble mineralógico propuesto	62
Figura 46: Secuencia paragenética propuesta.....	64
Figura 47: Evolución de alteración y mineralización.....	65
Figura 48: Tipos de mineralización	66
Figura 49: Modelamiento del sector de skarn	67
Figura 50: Evolución volumen de 2020 a 2024	68

Introducción

El depósito de Uchucchacua ha sido descrito como un yacimiento CRD, debido a la gran cantidad de vetas que se encontraban ligadas a mineralización de Ag y polimetálica. Las vetas presentan una gran extensión y la mineralización es masiva. Sin embargo, la última campaña de exploración estuvo dirigida al sector suroeste de la mina Rosario donde se identificaron otros estilos de mineralización asociadas a alteraciones que difiere del encontrado en las vetas.

Los modelos geológicos indican que se puede pasar de un ambiente de mineralización a otro como en el caso de los pórfidos que pueden gradar a un ambiente epitermal donde las condiciones de precipitación de mineralización cambian debido a variaciones de temperatura y pH del fluido mineralizante.

En este estudio se definen los ensambles mineralógicos relacionados a la mineralización y a la alteración del sector suroeste de la mina Rosario que son importantes para aumentar el grado de entendimiento del depósito y realizar interpretaciones geológicas más adecuadas que se utilizarán para incrementar el Life of Mine aumentando y recategorizando los recursos minerales.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

1.1.1 Ubicación y acceso

La mina Rosario, se encuentra ubicada en el distrito y provincia de Oyón, en la región de Lima, cerca al límite con la región Pasco (ver figura 1). Se ubica alrededor de las siguientes coordenadas (WGS84):

Este = 315400

Norte = 8825800

La Unidad Minera se encuentra ubicada aproximadamente a 180 km en línea recta al NE de la ciudad de Lima (ver figura 1). Las altitudes oscilan entre 4300 a 5000 m.s.n.m. Existen dos rutas de acceso, la ruta 1 atraviesa Sayán (ver tabla 1) y la ruta 2 atraviesa Cerro de Pasco (ver tabla 2).

Tabla 1

Ruta 1 de acceso a la Unidad Minera

RECORRIDO	TIPO DE VÍA	ESTADO	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (HRS)
Lima-Sayán	Terrestre	Asfaltada	141	3
Sayán-Churín	Terrestre	Asfaltada	62	1
Churín-Oyón	Terrestre	Asfaltada	53	1
Oyón-Unidad Minera	Terrestre	Asfaltada	10	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Ruta 2 de acceso a la Unidad Minera

RECORRIDO	TIPO DE VÍA	ESTADO	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (HRS)
Lima-La Oroya	Terrestre	Asfaltada	141	3
La Oroya-Cerro de Pasco	Terrestre	Asfaltada	62	1
Cerro de Pasco-Unidad Minera	Terrestre	Asfaltada	53	1

Fuente: Elaboración propia.

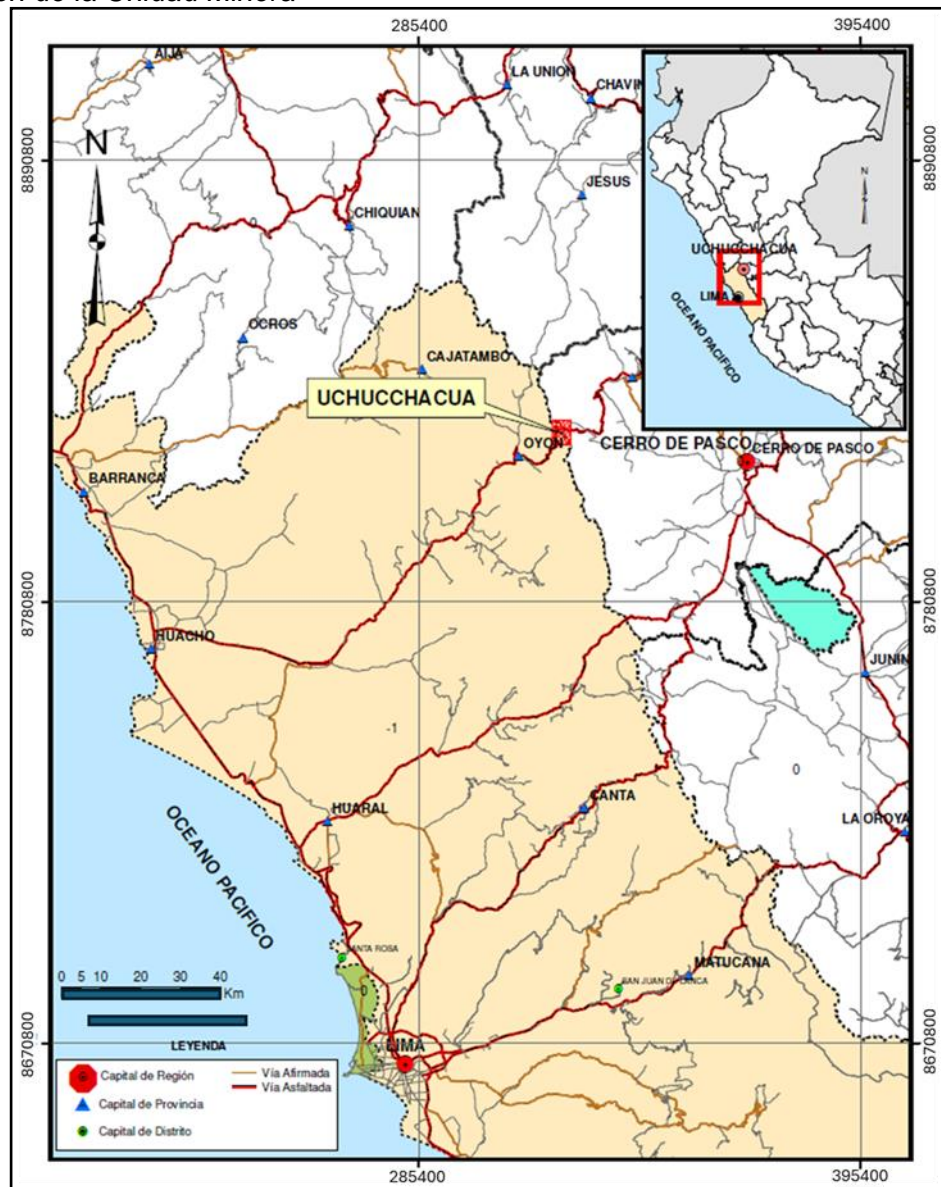
1.1.2 Clima

En el área de la mina Rosario se presentan condiciones climáticas correspondientes a la región puna, que se caracteriza por ser frío y con escasa humedad. Se presentan dos estaciones bien marcadas, de diciembre a abril es la época lluviosa,

mientras que de mayo a noviembre es la época de helada. Existen variaciones de temperatura pronunciadas entre el día y la noche, siendo la más pronunciada en la época de helada, las temperaturas en la noche llegan a -4°C . Normalmente, las temperaturas oscilan entre 1°C a 15°C , con una temperatura promedio anual de 10°C . En cuanto a las precipitaciones, se dan a través de lluvias; sin embargo, es común observar nevadas y granizadas. Los meses donde se intensifican las precipitaciones son febrero y marzo, mientras que junio y agosto son los meses en los que se observa mínimas precipitaciones. La precipitación media anual es de 520.3 mm (ver figura 2).

Figura 1

Ubicación de la Unidad Minera



Fuente: Imagen tomada de BISA (2018)

Figura 2

Clima en la Unidad Minera



Fuente: Elaboración propia.

1.2 Planteamiento del problema

En este acápite se plantea la situación problemática, la formulación del problema y la justificación de la investigación.

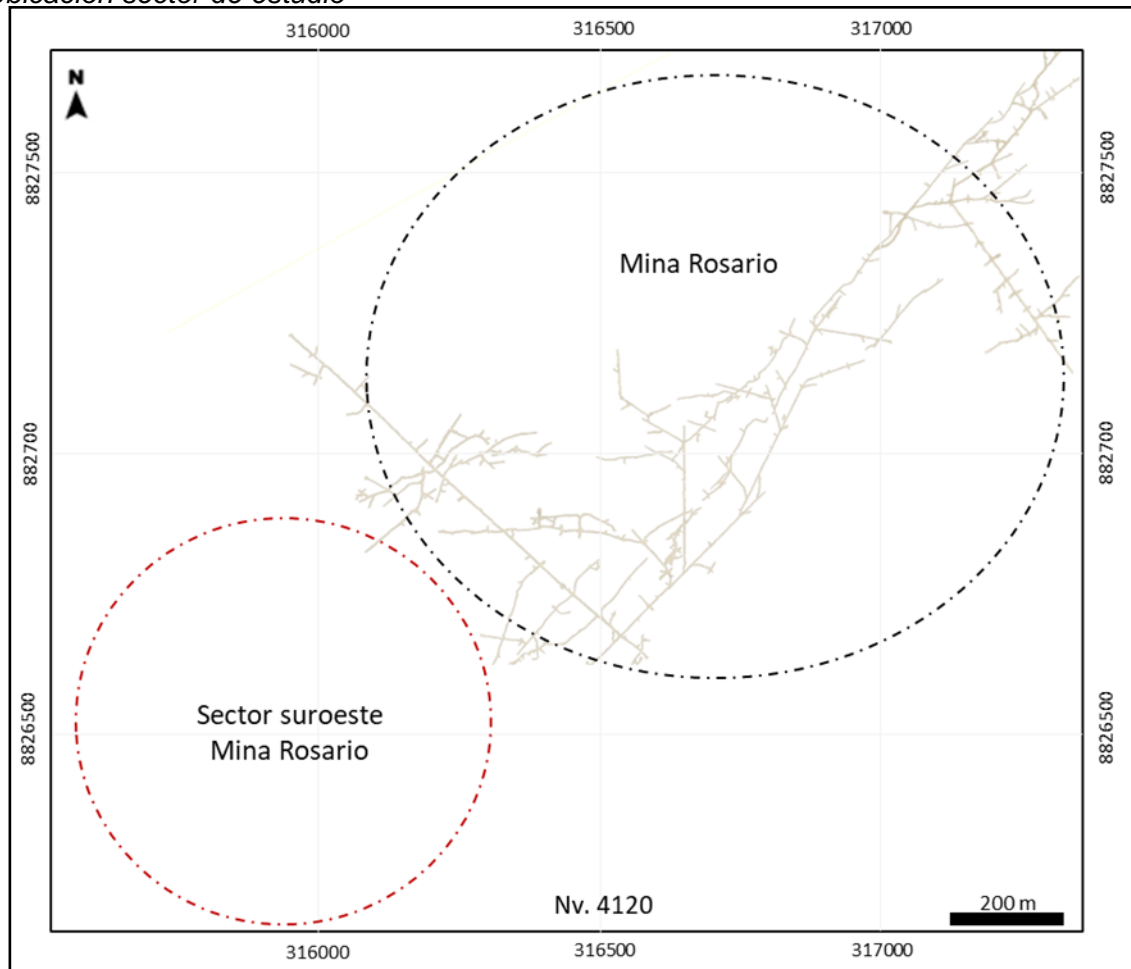
1.2.1 Situación problemática

El yacimiento de Uchucchacua presenta mineralización en forma de vetas que están emplazadas en las calizas de la Fm. Jumasha miembro medio, y presentan alto contenido de Ag (Chang, 2023). Actualmente la operación se encuentra minando vetas polimetálicas ricas en Pb-Zn en la mina Rosario.

Recientemente el plan de exploraciones del depósito se ha orientado al sector suroeste de la mina Rosario, obteniéndose resultados positivos en cuanto a mineralización, aunque el ensamble mineralógico difiere al encontrado en las vetas explotadas a la fecha. La ocurrencia de la mineralización explotada a la fecha presenta estructuras tipo veta masivas alojadas en calizas, mientras que en la nueva zona explorada (al suroeste de la mina Rosario) (ver figura 3) se encuentra mineralización tipo diseminada y masiva en reemplazamiento asociada a alteraciones y mármol. Debido a esta diferencia resulta importante caracterizar el nuevo ensamble para ampliar el conocimiento geológico del sector y continuar con las exploraciones.

Figura 3

Ubicación sector de estudio



Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Formulación del problema general

¿Cuáles son los ensambles mineralógicos que determinen los tipos de alteración y mineralización al suroeste de la mina Rosario?

1.2.3 Formulación de los problemas específicos

- ¿Cuáles son los resultados de los estudios petromineragráficos y cuál es su relación con la mineralización económica?
- ¿Cuáles son los tipos de alteraciones que se encuentran al suroeste de la mina Rosario y cuál es su relación con la mineralización?

1.2.4 Justificación de la investigación

El presente trabajo se justifica en la necesidad de actualizar el modelo de mineralización en el depósito de Uchucchacua para definir nuevos sectores de potencial

geológico con controles de mineralización y características que sean similares a los encontrados al suroeste de la mina Rosario (campaña de exploración 2024).

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Al interpretar el nuevo ensamble mineralógico mediante un estudio petromineragráfico se incrementarán los recursos minerales y su potencial minero en la zona suroeste de la mina Rosario.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar estudios petromineragráficos del sector suroeste de la mina Rosario y analizar su relación con la mineralización económica.
- Determinar las alteraciones presentes al suroeste de la mina Rosario y su relación con la mineralización.

1.4 Hipótesis del estudio

1.4.1 Hipótesis general

Con las nuevas ocurrencias-ensambles mineralógicos se incrementarán los recursos minerales del yacimiento al suroeste de la mina Rosario.

1.4.2 Hipótesis específicas

- Los estudios petromineragráficos determinarán la secuencia paragenética de la mineralización al suroeste de la mina Rosario.
- Al determinar las alteraciones presentes al suroeste de la mina Rosario y su relación con la mineralización se encontrará que pertenecen a un yacimiento tipo skarn.

1.5 Antecedentes investigativos

El yacimiento minero de Uchucchacua ha sido objeto de estudio en distintas oportunidades por diversos autores quienes describen en forma detallada su ubicación, geografía, clima, historia, geología regional, entre otros aspectos geológicos del yacimiento. A continuación, se mostrarán las conclusiones de los trabajos más relevantes.

1.5.1 Antecedentes internacionales

Chang, Shu y Meinert (2019) realizan una revisión de los depósitos skarn en China, en el que determinaron que la gran cantidad de skarns (387 yacimientos) son debidos a magmas hidratados y a las plataformas de rocas carbonatadas. Pudieron confirmar los típicos estadios de skarn, iniciando con la alteración prógrada (alta temperatura), seguido de la alteración retrógrada rica en sulfuros y óxidos de Fe (temperaturas disminuyen), finalizando en un estadio rico en carbonatos sin contenido de mineralización. Identificaron la transición del sistema skarn a depósitos de reemplazamiento en rocas carbonatadas, que contienen mineralización Pb-Zn, así como Sn, W, Cu y Au. Concluyeron que, a pesar de que el estudio de estos yacimientos brinda un mejor entendimiento de la zonificación de metales, no existe un patrón de zonificación que pueda ser válido para todos los skarns existentes.

Ramos et. al. (2024) proponen una actualización de la secuencia paragenética y caracterización de los yacimientos del Sol y Luna, Aranzazú y Cata Arroyo utilizando una metodología que implica el uso de petrografía, microsonda electrónica, microscopía electrónica determinándose alteraciones prógradas y retrógradas con sus ensambles mineralógicos característicos, así como temperaturas de homogenización y salinidad.

Meinert, Dipple y Nicolescu (2005) realizaron una revisión de la nomenclatura, clasificación, procesos seguido de un resumen de las características de más de 1700 depósitos skarn de 35 países. Concluyen que los depósitos skarn pueden formarse en cualquier tipo de roca durante metamorfismo regional o de contacto. Sin embargo, los depósitos económicos están relacionados al magmatismo, razón por la que se vuelve crítico conocer la petrogénesis ígnea y la configuración tectónica para tener un marco de referencia para la exploración y clasificación. Además, identifican que la mayoría de skarns de Pb-Zn ocurren distal al intrusivo asociado y la mineralización de Cu y Ag también puede contribuir económicamente además de identificar una mineralogía rica en Mn y Fe.

1.5.2 Antecedentes nacionales

Aquino, Yauri y Meza (2018) mencionan que Uchucchacua es un depósito hidrotermal del tipo de relleno de fracturas (vetas), que han servido como medio para que los fluidos mineralizantes circulen y formen las estructuras mineralizadas. Además, señalan que la concentración anómala de vetas es debido a la presencia de estratos de rudstone, grainstone y packstone muy potentes. Sin embargo, la presencia de calizas wackestone y mudstone, con poco contenido fosilífero, actúan a manera de “barreras” por lo que cuando las estructuras mineralizadas atraviesan estos horizontes son mucho más angostas.

Ligarda et. al. (2021) realizan un estudio en el distrito minero de Uchucchacua y concluyen que la mineralización tiene 3 controles principales. El primero comprende la geología estructural, en el que la existencia de fallas profundas sirvió como conducto para el ascenso de la mineralización. El segundo es el control litológico, en el que se definieron horizontes prospectivos relacionados a calizas con textura packstone a grainstone. El tercer control es el zoneamiento de mineral que está asociado a un skarn rico en Pb-Zn-Cu y más distal hay enriquecimiento en Ag-Mn.

Chang (2023) identifica 7 zonas correspondientes al depósito de Uchucchacua, la zona 1 está ligada a un skarn de contacto, la zona 2 pertenece a skarns asociados a un apófisis, la zona 3 es una zona de donde domina la presencia de piroxenos verdes y la mineralización de Zn-Pb con poco Ag (ejemplo: Cachipampa), la zona 4 se caracteriza por presentar piroxenos marrones con mineralización similar a la de la zona 3 con un incremento en Ag, la zona 5 corresponde a CRD y mineralización de Ag con poco Mn, las zonas 6 y 7 son similares a la 5 con un incremento en el contenido de Mn.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Yacimiento skarn*

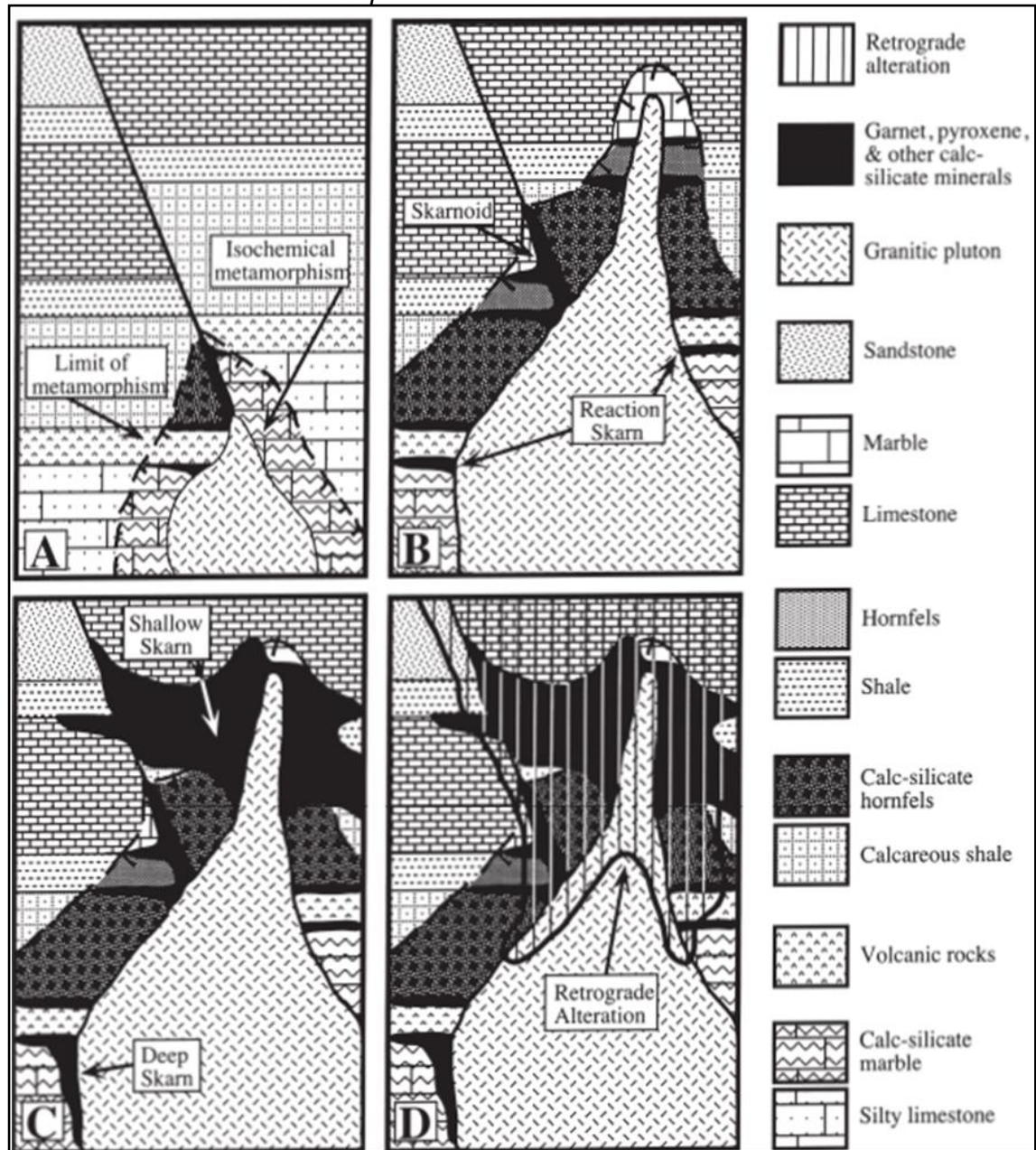
Los yacimientos skarn han sido descritos en la literatura científica al menos desde el siglo XIX con publicaciones como las de Cotta (1864). El término “skarn” se originó en el país de Suecia como un término minero para describir calco-silicatos de grano grueso con asociados con Fe (Geijer y Magnusson, 1952). Einaudi et. al. (1981) sugieren utilizar los términos skarn y depósito skarn en función al contenido mineralógico, sin considerar las implicancias genéticas.

Lindgren (1902), Barrell (1907), Goldschmidt (1911), Umpleby (1913) y Knopf (1918) consideran que el proceso de formación de un depósito skarn es dinámico. Meinert (1983) reconoce ambientes de subducción oceánica, subducción continental, terrenos de acreción y de rifts como marcos tectónicos relacionados a los yacimientos tipo skarn.

Meinert, Dipple y Nicolescu (2005) reconocen 3 estadios en la formación de los skarns (ver figura 4). El primero corresponde a un metamorfismo isoquímico generando un halo alrededor del intrusivo (ver figura 4A), empieza la exsolución de fluidos a pequeña escala provenientes del intrusivo a través de fracturas generando skarnoides y skarns de reacción (en intercalaciones de distintas litologías) (ver figura 4B). El segundo estadio corresponde a la fase prógrada (ver figura 4C), donde el fluido recorre grandes extensiones, se produce un metasomatismo a gran escala generando alteraciones calcosilicatadas pervasivas en los protolitos y de distribución irregular debido al grado de reactividad de las distintas litologías. Finalmente, el tercer y último estadio es la fase retrógrada (ver figura 4D) donde el sistema colapsa por la disminución de temperatura, las aguas meteóricas descienden y se mezclan con las aguas magmáticas. La fase retrógrada es la que representa el mayor contenido de mineralización.

Figura 4

Estadíos de evolución de los depósitos skarns



Nota: A) Primer estadio: Halo de metamorfismo alrededor del intrusivo. B) Primer estadio: Exsolución de fluidos a pequeña escala generando skarnoides y skarns de reacción. C) Segundo estadio: Fase prógrada, exsolución de fluidos a gran escala, alteraciones calcosilicatadas. D) Tercer estadio: Fase retrógrada, fusión de aguas magmáticas con meteóricas dándose las condiciones para la precipitación de mineralización económica. Imagen modificada de Meinert (1983).

Existen minerales característicos de los depósitos skarns los cuales son granates, piroxenos, olivinos, piroxenoides, anfíboles, epidota y carbonatos (ver tabla 3) Meinert et. al. (2005) indican que es importante utilizar correctamente los nombres de las especies mineralógicas para no asumir más de lo que se conoce sobre la composición mineralógica.

Sin embargo, es muy común en la literatura geológica encontrar términos como “diópsido” cuando todo lo que se sabe es que el mineral corresponde al grupo de los piroxenos.

Tabla 3

Minerales característicos de los depósitos skarn

GRUPO MINERAL	ESPECIE MINERAL	COMPOSICIÓN
Granate	Grosularia	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
	Andradita	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
	Espesartina	$\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
	Almandino	$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
	Piropo	$\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
Piroxeno	Diópsido	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
	Hedenbergita	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
	Johannsenita	$\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$
Olivino	Forsterita	Mg_2SiO_4
	Fayalita	Fe_2SiO_4
	Tefroita	Mn_2SiO_4
Piroxenoide	Ferrosilita	FeSiO_3
	Rodonita	MnSiO_3
	Wollastonita	CaSiO_3
Anfíbol	Tremolita	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Ferroactinolita	$\text{Ca}_2\text{Fe}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Mangano-actinolita	$\text{Ca}_2\text{Mn}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Hornblenda	$\text{Ca}_2\text{Mg}_4\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Epidota	Piemontita	$\text{Ca}_2\text{MnAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
	Epidota	$\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
	Clinozoisita	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
Vesubianita	Vesubianita	$\text{Ca}_{10}(\text{Mg,Fe,Mn})_2\text{Al}_4\text{Si}_9\text{O}_{34}(\text{OH,Cl,F})_4$
Carbonatos	Calcita	Ca_2CO_3

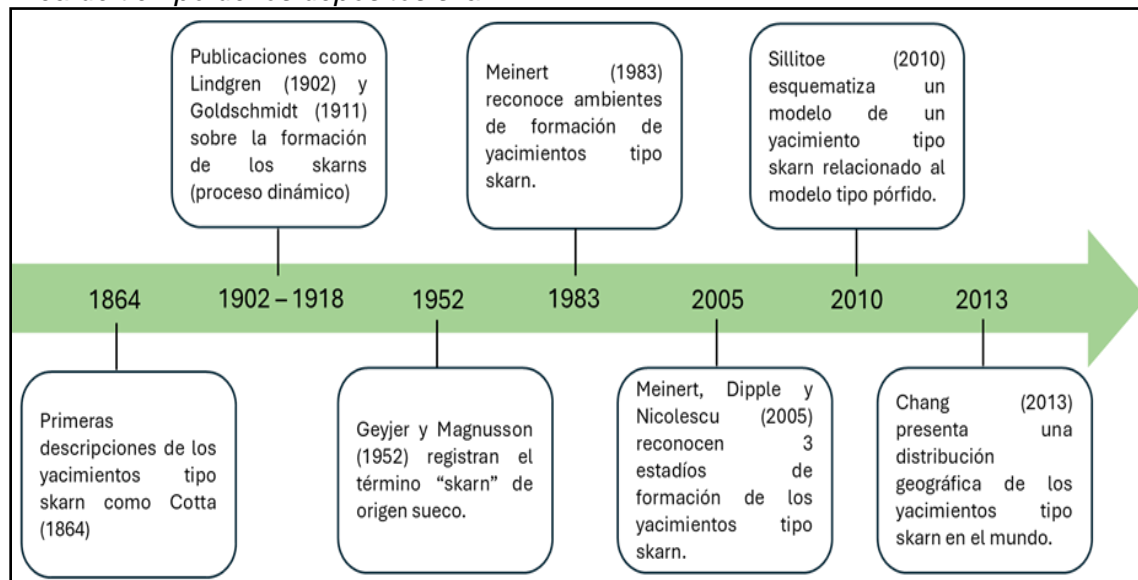
Nota: Tabla elaborada con información de Meinert et. al. (2005)

De acuerdo con Meinert et. al. (2005) existen distintas formas de clasificar a los skarns. Un criterio de clasificación es en función al elemento de interés económico (clasificación similar a los pórfidos) teniendo skarns de Fe, Cu, Pb-Zn, Au, W, Mo. Los endoskarns y exoskarns son términos que indican el protolito que puede ser el intrusivo y la roca carbonatada respectivamente. Otra clasificación es en función a la litología de la roca sedimentaria teniendo skarns cálcicos (protolito de calizas) y skarns magnésicos (protolito de dolomías).

La mayoría de los depósitos skarn están asociados a un sistema magmático emplazado en o cerca de las rocas carbonatadas. De forma simplificada, estos depósitos se forman por la transferencia de calor, fluidos y metales de un magma que se está enfriando hacia las rocas circundantes. Producto de la transferencia se generan las alteraciones conocidas como “skarnización” que se encuentran zonificadas en espacio y tiempo (Meinert et. al., 2005) de forma similar a las zonificaciones en otros depósitos como los pórfidos (Gustafson y Hunt, 1975) y depósitos VMS (Allen et. al., 2002). La zonación puede ocurrir a escala de metros a kilómetros, la extensión refleja el flujo del fluido, los cambios de temperatura y la evolución del fluido. Los mejores ejemplares de zonificación de skarn usualmente se observan en el contacto de skarn y mármol (Nakano, 1978 y Ochiai, 1987). Sillitoe (2010) esquematiza un modelo de un skarn relacionado a un pórfido en el que se observan zonas proximales y distales al pórfido. En la figura 5 muestra una línea de tiempo de los yacimientos skarn y la figura 6 muestra la distribución geográfica de los skarns en el mundo.

Figura 5

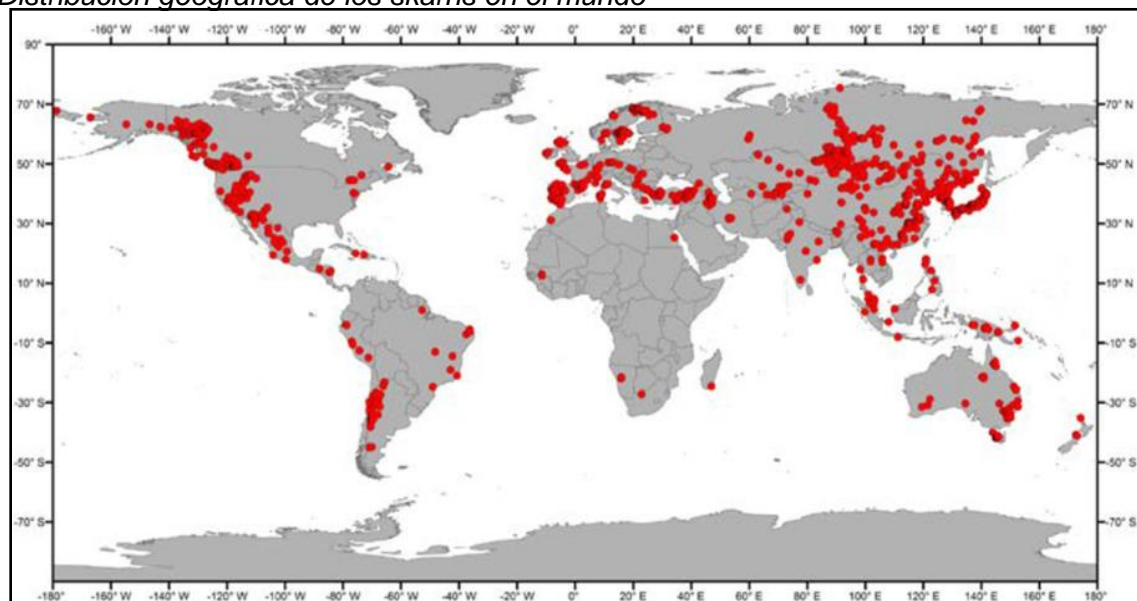
Línea de tiempo de los depósitos skarn



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Distribución geográfica de los skarns en el mundo



Nota: Imagen tomada de Chang (2013)

2.1.2 Recursos minerales

La información de este acápite ha sido tomada de JORC (2012).

Un recurso mineral como una concentración de material en estado sólido de interés económico dentro o sobre la corteza terrestre en tal forma, ley y cantidad que haya razones suficientes para una extracción económica a futuro. Los datos como ubicación, cantidad, y características geológicas se concluyen a partir de la evidencia y conocimiento geológico específico. El espaciamiento del muestro debe ser acorde a la complejidad geológica, química y física de la ocurrencia mineral. Un recurso mineral no puede ser estimado sin información de muestreo.

Asimismo, se estableció una clasificación de los recursos minerales que se detalla a continuación.

2.1.2.1 Recurso mineral inferido. Parte de un recurso mineral en la que la cantidad y ley se estima en función a evidencia geológica y muestreo limitados. La evidencia geológica es suficiente para asumir, pero no asegurar la continuidad geológica y de ley (nivel de confianza muy bajo). Tiene como base información relacionada a exploración, muestreo y pruebas. Un recurso mineral por sí mismo no puede convertirse

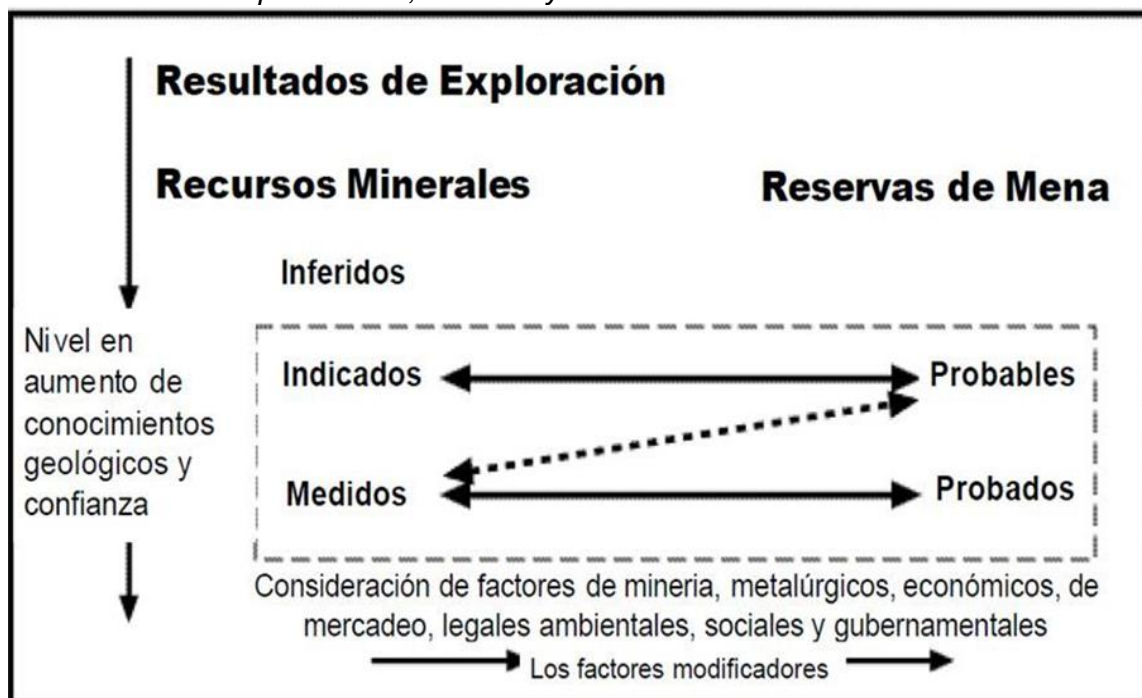
en reserva, pero sí a recurso indicado con una exploración continuada. Los recursos son avalados por personas competentes quienes asumen la responsabilidad por las estimaciones y la documentación de sustento bajo las reglas del código.

2.1.2.2 Recurso mineral indicado. Parte de un recurso mineral en el que la cantidad, ley, densidad, forma y características físicas se estiman con un nivel de confianza suficiente para permitir la aplicación de factores modificadores en suficiente detalle para sustentar el planeamiento de minado. La evidencia geológica comprende exploración detallada y confiable, muestreo y pruebas suficientes como para asumir la continuidad geológica y de ley entre los puntos de observación donde se recogen los datos y muestras. El nivel de confianza de un recurso indicado es mayor al de un recurso inferido pero menor al de un recurso medido y solo puede convertirse en reserva probable.

2.1.2.3 Recurso mineral medido. Parte de un recurso mineral para el cual la cantidad, ley, densidad, forma y características físicas se pueden estimar con un nivel de confianza suficiente para permitir la aplicación de factores modificadores para sustentar un planeamiento detallado y la evaluación final de la viabilidad económica del depósito. La evidencia geológica se basa en exploración detallada y confiable, muestreo y pruebas recogidas a través de técnicas adecuadas en lugares como afloramientos, trincheras, pozos, labores y sondajes y es suficiente para confirmar la continuidad geológica y de ley entre los puntos de observación donde se recogen los datos y muestras. Es el recurso con mayor grado de confiabilidad geológica y puede convertirse en una reserva probada o una reserva probable.

Figura 7

Interacción entre exploraciones, recursos y reservas minerales



Nota: Imagen tomada de Code JORC (1999)

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Estudios minerográficos

INGEMMET (2025) indica que un estudio minerográfico incluye una descripción a nivel macroscópico como microscópico. La descripción macroscópica es a nivel de muestra de mano en la que se reconocen especies minerales en función a propiedades físicas como son color, brillo, forma y hábito, dureza, color de raya, fractura, clivaje, entre otras propiedades; asimismo se utilizan propiedades químicas diagnósticas como la efervescencia. Sample Solutions (2025) menciona que los estudios minerográficos son útiles para el estudio de minerales metálicos, secuencias paragenéticas y tipos de intercrecimientos. Bizalab (2025) indica que los estudios se microscópicos se realizan en secciones pulidas (ver figura 8A).

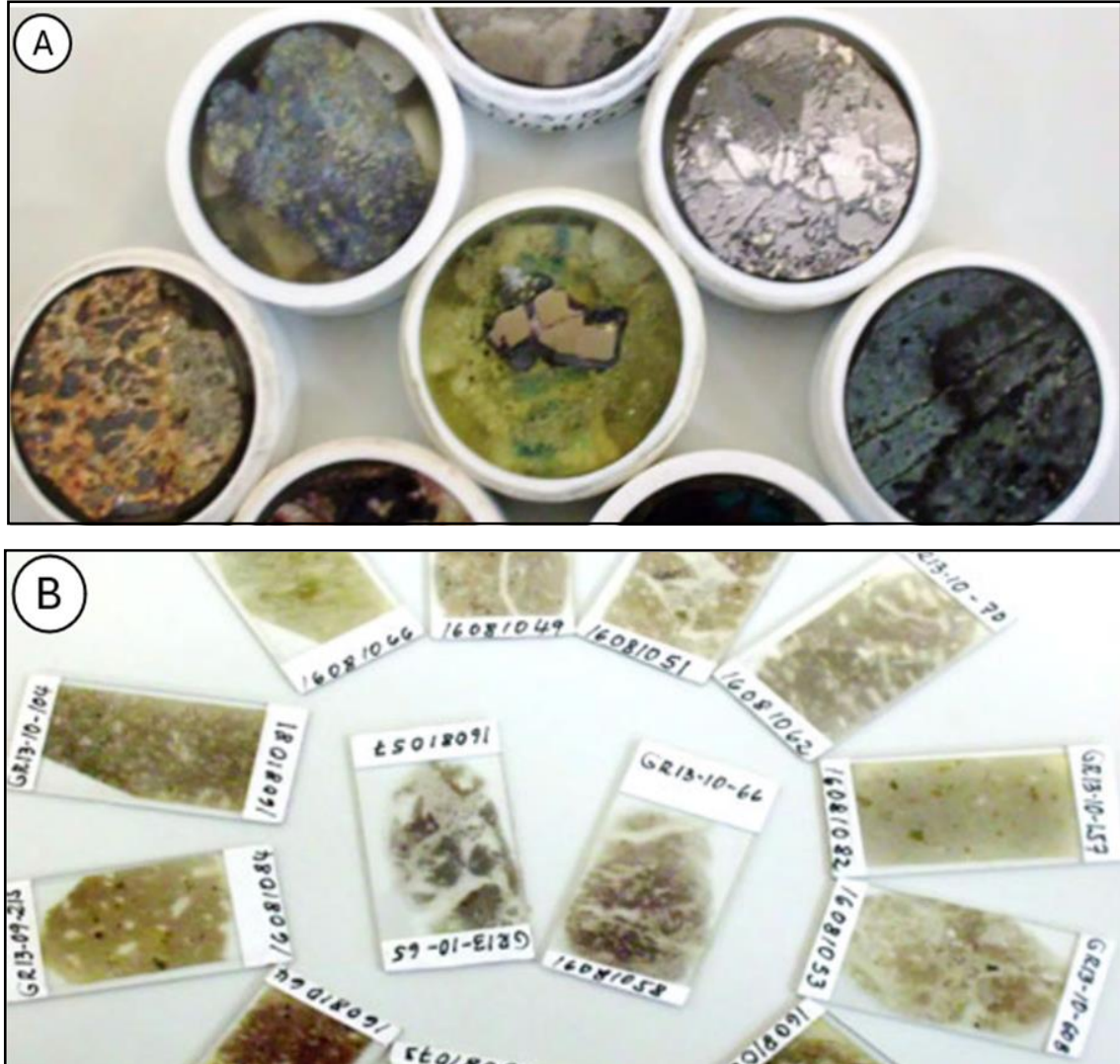
2.2.2 Estudios petrominerográficos

Bizalab (2025) refiere que los estudios petrominerográficos involucran un estudio petrográfico y minerográfico a nivel microscópico para determinar una relación entre la mena (mineral de valor económico) y las gangas (mineral estéril). Los estudios se realizan

en una sección delgada-pulida (ver figura 8B) y se puede determinar tipos de texturas, tamaño de los minerales, asociaciones mineralógicas, alteraciones, reemplazamientos y secuencias paragenéticas.

Figura 8

Secciones para análisis mineragráfico y petrográfico



Nota: A) Secciones pulidas. B) Secciones delgadas-pulidas. Imagen tomada de INGEMMET (2025)

2.2.3 Microscopio de polarización

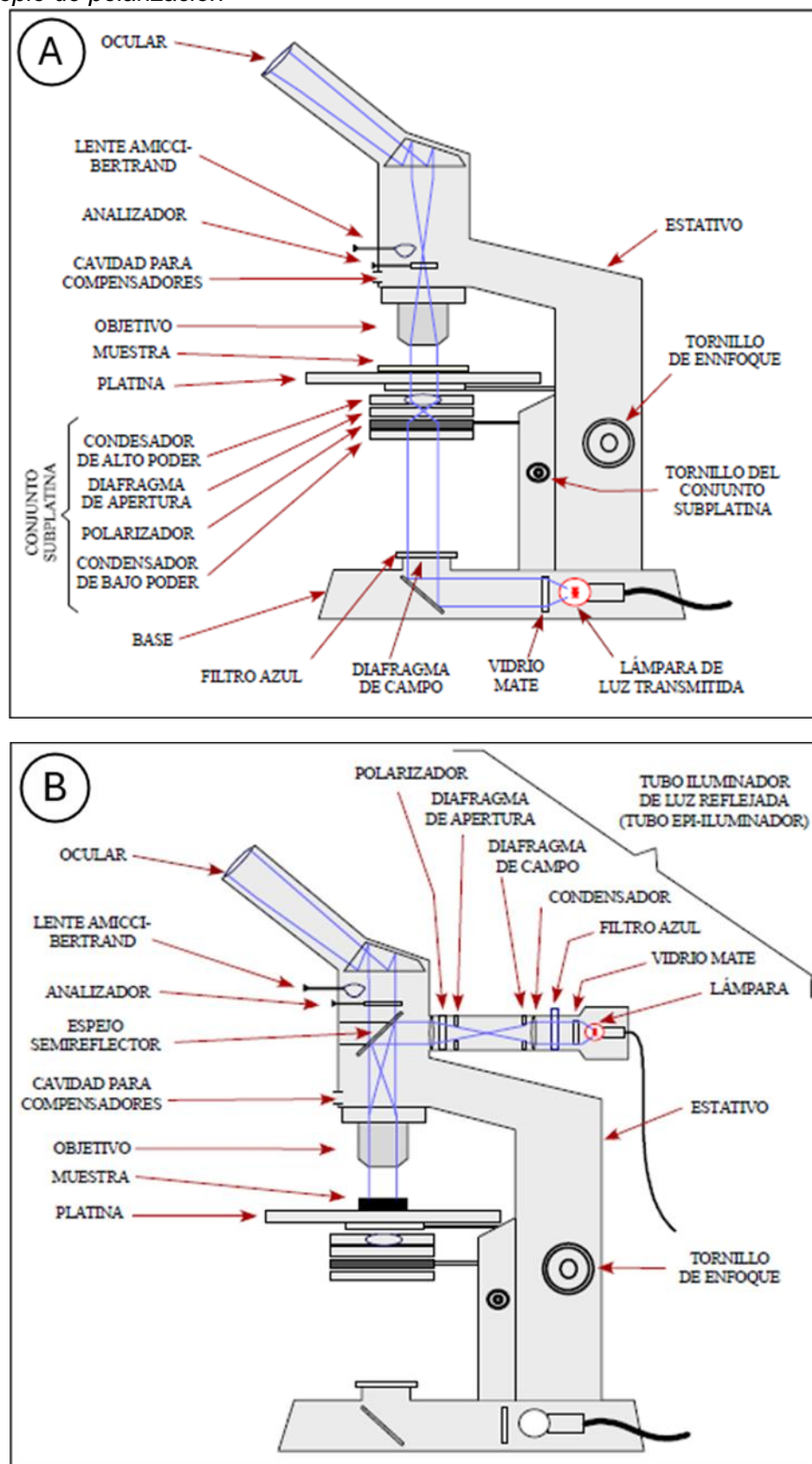
La información de este acápite corresponde a Chirif (2010).

Un microscopio de polarización está compuesto por dos polarizadores y una platina giratoria. La ubicación del primer polarizador es antes de la muestra para estudios con luz linealmente polarizada y el segundo polarizador se ubica después de la muestra. Gracias a la platina giratoria se puede girar la muestra y la luz linealmente polarizada tiene

incidencia en la muestra con diferentes orientaciones. Los microscopios de polarización presentan un sistema de luz transmitida y un sistema de luz reflejada para estudiar minerales transparentes y minerales opacos respectivamente. Las partes del microscopio de polarización de luz transmitida y reflejada se muestran en la figura 9. Destacan la base, donde se encuentra la fuente luminosa en los microscopios de polarización de luz transmitida; el conjunto subplatina, constituido por el condensador de alto poder, el diafragma de apertura, el polarizador y el condensador debajo poder; la platina, cuya característica es que puede girar ideal para estudiar los minerales en distintas posiciones; los objetivos, que son cilindros en el que se encuentran los lentes objetivos cuya función principal es que la imagen sea nítida y clara; el analizador, también denominado polarizador superior, cuya función principal es analizar si el mineral en estudio está generando cambios en la dirección de vibración de la luz linealmente polarizada que está incidiendo; el lente Amicci-Bertrand, que se utiliza en combinación con el condensador de alto poder para obtener luz conoscópica y así observar figuras de interferencia; el tubo epiluminador, utilizado únicamente para estudiar minerales opacos cuya estructura es semejante a la de la base; finalmente los lentes oculares, cuya función es aumentar la imagen producida por el objetivo generando una amplificación total, presentan distintas amplificaciones clasificándose en baja (5X – 6X), media (10X – 12X) y alta (16X)

Figura 9

Microscopio de polarización



Nota: A) Microscopio de polarización de luz transmitida. B) Microscopio de polarización de luz reflejada. Imagen tomada de Chirif (2010)

2.2.4 *LeapFrog Geo*

De acuerdo con Escuela de Geología Profesional (2018), LeapFrog Geo es un software de modelamiento 3D, que presenta como datos de entrada perforaciones, geoquímica, topografía, geofísica, entre otros. Gracias a LeapFrog los modelos geológicos se construyen con alto grado de precisión y rapidez. Asimismo, el modelo se puede actualizar en cualquier momento añadiendo nuevos datos. Es un software muy usado en la industria minera mundial.

Seequent (2025) señala que los principales beneficios de LeapFrog Geo son el ahorro de tiempo en la interpretación ya que los modelos se generan en lapsos de tiempo cortos y con información visual para facilitar la interpretación de datos. Se destaca como otro beneficio la reducción de riesgo e incertidumbre debido a que se puede duplicar modelos para probar nuevas ideas, así como compartir los modelos con el equipo. Finalmente, la incorporación de todos los datos se destaca como beneficio por la variedad de información que se puede utilizar para alimentar al modelo.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

En este acápite se detalla el marco geológico regional, marco geológico local y estudios petrominerográficos.

3.1 Marco geológico regional

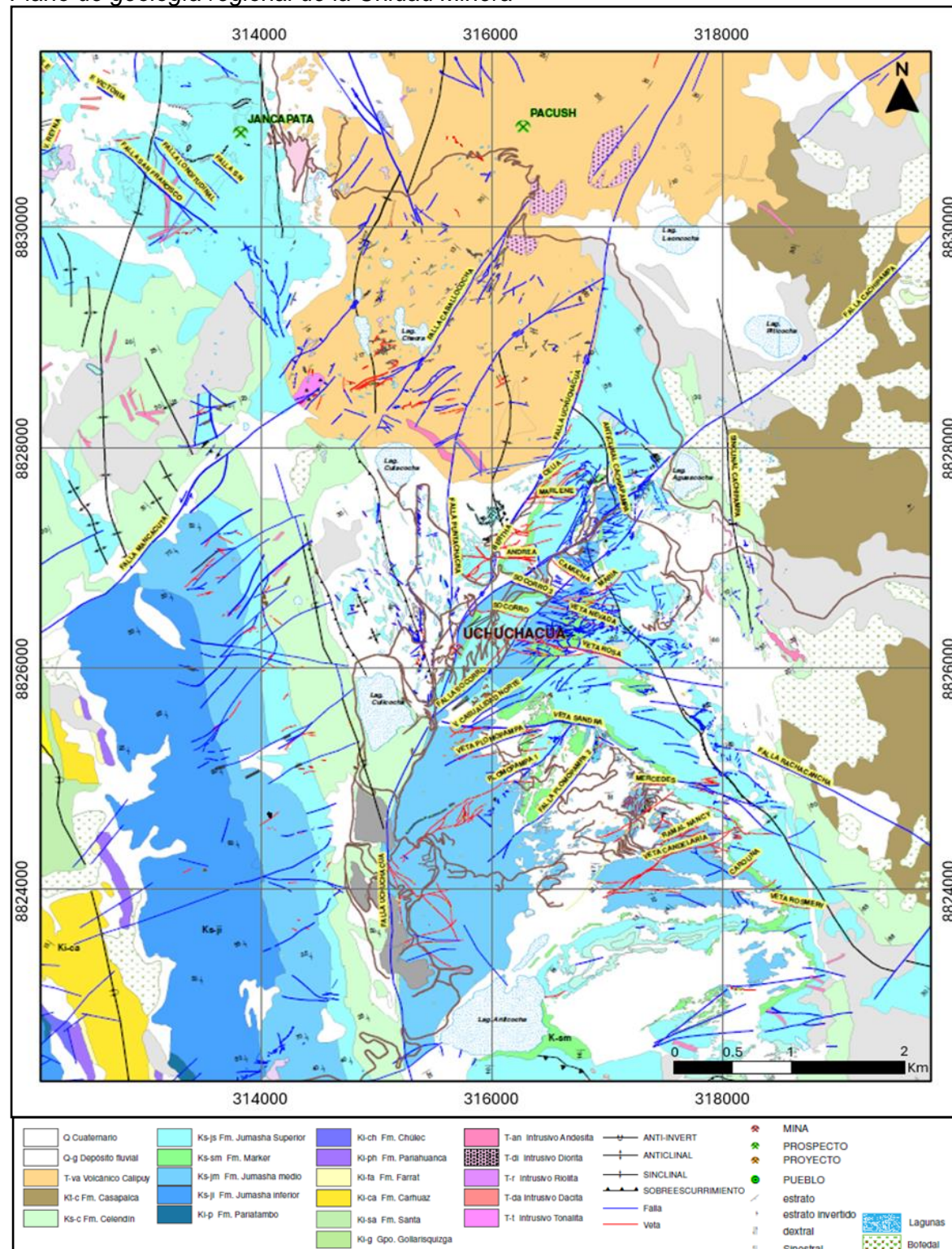
El distrito minero de Uchucchacua se encuentra ubicado en la Franja Metalogenética XX que corresponde a la Franja de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Mioceno. En esta franja también se encuentran yacimientos importantes como son Iscaycruz, Raura, Yumpag y, un poco más alejado hacia el noroeste, Antamina y el proyecto Hilarión.

De acuerdo con Cobbing (1973), Uchucchacua se encuentra enmarcado dentro de la “Zona de la cuenca del Cretáceo”, en el que se encuentra un basamento de rocas sedimentarias con edades correspondientes del Triásico superior al Terciario inferior (Paleógeno). en una secuencia del más antiguo al más reciente comenzando por el Grupo Goyllarisquiza con sus formaciones Oyón, Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat; seguido de las formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín, subyaciendo a las capas rojas de la formación Casapalca y los volcánicos Calipuy. Toda la secuencia ha sido intruida por cuerpos subvolcánicos andesíticos y dacíticos, así como stocks dioríticos, monzodioríticos y cuarzodioríticos.

Según Megard (1984), estructuralmente han ocurrido plegamientos y fallamientos debido a la tectónica andina. Los plegamientos y fallamientos forman parte de una estructura que se ha denominado “Faja corrida y plegada del Marañón”. En la figura 10 se observa el plano de geología regional del distrito minero de Uchucchacua.

Figura 10

Plano de geología regional de la Unidad Minera



Nota: Imagen tomada de BISA (2018)

3.1.1 Geomorfología

Según Cobbing (1973) el rasgo geomorfológico de mayor relevancia en la zona es la Superficie Puna que debió haberse formado casi a nivel del mar y que actualmente se

encuentra a unas altitudes entre 4200 a 5000 m. Se han distinguido dos bloques principales, uno occidental que corresponde a la Cordillera Occidental en el que la erosión ha sido un proceso muy importante y un bloque oriental que corresponde al Altiplano que se considera que ha sido una zona de depósito. En la figura 11 se puede apreciar el bloque de la Cordillera Occidental que corresponde a la Cordillera Raura.

Figura 11

Cordillera Raura



Nota: La cordillera Raura forma parte de la cordillera occidental

3.1.2 Estratigrafía

Se describe la secuencia estratigráfica regional correspondiente al área de estudio.

3.1.2.1 Formación Oyón. Cobbing (1973) define como formación Oyón a una secuencia de lutitas gris oscuras con horizontes de areniscas y capas de carbón en la zona de transición a la formación suprayacente (formación Chimú), presenta una potencia de, por lo menos 400 m. El carbón es antracítico de buena calidad. Presenta afloramientos en la carretera entre Oyón y el Lago Cochaquilla y alrededor del Lago Surasaca. Wilson (1963) fue el que nombró esta formación y corresponde a la zona inferior del Grupo Goyllarisquizga.

3.1.2.2 Formación Chimú. De la Cruz y Chacaltana (2003) describen a la formación Chimú como una serie de cuarcitas, arenicas y lutitas. Cobbing (1973) menciona que tiene un espesor entre 500 y 700 m. Se presenta en bancos de una potencia aproximada de 3 m y con estratificación cruzada llegando a estar incluso diaclasada.

En el área de estudio se presenta una zona de transición de decenas de metros que está compuesto por lutitas. Wilson (1963) le asignó una edad correspondiente al Valanginiano (cretáceo inferior), además la formación Chimú forma parte del Grupo Goyllarisquizga, sobreyaciendo a la formación Oyón (ver figura 12)

Figura 12

Contacto de la formación Oyón con la formación Chimú



Nota: Imagen tomada de Romero y Latorre (2003).

3.1.2.3 Formación Santa. Romero y Latorre (2003) mencionan que en la base de la formación Santa se encuentran areniscas cuarzosas blancas y rosadas con cemento calcáreo intercaladas con calizas arenosas amarillentas, al tope la formación se encuentran calizas grises y rojizas ferruginosas. De acuerdo con Cobbing (1973), indica la presencia de ocasionales nódulos de chert aplanados y fragmentos de concha en gran cantidad, además le asigna una potencia de 150 m constantes.

Cobbing (1973) menciona que en la zona de estudio los contactos de la formación Santa son concordantes con las formaciones que sobreyace e infrayace. Benavides (1956) le asigna una edad correspondiente al Valanginiano debido al hallazgo de Valangites Broggi. La formación Santa forma parte del Grupo Goyllarisquizga, sobreyaciendo a la formación Chimú (ver figura 13).

3.1.2.4 Formación Carhuaz. Litológicamente, según De La Cruz y Chacaltana (2003) corresponde a areniscas a y areniscas cuarzosas de color beige, pudiéndose encontrar en algunos sectores intercalaciones de caliza y yeso en la base de la formación. Cobbing (1973) indica la presencia de lutita intercalada con las areniscas.

Benavides (1956) registró un espesor de 1554 m en el valle del Santa; sin embargo, Wilson (1967) registró en el área de estudio espesores de 500 a 800 m, con un promedio de 600 m. Cobbing (1973) menciona que en los alrededores de Churín la formación Carhuaz es más potente que el promedio encontrando abundantes “ripple marks” en lutitas grises. En cuanto a su edad, no se ha encontrado evidencia suficiente para asignar una edad en específico, sin embargo, Cobbing (1973) le asigna una edad de Hauteriviano al Aptiano por sobreyacer a la formación Santa y subyacer a la formación Farrat (ver figura 13). La formación Carhuaz integra al grupo Goyllarisquizga.

3.1.2.5 Formación Farrat. Romero y Latorre (2003) mencionan que la formación Farrat está compuesta por areniscas cuarzosas blancas, aunque también se han encontrado estratos de areniscas grano grueso y conglomerados con clastos de cuarcita, cuarzo y volcánicos. De la Cruz y Chacaltana (2003) registraron intercalaciones de las areniscas con lutitas rojas.

De la Cruz y Chacaltana (2003) indican que la potencia de la formación no es uniforme, es decir, dependiendo de la zona del afloramiento, se observan diferentes espesores. Romero y Latorre (2003) indican que en la zona de estudio la formación Farrat puede llegar a 80 m de potencia. Respecto a la edad, Cobbing (1973) registra una edad correspondiente al Aptiano en función a la posición estratigráfica. La formación Farrat es la unidad superior del Grupo Goyllarisquizga.

Figura 13

Grupo Goyllarisquizga y formación Chúlec



Nota: Imagen tomada de Romero y Latorre (2003).

3.1.2.6 Formación Pariahuanca. Cobbing (1973) mencionan que la formación Pariahuanca está compuesta de calizas intemperizadas grises y masivas. De La Cruz y Chacalatana (2003) indican la presencia de intercalaciones escasas de lutitas oscuras. La formación Pariahuanca sobreyace con una discordancia no tan marcada a la formación Farrat (grupo Goylarisquizga).

Wilson (1963) identificó espesores de 50 a 210 m; sin embargo, en la mayor parte del área Cobbing (1963) asignó un grosor promedio de 50 m. Benavides (1956) asignó una edad de Albiano debido a un fósil amonite encontrado.

3.1.2.7 Formación Chúlec. De la Cruz y Chacalatana (2003) reportan como formación Chúlec a una serie de calizas, margas y lutitas calcáreas. Cobbing (1973) indica que las calizas y las lutitas presentan un color azul grisáceo, y en algunos casos color amarillo y crema debido al intemperismo.

De la Cruz y Chacaltana (2003) registran un espesor aproximado entre 100 y 250 m. Cobbing (1973) indica que el grosor de las secuencias de margas es de 20 m aproximadamente, respecto a las calizas asigna una potencia de 1 a 5 m. Romaní (1982) asigna la edad de Albiano inferior a medio a la formación Chúlec en base a fósiles reconocidos.

3.1.2.8 Formación Pariatambo. Romero y Latorre (2003) mencionan que antes se consideraba que la formación Pariatambo estaba formada solo por limolitas negras intercaladas con calizas negras fétidas. Sin embargo, nuevas observaciones en el campo registran estratos de calizas gruesos que corresponden a la parte superior, mientras que las limolitas y calizas negras corresponden a la parte inferior de la formación.

De la Cruz y Chacaltana (2003) le asignan un espesor promedio de 100 m, mientras que Wilson (1963) le asigna una edad Albiana en función al fósil *oxitropidoceras carbonarium gabb*, que es una especie característica del Albiano medio y está distribuido a lo largo de toda la formación Pariatambo.

3.1.2.9 Formación Jumasha. Cobbing (1973) menciona que la formación Jumasha es la mayor unidad calcárea del centro del Perú. Wilson (1963) registra que litológicamente está compuesta de calizas de color gris claro. Romero y Latorre (2003) diferencian tres secuencias, la secuencia inferior consiste en intercalaciones de lutitas negras con calizas grises, la secuencia intermedia presenta estratos gruesos (aproximadamente 8 m) de calizas grises, la secuencia superior está compuesta de calizas grises con un espesor menor.

Harrison (1956) le asignó una potencia de 1600 m, mientras que Cobbing (1973) registra potencias entre 1000 a 1800 m, estimando un espesor promedio de 1200 m en el sector, lo que indicaría que es la unidad del Cretáceo más importante. Romaní (1982) le asigna una edad correspondiente al Albiano-Turoniano debido a los fósiles encontrados en la formación. En la figura 14 se observa afloramientos de la formación Jumasha.

3.1.2.10 Formación Celendín. Cobbing (1973) indica que la formación Celendín está compuesta por una serie de margas de color gris azulado (cuando están intemperizadas el color cambia a amarillo crema), también hace notar una similitud en campo con la formación Chúlec. Romero y Latorre (2003) identifican adicionalmente limolitas grises, calcáreas y calizas en estratos delgados.

Cobbing (1973) asigna una potencia no mayor a 200 m para la formación Celendín, además, registra un contacto concordante con la formación Jumasha (a la que sobreyace) y discordante con la formación Casapalca (a la que subyace). Wilson (1963), debido a una gran cantidad de fósiles diagnósticos asigna una edad correspondiente al Coniaciano-Santoniano.

Figura 14

Calizas formación Jumasha



Nota: Imagen tomada de Carpio, Torre y Fuentes (2019).

3.1.2.11 Formación Casapalca. Cobbing (1973) describe a la formación Casapalca como una serie de areniscas y margas de color rojo y verde, se encuentran también algunos horizontes lenticulares de calizas color gris y presencia de conglomerados.

Asimismo, Harrison (1956) y Cobbing (1973) y estiman una potencia de 1000 m ya que no observa el tope de la formación. Respecto a su edad, no se encontraron fósiles diagnósticos, solamente algas que indicarían el terciario, presumiendo una edad post-Santoniana.

3.1.2.12 Grupo Calipuy. Cossio (1964) es el que otorga el nombre de Volcánico Calipuy, luego Wilson (1963) lo designa como Grupo Calipuy. Romero y Latorre (2003) describen al grupo Calipuy como una secuencia de tobas de cristales, coladas volcánicas, brechas y conglomerados de clastos volcánicos. Cobbing (1973) indica que las coladas volcánicas son de composición andesítica mientras que Cobbing, Quispesivana y Paz (1996) registran secuencias muy variadas que incluyen basaltos, riolitas y dacitas con variaciones laterales muy rápidas.

Cobbing, Quispesivana y Paz (1996) mencionan que el espesor es variable, sin embargo, de acuerdo con Cobbing (1973) en la zona de estudio, no debe ser más de 300 m. En cuanto a la edad, Romero y Latorre (2023) asignan de forma tentativa una edad correspondiente al Eoceno medio – Oligoceno inferior.

3.1.3 Rocas intrusivas

Las intrusiones que se presentan regionalmente corresponden al batolito de la costa, que tiene una composición variable (gabro-granito potásico) con un espesor aproximado de 50 km, alcanzando su mayor ancho en Sayán (60 km). Los intrusivos están constituidos en sistemas de pares de tonalitas (un miembro del par es ligeramente más ácido que el otro) otorgando una simetría bilateral. Destacan pares como el de la tonalita Santa Rosa y Paccho, y Purmacana y Cerro Muerto (Cobbing, 1973). Asimismo, se han registrado cuerpos ígneos hipoabisales de composición andesítica y dacítica, además de stocks dioríticos, monzodioríticos y cuarzodioríticos de edad Oligoceno-Mioceno, habiéndose reconocido a la granodiorita Raura como el evento magmático más reciente (BISA, 2024).

Romero y Latorre (2003) reconocieron intrusivos como el stock de Chagapata y Churumachay con áreas de 3.2 y 2.3 km² respectivamente, ambas intruyendo a las secuencias sedimentarias del grupo Goyllarisquizga y la formación Chúlec. Además, identificaron los domos de Cochaquillo, los domos de Lúcumá y los domos de Punrun.

Romero y Latorre (2003) identificaron afloramientos correspondientes a plutones como el plutón de Caujul (de composición tonalítica), plutón de Colcapampa (de composición diorítica a tonalítica), plutón de Palpas-Nava (de composición tonalítica y excepcionalmente granodiorítica). Reconocieron también afloramientos del domo de Paccho y el domo de Huaychaucala, de composición dacítica y andesítica respectivamente.

3.2 Marco geológico local

Localmente en la Unidad Minera se encuentra una secuencia calcárea de gran potencia de la formación Jumasha, (el miembro medio y superior están separados por

estratos margosos denominados localmente como Unidad Marker), sobreyaciendo la formación Celendín, seguido de las capas rojas de la formación Casapalca, los volcánicos Calipuy y material de depósitos cuaternarios (ver figura 15).

Afloran 3 intrusivos (Oeste, Luz y Bonnie) que son los que darían el origen a la mineralización que se presenta en forma de vetas siguiendo la dirección NE-SW (ejemplo: veta Luz y veta Gina), NW-SE (por ejemplo: veta Rosa y veta Margot) y E-W (por ejemplo: veta Vanessa), las fallas principales en el sector son la falla Cachipampa, Uchucchacua, Socorro y Raquel que tienen un carácter regional y son fallas de rumbo dextral (ver figura 15).

Asimismo, en el sector se identificó el afloramiento de una estructura plegada denominada Anticlinal de Uchucchacua o de Cachipampa.

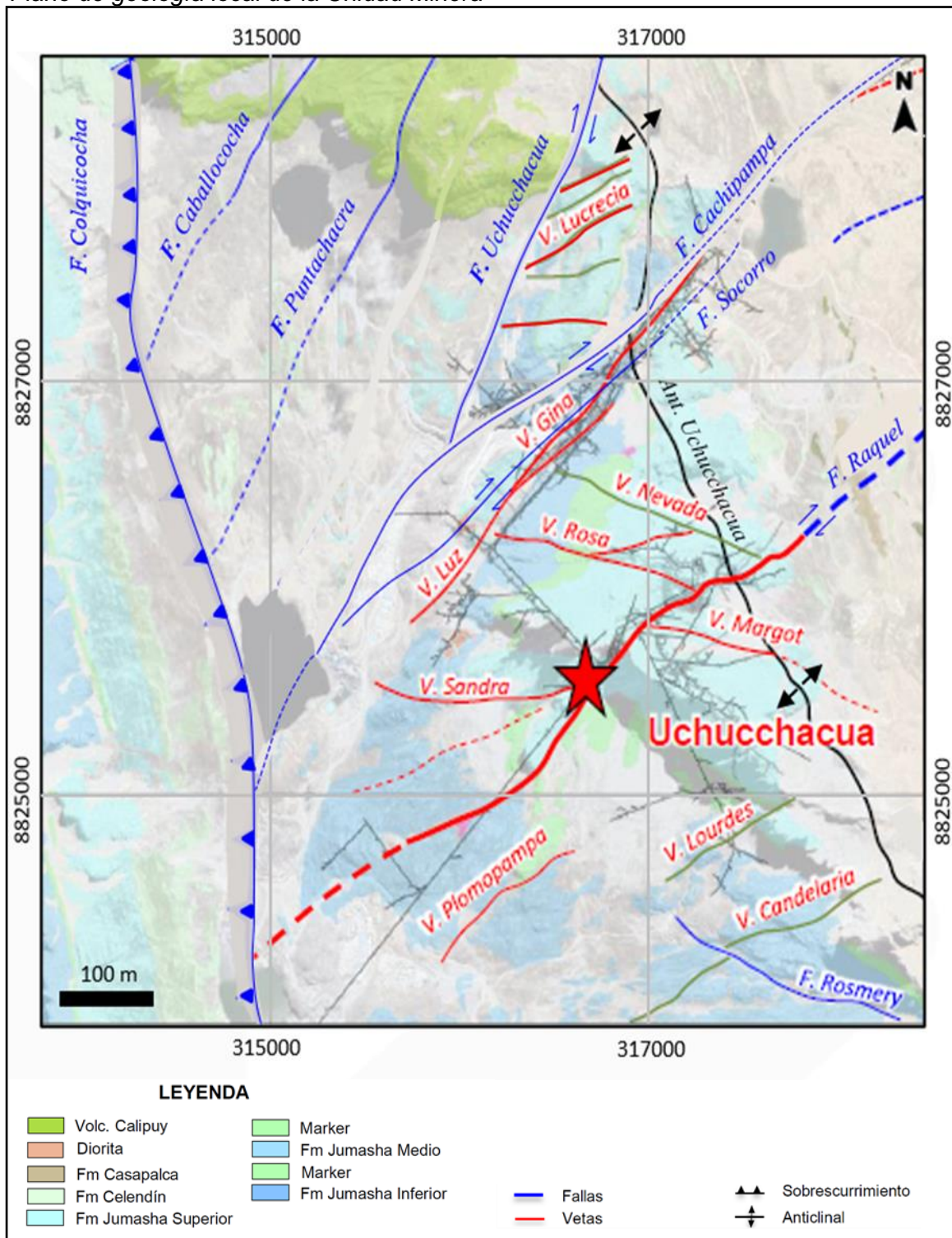
3.2.1 Geomorfología

La Unidad Minera se encuentra dentro de la denominada Faja corrida y plegada del Maraón en la sierra central y cordillera occidental del Perú a altitudes entre 4300 a 4800 msnm. En la zona se observa relieves con pendientes fuertes con valles en V y en U flanqueados por picos sobre los 4800 msnm, así como relieves con pendientes suaves. Espacialmente, la Unidad Minera se ubica dentro de una depresión rodeada de montañas, geoforma conocida como circo glaciar junto a lagunas como la Añilcocha y Suerococha (ver figura 16).

La vegetación es escasa en la zona, encontrándose en su gran mayoría ichu y variando a otras especies en las quebradas y valles encañonados, en donde se realiza una agricultura incipiente (Departamento de Geología Uchucchacua, 2014).

Figura 15

Plano de geología local de la Unidad Minera



Nota: Imagen modificada de Departamento Geología Uchucchacua (2023).

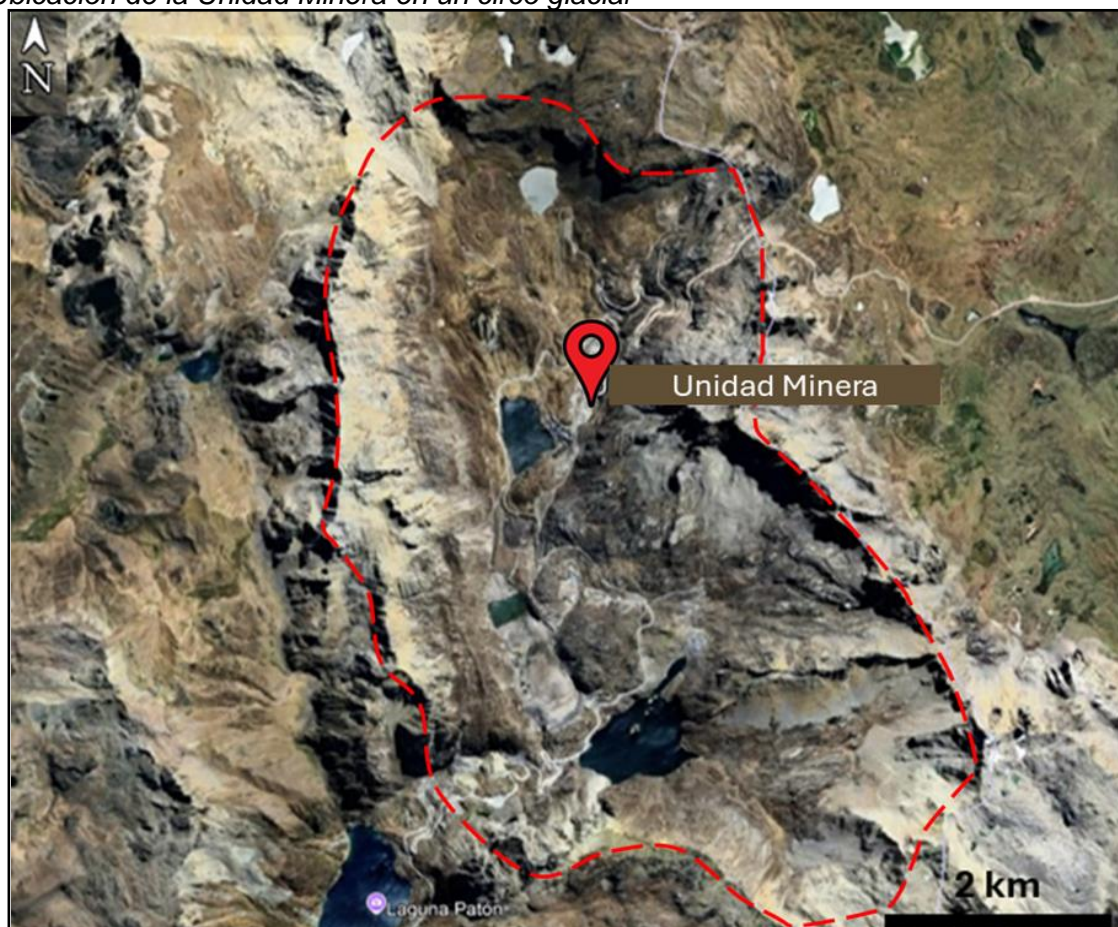
3.2.2 Estratigrafía

En este acápite, se describirá la columna estratigráfica del área de estudio.

3.2.2.1 Formación Jumasha. BISA (2018) describe como formación Jumasha a una secuencia carbonatada del cretáceo superior. Paricahua (2000) y Alván (2018) consideran que la potencia de la formación es de aproximadamente 1600 m. Romani (1982), en función a los atributos geológicos, subdividió a la formación Jumasha en 3 miembros.

Figura 16

Ubicación de la Unidad Minera en un circo glaciar



Nota: Imagen modificada de Google Earth.

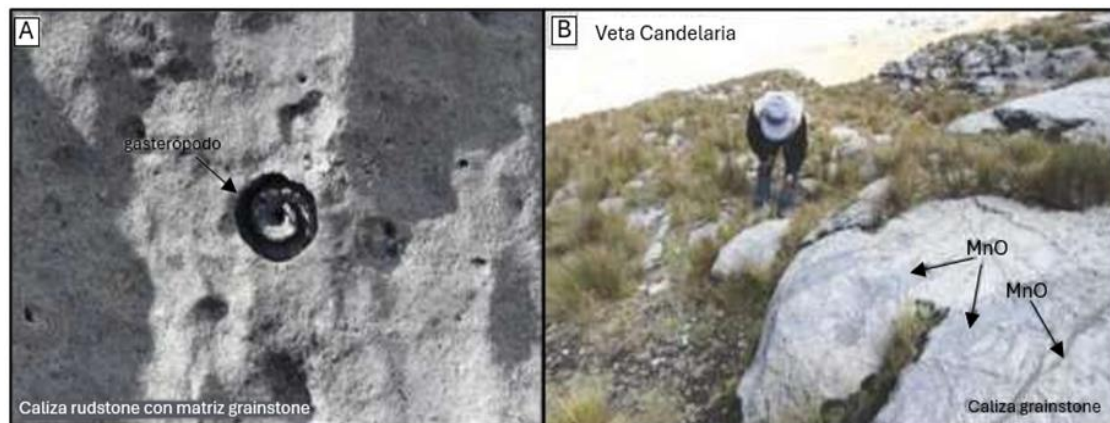
Miembro inferior, aflorando alrededor de la laguna Patón, presenta potencia estimada de 475 m (Alván, 2018). Constituida en su mayoría por calizas de grano fino (Alván, 2018) en estratos de espesor entre 1 a 2 m (BISA, 2024) con algunas intercalaciones de caliza de grano grueso (rudstone, grainstone, packstone) (Alván, 2018) de potencia entre 0.5 a 1 m (BISA, 2024). Con presencia de fósiles gasterópodos y bivalvos (BISA, 2024). En la figura 19 se puede observar el afloramiento del miembro inferior de la formación Juamasha.

Miembro medio, con afloramientos en los sectores de Huantajalla, Plomopampa, Lucrecia, Carmen, Cachipampa y en la carretera del campamento a Plomopampa. Tiene un espesor estimado de 540 m (Alván, 2018). De acuerdo con BISA (2024), en la base se han identificado calizas de grano grueso (grainstones y packstones), hacia la zona media se registran calizas de grano fino (mudstone) y hacia el tope se presentan rudstones con matriz de grainstone. Asimismo, BISA (2024) identificó fósiles con alto grado de ocurrencia en este miembro medio de foraminíferos miliólidos, ooides y microalgas. El miembro medio de la formación Jumasha alberga la mineralización más rica de Uchucchacua. Alván (2018) destaca la abundancia de “pátinas” compuestas de óxido de manganeso (MnO) que muchas veces es confundido con materia orgánica o bitumen y da la apariencia a la caliza de ser de grano fino (mudstone) (ver figura 17). La figura 18 ilustra al miembro medio de la formación Jumasha visto en interior mina y en sondajes.

Unidad marker o secuencia marcadora, con presencia de calizas de grano grueso (Alván, 2018), presenta las mismas facies litológicas del miembro medio de la formación Jumasha con una mayor concentración de margas y con una potencia de 110 m (BISA, 2024). Representa la transición del miembro medio al miembro superior de la formación Jumasha (ver figura 18).

Figura 17

Miembro medio formación Jumasha



Nota: A) Caliza de grano grueso (rudstone con matriz de grainstone) correspondiente al tope del miembro medio de la formación Jumasha con evidencia de gasterópodos. B) Pátina de óxido de manganeso (MnO) en calizas grainstone del miembro medio de la formación Jumasha en la zona de la veta Candelaria. Imagen tomada de Alván (2018).

Miembro superior, Alván (2018) describe que las facies predominantes son calizas packstone, grainstone y rudstone en la base y al tope del miembro superior, mientras que en el sector medio destacan facies finas (mudstone). Asimismo, hace notar que en las calizas rudstone se observa pátinas de MnO asociadas a venillas de calcita y que incluso se ha podido identificar evidencias de ocurrencia de mineralización. BISA (2024) destaca la presencia en gran cantidad de foraminíferos a largados, bivalvos y gasterópodos. Además, identificó una potencia promedio de 365 m. Ligarda et. al. (2021) subdivide al miembro superior de la base al tope en 4 horizontes. Un horizonte de gasterópodos, con espesor promedio de 150 m, con presencia de gasterópodos y foraminíferos de dimensiones centimétricas. Un horizonte “beta”, con una potencia de 35 m es el que alberga el 90% de la mineralización de Yumpag (proyecto cercano a Uchucchacua). Un horizonte “alfa”, separado del “beta” por 15 m de calizas margosas, que comprende calizas wackestone puras. Finalmente, un horizonte margoso, de un espesor aproximado de 80 m, constituido por calizas margosas negras masivas intercalado con calizas nodulares oscuras, ha funcionado como trampa estratigráfica para la mineralización en Yumpag. En la figura 19 se puede observar toda la secuencia de la formación Jumasha aflorando.

Figura 18

Vista interior mina formación Jumasha

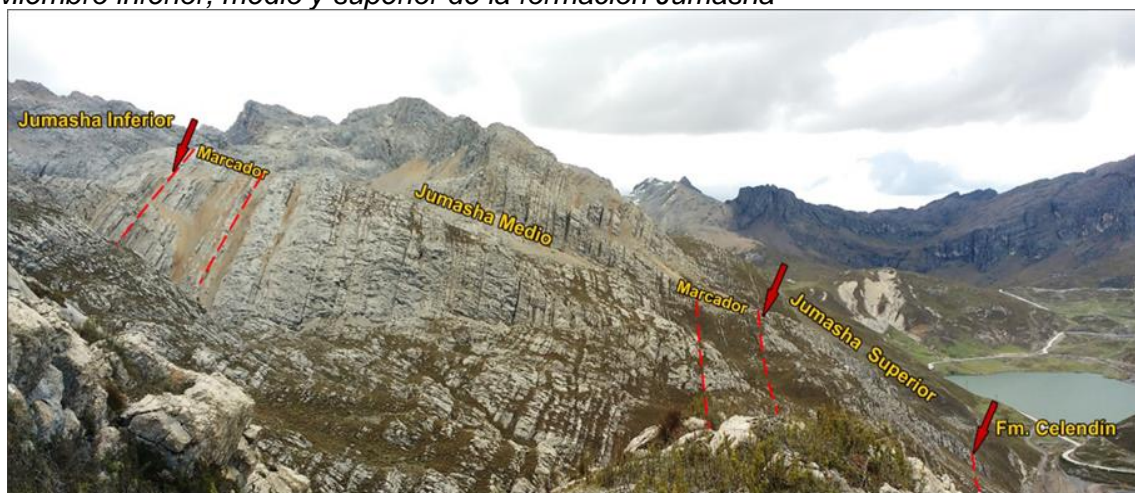


Nota: A) Vista del miembro medio de la formación Jumasha en interior mina. B) Sondajes que cortan el miembro medio de la formación Jumasha. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Formación Celendín. Litológicamente está compuesto de calizas margosas de color gris azulado con intercalaciones de limolitas y limolitas calcáreas gris oscuras a claras y calizas wackestone en estratos delgados (BISA, 2018). Se han identificado afloramientos de la formación Celendín en el sector de Casualidad (SRK, 2017), en el flanco este del anticlinal de Cachipampa y al oeste de la falla Uchucchacua (BISA, 2024). Yace sobre la formación Jumasha de forma concordante y se ha medido 410 m de espesor (BISA, 2024).

Figura 19

Miembro inferior, medio y superior de la formación Jumasha



Nota: Imagen tomada de BISA (2018).

3.2.2.3 Formación Casapalca. BISA (2018) describe a la formación Casapalca como una serie de areniscas y margas rojizas y verduzcas, con algunos tramos de conglomerados y lentes ocasionales de calizas grisáceas. BISA (2024) registra contactos ligeramente discordantes con la formación Celendín y en algunas zonas observó un contacto directo entre la formación Jumasha y Casapalca. No se ha identificado la verdadera potencia de esta formación; sin embargo, se ha estimado un espesor de 1000 m. En la figura 20 se observa el afloramiento de la formación Casapalca.

3.2.2.4 Grupo Calipuy. BISA (2018) describe al grupo Calipuy como derrames andesíticos y dacíticos acompañados de flujos piroclásticos de composición intermedia. BISA (2024) registra afloramientos hacia el norte del distrito minero de Uchucchacua. Se

ha identificado que el grupo Calipuy se encuentra sobreyaciendo a la formación Jumasha, Celendín y Casapalca.

Figura 20

Formación Casapalca



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Rocas intrusivas

Se han reconocido 3 eventos principales de rocas intrusivas hipabisales (Romaní, 1982) con edades que se encuentran en el rango entre 26.68 y 8.7 Ma (BISA, 2024). Estos eventos corresponden al intrusivo Oeste, Luz y Bonnie, Ligarda (2020) indica que la edad del intrusivo Luz es de 26.68 ± 0.34 Ma, mientras que al intrusivo oeste le corresponde una edad de 25.08 ± 0.21 Ma. A continuación, se presenta el detalle de la composición de las rocas intrusivas.

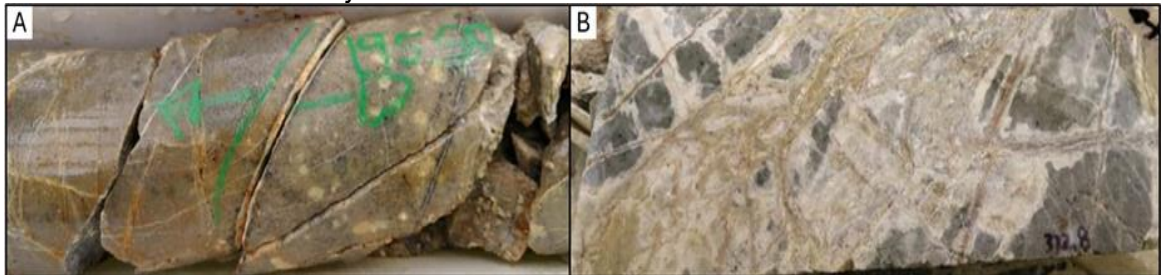
3.2.3.1 Diorita. Bisa (2024) indica que el intrusivo presenta un tamaño de grano de grano medio, fenocristales de plagioclasa y en la matriz, biotita, magnetita, hornblenda y piroxenos. Asimismo, intruyen como apófisis parte de un stock mayor a las calizas del miembro medio de la formación Jumasha formando halos de skarnización, aunque débil.

3.2.3.2 Dacita. De acuerdo con BISA (2024) aflora como diques y apófisis en los intrusivos Oeste, Luz y Bonnie con una textura porfirítica con presencia de plagioclasas, feldespato potásico, ojos de cuarzo y biotitas. Se puede observar que el tamaño de grano va gradando a uno mayor (ver figura 21A). Normalmente se encuentra alterada con silicificación o argilización y genera halos de skarnización en el que se ha identificado venillas de granates cortando el intrusivo (ver figura 21B)

3.2.3.3 Andesita. Las andesitas se presentan como diques (ver figura 22B) y sills y se reconoce por su color verde gris, con textura porfírica de grano medio y composición de plagioclasa y máficos (ver figura 22A), en algunas zonas forma halos alteración propilítica con piritita diseminada. Se considera pre-mineralización, ya que las estructuras mineralizadas aumentan su potencia alrededor de los sill andesíticos; sin embargo, al atravesarlos su espesor se reduce considerablemente (BISA, 2024).

Figura 21

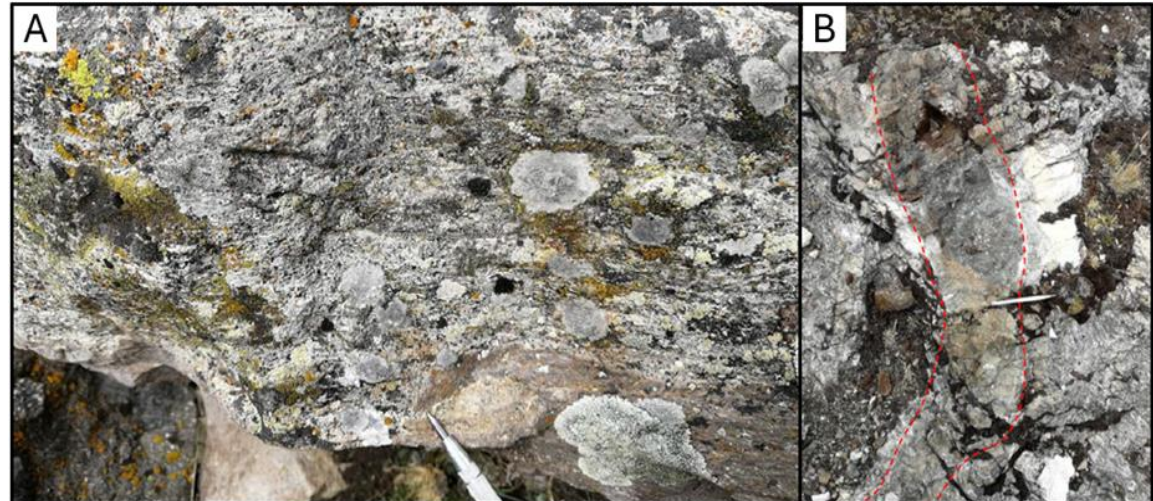
Intrusivo dacítico en sondajes



Nota: A) Transición de un pórfido dacítico de grano fino a uno de grano grueso. B) Venillas de granates que cortan a un intrusivo dacítico.

Figura 22

Pórfido andesítico



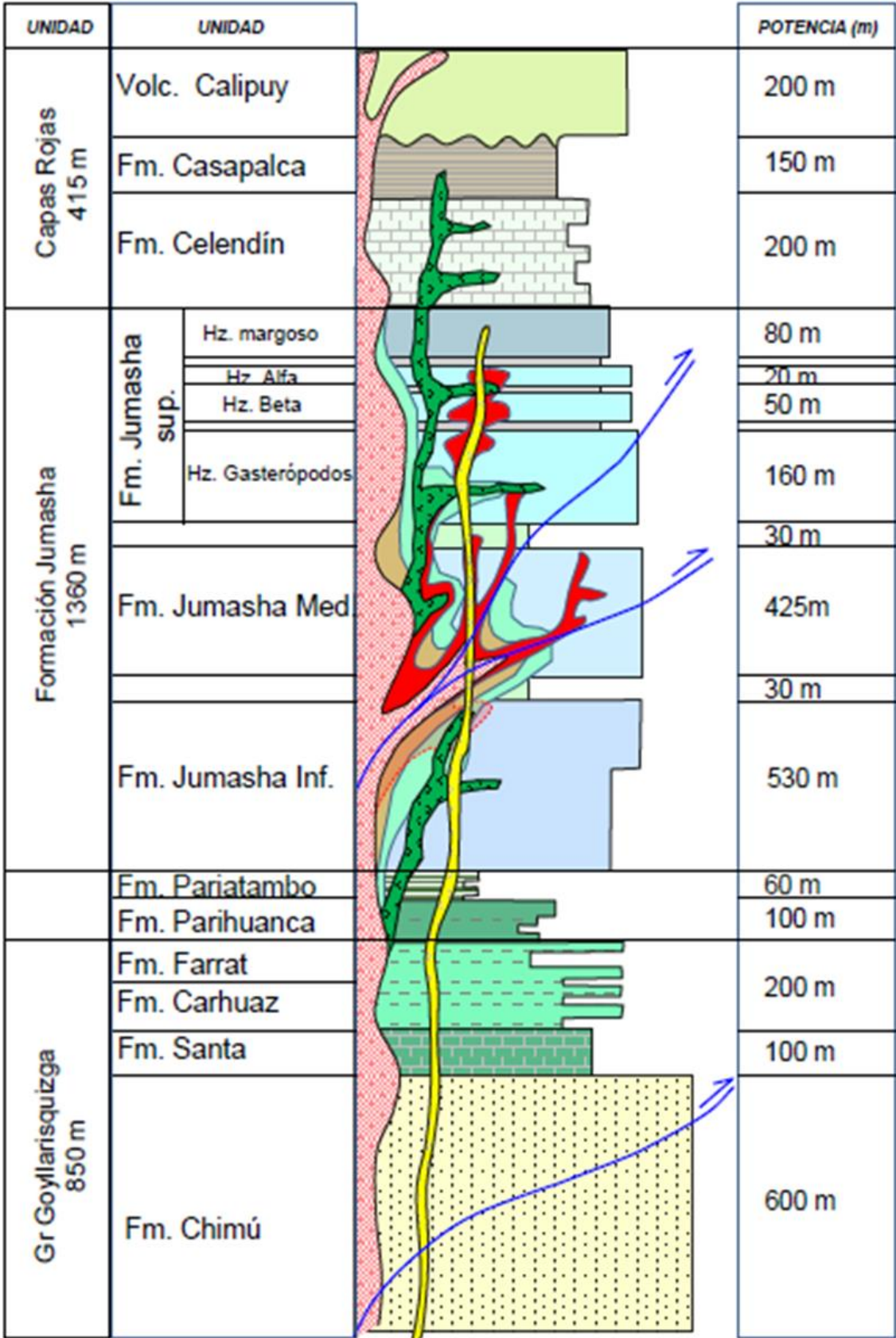
Nota: A) Pórfido andesítico con fenocristales de plagioclasa y textura de flujo en bandas. B) Dique andesítico de 10 a 20 cm de espesor.

3.2.4 Columna estratigráfica

En la figura 32 se presenta la columna estratigráfica correspondiente al área de estudio.

Figura 23

Columna estratigráfica del distrito minero



Nota: Imagen tomada de Departamento de geología (2023).

3.2.5 Geología estructural

El distrito minero de Uchucchacua, se ubica en una morfoestructura denominada Faja Corrida y Plegada de Marañón (ver figura 24) que se extiende desde Cajamarca hasta Huancavelica (Megard, 1984) y afecta a las unidades litológicas de edad mesozoica pertenecientes a la cuenca occidental peruana como son la formación Chicama, el grupo Goyllarisquiza, las unidades calcáreas (fm. Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo, Jumasha, Celendín) y las capas rojas (fm. Casapalca). El principal control estructural lo ejerce el sistema de fallas Chonta que conforma el límite este de la cuenca occidental de Perú (Scherrenber et. al., 2012). La actividad del sistema de fallas Chonta junto con el plegamiento de las unidades mesozoicas se dieron en diferentes etapas desde el Cretácico superior hasta el Mioceno (Rodríguez y Carlotto, 2008). La información de los acápites de fallas (3.2.5.1), pliegues (3.2.5.2) y bloques estructurales (3.2.5.3) ha sido tomada de BISA (2018) y de Geociencia y servicios especializados E.I.R.L (2018)

3.2.5.1 Fallas. Se han identificado dos sistemas de fallas, uno de rumbo NE-SW y otro de rumbo NW-SE a EW. Dentro de estos sistemas de falla se han identificado 5 fallas principales que se describirán a continuación.

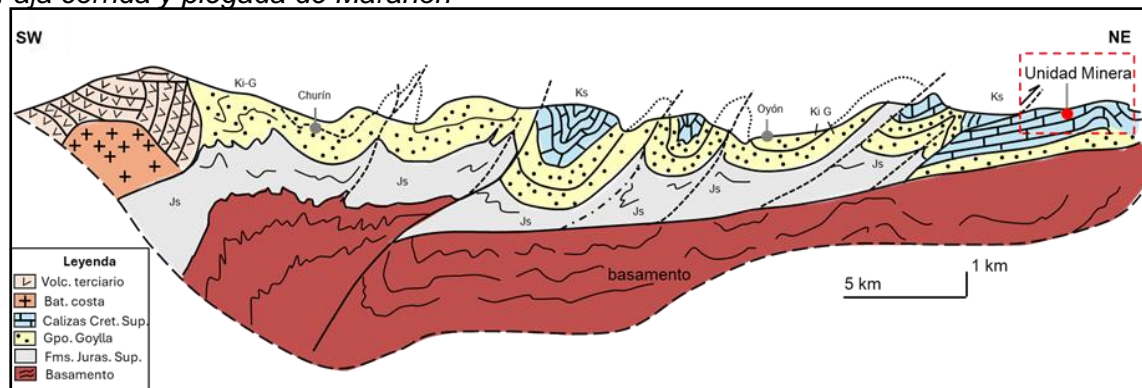
La falla Tinquicocha-Cutacocha, se divide en dos sectores: hacia el norte Cutacocha y Tinquicocha hacia el sur. La primera afecta a la formación Celendín generando pliegues tumbados y duplicados. La segunda presenta un rumbo casi N-S y un buzamiento de 70°W. Alrededor de la laguna Tinquicocha y en el margen izquierdo de la quebrada Patón genera un cabalgamiento de la formación Celendín sobre la formación Jumasha miembro medio.

La falla Uchucchacua, presenta un rumbo de N 20° E y buzamiento subvertical en superficie, gradando a 60°NW en profundidad. En función a los tectoglifos encontrados en fallas menores asociadas a la falla Uchucchacua, se dedujeron 2 movimientos: primero un movimiento dextral (afecta al miembro superior de la formación Jumasha y a la formación Celendín), el segundo movimiento fue de carácter sinistral con componente normal (afecta al miembro medio de la formación Jumasha y a los volcánicos Calipuy). Esta falla origina

el contacto formación Celendín – formación Jumasha miembro medio y grupo Calipuy – formación Jumasha miembro medio.

Figura 24

Faja corrida y plegada de Marañón



Nota: Sección a lo largo del río Huaura. Imagen modificada de Megard (1984).

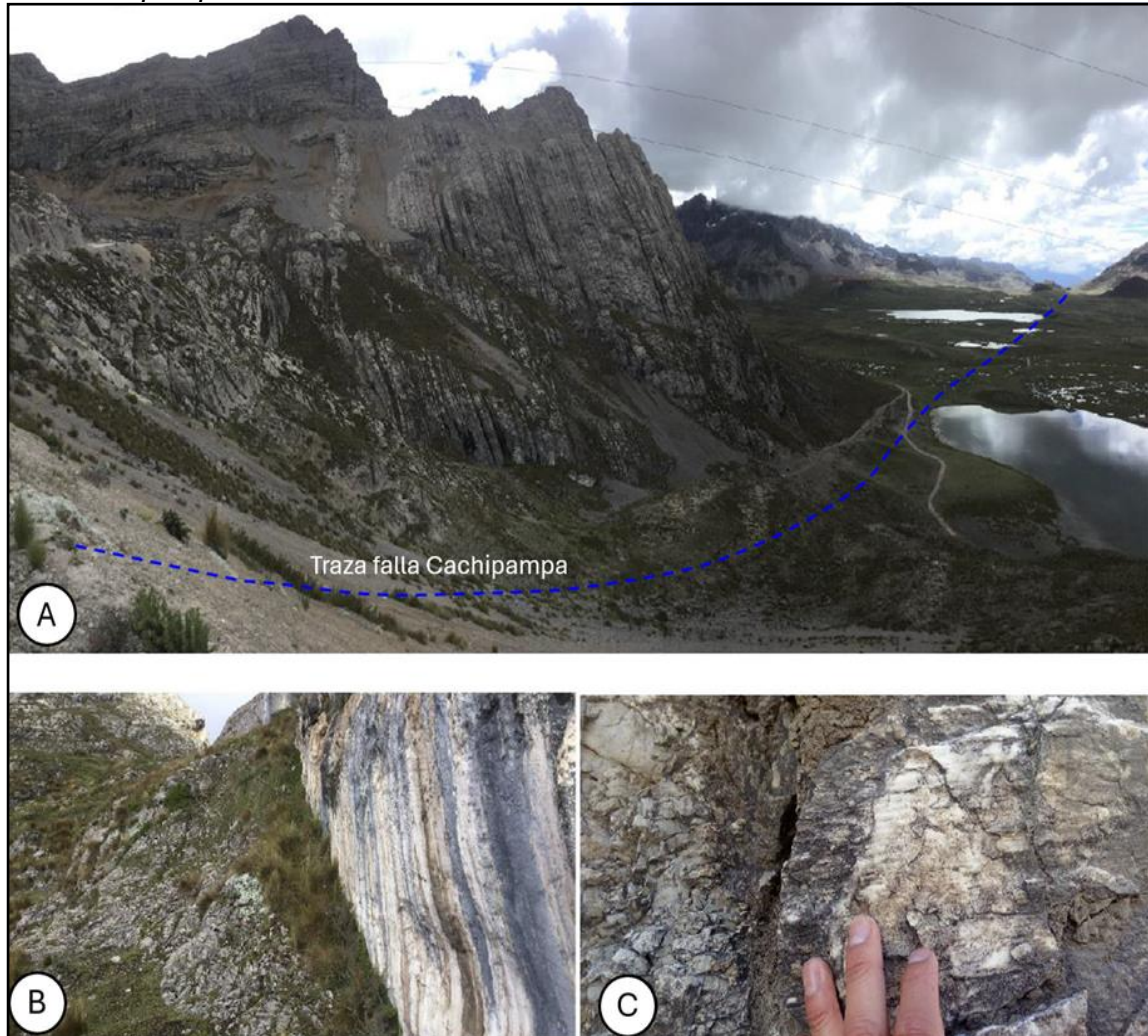
La falla Cachipampa, registra un rumbo de N45°E, con un buzamiento subvertical (80-90°) hacia el NW. En base a las estrías encontradas (ver figura 25C), se ha podido determinar un movimiento dextral. Se han observado afloramientos de planos de falla que exceden 4 m de longitud (ver figura 25B) en la quebrada de Cachipampa donde la traza de falla está cubierta (ver figura 25A) y afecta al miembro medio y superior de la formación Jumasha, en este sector se ha identificado un ramal de la falla Cachipampa denominado “ramal Cachipampa” (ver figura 27D). Se infiere que la proyección de la traza de la falla Cachipampa hacia el NE corresponde a la falla Camila en el proyecto Yumpag.

La falla Socorro, de rumbo N 40° E y buzamiento 70-85° NW, aflora hacia el este de la Unidad Minera como farallones que afectan a la formación Jumasha, es visible el material panizado de la falla (ver figura 26A) así como las brechas de falla (ver figura 26B). Las estrías (ver figura 26C) están deterioradas sin embargo se pudo determinar un movimiento dextral para la falla Socorro.

La falla Sandra, de rumbo EW y buzamiento subvertical hacia el norte. El rumbo EW lo mantiene hasta el cerro Nazareno donde se bifurca y cambia su rumbo a S 60° E alineándose con la falla Marión. La actividad de la falla Sandra afecta a la formación Jumasha en sus 3 miembros y sus datos cinemáticos indican un movimiento dextral con componente normal. Se ha registrado mineral de manganosos rellenando la falla.

Figura 25

Falla Cachipampa



Nota: A) Traza de falla Cachipampa en la laguna Aguascocha (hay una cobertura en la falla). B) Planos de falla de la falla Cachipampa. C) Estrías de la falla Cachipampa. Imagen modificada de BISA (2018)

La falla Marion, de rumbo S 70° E a S 85° E y buzamiento subvertical hacia el SW, se ubica hacia el sureste de la Unidad Minera y afecta a las calizas del Jumasha superior ya a la Secuencia Marcadora.

En función a las estrías de falla se ha podido determinar un movimiento dextral para la falla Marion.

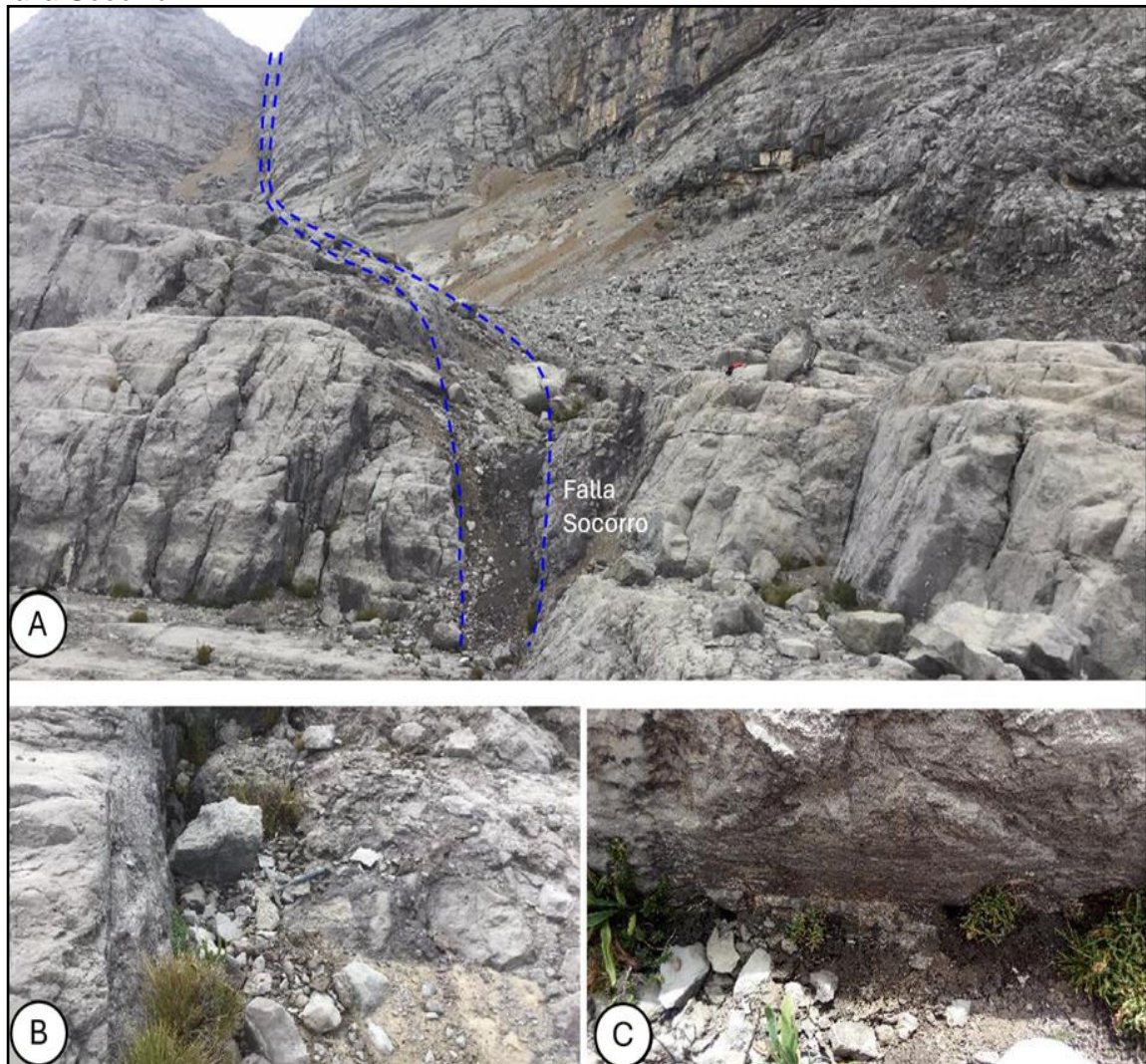
3.2.5.2 Pliegues. Destaca el anticlinal de Uchucchacua con el eje del pliegue siguiendo una dirección NW-SE y un plunge hacia el SE, habiéndose cartografiado hacia el sur de la Unidad Minera donde se observa que ambos flancos y el eje están inclinados hacia el suroeste (ver figura 27A). En el sector norte (al norte de la falla Cachipampa)

también se observa que el eje está inclinado hacia el oeste (ver figura 27D) mientras que en el sector central se presenta como un monoclinal (ver figura 27B) con los buzamientos hacia el este (ver figura 27C).

En el sector oeste, una flexión brusca de los estratos indica la presencia del anticlinal.

Figura 26

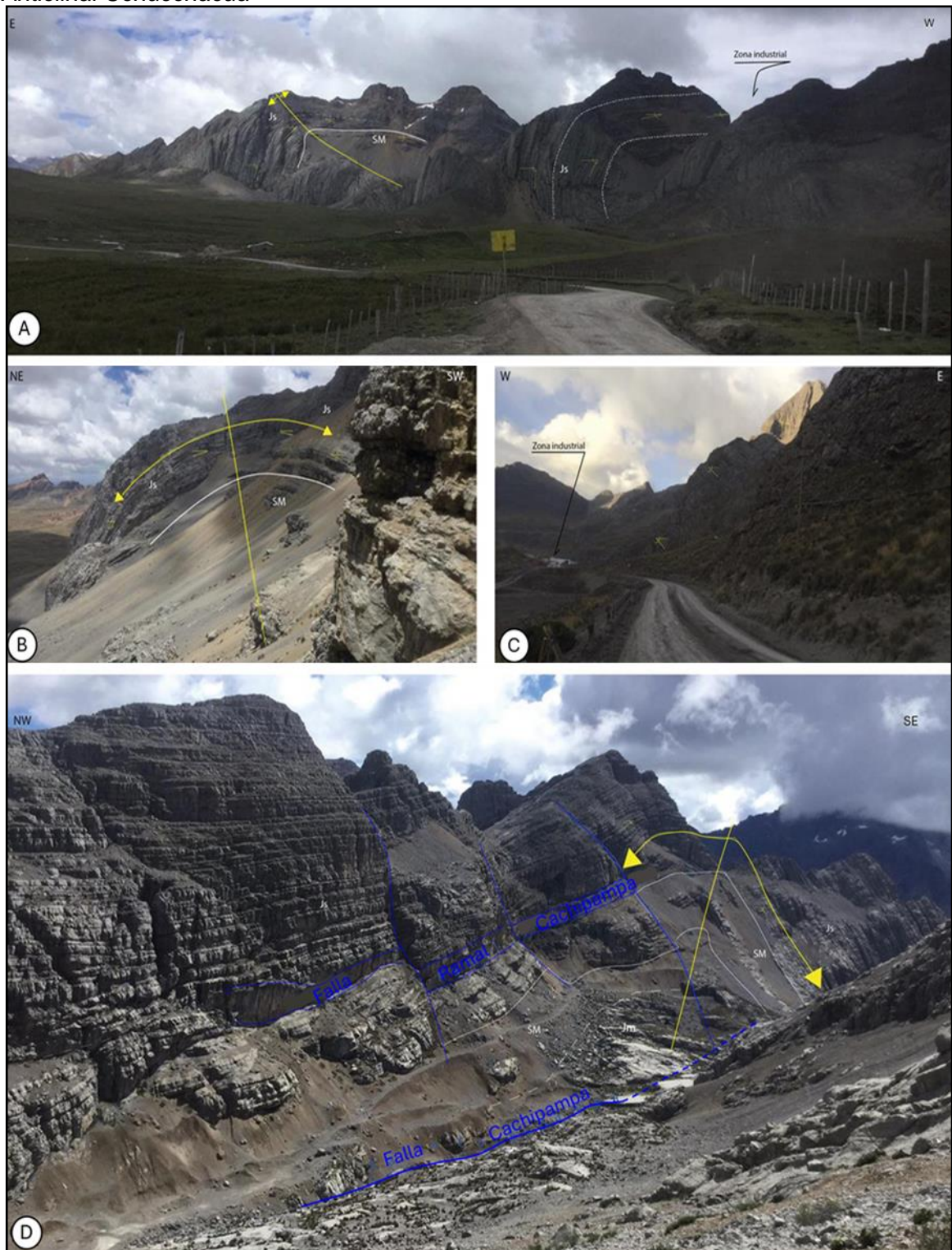
Falla Socorro



Notas: A) Material panizado de la falla Socorro. B) Zona de brecha de falla y brecha de colapso en la falla Socorro. C) Estrías de la falla Socorro. Imagen modificada de Geociencia y servicios especializados E.I.R.L. (2018)

Figura 27

Anticlinal Uchucchacua



Nota: A) Vista panorámica del anticlinal en el sector sur (este de Huantajalla) y en el sector B) Sector central de la zona de estudio son el pliegue se presenta como un monoclinal. C) Estratos de caliza buzando hacia el este en zona industrial donde no se observa la formación de un anticlinal. D) Sector norte (norte de la falla Cachipampa) se observa el eje tumbado del anticlinal. Imagen modificada de Geociencia y servicios especializos E.I.R.L. (2018)

3.2.5.2 Bloques estructurales. En función a la geometría y orientación de las estructuras (vetas y fallas), así como los movimientos durante y después de la mineralización, se distinguieron 6 bloques estructurales (ver figura 28), con sus respectivas características que se detallarán en los siguientes párrafos.

Bloque Huantajalla, es el bloque más hacia el sur de la Unidad Minera. Limita hacia el norte con el bloque Plomopampa por la veta-falla Maribel y hacia el oeste con el bloque occidental por la falla Tinquicocha. Dentro del dominio del bloque Huantajalla se encuentra parte del anticlinal de Uchucchacua. Asimismo, las vetas que afloran en este sector presentan un rumbo E-W.

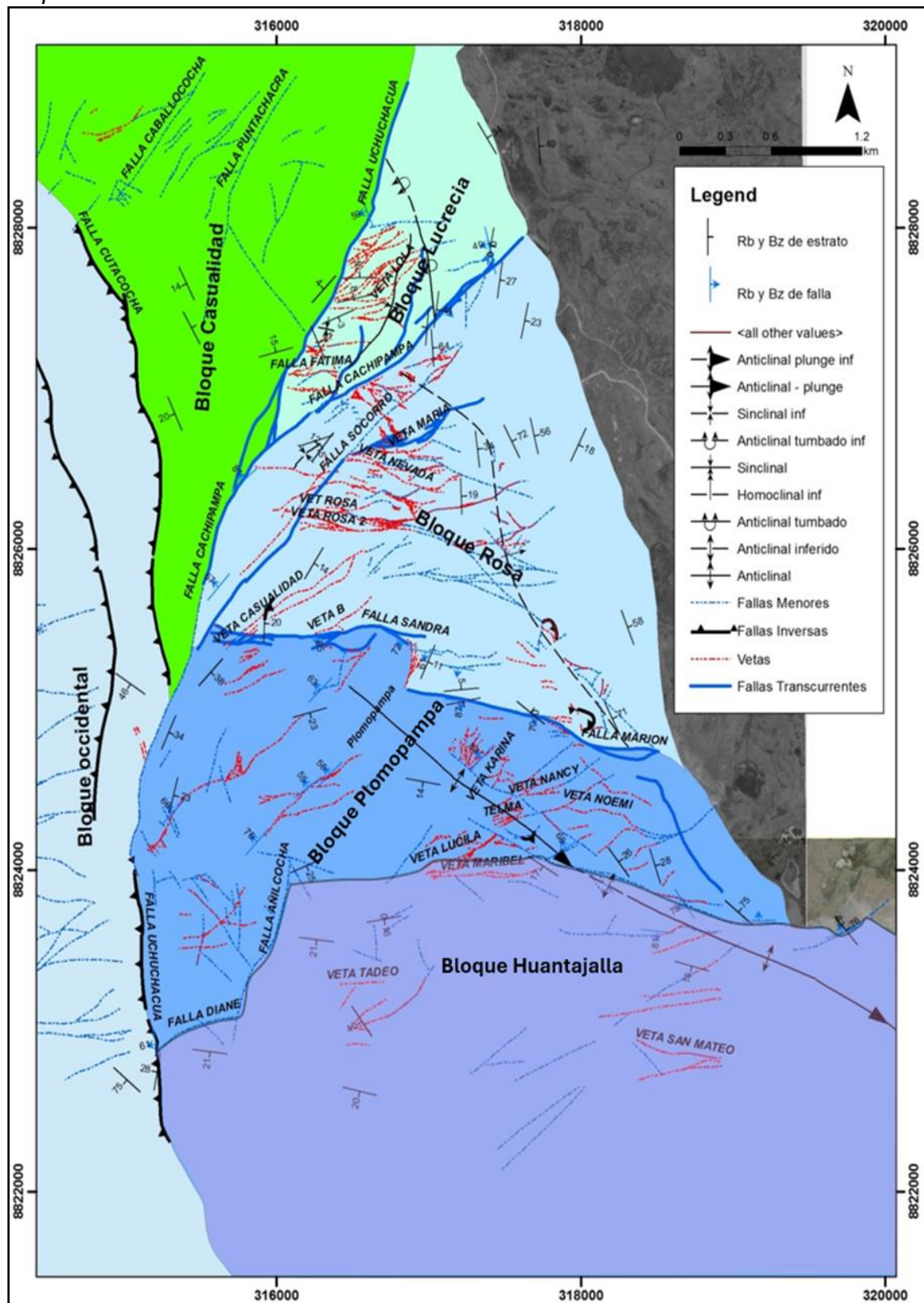
Bloque Plomopampa, limita hacia el norte y noreste con el bloque Rosa a través de la falla Sandra-Marión. Hacia el oeste, limita con el bloque occidental mediante la falla Tinquicocha. Dentro del dominio estructural se encuentra un pliegue anticlinal tumbado de dirección NW-SE y vetas con dirección NE-SW como Plomopampa 1, 2 y Edith, las cuales han mineralizado fallas dextrales y normales. La arquitectura del bloque Plomopampa es similar al de una zona de graben de dirección NE-SW (ver figura 29A).

Bloque Rosa, ubicado en sector central de la zona de estudio, limita hacia el norte con la falla Cachipampa y hacia el noreste con la falla Uchucchacua. Forman parte del dominio un monoclinal de dirección NNW-SSE y vetas con dirección E-W a NE-SW como Camucha, Socorro y María. Presenta una forma muy similar a la de un triángulo isósceles con su ángulo más agudo hacia el oeste. La arquitectura del bloque Rosa es la de un sistema de fallas tensionales de dirección E-W originadas entre las fallas Cachipampa y Sandra donde se emplazó la mineralización (ver figura 29B).

Bloque Lucrecia, limitado hacia el norte y noroeste por la falla Uchucchacua, mientras que hacia el sur y sureste por la falla Cachipampa. Tiene la forma de un triángulo recto con su ángulo recto hacia el este. Dentro del bloque se encuentra un anticlinal tumbado al noreste y vetas de dirección NE-SW como la veta Lucrecia y Lola (ver figura 29C)

Figura 28

Bloques estructurales del distrito minero



Nota: Imagen modificada de BISA. (2018)

Bloque Casualidad, limitando hacia el sur y suroeste por la falla Uchucchacua y hacia el oeste por la falla Cutacocha. Es característico del bloque Casualidad los afloramientos de la formación Celendín y sobreyaciendo el grupo Calipuy. En este bloque se encuentra el skarn Casualidad.

Bloque Occidental, presenta como límite hacia el oeste a la falla Tinquicocha-Cutacocha y consiste en una secuencia invertida de las formaciones Jumasha y Celendín. La interpretación para el bloque Occidental es la de un bloque sobreescorrido. Sin embargo, la interpretación es compleja debido a que está cabalgando la formación Celendín (unidad más joven) a la formación Jumasha (unidad más antigua).

3.2.6 Alteraciones

Bisa (2024) registra las alteraciones encontradas en la Unidad Minera que se detalla a continuación.

Alrededor de las vetas y cuerpos mineralizados no se presenta ninguna alteración. Sin embargo, en algunos casos se puede observar intenso venilleo de calcita de extensiones centimétricas y de forma esporádica en metros. Sin embargo, alrededor de los intrusivos se han identificado halos metamorfismo con presencia de mármol (color gris claro a blanquecino y textura granoblástica de tamaño de grano medio a fino con potencias de 0.5 a 2 m en el intrusivo oeste, de 2 a 5 m en el intrusivo Bonnie y de 10 a 30 m en el intrusivo Luz. Asimismo, se registraron niveles de hornfels débilmente desarrollados.

En los sectores circundantes y en los intrusivos (ver capítulo 3.2.3) se identificaron las siguientes alteraciones:

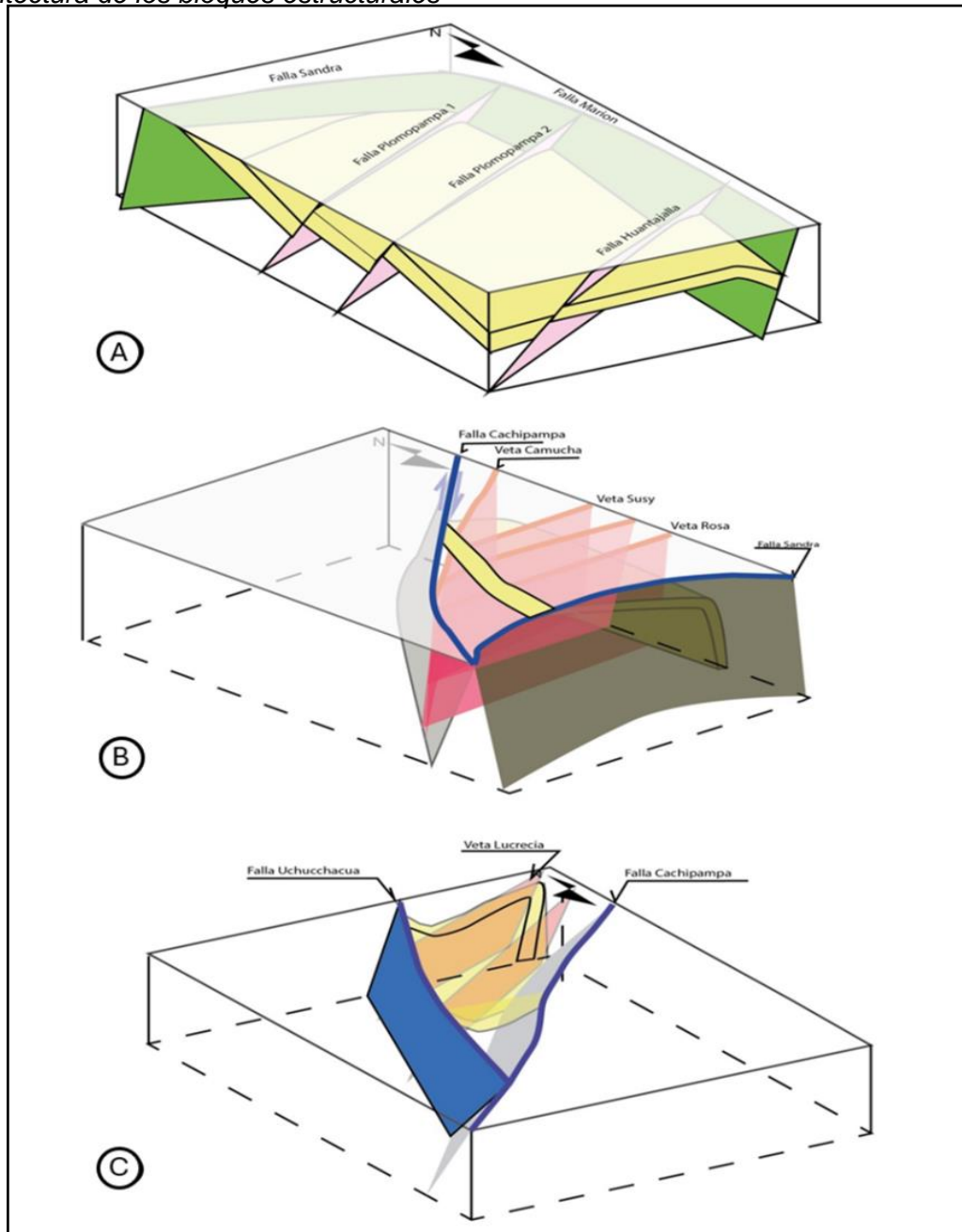
Alteración propilítica y argílica. La alteración propilítica es la predominante en el intrusivo oeste, aunque es de débil intensidad, caracterizada por la presencia de epidota y clorita. Sobreimpuesta a la alteración propilítica se da la alteración argílica que es de carácter supérgena con presencia de óxidos de Fe en las fracturas.

Alteración prógrada. En el endoskarn la alteración prógrada ocurre a través de fracturas y en menor escala de forma pervasiva, comprende venillas de granates marrones (andradita-grosularia) y en menor proporción piroxenos diseminados, con py diseminada

asociada. En el exoskarn, la alteración comprende granates de color marrón y verde amarillento al igual que piroxenos, la intensidad es moderada a pervasiva y más alejado del intrusivo, leve y por lo general alterna con niveles de mármol o caliza recristalizada. La alteración prógrada en el exoskarn está menos desarrollada que en el endoskarn.

Figura 29

Arquitectura de los bloques estructurales



Nota: A) Bloque Plomopampa muestra una zona de graben de dirección NE-SW. B) Bloque Rosa muestra un sistema de vetas tensionales de dirección EW entre las fallas Cachipampa y Uchucchacua. C) Bloque Lucrecia presenta vetas en dirección NE-SW entre la falla Uchucchacua y Cachipampa, así como el pliegue del anticlinal tumbado hacia el NE. Imagen tomada Geociencia y servicios especializados E.I.R.L. (2018)

Alteración retrógrada. En la zona del endoskarn la alteración retrógrada está débilmente desarrollada y compuesta principalmente por clorita, epidota y actinolita. En el exoskarn se presenta como venillas, bandeamientos y disseminaciones que contienen clorita, calcita, epidota, pirita, galena, esfalerita y calcopirita. En la campaña de perforaciones del 2024, asociado a la alteración retrógrada se cortaron cuerpos masivos y disseminados de calcopirita, esfalerita, galena y marmatita.

3.2.7 Mineralización

La información correspondiente a este acápite ha sido tomada de BISA (2018).

En el distrito minero de Uchucchacua se presentan procesos de mineralización complejos que han acontecido en distintos pulsos mineralizantes encontrándose minerales de distintas clasificaciones como son silicatos, carbonatos, sulfosales, sulfuros y óxidos. Las estructuras mineralizadas registradas presentan como roca encajonante a las calizas del miembro inferior y medio de la formación Jumasha. Las estructuras mineralizadas se presentan de distintas formas con un marcado control estructural con fallas que actúan como feeders, formando vetas, llegando a zonas donde se pueden formar cuerpos mineralizados de forma irregular reemplazando calizas de grano grueso o rellenando cavidades kársticas.

Como minerales de mena destacan galena, esfalerita, marmatita, argentita, pirargirita, plata nativa, jamesonita, polibasita, boulangerita, calcopirita, covelita, entre otros. En el caso de minerales de ganga se encuentran presentes pirita, alabandita, rodocrosita, calcita, fluorita, psilomelano, arsenopirita, magnetita, cuarzo, benavidesita, entre otros.

En la figura 30 se observan algunos de los minerales mencionados.

A continuación, se detallan los tipos de mineralización encontrados en alrededor del área de estudio

Figura 30

Veta mineralizada



Nota: Veta mineralizada con presencia de pirita semimasiva en gran cantidad, marmatita masiva, parches de galena y calcita con caliza con venillas de calcita como roca encajonante. Fuente propia

3.2.7.1 Vetos. Producto de la deposición de minerales correspondientes al fluido hidrotermal en las fracturas y fallas. La mineralización comprende en su mayoría sulfuros y silicatos en algunos tramos de las vetas. En algunos casos se observaron óxidos producto de la percolación de las aguas meteóricas. Las vetas son persistentes y profundas con longitudes decamétricas a kilométricas. Destacan estructuras como la veta Gina-Socorro, veta Cachipampa, veta Vanessa, veta Camucha, veta Rosa, entre otras (ver figura 31).

3.2.7.2 Reemplazamiento metasomático. Cuerpos de forma irregular que están relacionados a zonas de inflexión de vetas o intersección de estructuras en los que el fluido reemplaza minerales de mena, gana y silicatos sus dimensiones son variadas con una longitud entre 30 a 140 m, una altura aproximada de 150 m y un ancho entre 4 y 30 m. Destaca el cuerpo Irma Viviana, cuerpo Ana Lucía, cuerpo Giovana, entre otros.

3.2.7.3 Metasomatismo de contacto. Los intrusivos presentes han generado halos de alteración y mineralización correspondiente a skarns, reconociéndose endoskarns y exoskarns y con mineralización de calcopirita y galena argentífera y minerales de

alteración como granates, su forma es irregular y se presentan como diseminaciones y vetillas (significativamente más pequeñas en comparación con las vetas). No presentaban importancia económica ya que no se habían identificado volúmenes importantes.

3.2.7.4 Mineralización en brechas. Se han registrado afloramientos de brechas (ver figura 32) y los sondajes han evidenciado zonas de brechas de fragmentos subredondeados a subangulares correspondientes a caliza (roca encajonante) en la mayoría de los casos; sin embargo, también se han identificado otro tipo de rocas por lo que las brechas son tanto polimícticas como monomícticas. El cemento es de óxido de manganeso, asimismo se ha registrado óxidos Fe, pirita y sulfuros diseminados en los clastos o formando parte de la matriz.

Figura 31

Afloramientos de las vetas Camucha y Rosa



Nota: Tomado de BISA (2018)

Figura 32

Brecha mineralizada en superficie



Nota: Tomado de BISA (2018)

3.3 Metodología

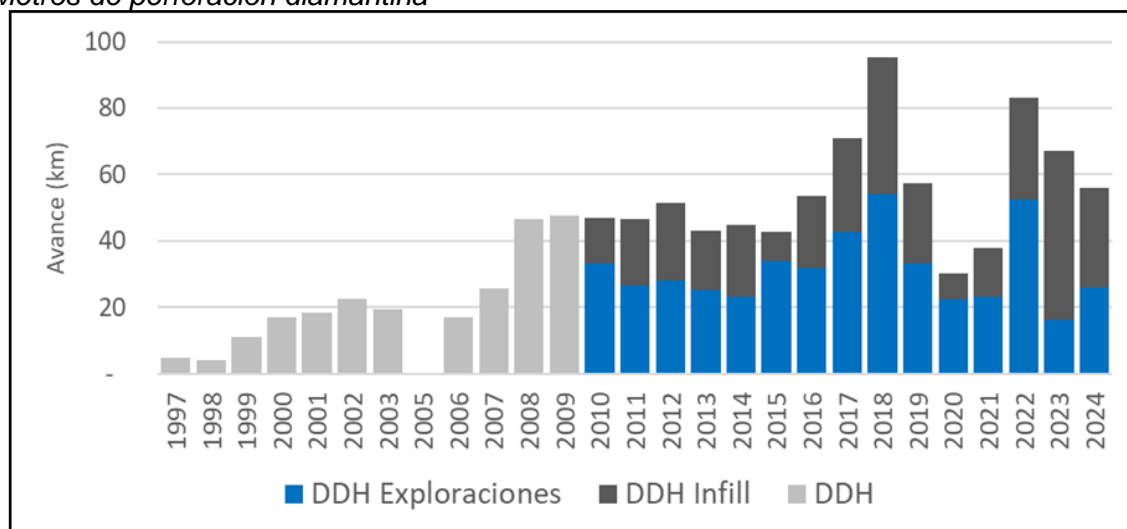
La metodología comprendió un trabajo de gabinete pre-campo, seguido de un trabajo de campo y de la toma de muestras para los estudios petromineráficos y posterior interpretación por el autor.

3.3.1 Trabajo de gabinete pre-campo

En esta fase del trabajo de investigación, se realizó una recopilación bibliográfica correspondiente al distrito minero de Uchucchacua, así como del contexto geológico regional en el que se enmarca el depósito. Se encontró información concerniente a la estratigrafía, magmatismo, geología estructural, geomorfología, metalogenia. Los trabajos revisados corresponden a estudios superficiales y de interior mina. Adicionalmente, se recopilaron las interpretaciones geológicas más recientes, que son producto de los programas de exploración y recategorización de recursos minerales en los últimos períodos (ver figura 33).

Figura 33

Metros de perforación diamantina



Nota: Incluye perforaciones de exploración e infill.

3.3.2 Trabajo de campo

Se realizaron campañas de cartografiado geológico en las labores hacia el suroeste de la mina Rosario para actualizar las interpretaciones realizadas de las secuencias sedimentarias, intrusivos y alteraciones. Durante la campaña se tomaron 17 muestras para estudios petrominerafícos (ver figura 34).

Las muestras se seleccionaron de acuerdo con el protocolo de muestreo que consideró (a) muestras de sondajes de perforación diamantina de diámetro NQ (47.60 mm), (b) la longitud de la muestra no debe ser mayor a 10 cm, (c) el tramo de muestreo toma en cuenta la representatividad de los distintos ensambles mineralógicos, controles estructurales y litológicos, (d) la muestra se corta longitudinalmente a la mitad en el petrótopo, asegurando que ambas mitades presenten características mineralógicas y texturales representativas, es decir, buscando una distribución de minerales lo más simétrica posible, (e) se realiza una breve descripción macroscópica de la muestra y se registra su ubicación geográfica (ver tabla 4), (f) se selecciona uno de las dos mitades del sondaje muestreado para su envío, (g) dentro de la muestra a enviar se marca con tiza un sector de aproximadamente 2 x 2 cm en el que se realizará la sección delgada-pulida, (h) se coloca la muestra en una bolsa de muestreo, se le asigna un código, la fecha de

muestreo y el geólogo responsable de dicho muestreo, (g) se envía la muestra para su respectivo análisis petrominerográfico, y la otra mitad queda como contramuestra. Cabe destacar que el protocolo de muestreo considera también la seguridad y medio ambiente, ya que el personal antes de realizar cualquier trabajo realiza su IPERC y está permanentemente con sus equipos de protección personal (EPPs), así mismo se realiza una gestión adecuada de residuos que generan las labores de muestreo.

El laboratorio Bizalab realizó los estudios petrominerográficos mediante secciones delgadas-pulidas para poder identificar tanto minerales opacos como minerales translúcidos utilizando un microscopio de luz polarizada modelo ZEISS Axio LabA1. Cuando se obtuvieron los resultados de los estudios petrominerográficos, se procedió a realizar la interpretación del sector suroeste del depósito con el objetivo de mejorar el modelamiento geológico tanto de las estructuras mineralizadas como de las litologías, así como ganar mayor conocimiento del yacimiento para identificar nuevas áreas para perforar y así aumentar y recategorizar los recursos minerales de la Unidad Minera.

Tabla 4

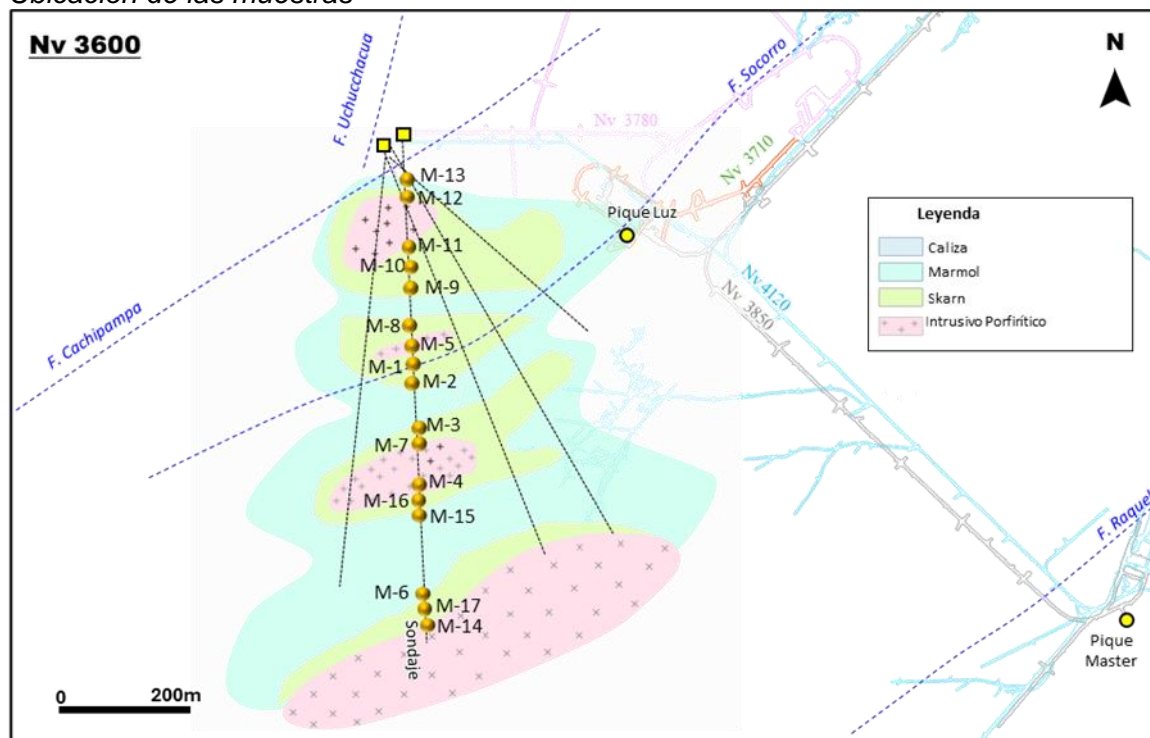
Ubicación de muestras para estudios petrominerográficos

Código	X	Y	Z
M-1	315676.6	8826112.1	3967.9
M-2	315676.6	8826111.8	3967.6
M-3	315676.7	8826110.2	3966.5
M-4	315680.3	8826069.6	3937.7
M-5	315676.2	8826116.0	3970.7
M-6	315813.1	8825945.4	3499.8
M-7	315676.8	8826109.6	3966.1
M-8	315675.9	8826119.5	3973.1
M-9	315675.7	8826120.9	3974.2
M-10	315674.9	8826130.2	3980.8
M-11	315673.0	8826148.9	3994.1
M-12	315658.3	8826297.2	4100.6
M-13	315657.9	8826301.2	4103.5
M-14	315822.4	8825917.4	3456.7
M-15	315700.8	8825843.4	3778.2
M-16	315700.6	8825845.8	3779.8
M-17	315710.9	8825719.0	3694.8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34

Ubicación de las muestras



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Estudios petrominerográficos

En este ítem se presentan los resultados obtenidos de los estudios petrominerográficos realizados por Bizalab (2024). Solo se presentarán 5 muestras, las muestras restantes se encuentran en el anexo 1.

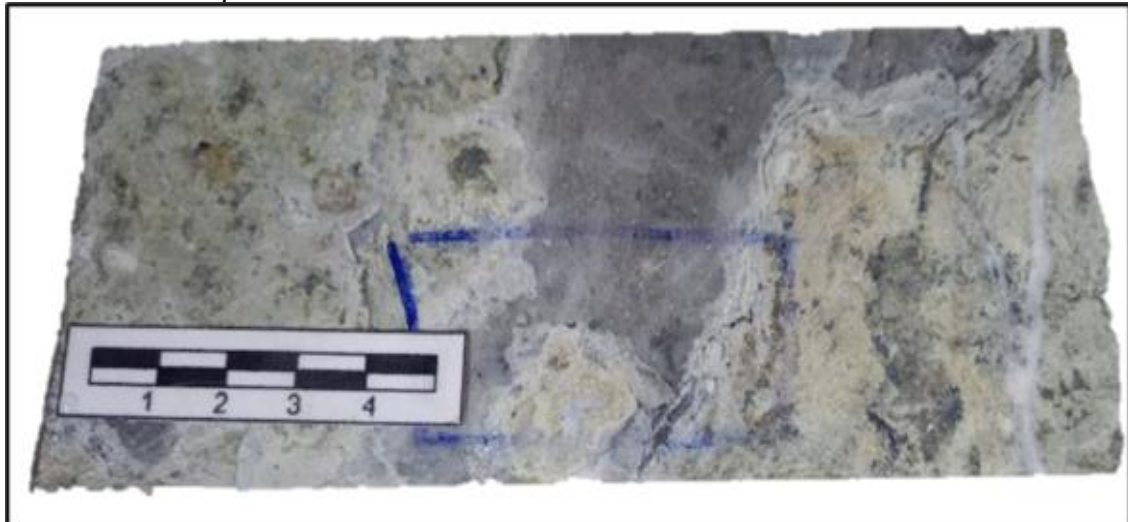
3.4.1 Muestra M-2

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: La figura 35 muestra un skarn de coloración verdosa con textura granular. Presenta relictos de un protolito intrusivo porfíritico de color gris con presencia de feldespatos y cuarzo. En skarn está formado por granates verdosos que han sido fuertemente alterados por carbonatos retrógrados y cuarzo. Además, se ha observado pirita y calcopirita diseminados. Adicionalmente, se aprecian finas venillas de carbonatos posteriores.

Figura 35

Muestra macroscópica M-2



Fuente: Elaboración propia

Descripción microscópica: En la figura 36 se observa en las fotomicrografías:

(A) y (B) Relicto del protolito con fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) en matriz de feldespatos potásicos II, plagioclasas II y cuarzo II, que han sido reemplazados por feldespatos potásicos III y carbonatos I (FPKsII-PGLsII-czII-FPKsIII-CBsI) cortados por finas venillas de carbonatos III (CBs III).

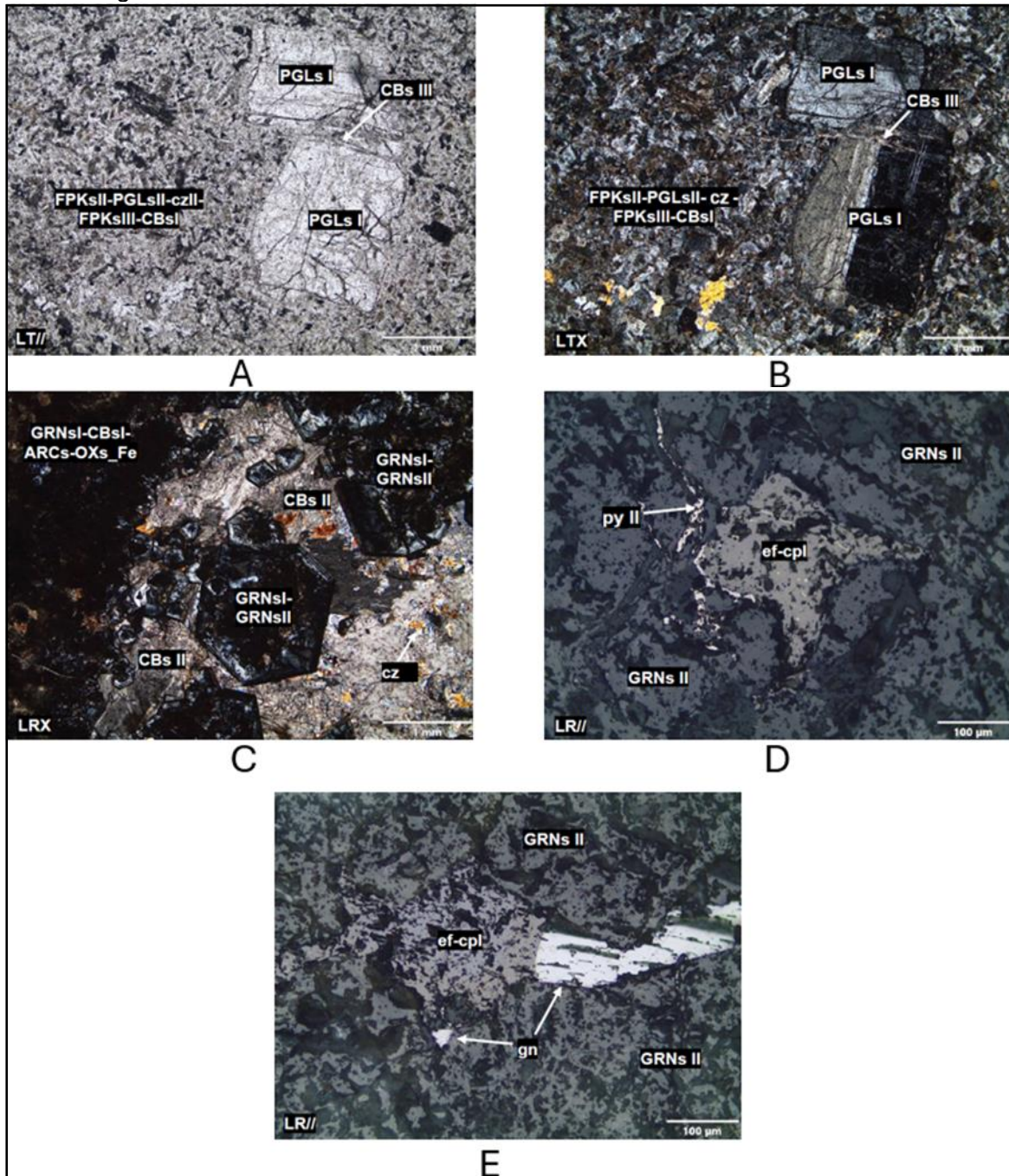
(C) Granates I con carbonatos I, arcillas y óxidos de hierro (GRNsI-CBsI-ARCs-OXs_Fe). Granates I sobrecrecidos desde sus bordes por granates II (GRNs II).

(D) Esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita I (ef-cpl). Finas venillas de pirita II (py II).

(E) Esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita I (ef-cpl) reemplazada por cristales de galena (gn) desde sus bordes.

Figura 36

Fotomicrográficas M-2



Nota: LT//: Luz Transmitida – nícoles paralelos, LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos, LRX: Luz Reflejada. Fuente: Imagen tomada de Bizalab (2024)

3.4.2 Muestra M-7

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: En la figura 37 se observa un mármol de color gris claro y de textura granoblástica. El mármol ha sido parcialmente skarnizado por agregados de granates (intensamente alterados por carbonatos) y piroxenos acompañados de

mineralización de esfalerita, calcopirita, y galena diseminados y en parches. Posteriormente, la roca ha sido cortada por venillas muy finas de carbonatos.

Figura 37

Muestra macroscópica M-7



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 38 se observa en las microfotografías:

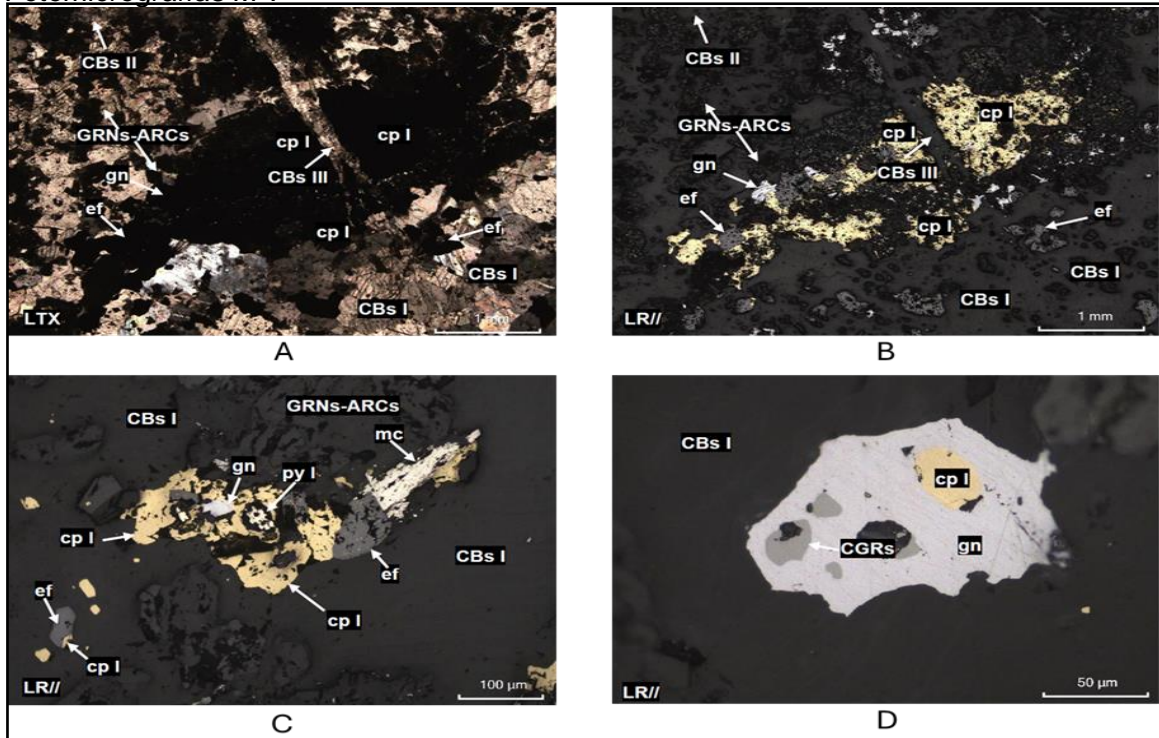
(A) y (B) Mármol formado por carbonatos I (CBs I) alterado por agregados de granates y arcillas (GRNs-ARCs) y carbonatos II (CBs II); así como, por esfalerita (ef), calcopirita I (cp I) y galena (gn). Calcopirita I reemplazada por galena desde sus bordes. Venillas de carbonatos III (CBs III).

(C) Granates y arcillas (GRNs-ARCs) en intersticios de carbonatos I (CBs I). Granates cortados por pirita I (py I), esfalerita (ef), calcopirita I (cp I), galena (gn) y marcasita (mc). La calcopirita I ha reemplazado a esfalerita y ha sido reemplazada por galena y marcasita.

(D) Calcopirita I (cp I) reemplazada desde sus bordes por galena (gn), que a su vez es reemplazada desde su centro por cobres grises (CGRs).

Figura 38

Fotomicrográficas M-7



Nota: LTX: Luz Transmitida – nicóles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nicóles paralelos. Fuente: Bizalab (2024)

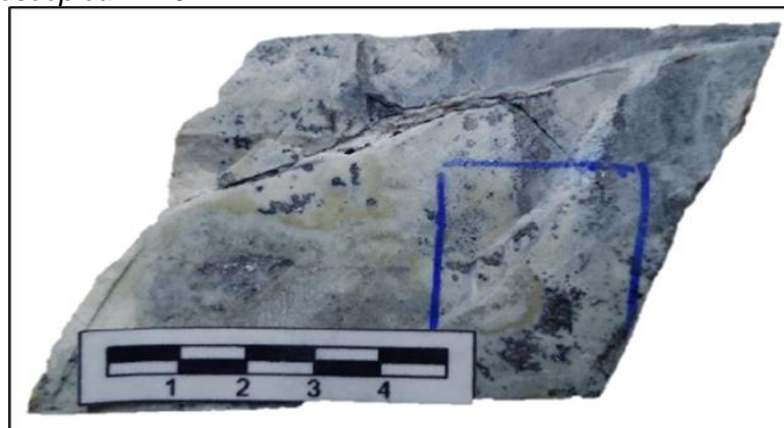
3.4.3 Muestra M-10

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: En la figura 39 se observa un skarn de color gris blanquecino, textura granular (grano fino a medio). Se encuentra conformada por agregados de piroxenos. Se identifica diseminación y parches de piritita y calcopirita. Así mismo, la muestra ha sido cortada por carbonatos de posibles distintas generaciones.

Figura 39

Muestra macroscópica M-10



Fuente: Elaboración propia

Descripción microscópica: En la figura 40 se observa en las microfotografías:

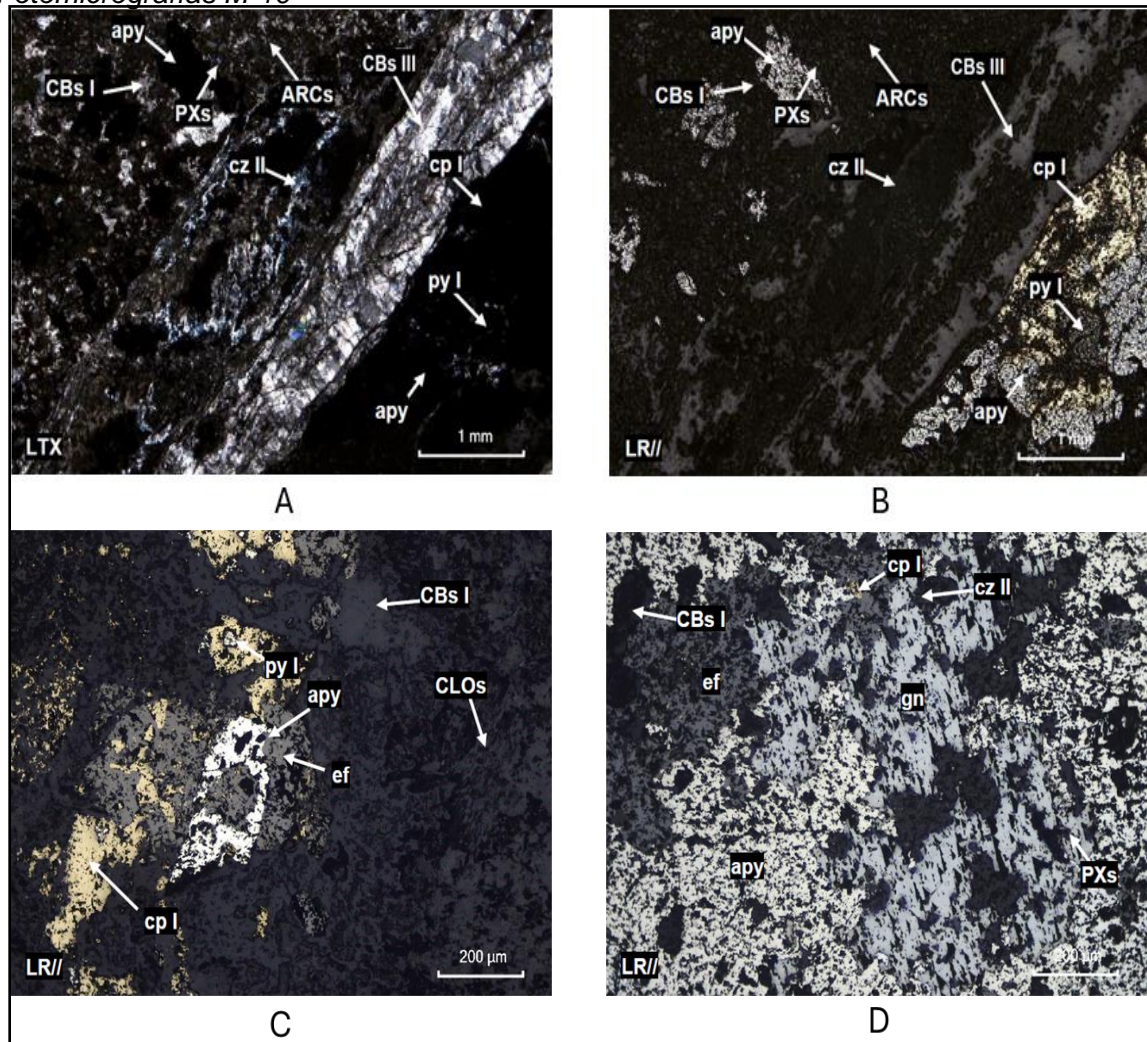
(A) y (B) Carbonatos I (CBs I) intensamente alterados por Piroxenos (PXs) acompañados de arcillas. Se observa arsenopirita (apy) reemplazada por pirita I (py I) y calcopirita I (cp I). Roca cortada por venilla de carbonatos III (CBs III) con cuarzo II (cz II).

(C) Esfalerita (ef) reemplazando a arsenopirita (apy) y estas a su vez reemplazados por calcopirita I (cp I) con inclusiones de pirita I (py I).

(D) Arsenopirita (apy) reemplazada por esfalerita (ef) y galena (gn). Pequeños cristales de calcopirita I (cp I) dentro de galena (gn).

Figura 40

Fotomicrografías M-10



Nota: LTX: Luz Transmitida – nicoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nicoles paralelos. Fuente: Imagen tomada de Bizalab (2024)

3.4.4 Muestra M-13

Estudios petromineragráfico

Descripción macroscópica: En la figura 41 se observa un skarn de color gris claro con tonalidades verdosas, textura granular (grano fino a medio). Conformado por cristales de piroxenos, granates y wollastonita. Han sido reemplazados parcialmente por cuarzo con pirita y galena diseminadas. Posteriormente, han sido alterados por agregados de carbonatos blancos lechosos.

Figura 41

Muestra macroscópica M-13



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 42 se observa en las microfotografías:

(A) Cristales de granates y wollastonita alterados por carbonatos (CBs)

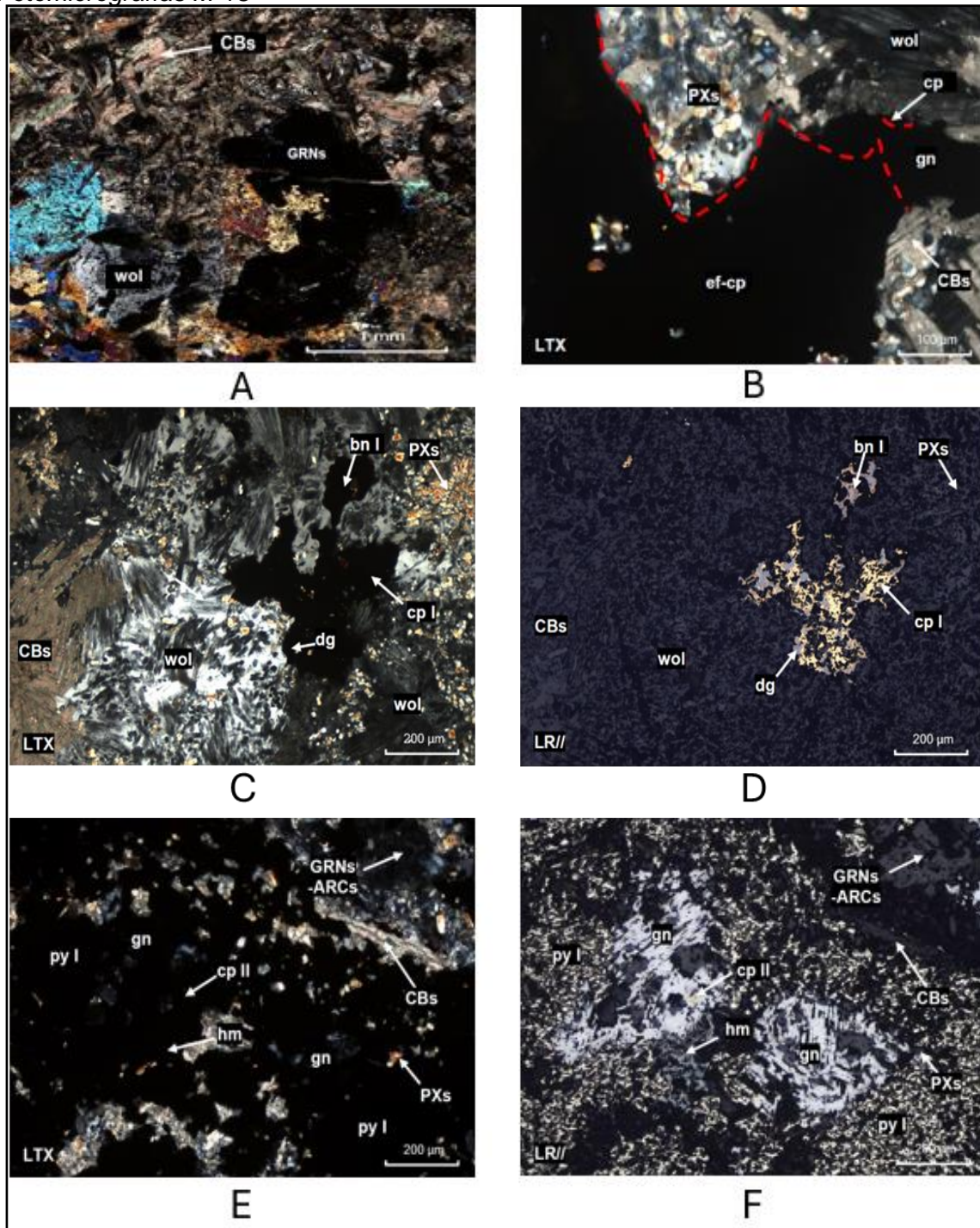
(B) Piroxenos y wollastonita alterados por carbonatos y cristales de esfalerita con diseminaciones de calcopirita junto con galena.

(C) y (D) Calcopirita I (cp I) reemplazando a piroxenos (PXs) y wollastonita (wol). Bornita I (bn I) y digenita (dg) están reemplazando a la calcopirita I por sus bordes. Carbonatos (CBs) están reemplazando a wollastonita (wol).

(E) y (F) Pirita I (py I) englobando a piroxenos (PXs) y ha invadido a granates que han sido alterados por arcillas (GRNs-ARCs) y carbonatos (CBs). Galena (gn) y hematita (hm) han reemplazado desde los bordes y las oquedades a la pirita I (py I). Así mismo, la galena está siendo reemplazada por calcopirita II (cp II) desde sus centros.

Figura 42

Fotomicrográficas M-13



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Fuente: Imagen tomada de Bizalab (2024)

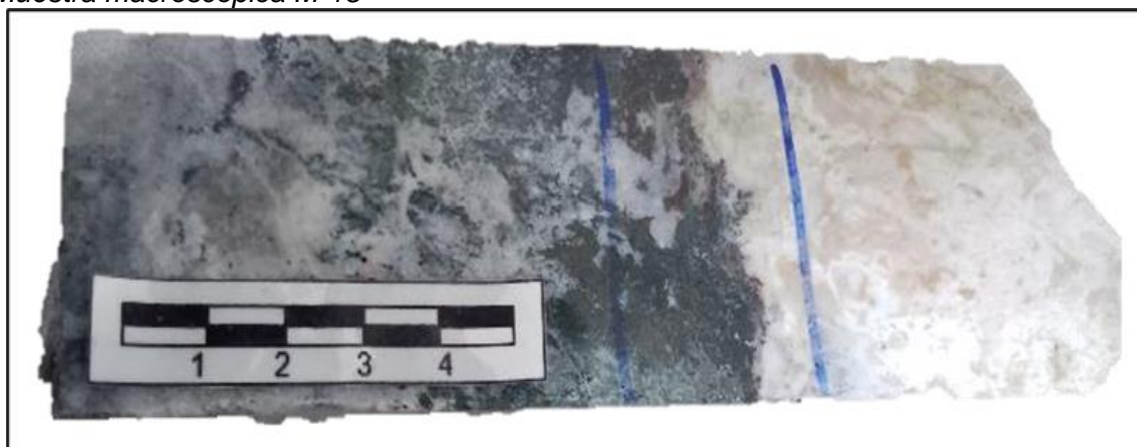
3.4.5 Muestra M-15

Estudios petrominerográfico

Descripción macroscópica: En la figura 43 se observa el contacto entre mármol y skarn. El mármol presenta textura granoblástica y color blanquesino. La zona skarnizada presenta granates y piroxenos intensamente alterados por cloritas, carbonatos posteriores, arcillas y óxidos de hierro. Se observa parches de galena

Figura 43

Muestra macroscópica M-15



Fuente. Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 44 se observa en las microfotografías:

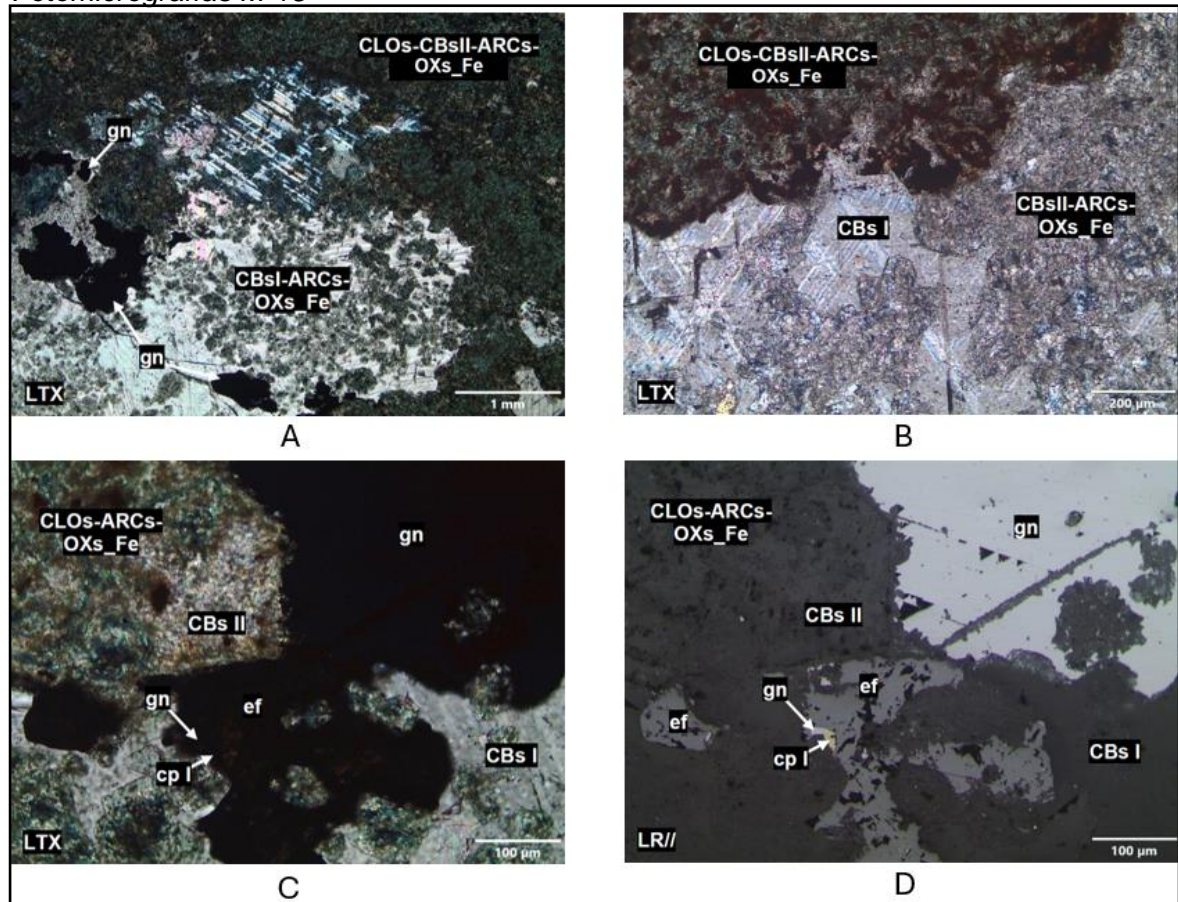
(A) Carbonatos I impregnados por arcillas y óxidos de hierro (CBsI-ARCs-OXs_Fe). Granates han sido totalmente alterados por cloritas, carbonatos II, arcillas, óxidos de hierro y goethita (CLOs-CBsII-ARCs-OXs_Fe-goe), quedando solo como moldes. Galena (gn) en los intersticios de los carbonatos I.

(B) Carbonatos I (CBs I) reemplazados por granates, que han sido alterados totalmente por cloritas, carbonatos II, arcillas, goethita y óxidos de hierro (CLOs-CBsII-ARCs-goe-OXs_Fe). Otros carbonatos I se hallan completamente alterados por carbonatos II, arcillas y óxidos de hierro (CBsII-ARCs-OXs_Fe).

(C) y (D) Cristales de galena (gn) y esfalerita (ef), esta última reemplazada por calcopirita I (cp I) y galena desde sus bordes.

Figura 44

Fotomicrográficas M-15



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Fuente: Imagen tomada de Bizalab (2024).

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

Este capítulo se enfoca en el análisis y discusión de resultados, así como la propuesta de ingeniería planteada.

4.1 Análisis de resultados

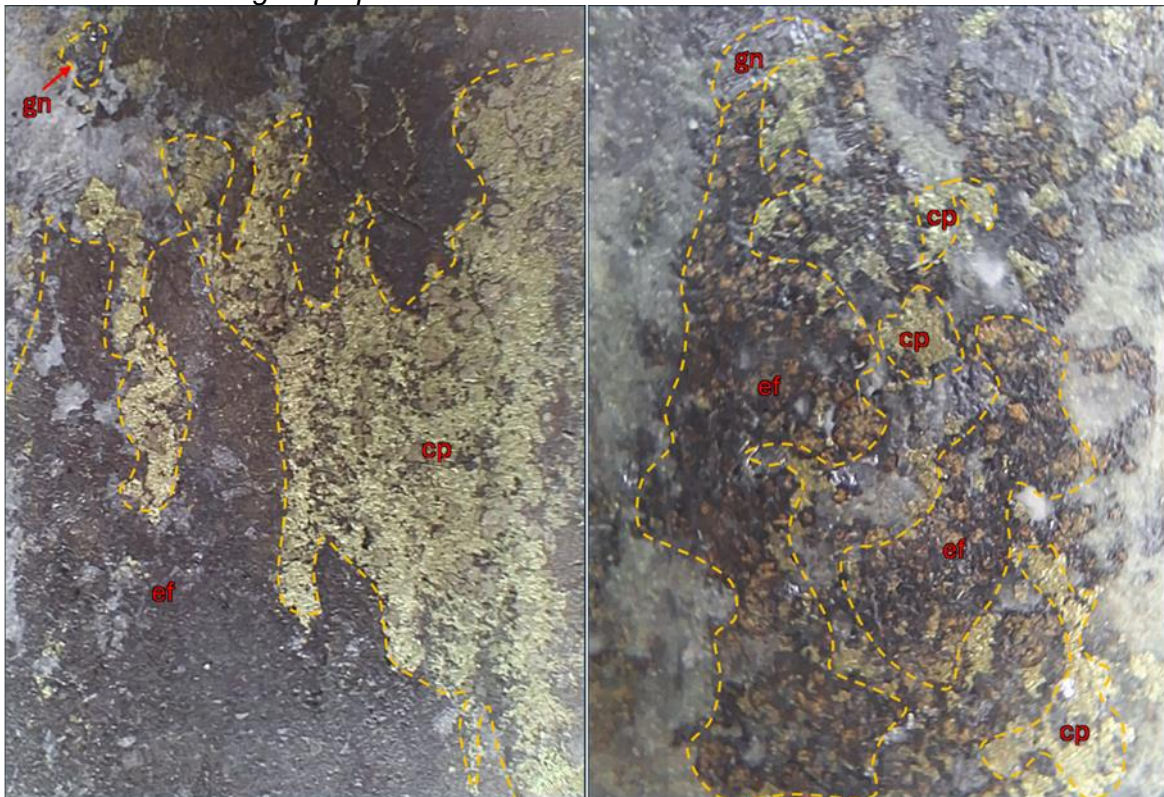
4.1.1 *Ensamble mineralógico*

A partir de los resultados de los estudios petromineralográficos de las 17 muestras representativas de este estudio, se definió un ensamble mineralógico relacionado a la mineralización y cuatro ensambles relacionados a la alteración (ver capítulo 4.1.3).

Ensamble cp-gn-ef, está compuesto por menas ricas en calcopirita, esfalerita, galena y pequeños contenidos de cobres grises y arsenopirita. Se encuentran en los intersticios y reemplazando minerales de alteración retrógrada (ver figura 45).

Figura 45

Ensamble mineralógico propuesto



Nota: Ensamble típico cp-gn-ef. Mineralización de calcopirita, esfalerita y galena.

4.1.2 Secuencia paragenética

Se determinó la secuencia paragenética de la zona de estudio identificando las relaciones entre los minerales identificados y las texturas registradas en los estudios petrominerográficos. Sumado a lo observado durante el cartografiado geológico, se definió el orden cronológico de la deposición de los minerales. Se identificaron 2 estadios, el primero corresponde a un evento temprano relacionado a una alteración prógrada y el segundo es el evento de una alteración retrógrada asociada a la mineralización y acompañada de argilización y oxidación. En la figura 46 se muestra la secuencia paragenética para la zona de estudio.

4.1.3 Alteraciones

Se han identificado dos tipos de alteración pervasivas y dos tipos de alteración incipientes.

Alteración prógrada, identificándose minerales prógradados como granates, piroxenos y wollastonita, fueron los primeros minerales de alteración en el intrusivo (endoskarn) y en el mármol (exoskarn). Se caracterizan por ser minerales de temperaturas altas y no están relacionados con la mineralización (ver figura 42).

Alteración retrógrada, identificándose minerales retrógradados como cloritas, carbonatos y trazas de epidota (anexo 1 figura 2) reemplazando a los minerales prógradados. Corresponden a un evento posterior a la alteración retrógrada. Las temperaturas disminuyen y está relacionada con la mineralización (ver figura 44).

Argilización y oxidación, la primera alteración está compuesta por arcillas debido a que los piroxenos se alteran a arcillas (ver anexo 1 figura 10D) mientras que la segunda alteración corresponde a óxidos de Fe que han alterado a esfalerita, pirita y marcasita (ver figura 42F, y anexo 1 figura 24D). Ambas alteraciones acompañan a la alteración retrógrada (ver figura 44).

En la figura 47 se puede observar todo el espectro de alteraciones y mineralización correspondiente al sector suroeste de la mina Rosario.

Figura 46

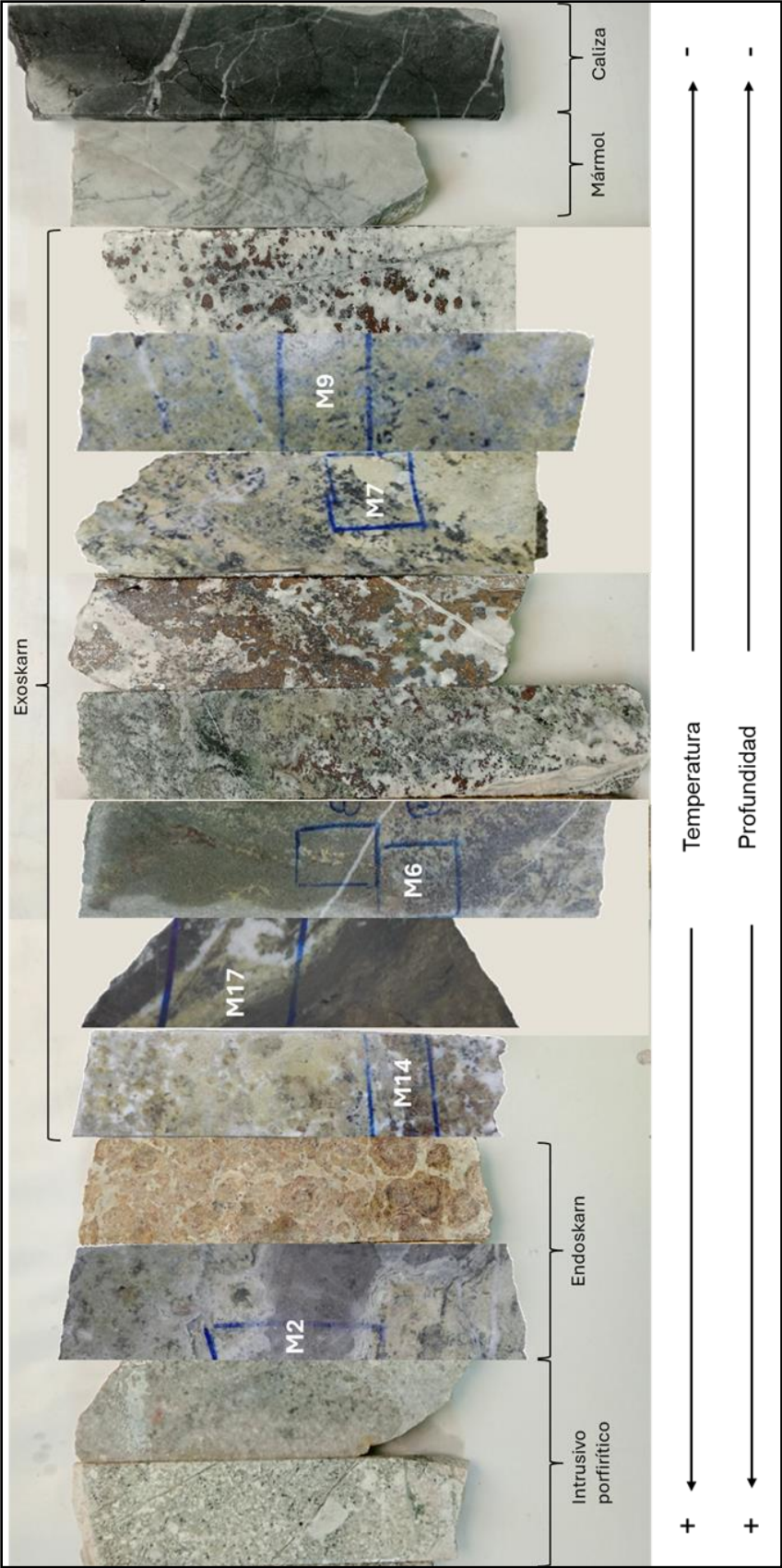
Secuencia paragenética propuesta

MINERALOGÍA		Fase prógrada	Fase retrógrada
ALTERACIÓN	Piroxenos	----- —	
	Granates	— ———	
	Vesubianita		---
	Wollastonita		—
	Cuarzo		—
	Epídota		----
	Clorita		—
	Carbonatos		— -- --
	Arcillas		—
MINERALIZACIÓN	Magnetita		—
	Pirrotita		----
	Arsenopirita		—
	Pirita		— —
	Esfalerita		—
	Calcopirita		— ---
	Galena		—
	Cobres grises		---
	Marcasita		—
	Oxs Fe		---
Mayor temperatura —————> Menor temperatura			
Escaso ----- Moderado — Abundante ———			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

Evolución de alteración y mineralización



Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Zonas ligadas a mineralización en el depósito

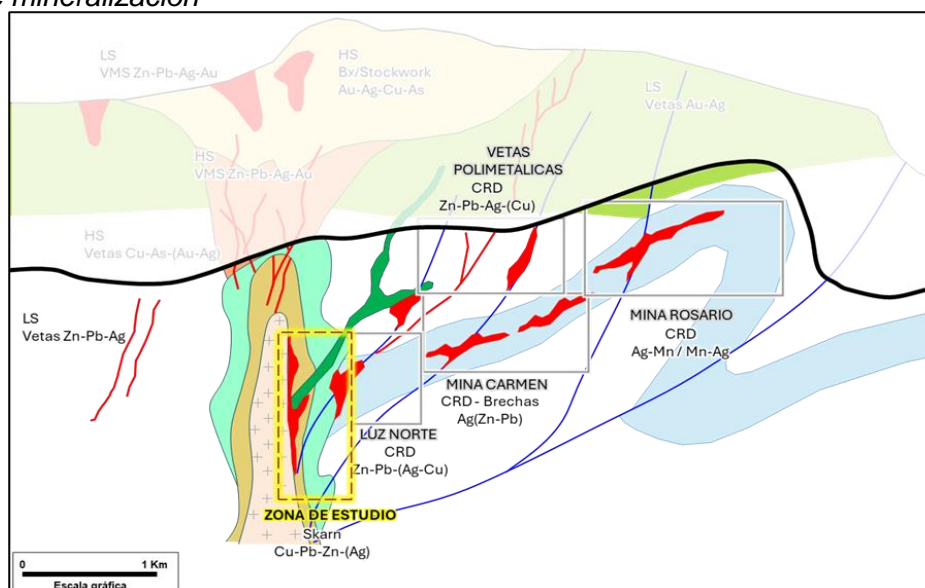
Con los resultados obtenidos en el sector suroeste de la mina Rosario se le considera un depósito skarn. Sin embargo, la mineralización económica de Uchucchacua es diversa y comprende todo el sistema skarn identificándose los siguientes tipos de mineralización:

- Brechas: Ag-Pb-Zn
- CRD: Ag-Pb-Zn-(Cu)

En la figura 48 se presenta el modelo del yacimiento de Uchucchacua presentando los distintos tipos de mineralización.

Figura 48

Tipos de mineralización



Nota: Modificado de Sillitoe (2010)

4.2 Propuesta de ingeniería

4.2.1 Perforación diamantina para la estimación de recursos mineros

La perforación diamantina es indispensable para la definición y dimensionamiento de los recursos minerales del depósito, y así determinar si el depósito reúne las condiciones razonables para una eventual extracción económica. De acuerdo con JORC (1999), un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material sólido de interés económico ubicado dentro o sobre la corteza terrestre en tal forma, ley y cantidad que haya expectativas razonables para una eventual extracción económica.

Al área de geología de mina anualmente se le asigna un presupuesto en metros de perforación para llevar a cabo campañas de perforación para explorar, recategorizar y confirmar recursos minerales en la unidad minera. La malla de perforación se ha venido ajustando, incrementándose el grado de certeza en los nuevos impactos realizados. Asimismo, en función a los hallazgos e interpretaciones, se ha recomendado continuar con el programa de perforación hacia el suroeste de la mina Rosario.

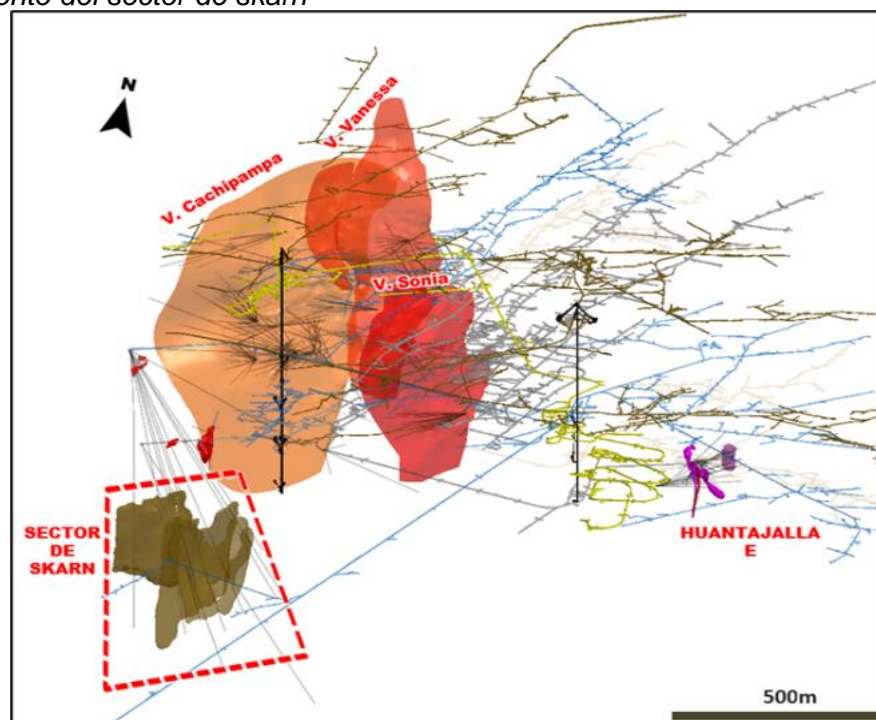
4.2.2 Modelamiento geológico

En el modelamiento geológico del depósito Uchucchacua se utilizó el software Leapfrog y como data para alimentar al modelo se usaron los sondajes diamantinos, planos en planta, secciones sistemáticas y el cartografiado de las labores. A partir del año 2023, se han venido modelando las nuevas estructuras utilizando la interpretación del tipo skarn asociado a cuerpos mineralizados (ver figura 49).

Los resultados presentados en el modelamiento del largo plazo 2024 respecto al largo plazo 2023, pone en evidencia el incremento en volumen de 4.3Mt a 5.9 Mt (ver figura 50), lo que representa un incremento del 37% respecto al año anterior.

Figura 49

Modelamiento del sector de skarn



Nota: Sector skarn al suroeste de la mina Rosario

Figura 50

Evolución volumen de 2020 a 2024



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

La mina Rosario, perteneciente al distrito minero de Uchucchacua, se ubica en el distrito y provincia de Oyón, en la región de Lima, cerca al límite con la región Pasco, la producción actual está enfocada en la zona de vetas polimetálicas. El yacimiento es considerado como un CRD debido a la mineralización presente en forma de vetas y a la asociación mineralógica. Actualmente, se vienen realizando estudios geológicos al suroeste de la mina Rosario y se considera que el estilo de mineralización corresponde al de un depósito skarn.

El sector suroeste de la mina Rosario presenta indicios de un depósito skarn, su mineralización corresponde a calcopirita, esfalerita y galena de forma diseminada y en algunos tramos masiva, asociada a alteraciones y mármol.

Los estudios petrominerográficos permitieron fundamentar las preguntas y validar las hipótesis planteadas en el presente estudio.

En el distrito minero de Uchucchacua afloran las calizas de la formación Jumasha y Celendín, el grupo Calipuy. La mineralización se encuentra emplazada dentro de la formación Jumasha. Se han reconocido 3 eventos principales de intrusivos que corresponden al intrusivo Oeste, Luz y Bonnie. Se identificaron 2 sistemas de fallas, destacando la falla Tinquicocha-Cutacocha, falla Uchucchacua, falla Cachipampa, falla Socorro y falla Sandra.

La secuencia paragenética asociada a la mineralización comprende magnetita, pirrotita, arsenopirita, pirita, esfalerita, calcopirita, galena, cobres grises, marcasita y Oxs Fe.

Se identificó un ensamble típico de mineralización de cp-gn-ef caracterizado por la presencia de calcopirita, galena, esfalerita y pequeños contenidos de cobres grises, y arsenopirita.

Las alteraciones reconocidas en el sector de estudio fueron la alteración prógrada reconociéndose minerales como granates, piroxenos y wollastonita. La alteración

retrógrada reconociéndose minerales como carbonatos, cloritas y trazas de epídota. Alteraciones incipientes como argilización y oxidación.

Con la nueva interpretación geológica para la zona de estudio se modelaron las estructuras mineralizadas a manera de cuerpos asociados a un sistema skarn, aumentando el volumen de las estructuras mineralizadas. Asimismo, se ha ajustado la malla de perforación, de tal forma de que se aumente el grado de certeza para los nuevos cortes de mineral con el objetivo de incrementar los recursos minerales y aumentar la vida de la mina.

Recomendaciones

Se recomienda, obtener firmas espectrales de las alteraciones con el espectrómetro Terraspec y/o XRD para determinar los vectores de mineralización y robustecer la interpretación de este estudio.

Se recomienda realizar un estudio litogeoquímica para la caracterización y clasificación de los distintos pulsos magmáticos que han ocurrido en el depósito con la finalidad de encontrar el pulso que haya generado la mayor mineralización económica.

Se recomienda realizar pruebas geometalúrgicas al ensamble mineralógico económico que tendrá relevancia en el tratamiento del mineral.

Se recomienda seguir el programa de perforaciones hacia el suroeste de la mina Rosario para seguir incrementando y recategorizando los recursos minerales.

Referencias bibliográficas

- Allen, R., Weihed, P., Blundell, D., Crawford, T., Davidson, G., Galley, A., Gibson, H., Hannington, M., Herrington, R., Herzig, P., Large, R., Lentz, D., Maslennikov, V., McCutcheon, S., Peter, J. y Tornos, F. (2022). *Global comparisons of volcanic-associated massive sulfide districts*. Geological Society Special Publications, 204, 13-37.
- Aquino, J., Yauri, A., Meza, J. (2018). *Caracterización de facies carbonatadas, su relación con mineralización de Ag-Pb-Zn, y su vectorización como guía de exploración de la Mina Uchucchacua, Oyón-Lima, Perú*. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, 14, 730-734.
- Barrell, J. (1907). *Geology of the Marysville mining district, Montana*. United States Geological Survey, 57, 178.
- Benavides, V. (1956). *Cretaceous system in Northern Peru*. Bulletin of the American Museum of Natural History, 108 (4).
- BISA (2024). *Servicio Plan de exploraciones prioridad 1 UM Uchucchacua*.
- BISA (2018). *Cartografiado geológico-estructural superficial de la mina Uchucchacua y alrededores*.
- Bizalab (2024). *Estudios petrominerográficos por microscopía óptica de diecisiete muestras*.
- Bizalab (2025). *Estudio petrográfico*. Recuperado de <https://bizalab.com.pe/estudio-petrografico/>
- Carpio, M., Torre, J. y Fuentes, J. (2019) - *Investigación de calizas para el desarrollo de la región Junín*. Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, (65).
- Chang, Z. (2023). *Report on the Uchucchacua-Yumpag-Chonta district, Peru*.
- Chang, Z. (2013). *Skarn deposits* [Diapositiva de PowerPoint].
- Chang, Z., Shu, Q. y Meinert, L. (2019). *Skarn deposits of China*. Society of Economic Geology, 22, 189-234.

- Chirif (2010). *Microscopía óptica de minerales*. Boletín del Servicio de Geología y Minería, (1).
- Cobbing, J. (1973). *Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ámbar, Oyón, Huacho, Huaral y Canta*. Boletín del Servicio de Geología y Minería, (26). Recuperado de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2166/1/Memoria_descriptiva_Oy%c3%b3n_22-j2.pdf
- Cobbing, J., Quispesivana, L. y Paz, M. (1996). *Geología de los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores*. Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, (77).
- Code JORC. (1999). *Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore Reserves. Prepared by the Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC).
- Cossío, A. (1964). *Geología de los cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa*. Boletín de la Comisión Carta Geológica Nacional, (8). Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/158/68/A-008-Boletin_Santiago_de_Chuco-17g_Santa_Rosa-18g.pdf
- Cotta, B. (1864). *Erzlagerstätten im Banat und in Serbien: Vienna*. W. Braunmullen, 105.
- De la Cruz, J. y Chacaltana, C. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Carhuaz (19-h)*. Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Recuperado de <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Reg-244.pdf>
- Departamento de Geología Uchucchacua (2014). *Geología del yacimiento minero Uchucchacua*.
- Departamento de Geología Uchucchacua (2023). *Geología Uchucchacua* [Diapositiva de PowerPoint].

- Einaudi, M., Meinert, L. y Newberry, R. (1981). *Skarn deposits*. Economic Geology, 75, 317-391.
- Escuela Geología Profesional (2018). *I Curso fundamentos LeapFrog Geo 4.3.1*. Recuperado de <https://www.icog.es/cursos/index.php/curso-fundamentos-leapfrog-geo-4-3/#:~:text=Leapfrog%20Geo%20es%20un%20software,datos%20estructurales%2C%20topogr%C3%A1ficos%2C%20etc>.
- Geociencia y servicios especializados E.I.R.L. (2018). *Geología estructural del distrito minero de Uchucchacua*.
- Goldschmidt, V. (1911). *Die kontakmetamorphose im Kristianiagebiet*: Oslo Vidensk. Mat – Natur, K1 (1), 483.
- Gustafson, L. y Hunt, J. (1975). *The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile*. Economic Geology, 70, 856-912.
- JORC (2012). *Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code)*. Recuerado de https://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf
- Knopf, A. (1918). *Geology and ore deposits of the Yerington District, NV*. United States Geological Survey, 114, 68.
- Ligarda (2020). *Estudio de dataciones radiométricas U/Pb en el distrito minero de Uchucchacua*.
- Ligarda, R., Arias, E., Callupe, R., Carlos, J., Aquino, J., Ventura, M. (2021).– *Perú Central Nuevos conceptos de exploración en el Distrito Minero de Uchucchacua*. Resúmenes extendidos de charlas técnicas del Congreso Internacional de Prospectores y Exploradores 2021, 153-158.
- Lindgren, W. (1902). *The character and genesis of certain contact deposits*. American Institute of Mining Engineers, 31, 226-244.
- Mégard, F. (1984) *The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru*. Journal of the Geological Society London, 141, 893–900.

- Megaw, P. (2023). *Proexplo 2023: CRD-type ore deposits have up to 400 million tons of high grades of silver, zinc and lead*. Lima, Peru: Proexplo 2023. Recuperado de <https://proexplo.com.pe/proexplo2023/front/public/en/nota/106>
- Meinert, L. (1992). *Skarns and skarn deposits*. Geoscience Canada.
- Meinert, L., Dipple, G., Nicolescu, S. (2005). *World skarn deposits*. Society of Economic Geology, 299-336.
- Nakano, T. (1978). *The zoned skarn developed in diorite porphyry in the Shinyama area, Kamaishi mine, Japan*. Mining Geology, 28, 99-109.
- Ochiai, K. (1987). *A reaction model relating skarn zones and ore formation at the Nippo copper ore deposit, Kamaishi mine, northeastern Japan*. Economic Geology, 82, 1001-1018.
- Paricahua, A., Rodríguez, O., Meza, J., Gabriel, E. y Plasencia, D. (2019). *Resultados del análisis estructural y de microfacies carbonatadas de la formación Jumasha (K-sup) en la mina Uchucchacua, Este de Lima*. Proexplo 2019.
- Ramos, L., Velasco, F., Rodríguez, A., Ramírez, J., Canet, C., González, R., Castillejo, J., San José, C., Fuentes, E., Linares, C. (2024). *Mineralogy, geochemistry, geochronology, and fluid inclusion constraints of the concepción del Oro-Mazapil Fe-Cu skarns, central Mexico*. Journal of South American Earth Sciences, 151, doi: 10.1016/j.jsames.2024.105268
- Rodríguez, R. y Carlotto, V. (2008). *El sistema de fallas Chonta: Morfología, cinemática y distribución de yacimientos de minerales*. Recuperado de https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3392/1/Rodriguez-Sistema_fallas_Chonta_morfologia.pdf
- Romero, D. y Latorre, O. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Oyón (22-j) – Cuadrante III*. Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Recuperado de: https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2167/1/Memoria_descriptiva_Oy%c3%b3n_22-j3.pdf

- Romaní (1982). *Geología de la región minera Uchucchacua, Hacienda Otuto, Perú* (tesis doctoral). Universidad de Grenoble, Grenoble, Francia.
- Romero, D. y Latorre, O. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Oyón (22-j) – Cuadrante II*. Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Recuperado de <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/P-1047.pdf>
- Scherrenberg, A., Jacay, J., Holcombe, R., Rosenbaum, G. (2012). *Stratigraphic variations across the Marañón fold-thrust belt, Peru: Implications for the basin architecture of the West Peruvian Trough*. Journal of South American Earth Sciences, 38, 147-158. doi: 10.1016/j.jsames.2012.06.006
- Seequent (2025). *Descubra las tendencias de LeapFrog Geo*. Recuperado de <https://www.seequent.com/es/productos-y-soluciones/leapfrog-geo/>
- Sillitoe, R. (2010). *Porphyry copper systems*. Economic geology, 105 (1), 3-41.
- Solís, A. (2016). *Estructuras de mineralización del yacimiento minero de Atacocha – Cerro de Pasco*.
- Umpleby, J. (1913). *Geology and ore deposits of Lemhi County, Idaho*. United States Geological Survey, 528, 182.
- Wilson, J. (1963). *Cretaceous stratigraphy of Central Andes of Peru*. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 47 (1). Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Reg-251.pdf>
- Wilson, J. (1967). *Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Huaylas, Pomabamba, Carhuaz y Huari*. Boletín del Servicio de Geología y Minería, (16).

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Estudios petromineragráficos.....	1

Anexo 1: Estudios petrominerográficos

Muestra M-1

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: La figura 1 muestra un skarn de coloración verdosa con textura granular, con relictos de un protolito intrusivo color gris de textura porfirítica con feldespatos y cuarzo. El skarn está conformado por granates de color pardo verdoso y moldes de piroxenos que han sido alterados por carbonatos, se puede apreciar mayor concentración de los carbonatos en el contacto con el protolito. Se observa calcopirita y pirita diseminados.

Figura 1

Muestra macroscópica M-1



Fuente: Elaboración propia.

Descripción macroscópica: En la figura 2 se observa en la microfotografía

(A) Relicto del protolito con fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) en matriz de plagioclasas II y cuarzo II, reemplazada por feldespatos potásicos III (PGLsII-czII-FPKsIII) y alterada por carbonatos I (CBs I).

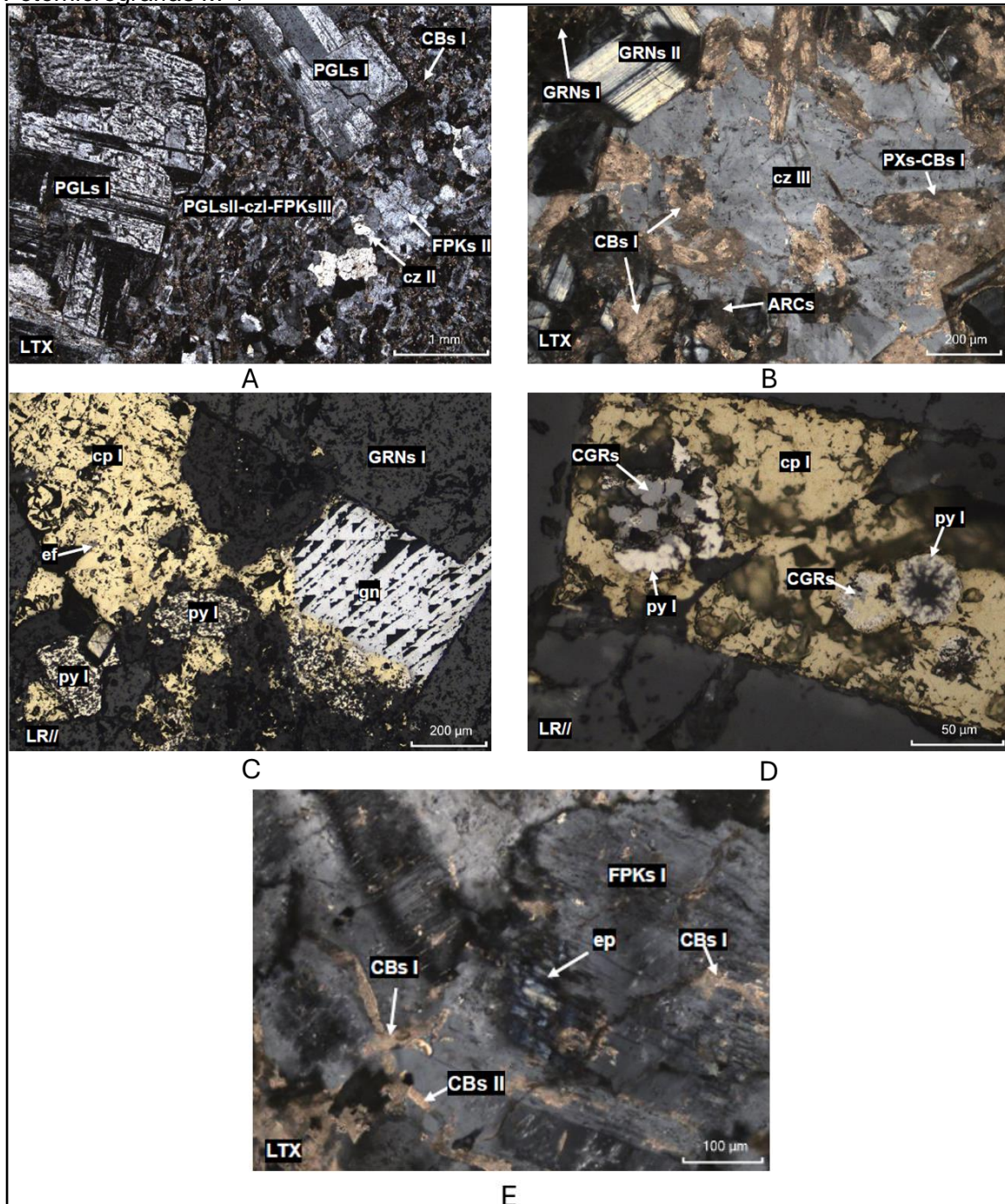
(B) Granates I (GRNs I) sobrecrecidos por granates II (GRNs II) y carbonatos I (CBs I). Moldes de piroxenos alterados totalmente por carbonatos I (PXs-CBs I), englobados por cuarzo III (cz III).

(C) Calcopirita I (cp I) reemplaza a pirita I (py I) y esfalerita (ef). Galena (gn) reemplazando a calcopirita I (cp I)

(D) Calcopirita I (cp I) reemplazando a pirita I (py I). Mientras que cobres grises (CGRs) reemplazan a pirita I y calcopirita I. E) Relicto de intrusivo con feldespatos potásicos alterados por epídotas (ep) y carbonatos II (CBs II).

Figura 2

Fotomicrografías M-1



Nota: LTX: Luz Transmitida – nicóles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nicóles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

Muestra M-3

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: En la figura 3 se aprecia el contacto entre el skarn de granates y un posible mármol. Los agregados de granates han sido reemplazados por cuarzo con pirita, esfalerita, calcopirita y galena. Adicionalmente, han sido alterados por carbonatos blancos lechosos que bordean el contacto.

Figura 3

Muestra macroscópica M-3



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 4 se observa en las microfotografías:

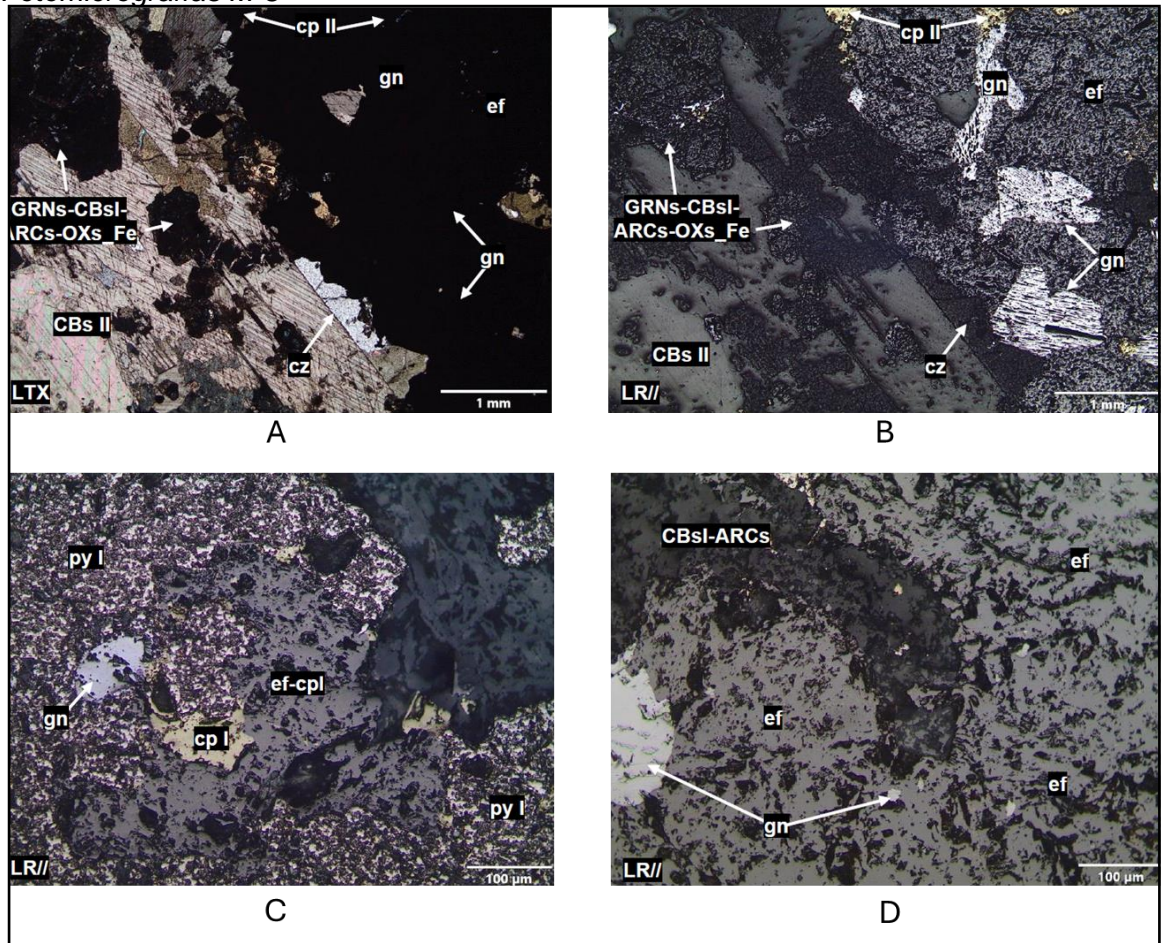
(A) y (B) Granates alterados por carbonatos I, arcillas e impregnaciones de óxidos de hierro (GRNs-CBsl-ARCs-OXs_Fe). Esfalerita (ef) reemplazada por galena (gn), y esta última por calcopirita II (cp II). Alteración por parte de carbonatos II (CBs II).

(C) Cristales de esfalerita I con disseminaciones muy finas de calcopirita I (ef-cpl). Pirita I (py I) reemplazada por esfalerita, calcopirita I (cp I) y galena (gn).

(D) Esfalerita (ef) reemplazada por galena (gn) desde sus bordes y centros. Carbonatos I y arcillas (CBsl-ARCs) que han alterado a los granates.

Figura 4

Fotomicrográficas M-3



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

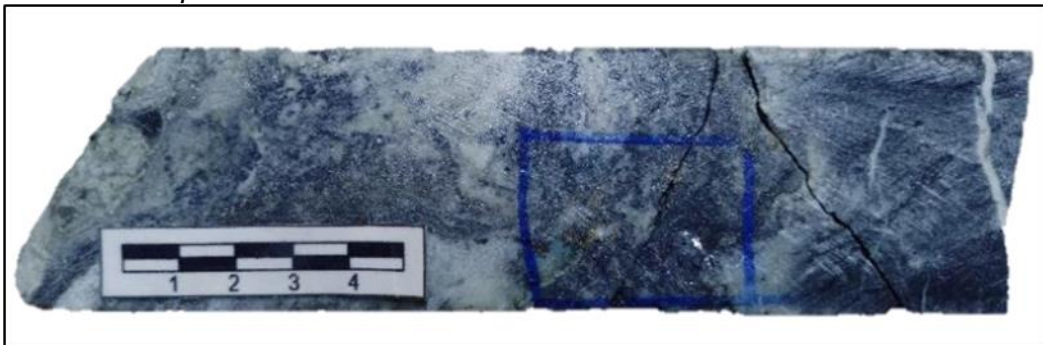
Muestra M-4

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: La figura 5 muestra un skarn de textura granular, en algunas zonas se observa al protolito que posiblemente es mármol. El skarn está formado por cristales de granates que han sido reemplazados y cortados por agregados de posibles anfíboles intensamente alterados a carbonatos. Se aprecia pirita y galena diseminada.

Figura 5

Muestra macroscópica M-4



Fuente: Elaboración propia.

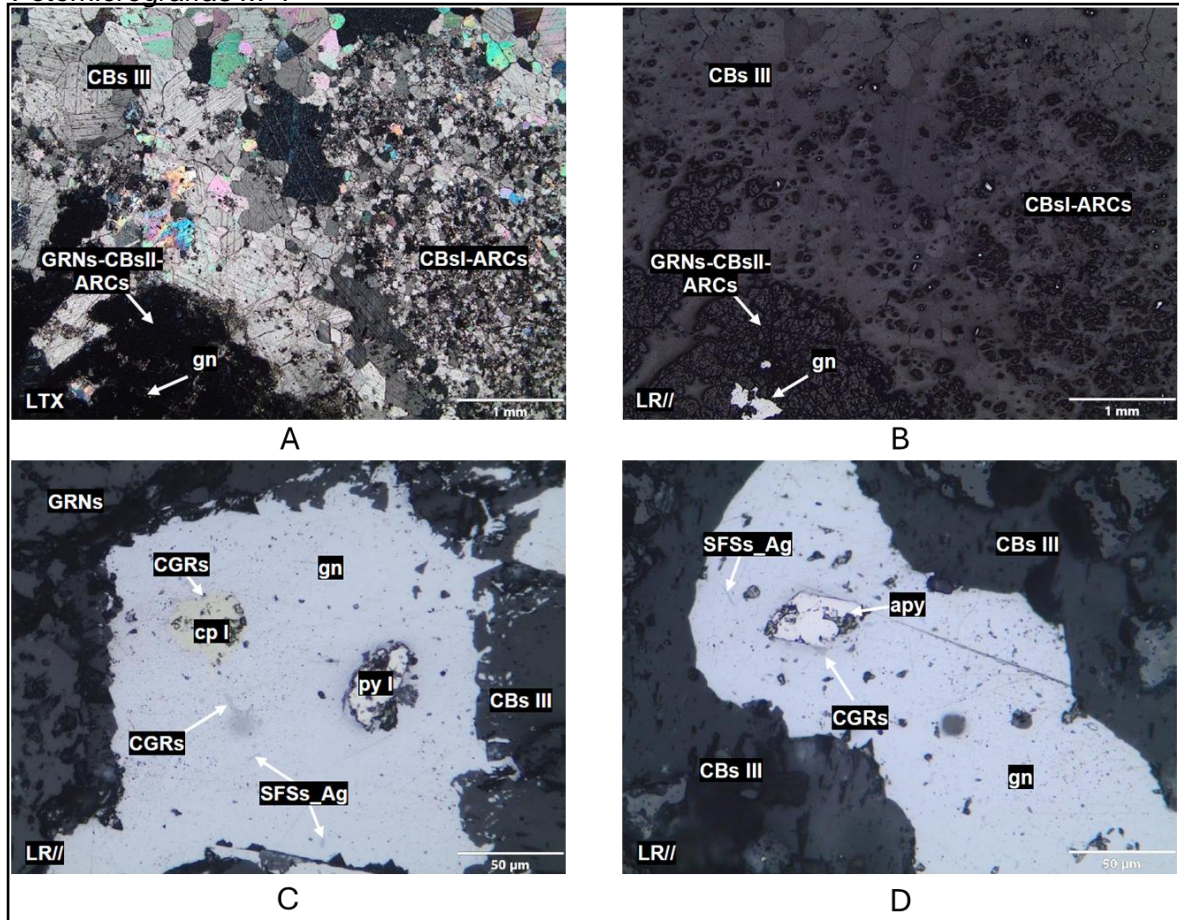
Descripción microscópica: En la figura 6 se observa en las microfotografías (A) y (B) Relictos de mármol formado por carbonatos I y alterados por arcillas (CBsI-ARCs) que a su vez han sido reemplazados por granates alterados por carbonatos II y arcillas (GRNs-CBsII-ARCs) con cristales de (gn). Posteriormente, alterados por carbonatos III (CBs III).

(C) Galena (gn) emplazada en intersticios de granates (GRNs) y ha reemplazado a pirita I (py I) y calcopirita I (cp I) desde sus bordes. Así mismo, galena es reemplazada desde su centro por cobres grises (CGRs) y sulfosales de plata (SFSs_Ag).

(D) Galena (gn) reemplazando a arsenopirita (apy). Además, galena es reemplazada por cobres grises (CGRs) y sulfosales de plata (SFSs_Ag). Rodeada de carbonatos III (CBsIII).

Figura 6

Fotomicrográficas M-4



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

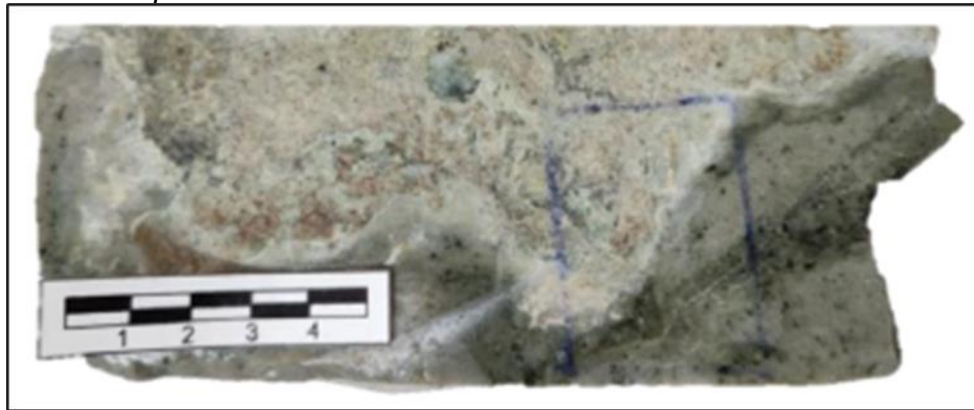
Muestra M-5

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: En la figura 7 se observa una roca ígnea (posible pórfido monzonítico-diorítico), de color gris claro, con textura porfirítica; conformada por fenocristales de feldespatos en una matriz de similar composición reemplazada por feldespatos II. La roca ha sido skarnizada por cristales de granates y piroxenos con escasa pirita diseminada; posteriormente, reemplazados por agregados de carbonatos blancos lechosos.

Figura 7

Muestra macroscópica M-5



Fuente: Elaboración propia.

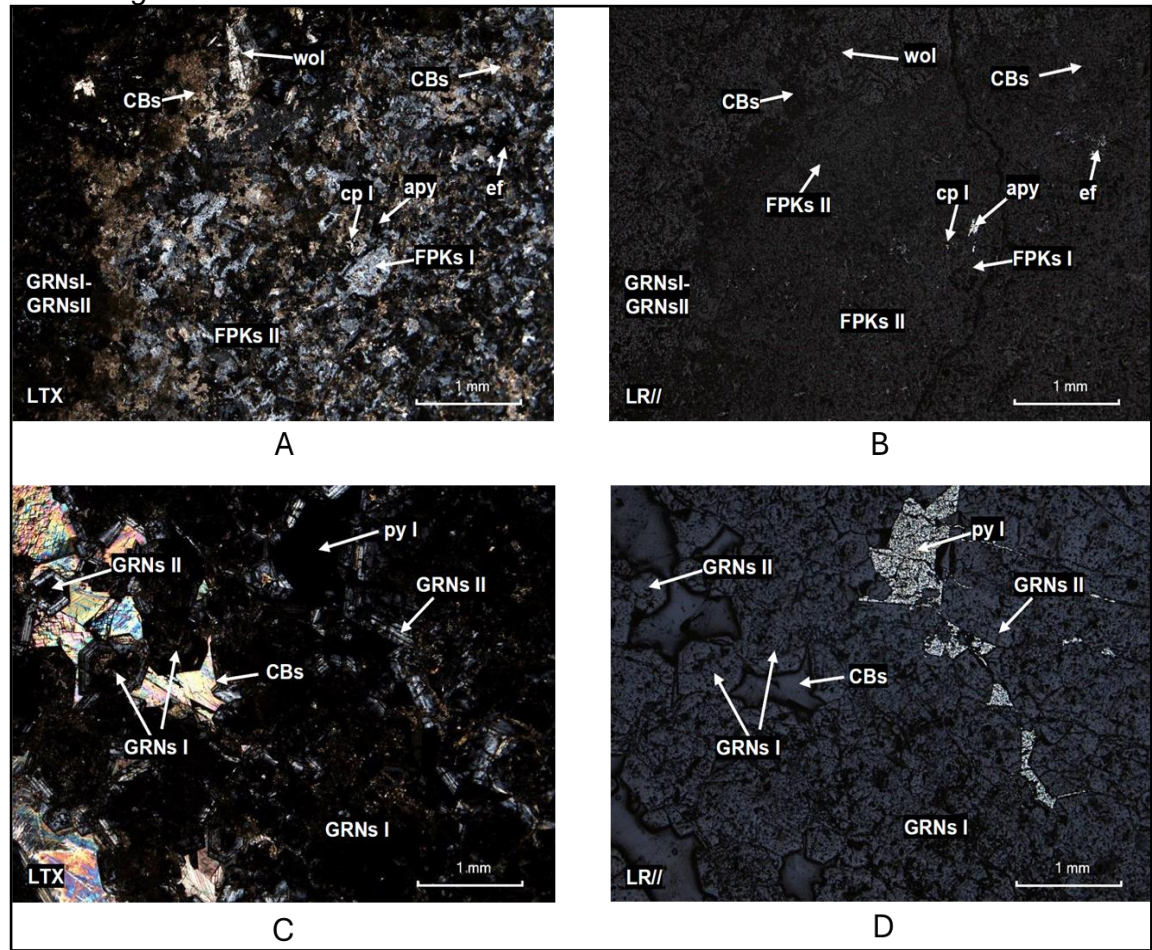
Descripción microscópica: En la figura 8 se observa en las microfotografías:

(A) y (B) Matriz con feldespatos potásicos I (FPKs I) reemplazados por feldespatos potásicos II (FPKs II), por sus intersticios se han emplazado arsenopirita (apy), esfalerita (ef), calcopirita I (cp I) y carbonatos (CBs).

(C) y (D) Granates I (GRNs I) sobrecrecidos por granates II (GRNs II). Pirita I (py I) y carbonatos (CBs) se han emplazado en intersticios.

Figura 8

Fotomicrográficas M-5



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

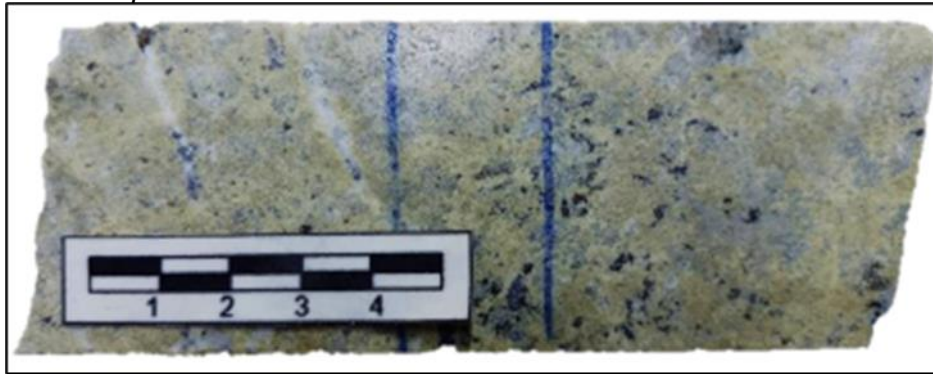
Muestra M-6

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: En la figura 9 se observa un skarn de color verdoso de textura granoblástica y tamaño de grano medio. Está conformado por granates pardos y verdosos; y piroxenos verdosos. Se observa mineralización de esfalerita, pirita y galena, de forma diseminada y en parches. También, se observan cristales de carbonatos que han rellenado intersticios, así como en venillas cortando al skarn.

Figura 9

Muestra macroscópica M-6



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 10 se observa en las microfotografías:

(A) y (B) Piroxenos (PXs) y granates I (GRNs I) sobrecrecidos por granates II (GRNs II), Se ha emplazado cuarzo (cz), carbonatos II (CBs II), esfalerita (ef) y galena (gn) en los intersticios.

(C) Piroxenos (PXs) alterados por carbonatos I (CBs I) y cloritas (CLOs); granates II (GRNs II) y arcillas (ARCs). Carbonatos II (CBs II) se emplazan en los intersticios.

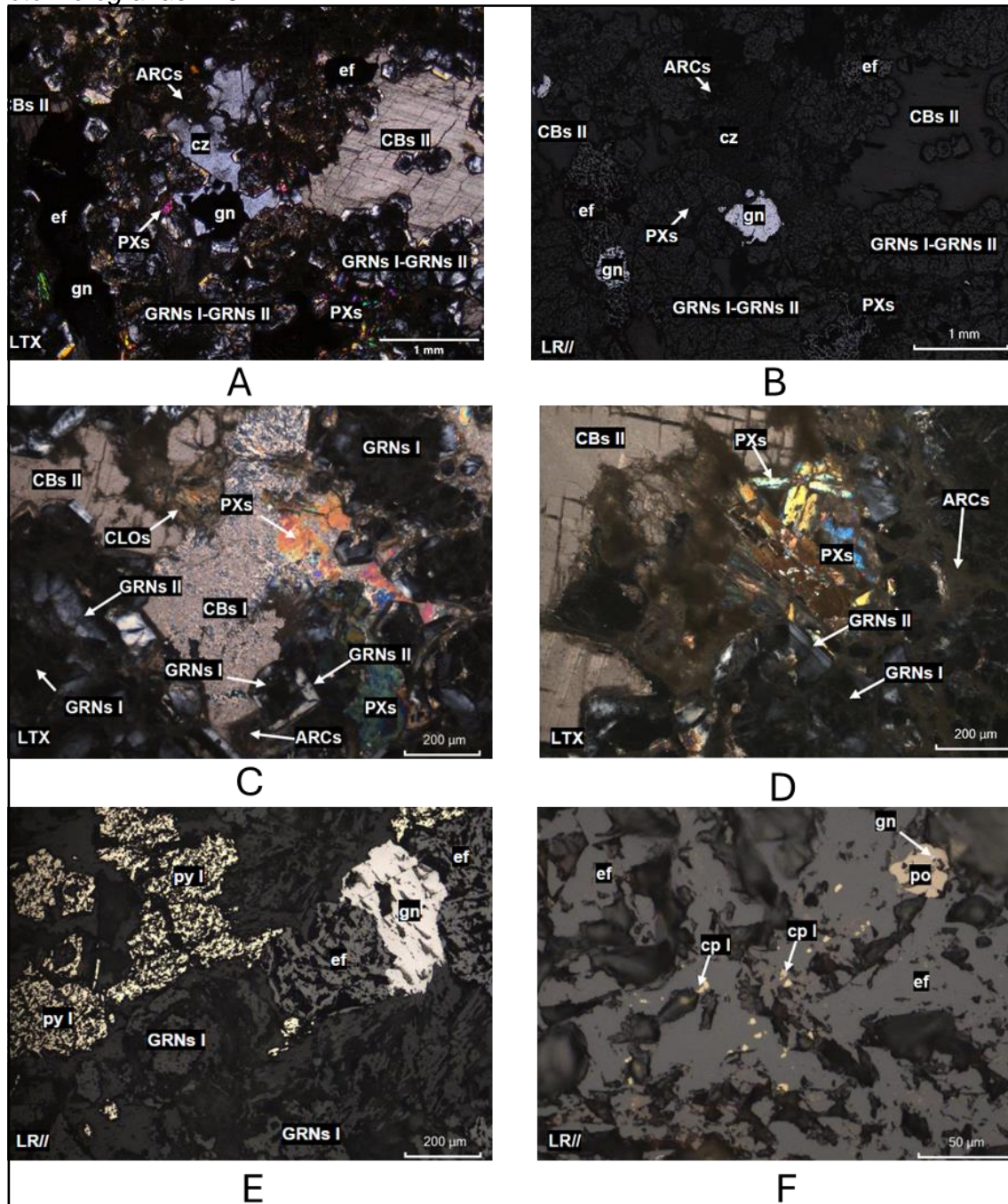
(D) Cristales de piroxenos (PXs) reemplazados por granates

(E) Granates I (GRNs I) reemplazados por pirita I (py I), que ha sido cortada por esfalerita (ef) que, a su vez, ha sido reemplazada por galena (gn).

(F) Inclusiones de pirrotita (po) y diseminaciones de calcopirita I (cp I) en esfalerita (ef).

Figura 10

Fotomicrografías M-6



Nota: LTX: Luz Transmitida – nicóles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nicóles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

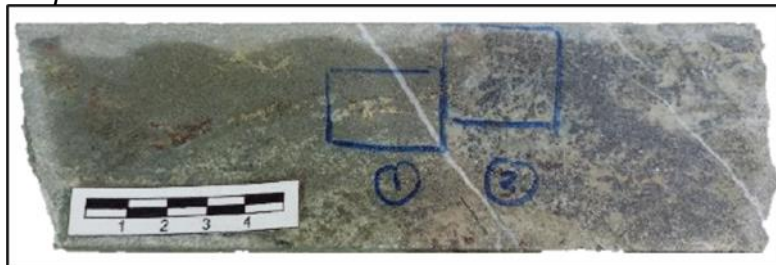
Muestra M-8

Estudios petrominerográficos

Descripción macroscópica: En la figura 11 se observa un skarn de color verdoso de textura granular (grano fino a medio), con presencia de dos generaciones de piroxenos con distintas tonalidades verdes. Presenta mineralización retrograda de pirita, calcopirita, esfalerita y galena, asociada con cuarzo. Además, se observan venillas de carbonatos posteriores cortando a la roca.

Figura 11

Muestra macroscópica M-8



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 12 se observa en las microfotografías:

(A) Piroxenos II (PXs II) alterados por arcillas (ARCs) y carbonatos I (CBs I). Además, han sido reemplazados desde sus intersticios por cuarzo (cz), pirita I (py I) y calcopirita I (cp I).

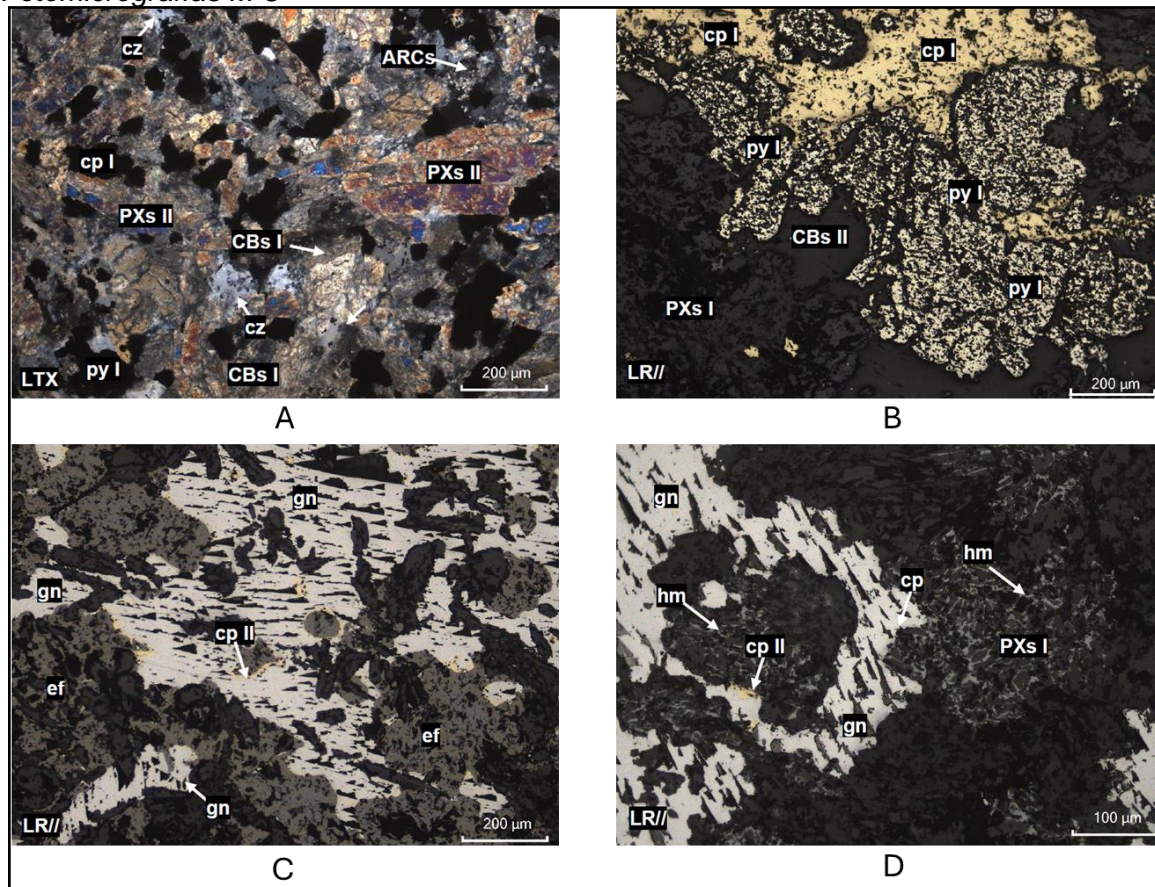
(B) Piroxenos I (PXs I) que han sido reemplazados por pirita I (py I). Pirita I reemplazada por calcopirita I (cp I) desde sus bordes.

(C) Esfalerita (ef) reemplazada por galena (gn). Galena ha sido bordeada por una corona de calcopirita II (cp II).

(D) Galena reemplazada desde sus bordes por calcopirita II (cp II). Hematita (hm) ha impregnado a piroxenos I (PXs I).

Figura 12

Fotomicrográficas M-8



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

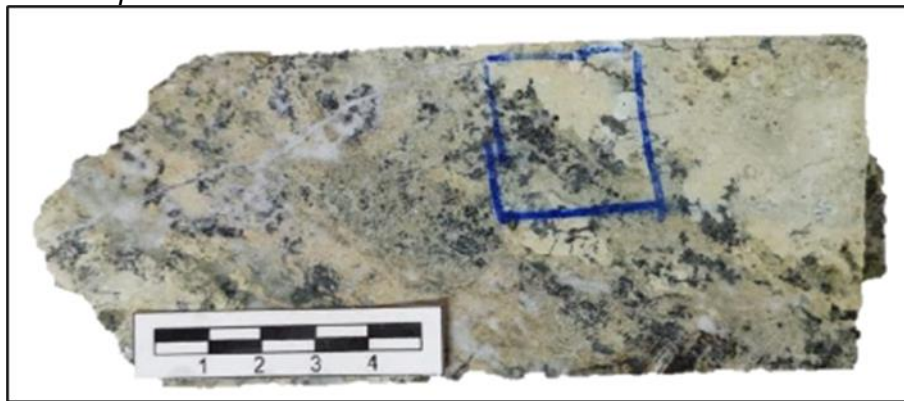
Muestra M-9

Estudios petromineragráfico

Descripción macroscópica: En la figura 13 se observa un skarn de color beige claro a verde claro, textura granular (grano fino a medio). Presenta granates, piroxenos y vesubianita, que han sido reemplazados parcialmente por esfalerita, galena, pirita y carbonatos blancos lechosos (de generaciones distintas). Además, se aprecia un sector con relictos de un protolito, posiblemente ígneo con textura porfirítica, que ha sido totalmente reemplazado por los granates y piroxenos muy finos.

Figura 13

Muestra macroscópica M-9



Fuente: Elaboración propia .

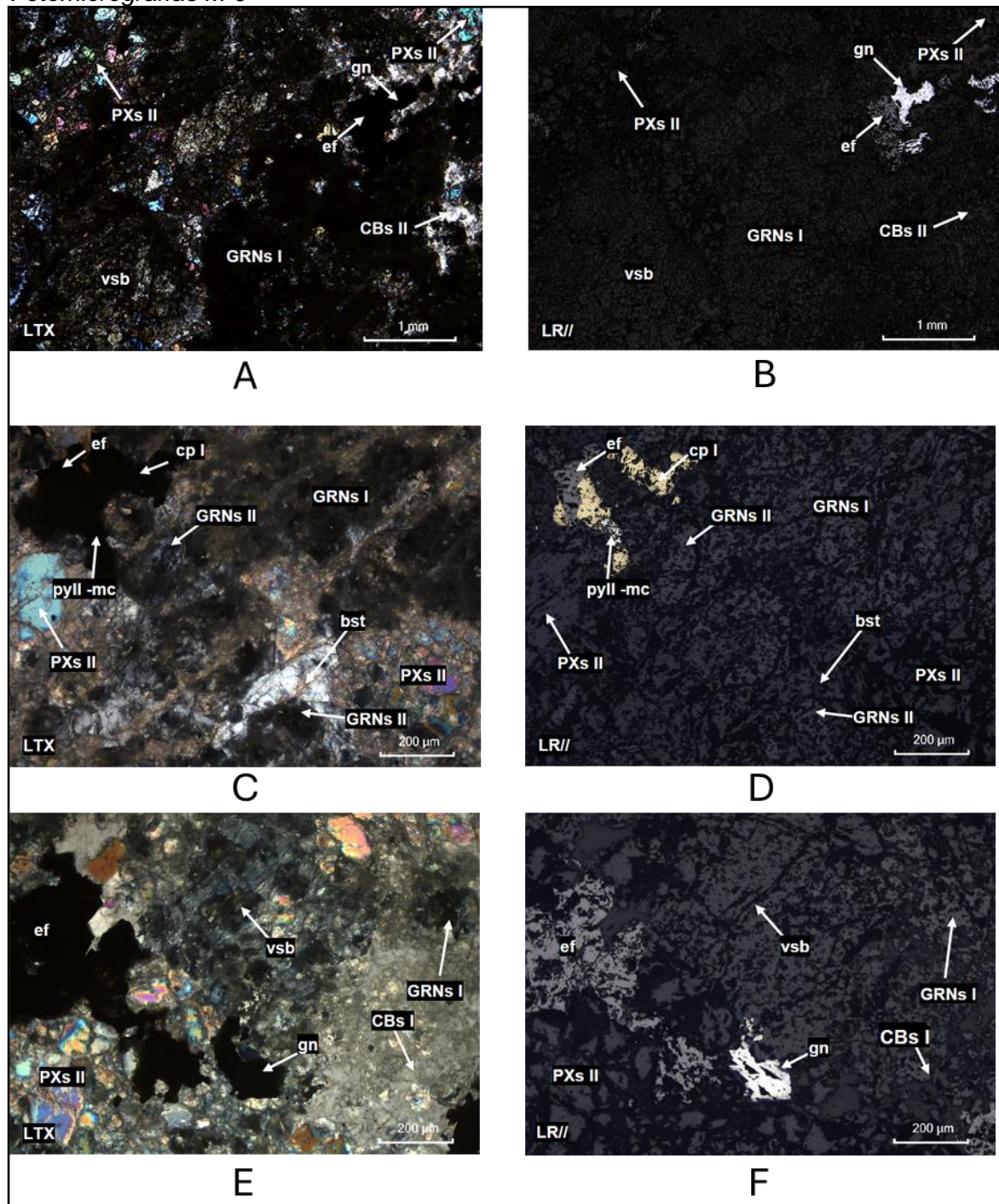
Descripción microscópica: En la figura 14 se observa en las microfotografías (A) y (B) Granates I (GRNs I) invadidos por cristales de piroxenos II (PXs II) y vesubianita (vsb). En los intersticios se ha emplazado esfalerita (ef), reemplazada galena (gn), y carbonatos II (CBs II).

(C) y (D) Granates I (GRNs I) sobrecrecidos por granates II (GRNs II), piroxenos II (PXs II) y posible bustamita (bst). En los intersticios se emplaza esfalerita (ef) reemplazada por calcopirita I (cp I). Moldes de cristales de posible pirrotita totalmente reemplazados por pirita II y marcasita (pyII-mc).

(E) y (F) Granates I (GRNs I) reemplazados por piroxenos II (PXs II), vesubianita (vsb) y carbonatos I (CBs I). En los intersticios se han emplazado esfalerita (ef) y galena (gn).

Figura 14

Fotomicrográficas M-9



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

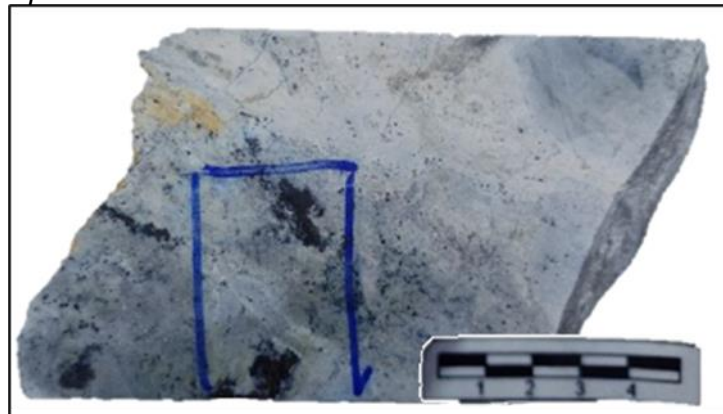
Muestra M-11

Estudios petromineragráfico

Descripción macroscópica: En la figura 15 se observa un skarn de color gris blanquecino, textura granular (grano fino a medio). Se encuentra conformada por cristales de granates, piroxenos y vesubianita, alterados por cloritas y con reemplazamientos de pirita, esfalerita, calcopirita y galena. Posteriormente, ha sido alterada por agregados de carbonatos de distintas generaciones, que también, ocurren como venillas.

Figura 15

Muestra macroscópica M-11



Fuente: Elaboración propia

Descripción microscópica: En la figura 16 se observa en las microfotografías:

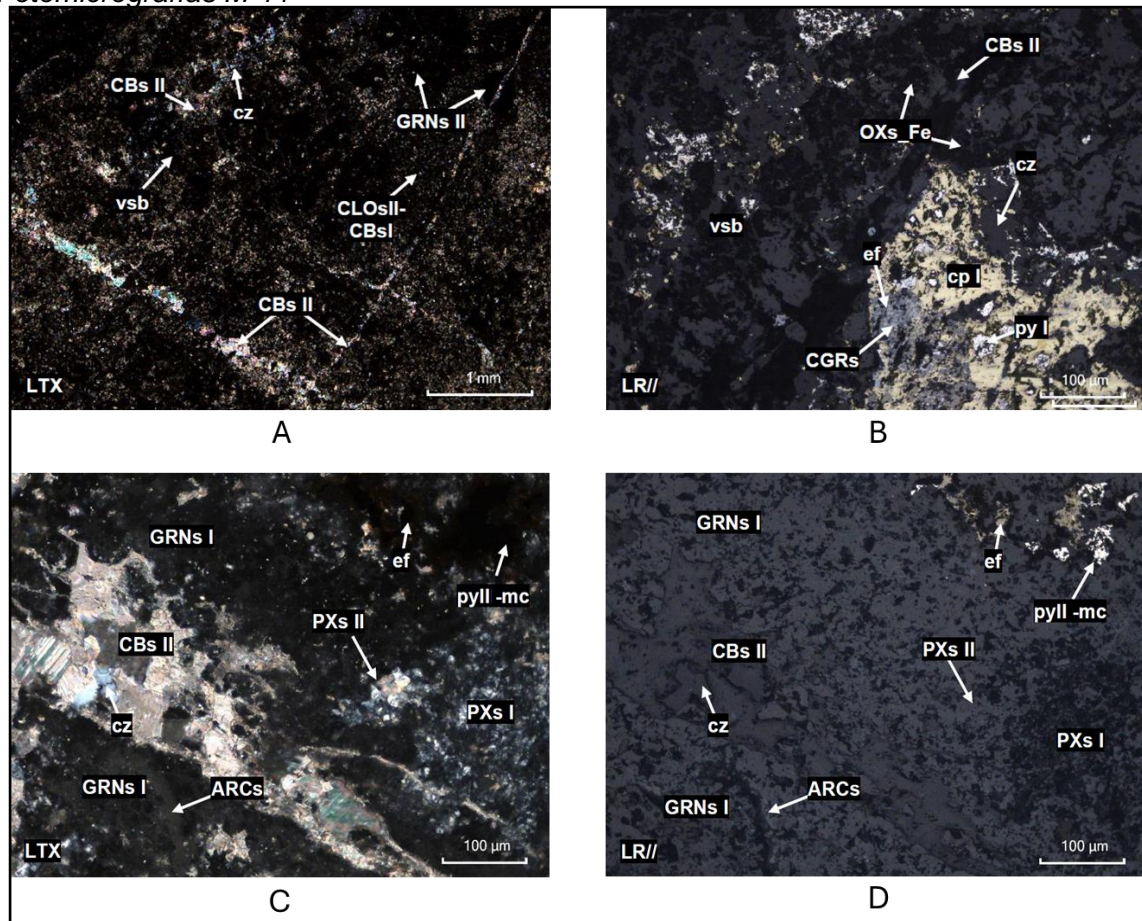
(A) Granates II (GRNs II) y vesubianita (vsb) reemplazados por cloritas II (que han sido alteradas por carbonatos II) (CLOsII-CBsI). Roca cortada y reemplazada por cuarzo (cz) y carbonatos II (CBs II) como venillas y emplazándose en los intersticios.

(B) Vesubianita (vsb) alterada por óxidos de hierro (OXs_Fe) y reemplazada por sulfuros. Se observa calcopirita I (cp I) con relictos de pirita I (py I) y esfalerita (ef), que han sido reemplazadas por cobres grises (CGRs).

(C) y (D) Piroxenos I (PXs I) reemplazados por piroxenos II (PXs II), granates I (GRNs I) y arcillas (ARCs). Moldes de posible pirrotita totalmente reemplazados por pirita II, marcasita (pyII-mc) y esfalerita (ef). Roca cortada y reemplazada por cuarzo (cz) y carbonatos II (CBs II).

Figura 16

Fotomicrográficas M-11



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

Muestra M-12

Estudios petromineragráfico

Descripción macroscópica: En la figura 17 se observa un skarn de color gris, textura granular (grano fino). Conformada por agregados de piroxenos, granates verdosos y posible vesubianita. Los sulfuros comprenden esfalerita y galena, que se presentan diseminados y rellenando en fracturas de la roca. Además, han sido alterados por agregados de carbonatos blancos lechosos.

Figura 17

Muestra macroscópica M-12



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 18 se observa en las microfotografías:

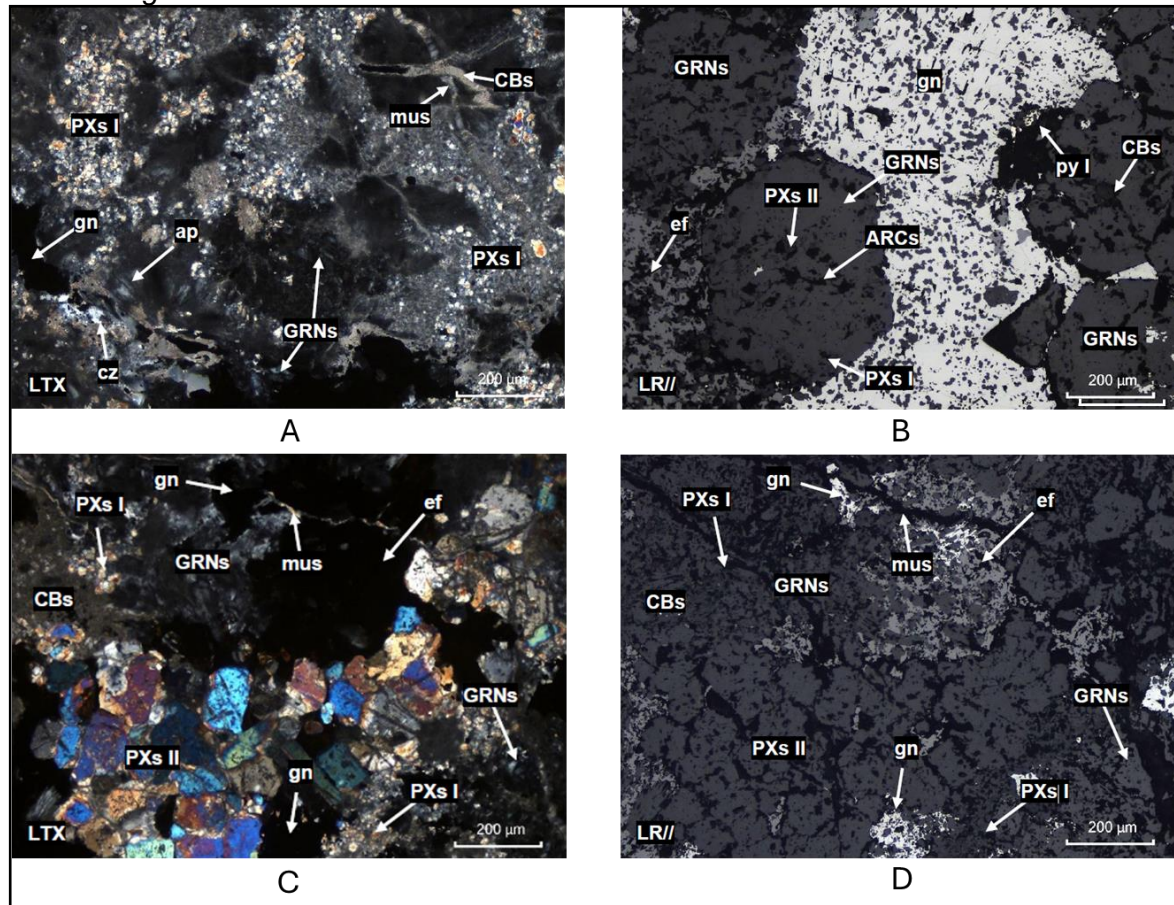
(A) Pequeños cristales de piroxenos I (PXs I), granates (GRNs) y posible apatito (ap). Fracturas rellenas con muscovita (mus) cortadas por otras con carbonatos (CBs).

(B) Granates (GRNs) y piroxenos I (PXs I). que han sido reemplazados por esfalerita (ef) y galena (gn), galena presenta relictos de pirita I (py I) en sus bordes.

(C) y (D) Piroxenos I (PXs I) que han sido invadidos por granates (GRNs) y piroxenos II (PXs II). Luego, reemplazados por cristales de esfalerita (ef) y galena (gn). Fractura rellena con muscovita.

Figura 18

Fotomicrográficas M-12



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

Muestra M-14

Estudios petromineragráfico

Descripción macroscópica: En la figura 19 se observa un skarn de color verdoso, grano grueso a medio, y textura granular. Está conformado por granates verdes y vesubianita parda. La mineralización comprende esfalerita y galena rellenando intersticios, asociados a cuarzo y reemplazados por carbonatos.

Figura 19

Muestra macroscópica M-14



Fuente: Elaboración propia.

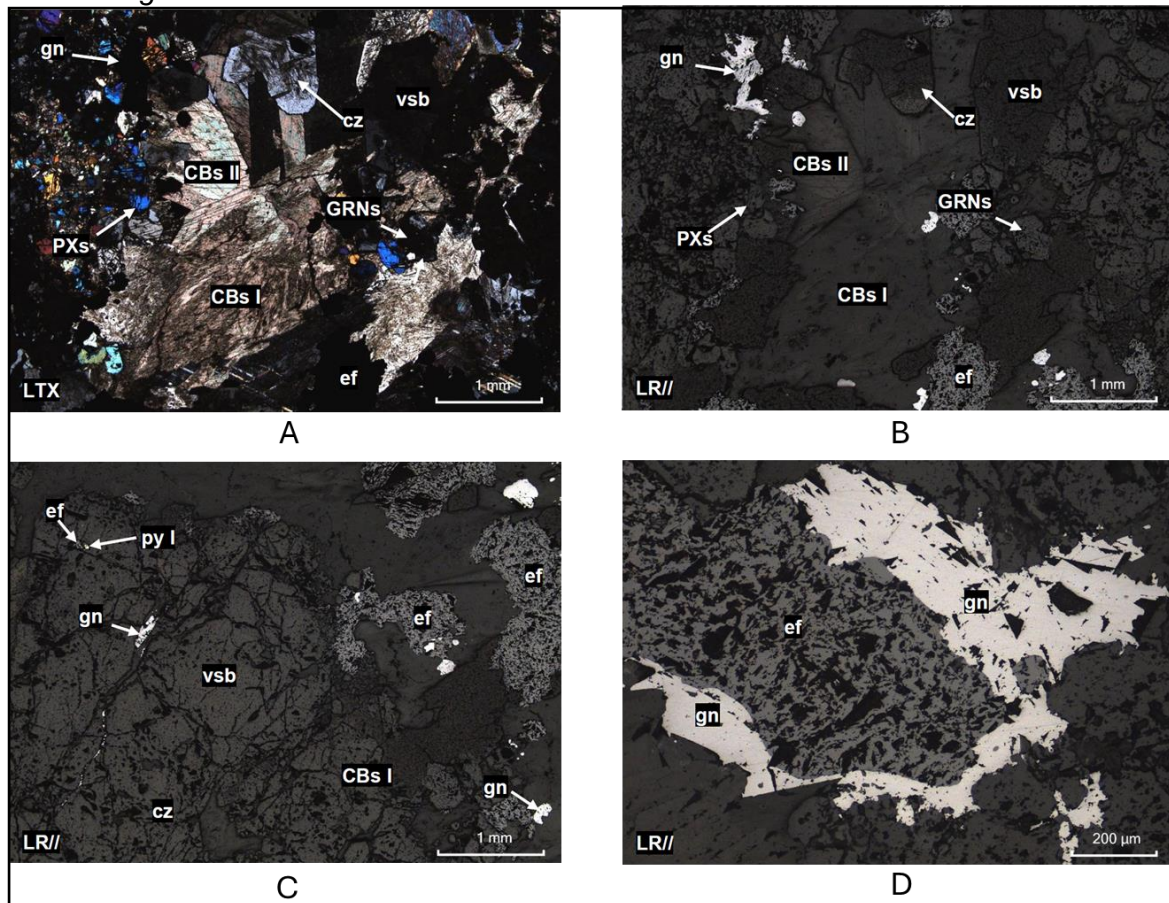
Descripción microscópica: En la figura 20 se observa en las microfotografías (A) y (B) Skarn de piroxenos (PXs), granates (GRNs) y vesubianita (vsb). Reemplazados por cuarzo (cz), esfalerita (ef), galena (gn), carbonatos II (CBs II) y moldes de posibles anfíboles totalmente alterados por carbonatos I (CBs I).

(C) Cristales de vesubianita (vsb) reemplazados por cristales de esfalerita (ef) y galena (gn). En sus oquedades también se observan cristales de pirita I (py I) y esfalerita.

(D) Esfalerita (ef) parcialmente reemplazada por galena (gn) desde sus bordes.

Figura 20

Fotomicrográficas M-14



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

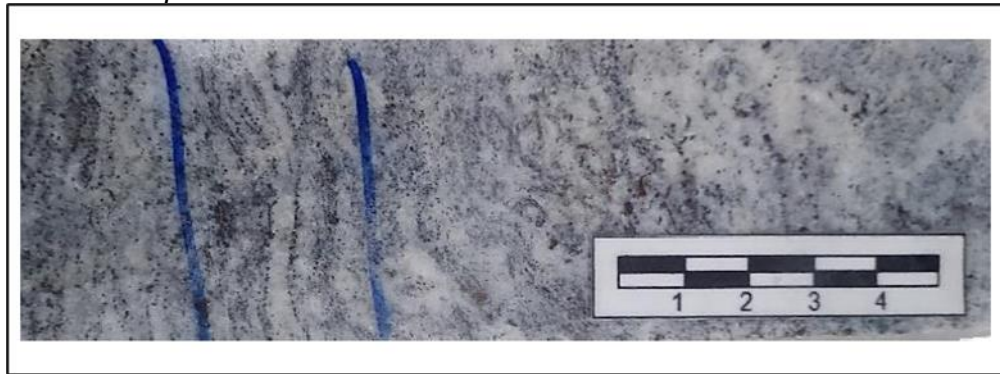
Muestra M-16

Estudios petromineragráfico

Descripción macroscópica: En la figura 21 se observa un mármol color blanquecino de textura granoblástica. El mármol ha sido cortado por venillas que contienen granates, carbonatos, cuarzo, esfalerita y galena. Luego, la roca ha sido cortada por venillas finas de carbonatos posteriores.

Figura 21

Muestra macroscópica M-16



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 22 se observa en las microfotografías:

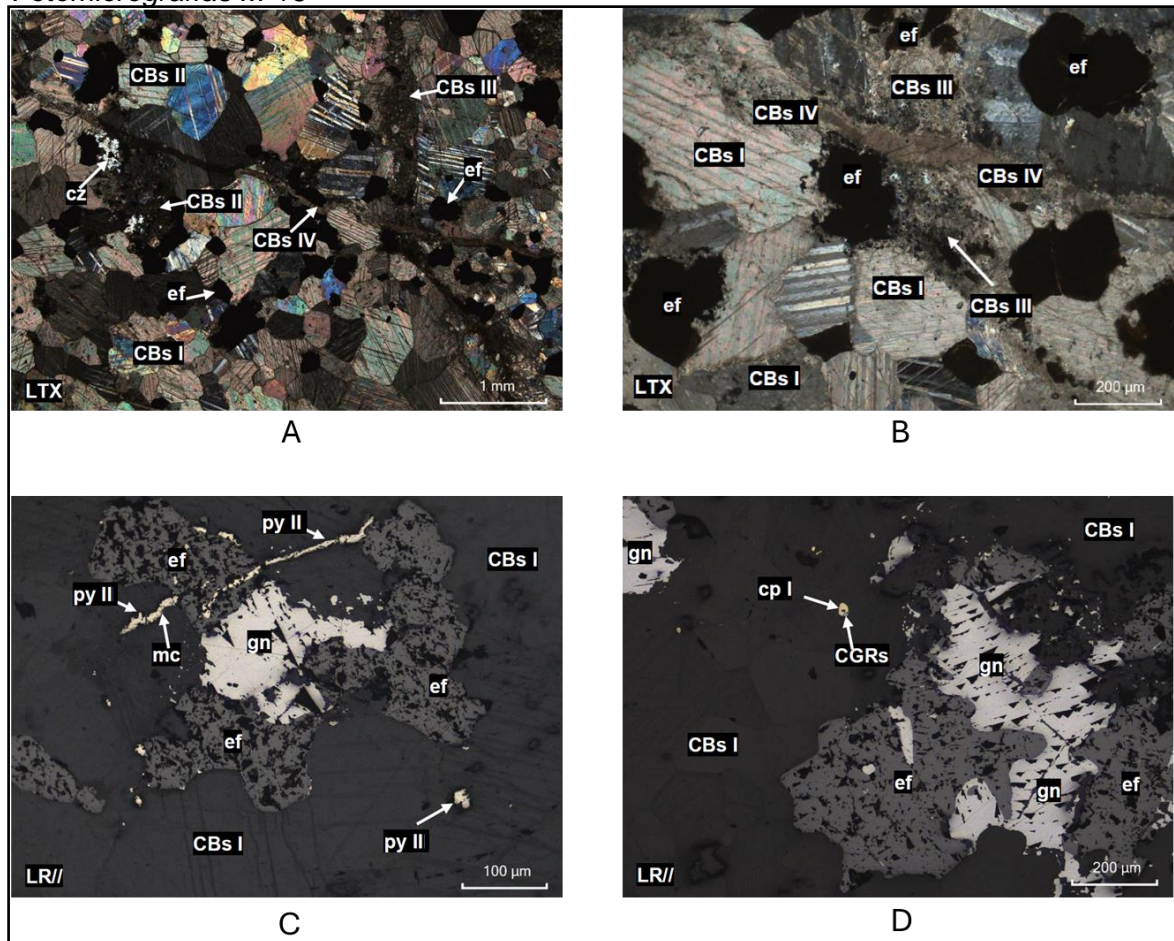
(A) y (B) Mármol formado por carbonatos I (CBs I). En los intersticios han ingresado cristales de cuarzo (cz) y esfalerita (ef). La roca ha sido cortada por carbonatos II (CBs II) (de tamaños mayores). Así mismo, se observa una fina venilla de carbonatos III (CBs III), asociada a esfalerita. La venilla de carbonatos III fue cortada por otra fina venilla de carbonatos IV (CBs IV).

(C) Esfalerita (ef) reemplazada por galena (gn) y cortada por agregados de pirita II (py II), presentes en los intersticios de carbonatos I (CBs I). La pirita II está siendo reemplazada por marcasita (mc).

(D) Esfalerita (ef) parcialmente reemplazada por galena (gn). En las oquedades del carbonato I se observa un pequeño cristal de calcopirita I (cp I) reemplazado por cobres grises (CGRs).

Figura 22

Fotomicrográficas M-16



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024)

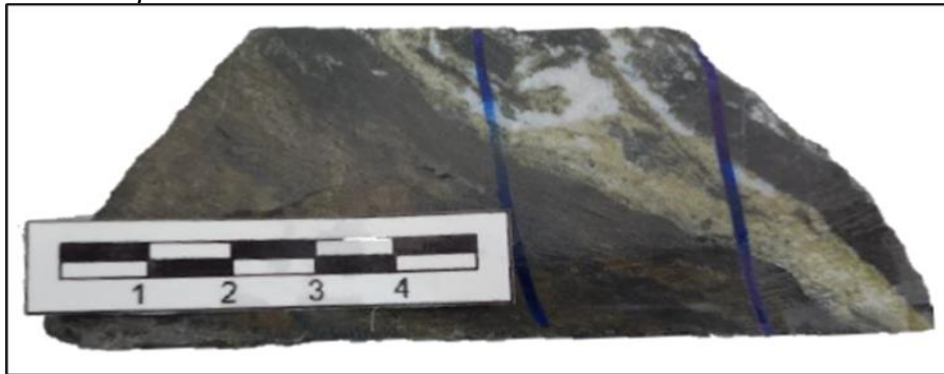
Muestra M-17

Estudios petromineragráfico

Descripción macroscópica: En la figura 23 se observa un skarn con relictos de un protolito de mármol. Se observan granates pardos a verdosos con mineralización de magnetita, pirita y esfalerita masivas. Posteriormente, han sido cortados y reemplazados por agregados de carbonatos de tamaños mayores (de color blanco lechoso).

Figura 23

Muestra macroscópica M-17



Fuente: Elaboración propia.

Descripción microscópica: En la figura 24 se observa en las microfotografías:

(A) Roca metamórfica cortada por granates (GRNs) y magnetita (mt), con esfalerita (ef) y pirita I (py I) en los intersticios. Los granates han sido alterados por carbonatos II (CBs II) e impregnados por arcillas (ARCs) y óxidos de hierro (OXs_Fe). Por sectores, han sido invadidos y cortados por agregados de carbonatos III (CBs III).

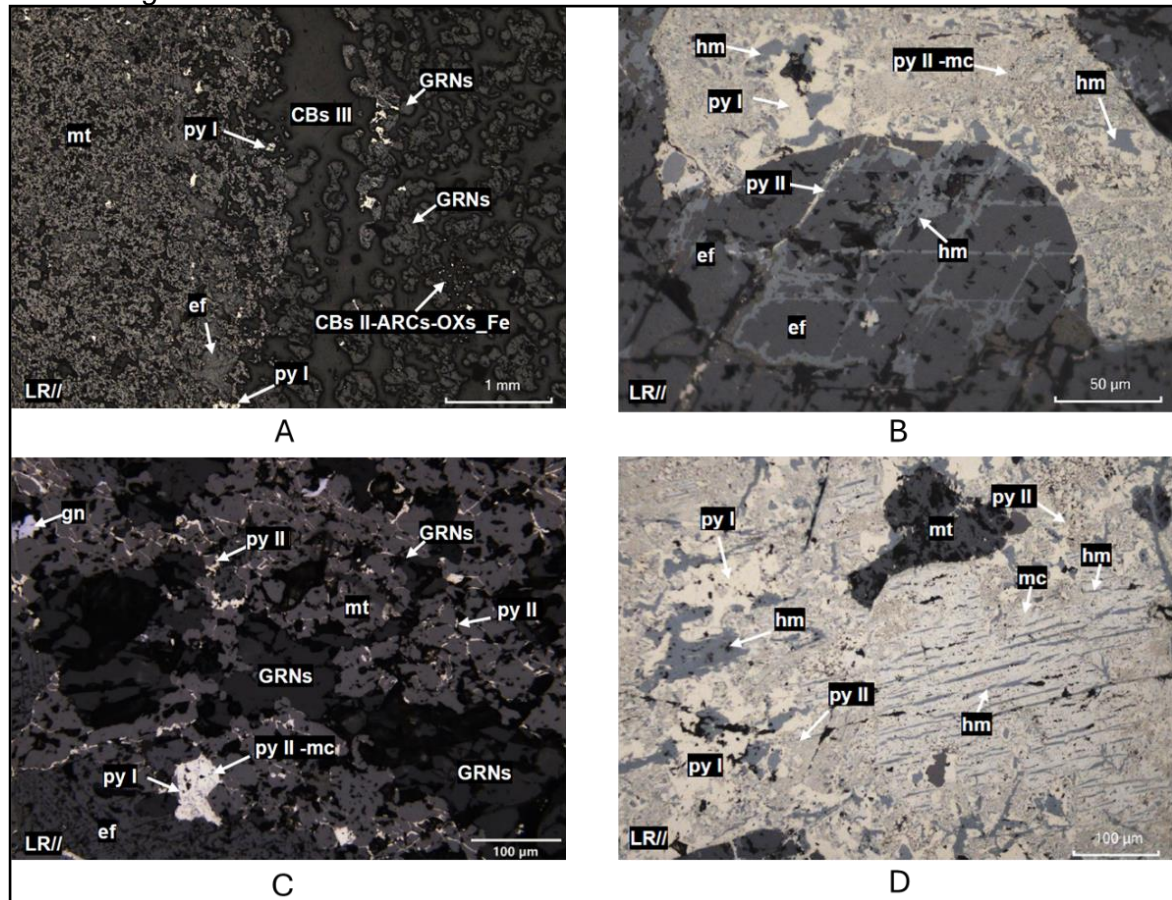
(B) Cristales de pirita I (py I) englobados por esfalerita (ef). Esfalerita está siendo reemplazada por hematita (hm) siguiendo sus planos de clivaje. Pirita I está siendo reemplazada por pirita II (py II) y marcasita (mc), y posteriormente, por hematita.

(C) Cristales de granates (GRNs) que han sido englobados por magnetita (mt). Esfalerita (ef), pirita I (py I) y galena (gn) ingresan a partir de los intersticios. Pirita I han sido reemplazada por pirita II (py II) y marcasita (mc).

(D) Cristales de magnetita (mt) reemplazados por cristales de pirita I (py I), y posteriormente por de pirita II (py II) y marcasita (mc). Se observa que la hematita (hm) ha reemplazado a los cristales de pirita I, pirita II y a la marcasita desde sus planos de clivaje.

Figura 24

Fotomicrográficas M-17



Nota: LTX: Luz Transmitida – nícoles cruzados, LR//: Luz Reflejada – nícoles paralelos. Imagen tomada de Bizalab (2024).