

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“CARACTERIZACIÓN PETROMINEROGRÁFICO Y
SU RELACIÓN CON LA CLASIFICACIÓN DEL
DEPÓSITO LAS VIZCACHAS - LA LIBERTAD
2020”

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniero Geólogo

Autores:

JHINNO FRANK MORENO MARIN
MAGNO FRANCISCO SILVA QUISPE

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo nos han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más y convertirnos en lo que somos.

A nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas. A nuestra familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de nosotros unas mejores personas y de una u otra forma nos acompañaron en todos nuestros sueños y metas.

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa más de nuestra vida queremos extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, a nuestros padres que todos los días confían y creen en nosotros y en nuestras expectativas, que siempre desean y anhelan lo mejor para nuestro futuro, gracias por cada consejo y por todas sus enseñanzas que nos guiaron a lo largo nuestro camino; a nuestros hermanos por la ayuda que nos brindaron y sobre todo por ser parte incondicional en cada etapa de nuestra vida; a nuestra familia también le debemos las gracias, a ellos por apoyarnos en cada emprendimiento y cada elección.

Mi gratitud, también a nuestro director de carrera Ing. Shonel Cáceres Pérez y asesor Ing. Daniel Alva Human, que han sido fundamentales para la ejecución de esta tesis, por la claridad y precisión con la que nos enseñaron.

Además, agradecemos al laboratorio de caracterización de materiales BIZALab S.A.C. que nos brindaron el soporte técnico para la caracterización de las muestras de nuestra investigación, lo cual hizo posible para culminar satisfactoriamente esta tesis.

Tabla de contenidos

	Pág
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos	12
1.4. Hipótesis	13
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	14
2.1. Tipo de investigación	14
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	14
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	14
2.4. Procedimiento	16
CAPÍTULO III. RESULTADOS	21
3.1. Ubicación y Accesibilidad.....	21
3.2. Marco geológico regional	23
3.3. Marco Tectónico Regional	28
3.4. Descripción del depósito	29
3.5. Zonas estudiadas	32
3.6. Petrografía	43
3.7. Paragénesis Mineral	97
3.8. Clasificación del depósito.....	104
3.9. Comparación con depósitos tipo skarn.....	107
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	109
REFERENCIAS.....	117
ANEXOS	120

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	22
Tabla 2 Ruta N° 2 acceder al área de estudio	22
Tabla 3 Coordenadas Zona 1	32
Tabla 4 Coordenadas de la zona 2	36
Tabla 5 Coordenadas Zona 3.....	41
Tabla 1. Cuadro resumen de las zonas mineralizadas estudiadas con su respectivas litologías, mineralogía y mena principal	95
Tabla 2. Cuadro resumen de las litologías estudiadas con su respectiva litología, mineralogía y textura.....	96
Tabla 6 Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas para la muestra 1 - Zona 1.....	97
Tabla 7 Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 2 - Zona 1.....	98
Tabla 8 Diagrama esquemático de las secuencias paragenéticas para la muestra 5 - zona 2	100
Tabla 9 Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 6 - Zona 2.....	101
Tabla 10 Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 7 - zona 2	102
Tabla 11 . Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 10 - Zona 3.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 Plano de Ubicación y Accesos al área de estudio (Fuente Propia).....	21
Figura 2 Mapa de Accesibilidad (Fuente Propia).....	23
Figura 3 Calizas metamorfizadas (Fuente Propia)	29
Figura 4 Vista panorámica del depósito las Vizcachas (Fuente Propia)	30
Figura 5 Xenolito o Enclave dentro de las rocas intrusivas (Granodiorita) (Fuente Propia)	30
Figura 6 Afloramiento de intrusivo menor (granito) (Fuente Propia).....	31
Figura 7 Niveles Rojos Rocas metamorfizados en las rocas calcáreas. (Fuente Propia).....	31
Figura 8 Ubicación de las zonas estudiadas (Fuente Propia).....	32
Figura 9. a) Labor en la zona 1; b) Mineralización del manto (Fuente Propia).....	33
Figura 10 a) bandas rellenas de granate y cuarzo b) menor escala el mármol (Fuente Propia).....	34
Figura 11 a) Fotografía de roca caja piso (pizarra) b) presencia de diseminaciones de piritita en pizarra. (Fuente Propia).....	35
Figura 12 interior de la labor subterránea abandonada de la zona 1 (Fuente Propia)	36
Figura 13 a) Mármol con presencia de granates y mineralización metálica (Fuente Propia)	37
Figura 14 mineralización en contacto con roca metamórfica (mármol), (Fuente Propia).	38
Figura 15 pórfido granodiorítico ubicado en la zona 2. (Fuente Propia).....	38
Figura 16 mineralización de cobre en fracturas. (Fuente Propia).....	39
Figura 17 Mineralización en el skarn zona 2. (Fuente Propia)	40
Figura 18 Veta de skarn de granates. (Fuente Propia).....	41
Figura 19 Fotografía de porfidogranodiorítico en contacto con mármol (Fuente Propia).	42
Figura 20 Estructuras mineralizadas de coloración oscura. (Fuente Propia)	42
Figura 21 Muestra de Skarn de granate retrogradado a esfalerita y óxidos. (Fuente Propia)	44
Figura 22 Cristales de esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita (Fuente Propia)	45
Figura 23 . Blastos de granates zonados y alterados por arcillas. (Fuente Propia)	46
Figura 24 Fotomicrografía de agregados de cristales de magnetita (mt). (Fuente Propia)	46
Figura 25 Agregados de pequeños blastos de cuarzo (cz) (Fuente Propia)	47
Figura 26 . Fotomicrografía de cristales de piritita (py). (Fuente Propia)	48
Figura 27 cristales de arsenopirita (apy) y blastos de carbonatos. (Fuente Propia)	48
Figura 28 skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita. (Fuente Propia).....	50
Figura 29 Agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs). (Fuente Propia)	50
Figura 30 Fotomicrografía de agregados de blastos de carbonatos (Fuente Propia).....	51
Figura 31 Fotomicrografía de cristales de sulfuros (Fuente Propia).....	52
Figura 32 Cristales de producto intermedio que presentan óxidos de cobre y hierro (Fuente Propia)	53
Figura 33 Roca metamórfica compacta caracterizada como mármol skarnizado. (Fuente Propia)	55
Figura 34 Agregados de blastos de carbonatos I con impregnaciones de arcillas (Fuente Propia).....	56
Figura 35. Carbonatos con impregnaciones de arcillas y minerales opacos (Fuente Propia)	57
Figura 36. Granates alterados por arcillas y blastos de cuarzo I, II con minerales opacos y zircón. (Fuente Propia).....	58
Figura 37 . a) Fotografía de pizarra moteada. (Fuente Propia)	59
Figura 38 Cristales de cordierita y carbonatos. (Fuente Propia)	60
Figura 39 a) Franjas formadas por agregados pequeños blastos de cuarzo (Fuente Propia).....	61
Figura 40 Fotomicrografía de franjas formadas por agregados de pequeños blastos de cuarzo (Fuente Propia)	61
Figura 41 Franjas formadas por agregados de cuarzo I con sericita y arcillas. (Fuente Propia)	63
Figura 42 Venas rellenas por andalucita, feldespatos potásicos y arsenopirita (Fuente Propia)	63
Figura 43 Fotomicrografía de cristales de pirotitita (po) (Fuente Propia).....	64
Figura 44 skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita y carbonatos. (Fuente Propia) ...	65
Figura 45 Cristales tabulares de anfíboles (ANFs) que han cortado e (Fuente Propia).....	66
Figura 46 Agregados de blastos de vesuvianita, bornita y calcopirita. (Fuente Propia).....	67
Figura 47 Cristales de bornita reemplazados por calcosita (bn-cc). (Fuente Propia).....	68

Figura 48 Cristales de pirita que han sido reemplazados por bornita (bn) (Fuente Propia).....	69
Figura 49 . cristales de calcopirita II (Fuente Propia).....	70
Figura 50 Skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles y cuarzo; (Fuente Propia)	71
Figura 51 Blastos de granates alterados por arcillas (Fuente Propia)	72
Figura 52 Agregados de blastos de granates) y anfíboles (Fuente Propia).....	73
Figura 53 Cristales de bornita con relictos de calcopirita (cp-bn) que han sido reemplazados por covelita (cv) (Fuente Propia).....	74
Figura 54) Agregados de goethita (goe) y crisocola (crc) (Fuente Propia)	75
Figura 55 goethita (goe), crisocola (crc) y óxidos de Cu-Fe (OXs_Cu-Fe). (Fuente Propia).....	76
Figura 56 . Skarn de granates y piroxenos retrogradado a carbonatos (Fuente Propia)	77
Figura 56 granates alterados por arcillas y con relictos de piroxenos (Fuente Propia)	78
Figura 57 Granates alterados por arcillas y con relictos de piroxenos (Fuente Propia)	79
Figura 58 . Pequeños cristales de magnetita (mt) como inclusiones en carbonatos (Fuente Propia)	80
Figura 59 . Cristales de arsenopirita (apy) y blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs). (Fuente Propia).....	80
Figura 60 Bornita (bn) reemplazado desde los bordes por digenita (dg). (Fuente Propia)	81
Figura 61 Fotografía de pórfido granodiorítico con fenocristales (Fuente Propia)	82
Figura 62 Fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) y anfíboles (ANFs). (Fuente Propia)	83
Figura 63 Fotomicrografía de anfíboles y minerales opacos (OPs). (Fuente Propia)	84
Figura 64 Fenocristales de plagioclasas I alterados por arcillas (PGLsI-ARCs) y agregados de sericita (ser). (Fuente Propia).....	85
Figura 65 Fotografía y fotomicrografía de muestra de sienogranito (Fuente Propia).....	86
Figura 66 Cristales de cuarzo (cz) y feldespatos potásicos alterados por arcillas (FPKs- ARCs)(Fuente Propia)	87
Figura 67 Cristales de feldespatos potásicos alterados por arcillas (FPKs-ARCs) y albita (ab). (Fuente Propia)	88
Figura 68 Fotomicrografías de cristales de biotita (bt), zircón (zir) y cuarzo (Fuente Propia).	89
Figura 69 a) Fotografía de muestra de skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles, (Fuente Propia)	90
Figura 70 Blastos de granates (GRNs) que han sido englobados por agregados de cristales de magnetita (mt). (Fuente Propia).....	91
Figura 71 M10 extraída de la zona 3, presenta mineralización de magnetita, actinolita y óxidos de hierro como hematita; además de jarosita. (Fuente Propia).....	92
Figura 72 Cristales de magnetita (mt) que han sido invadidos por blastos de anfíboles (ANFs). (Fuente Propia)	93
Figura 73 Blastos de granates (GRNs) englobados por magnetita (mt) (Fuente Propia)	94
Figura 74 . Labor subterránea (Fuente Propia)	105
Figura 75 Mineralización de la zona 2 (Fuente Propia).....	106
Figura 76 Aluminosidad de las rocas intrusivas y volcánicas estudiadas Región Lambayeque. Tomado de INGEMMET 2018.	107
Figura 77 Ambiente tectónico relacionado con las unidades geológicas Tomado de INGEMMET 2018 ...	108
Figura 78 Saturación de alumina para clasificación de Depósitos skarn extraído de Meinert, 2001.	108
Figura 79 Relación de la precipitación de Minerales en depósito Skarn extraído de L. Meinert 1992	113

RESUMEN

El depósito las vizcachas está ubicado en el cerro del mismo nombre en el norte del departamento la libertad donde se observó mineralización metálica en rocas carbonatadas relacionada con la actividad ígnea, el presente trabajo tiene por objetivo relacionar las características petrominerográficos con la clasificación del depósito y comprender su proceso de formación, para esto, se definió 3 zonas de estudio, recolectando muestras con criterios de observación geológica, dichas muestras fueron enviadas al laboratorio de microscopía óptica para su caracterización petrominerografico, en la zona 1 se recolecto 4 muestras caracterizadas como skarn de granates retrogradado a esfalerita, óxidos, carbonatos y esfalerita, mármol skarnizado, pizarra moteada. En la zona 2 se muestreo 3 muestras caracterizadas como skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita, carbonatos y cuarzo. En la zona 3 se obtuvo una muestra caracterizada skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles. además, se obtuvo muestras de 2 intrusivos caracterizadas como pórfido granodiorítico y sienogranito. Siendo estos los que metamorfizaron las rocas carbonatadas, generando niveles skarnizados, donde se reconoció la paragénesis de alteración prógrada (granates, magnetita, piroxenos) y la alteración retrograda (anfíboles, vesuvianita, carbonatos, cuarzo) esta última con mineralización metálica de sulfuros de cobre, plomo, zinc, hierro.

Palabras clave: Petrominerografico, skarnizado, paragénesis, retrogrado, prógrada.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Con frecuencia, el estudio que se realiza para la valoración de un depósito mineral implica tan sólo el estudio genérico de las leyes de los elementos que se espera puedan ser interesantes en el tipo de depósito, obviando el estudio mineralógico detallado de las asociaciones minerales. No obstante, un estudio detallado de la mineralogía no tiene tan sólo connotaciones académicas como a veces se cree, sino que puede ayudar a incrementar el valor añadido de la explotación, e incluso por sí sólo puede ayudar a descartar o confirmar el interés del yacimiento. (Melgarejo, 2010).

La caracterización geológica y petrominerográfica abarca la descripción y análisis de tipo composicional de las rocas, así como el entendimiento de los ambientes de depósito, la procedencia de los sedimentos y los escenarios tectónicos para el tiempo y lugar en que surgen estas unidades. (Ojeda y Sánchez, 2009).

En el distrito minero Gualcamayo en Argentina ubicado en la Precordillera Central, incluye un yacimiento de oro diseminado en brechas calcáreas, el estudio de las asociaciones minerales permitió identificar la presencia de dos pulsos mineralizantes; en la paragénesis de mineral producida durante el primer pulso está conformado por calcita, cuarzo, pirita, calcopirita y el Au fue reconocido como traza en esfalerita, mientras que en el segundo pulso forma un telurio (calaverita). (Dannuzio, M y Rubinstein, Nora, 2017).

Los depósitos de La Esperanza ubicada en México contienen una paragénesis metálica con Cu.Zn-Ni-Co. La mineralización se encuentra relacionada con el

contacto entre un pórfido de 89-90 Ma y rocas carbonatadas. El depósito es de tipo skarn y permite distinguir una etapa de mineralización prógrada de granate y piroxenos cálcicos y una fase retrogradante con calcita, epidota, cuarzo y sulfuros. (Pérez, E y Gonzáles, E, 2010).

En el trabajo de Cañola (2015) reconoció las fases minerales por medio de microscopia de luz reflejada se desarrolló en un total de 20 muestras, en las cuales se identificaron pirita, esfalerita, tetraedrita, galena, calcopirita, argentita, además de electrum y plata nativa. Los minerales que presentan el mayor interés económico como el electrum y la plata nativa, fueron analizados en detalle con el microscopio. La paragénesis y el zonamiento de la Veta Bienaventurada son observables en un rango espacial de 230 m en sentido vertical y 1550 m en sentido horizontal. La mineralización hipógena se dio en dos secuencias paragenéticas, las que han sido determinadas mediante observaciones macroscópicas, estudios microscópicos de secciones delgadas y pulidas, microscopía electrónica de barrido y de inclusiones fluidas. (Yparraguirre, 2005).

La etapa retrógrada está compuesta de anfíbol + cuarzo \pm clorita \pm epidota \pm calcita. El cuarzo es la fase dominante en esta etapa, ya que actúa de manera pervasiva obliterando el protolito de la roca e incluso dejando evidentes cavidades en los bordes de granate. El anfíbol, la clorita y la epidota reemplazan principalmente a clinopiroxenos y bordes de granates, mientras que la calcita se encuentra de manera intersticial o bien, reemplazando también al granate. A excepción de la scheelita, la relación de la mineralización metálica con la etapa prógrada y retrógrada no es clara, aunque se ha observado cristales de molibdenita asociados espacialmente a clorita. (Milad, 2018),

La identificación y clasificación de skarn depósitos se basa en su mineralogía. Si bien muchos minerales skarn son minerales formadores de rocas típicos, algunos son menos abundantes y la mayoría tienen variaciones composicionales que pueden proporcionar información significativa acerca de la formación del depósito. Algunos minerales como el cuarzo y la calcita están presentes en la mayoría de skarns otros como humita, periclase, flogopita, talco, serpentina y brucita. Son típicos de skarn magnesianos, pero están ausentes en otros skarn. (Meinert, 1992)

Los minerales que son más útiles tanto para la clasificación como para la exploración de depósitos skarn son aquellos, como el granate, el piroxeno y el anfíbol, que están presentes en todos los tipos de skarn y que muestran una composición y variabilidad destacadas. (Meinert, 1992).

En el Norte del Perú, desde el departamento de Ancash, atravesando La Libertad y Cajamarca por la Andes Occidentales y extendiéndose hasta el Ecuador se reconoce la existencia de una franja metalogénica que tiene aproximadamente 40 a 75 Km. de ancho. En ella se encuentran un importante número de yacimientos minerales de oro, cobre-oro, y en menor proporción plata-oro-cobre-zinc-plomo (Kihien, 1997). (INGEMMET, s.f).

En el norte del departamento de La Libertad se ha observado la ocurrencia de minerales de minerales metálicos en el cerro “Las Vizcachas” ubicado en las Pampas de Pacanga – La Libertad donde no existe estudios geológicos, petrominerográficos y/o petrográficos que ayuden a determinar la clasificación de depósitos minerales su paragénesis u modo emplazamiento de mineralización, siendo este un tema de interés para el desarrollo de esta presente investigación.

Es por ello, que en esta investigación realizará la recolección de datos geológicos, muestreos de roca y/o mineral que serán analizadas en secciones delgadas y pulidas y así obtener características petrominerográficas para determinar la clasificación del depósito mineral Las Vizcachas – La Libertad. La información obtenida en esta investigación nos ayudara a comprender la secuencia paragenéticas de la mineralización, minerales asociados, alteraciones y remplazamientos.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la relación de las características petrominerograficas con la clasificación del depósito Las Vizcachas – La Libertad 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la relación de las características petrominerograficas con la clasificación del depósito Las Vizcachas – La Libertad 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las características petrominerograficas de las rocas del depósito las Vizcachas.
- Determinar secuencias paragenéticas (formación de los minerales), alteraciones y remplazamientos del depósito las Vizcachas.
- Realizar la descripción del contexto geológico del depósito las Vizcachas

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Las características petrominerográficas se relacionan mediante los minerales de alteración, secuencia de paragénesis y asociación mineralógica la clasificación de depósito mineral Las Vizcachas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según su fin, la investigación es aplicada ya que busca conocer las características petrominerográficas del depósito las Vizcachas.

En función al alcance, la investigación es correlacional porque se estudió la relación entre las dos variables, caracterización petrominerográficos y clasificación del depósito.

Por el enfoque, es cuantitativa ya que se procesan datos de obtenidos en laboratorio.

El diseño es No experimental ya que no se modifican las variables. (Oblitas 2018).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La población estará definida por los afloramientos rocosos del depósito Las Vizcachas - Pampas de Pacanga, Chepén – La Libertad.

La muestra estará representada (10) puntos de muestreo estratégicos del depósito Las Vizcachas para obtener representatividad e información y así interpretar la relación la caracterización petrominerográficos con la clasificación del depósito “Las Vizcachas” ubicada en las Pampas de Pacanga, Provincia de Chepén, departamento La libertad

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Recolección y revisión de información

Se reviso la bibliografía e informes sobre estudios de caracterización petrominerográficos de depósitos minerales, en revistas como Scielo, Redalyc, Sociedad económica de geólogos (SEG).

La bibliografía del área de estudio se obtuvo de investigaciones hechas por INGEMMET en los diferentes boletines publicados.

Análisis e interpretación de imágenes satelitales a través de Google Earth, SAS Planet del área de estudio para reconocimiento del terreno en el área de estudio identificar posibles zonas de mineralización, encontrar estructuras y/o lineamientos, cambios litológicos que ayuden con los objetivos de esta investigación.

2.3.2. Trabajo de campo en la zona a evaluarse

La recolección de datos se obtendrá de forma directa en campo con muestreo (muestras puntuales de mano) y observaciones de diferentes zonas de mineralización, afloramientos de rocas del depósito, litología, alteraciones y mineralización,

Se recolectarán muestras para la caracterización petrominerograficas, con el criterio adecuado para una eficaz interpretación al finalizar esta investigación.

2.3.3. Materiales de campo

- Libreta de campo.
- Mapas geológicos (escalas regionales y locales)
- Mapa topográfico (escalas regionales y locales).
- Imágenes satelitales. (SASPLANET, GOOGLE EARTH)
- Picota de geólogo.
- Brújula tipo Brunton.
- Lápiz de dureza.
- Lupa. (20x – 30x)
- Protactor
- Tablero

- Colores.
- Cámara fotográfica
- GPS
- Laptop o pc

2.3.4. Laboratorio

Las muestras recolectadas en campo serán enviadas a laboratorio además cada una de las secciones delgadas y pulidas serán observadas en forma detallada para así poder llegar al objetivo principal de esta investigación conocer las características petrominerográficas y relacionarlo con la clasificación del depósito las Vizcachas del mismo modo la asociación mineralógica, texturas de las rocas, minerales de alteración, reemplazamientos.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Etapa gabinete I

En esta etapa se delimitó el área de estudio, se ubicaron las rutas de acceso a los puntos de interés y se elaboraron mapas con el software ARCGIS 10.5, utilizando en todos ellos el sistema coordinado WGS 1984 UTM Zona 17S. Además, se realizó una recopilación y estudio de información bibliográfica, tales como las cartas geológicas (14 – e Chongoyape), boletín B051 (Prospección Geológica – Minera de la región Lambayeque) del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) Paralelamente, se hizo un itinerario flexible de los días de campo y se reunieron todos los materiales correspondientes para un buen desarrollo de trabajo de campo.

2.4.2. Etapa Campo I

Los primeros días de campo se llevaron a cabo entre los días 21 y 29 de diciembre del 2019 para un reconocimiento de la zona de estudio. Se accedió a ésta por medio de un vehículo y se recorrió durante el día a pie, dependiendo de la topografía. Así, se realizó observaciones geológicas además de una toma de datos en superficie de las distintas litologías, estructuras (buzamientos y direcciones), alteraciones y mineralización que afloran en superficie y de pequeñas labores mineras con el fin de reconocer el área para luego obtener las muestras que ayuden a cumplir los objetivos de esta tesis.

2.4.3. Etapa gabinete II

Durante esta etapa, se definieron las áreas de mayor interés nombrando así 03 zonas, se identificaron los posibles lugares para obtener muestras con la ayuda de las observaciones e información obtenidas en la etapa de campo I de acuerdo con esto se planificó una segunda salida de campo,

2.4.4. Etapa de campo II

Se realizó la toma de muestras de roca puntuales (muestras de mano) bajo el criterio de las observaciones de los tesisistas. Estas muestras serán estudiadas por microscopía óptica obteniendo 10 muestras de las 3 zonas definidas, además se obtuvo información geológica adicional que no fueron recolectadas en la primera salida de campo.

2.4.5. Etapa gabinete III

Se ordenó y describió macroscópicamente (texturas de roca, reconocimientos de minerales metálicos y no metálicos), considerando las 10 muestras de diferentes

zonas para el estudio petrominerográfico que serán enviadas al laboratorio además se creó un álbum fotográfico individualmente para cada muestra. Se especifico los cortes para las secciones petrominerográficos para obtener más información que ayude al objetivo de la investigación.

2.4.6. Etapa de gabinete IV

Con los resultados obtenidos de laboratorio de microscopia óptica (reconocimiento de minerales, asociaciones y remplazamientos, paragénesis mineral, alteraciones, texturas de roca) y la descripción geológica hecha en campo se relacionó estos datos con un tipo de depósito. Esta relación se efectuó teniendo el cuidado necesario del tratamiento de la información ayudándonos de estudios similares.

Tabla 1

Abreviaturas de los minerales presentes en la investigación.

NOMBRE	ABREVIATURA	FÓRMULA
Albita	Ab	NaAlSi ₃ O ₈
Andalucita	aln	Al ₂ SiO ₅
Anfiboles	ANFs	Composición variada
Apatito	ap	3Ca ₃ (PO ₄) ₂ CaF ₂
Arcillas	ARCs	Composición variada
Arsenopirita	apy	FeAsS
Biotita	bn	Cu ₅ FeS ₄
Calcedonia	ccd	SiO ₂
Calcopirita	cp	CuFeS ₂

Calcosita	cc	Cu_2S
Carbonatos	CBs	Composición variada
Cloritas	CLOS	Composición variada
Cordierita	crd	$(\text{Mg,Fe})_2 \text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$
Covelita	cv	CuS
Crisocola	crc	$(\text{Cu}_2\text{H}_2\text{SiO}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$
Cuarzo	cz	SiO_2
Cubanita	cb	CuFe_2S_3
Digenita	dg	Cu_9S_5
Epidota	ep	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
Esfalerita	ef	$(\text{Zn,Fe})\text{S}$
Feldespatos potásicos	FPKs	Composición variada
Galena	gn	PbS
Goethita	goe	FeO.OH
Granates	GRNs	Composición variada
Hematita	hm	Fe_2O_3
Jarosita	jar	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Magnetita	mt	$\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{FeO}$
Materia orgánica	M.O	Composición variada
Minerales opacos	OPs	Composición variada

Muscovita	mus	$KAl_2(AlSi_3)_{10}(OH)_2$
Pirita	py	FeS_2
Piroxenos	PXs	Composición variada
Pirrotita	po	$Fe_{1-x}S_x$
Plagioclasas	PGLs	Composición variada
Producto intermedio	P.I	Composición variada
Óxidos de cobre	OXs_Cu	Composición variada
Óxidos de hierro	OXs_Fe	Composición variada
Óxidos de Cu - Fe	OXs_Cu-Fe	Composición variada
Sericita	ser	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Sílice	si	SiO_2
Vesuvianita	vsb	$Ca_{10}Mg_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$
Zircón	zir	$ZrSiO_4$

Tabla 2

Abreviatura de Luz usada en el Microscopio

LT:	Luz Transmitida
LR:	Luz Reflejada

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Ubicación y Accesibilidad

3.1.1. Ubicación

El área de estudio (Fig. 1) se ubica en el noroeste del Perú, norte del departamento La Libertad limitando con el sur del departamento Lambayeque, a 50 km al sureste de la ciudad de Chiclayo.

Tabla 3

Vértices del Área de estudio. (Fuente Propia)

Nº Vértice	ESTE	NORTE
1	669240	9229800
2	670330	9229800
3	670330	9228900
4	669240	9228900

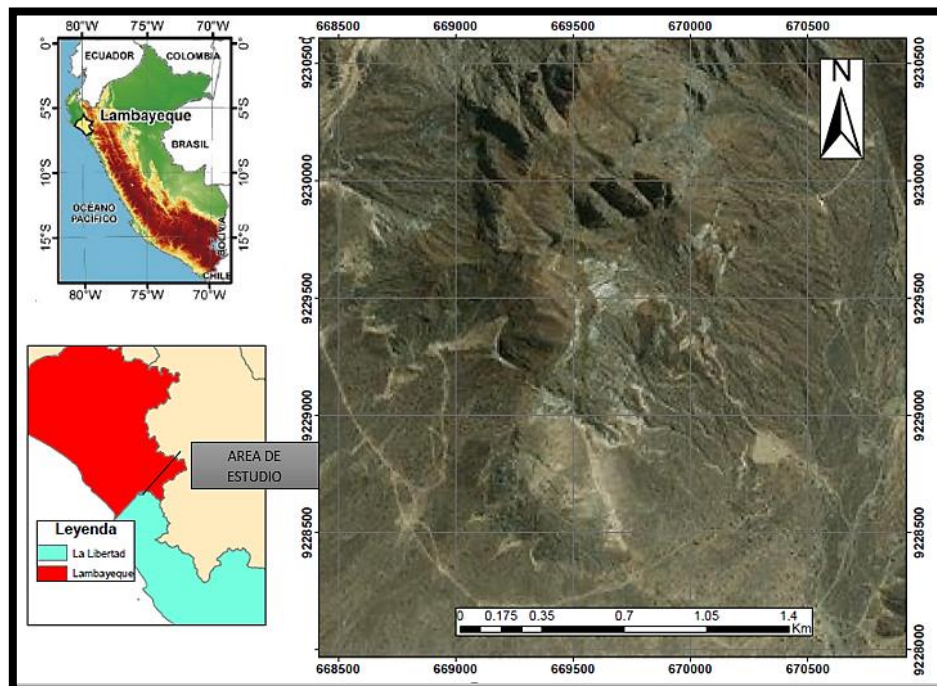


Figura 1 Plano de Ubicación y Accesos al área de estudio (Fuente Propia)

3.1.2. Accesibilidad

Para acceder a la zona de estudio existe dos formas de manera terrestre:

Tabla 4

Ruta N° 1 acceder al área de estudio (Fuente Propia)

Ruta-Terrestre	Distancia (Km)	Vía	Estado
Chiclayo – Nuevo Mocupe	38.6	Asfaltada	Buena
Nuevo Mocupe – La Viña	29	Asfaltada	Buena
La Viña – Área de estudio	12	Trocha	Regular

Tabla 5

Ruta N° 2 acceder al área de estudio (Fuente Propia)

Ruta-Terrestre	Distancia (Km)	Vía	Estado
Chiclayo – Pacanguilla	65	Asfaltada	Buena
Pacanguilla – Área de Estudio	20	Trocha	Regular

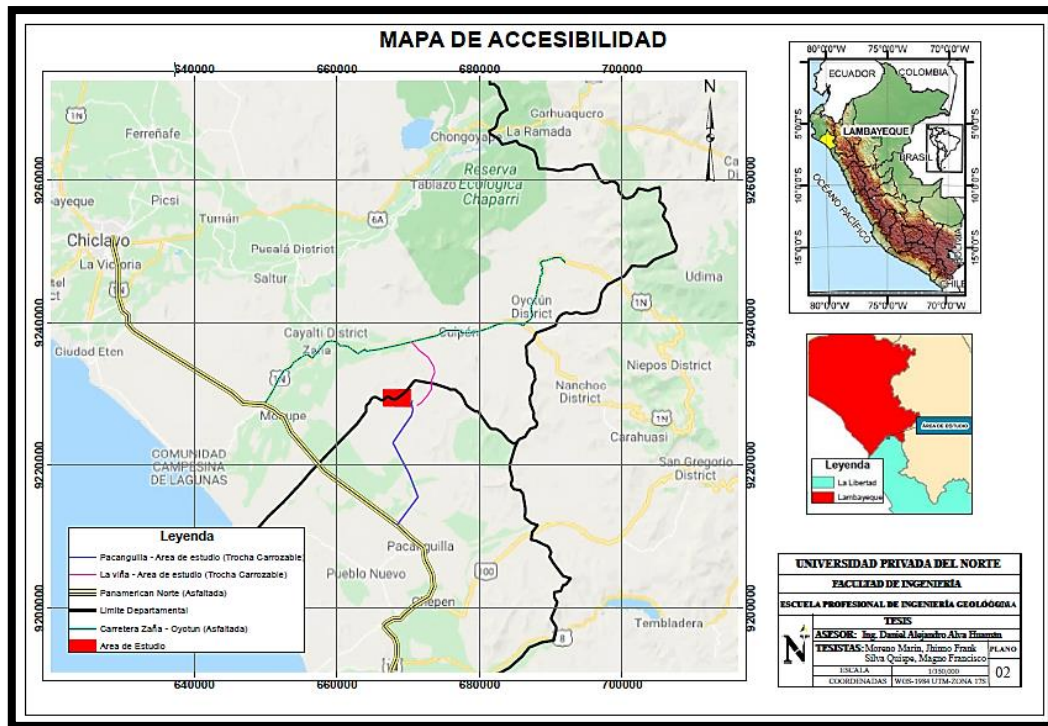


Figura 2 Mapa de Accesibilidad (Fuente Propia)

3.2. Marco geológico regional

El área de estudio, en un contexto geológico regional, incluye la parte suroccidental de la carta nacional 14 – e Chongoyape (INGEMMET) que abarca la zona noroeste del Perú.

Así, se han diferenciado distintas unidades geológicas que van desde el Mesozoico al Cuaternario. La mayoría están dispuestas en una orientación NW-SE, y que de más antigua a más joven corresponden a volcánico Oyotun (Jurásico), grupo Goyllarisquizga (cretáceo inferior), Formación Inca, Formación Chulec, formación Pariatambo (Albiano), formación Quilquiñan (Cretáceo Superior), Volcánico Llama (Cenozoico – Eoceno) y Batolito de la costa (Eoceno) Estas unidades están parcialmente cubiertos por sedimentos aluviales y eólico (Cuaternario).

3.2.1. ESTRATIGRAFIA

3.2.1.1. Formación Oyotun (Jurásico)

La litología de esta unidad está compuesta por andesíticas y dacítica con niveles tobas de secuencia de estratos de mediano a gruesos. La roca más común es la brecha piroclástica de composición andesítica maciza de color verde azulado por la presencia de minerales cloritas, fierro, magnesio, sílice y cuarzo. Las intercalaciones sedimentarias consisten en tobas, grauvacas y areniscas feldespática. La roca más común es una brecha andesítica maciza de un color negro azulado, tal como aflora en las inmediaciones de Pucará (c. de Incahuasi). La misma litología es frecuente en los afloramientos de la Formación Oyotún en el cuadrángulo de Cutervo y en otras áreas de la costa. Otra roca predominante es una dacita porfirítica, que se presenta como flujo o como piroclástico, que muestra fenocristales de plagioclasas y cuarzo en una pasta fina gris verdoso, tal como se encuentra en los afloramientos del sur de Batán Grande y entre Zaña y el valle del Chancay (c. de Chiclayo). Es probable que esta formación contenga sills y diques que resultan difíciles de distinguir del material efusivo que constituye el cuerpo principal propiamente dicho. Los sills dacíticos aparentan ser comunes en los afloramientos que ocurren entre los ríos La Leche y Chancay (c. de Chiclayo y Chongoyape). Muestran litologías similares a las rocas extrusivas y probablemente constituyen parte del mismo complejo ígneo.

La formación Oyotún contiene intercalaciones sedimentarias generalmente en forma de tobas, grauvacas y areniscas feldespáticas, muy escasas en algunas áreas, pero relativamente comunes entre Chongoyape y Tocmoche (c. de

Incahuasi). También se encuentran, aunque muy raramente, capas de caliza, generalmente laminada y algo silicificada. (INGEMMET, 1984).

3.2.1.2. Grupo Goyllarisquizga (cretáceo inferior)

La litología está marcada por una secuencia de areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, en bancos de 2 a 3 metros de espesor. La secuencia inferior presenta estructuras sedimentarias de grandes laminaciones oblicuas de ambiente eólico, que va pasando progresivamente hacia la parte superior a unas cuarcitas de grano grueso masivas fluviales con evidente oxidación y superficialmente muestran una coloración rojiza. También se pueden observar algunos niveles conglomerados fluviales con clastos redondeados cuyo diámetro mayor es 0,50 cm; estos normalmente se encuentran en la base de los estratos. (Gobierno Regional Lambayeque, 2013).

3.2.1.3. Formación Inca (Cretáceo medio).

Sus afloramientos rocosos alcanzan algunos metros o decena de metros, yace discordantemente sobre los sedimentos clásticos de la Formación Goyllarisquizga, el contacto está bien marcado por contraste entre las cuarcitas blanquecinas de la Formación Goyllarisquizga y los sedimentos ferruginosos de la Formación Inca. En el área de estudio la secuencia litológica está constituida en su base de caliza maciza arenosa seguida de areniscas y lutitas ferruginosas con intercalaciones calcáreas. (Gobierno Regional Lambayeque, 2013).

3.2.1.4. Formación Chúlec (Cretáceo superior).

Se caracteriza por presentar un color de intemperismo generalmente crema o gris amarillento. Como los sedimentos componentes de la Formación Chúlec

son mayormente blandos, la topografía que se desarrollo es de lomadas de pendientes suaves. Consiste en capas delgadas bien estratificadas de lutitas gris, marga amarillenta y calizas marrón crema. Las calizas son lutáceas o margosas, generalmente se presentan en capas delgadas y nodulares. (INGEMMET, 1984).

3.2.1.5. Formación Pariatambo (Cretáceo superior).

La Formación Pariatambo está representada por 100 a 300 m. de caliza, lutita y toba que aflora en muchas partes de la región. A pesar de las variaciones en su litología, siempre se presenta en capas delgadas. Uniformemente estratificadas. La Formación es generalmente resistente a la erosión y forma escarpas prominentes que resaltan del material blando de la Formación Chúlec. La caliza es fina de color negro, bituminosa y generalmente tiene un olor fétido. Su estratificación es delgada y uniforme, de tal manera que forma lajas bastante características. Las lutitas son negras y bituminosas y ocurren como intercalaciones delgadas entre las capas calcáreas. Esta facies de la Formación Pariatambo, es bien fosilífera, con abundantes amonites bien conservados y escamas de peces. (INGEMMET, 1984).

3.2.1.6. Grupo Quillquiñan (Cretáceo superior).

El grupo consiste en lutitas friables gris oscuras y margas azuladas en capas delgadas que intemperizan a marrón oscuro o marrón rojizo. Las calizas que se intercalan con las lutitas y margas son generalmente delgadas y escasas, aumentando en importancia hacia el este. (INGEMMET, 1984).

3.2.1.7. Formación Llama (Cenozoico)

La formación Llama generalmente comienza con un conglomerado basal rojizo intercalado con capas de toba andesítica de color morado o violáceo. Los fragmentos del conglomerado volcanoclastico son guijarros bien redondeados de cuarcita con proporciones menores de caliza y roca volcánica. Los clastos tienen un diámetro promedio de 1 cm. pero en algunas localidades alcanzan 50 cm. como por ejemplo en el área entre Catache y Llama (c. de Chongoyape). El conglomerado generalmente forma capas gruesas y compactas, que dan escarpas marcadas, tal como se puede apreciar en el área de Catache (c. de Chongoyape) y Santa Catalina (c. de Chepén). En áreas de mayor intemperismo o donde el conglomerado no aflora, es posible, sin embargo, reconocer su presencia por el hallazgo de guijarros redondeados y sueltos de cuarcita; esto ocurre por ejemplo en los alrededores de Puerto de Puerto Las Delicias, (c. de Incahuasi) y en el área de Yauyucán-Pulán (c. de Chota). En la mayoría de los casos el volcánico es resistente a la erosión y constituye escarpas o farallones. Sin embargo, donde ha habido suficiente humedad como para permitir un intemperismo profundo de la roca, la unidad ha generado colinas suaves sin mayores afloramientos, tal como ocurre en el sector oriental del cuadrángulo de Chepén. (INGEMMET, 1984).

3.2.2. Rocas Intrusivas

3.2.2.1. Batolito de la costa

Como se puede apreciar en los mapas geológicos, mayor parte del batolito en esta área consiste en tonalita y granodiorita en cuerpos grandes. Hasta la altitud

del río Jequetepeque los plutones muestran las mismas características vista en gran parte del Perú Central, es decir, son unidades extensas con bordes bastante parados que se han emplazado sin producir mucho efecto sobre las rocas encajonantes, sea de metamorfismo o de deformación estructural. Al norte del río Jequetepeque los afloramientos vienen a ser más estrechos y se nota un aumento progresivo en la proporción de las rocas del techo de los plutones; en otras palabras, el batolito parece hundirse paulatinamente hacia norte. (INGEMMET, 1984).

3.3. Marco Tectónico Regional

La Fase Tectónica Peruana, es un evento de deformación “compresional”, que afecta principalmente la Costa, Cordillera Occidental y el Altiplano. Durante el período de “compresión” de la Fase Peruana, se habrían producido áreas de debilidad por fracturas a nivel del frente andino, lo que habría facilitado el subsecuente emplazamiento del Batolito de la Costa cortando las series plegadas mesozoicas. (Bazán O, 2013)

Uno de los principales factores que controló el magmatismo (plutonismo – volcanismo) en el norte del Perú, fue la dirección del movimiento de la placa tectónica oceánica (placa de Nazca) y sus diferentes razones de convergencia. Antes del Mioceno la placa de Nazca/Farallón tenía una dirección de convergencia NE (Pardo-Casas y Molnar, 1987). El tectonismo por efecto de la convergencia de las Placas referidas en la orogenia del Cretáceo Superior-Cenozoico Inferior dio lugar a la emersión de la Cordillera Occidental de los Andes con un magmatismo intenso en su borde Oeste de la Cordillera Occidental provocando el emplazamiento del Batolito de la Costa principalmente, cuyas soluciones residuales fueron ricos en Cu, Au-Cu originando la Provincia Metalogénica de Cu del

Batolito de la Costa y Planicie Costera y de la Subprovincia Metalogénica de Au-Cu del Batolito de la Costa en Nazca-Ocoña. El Batolito de la Costa es mayormente de composición intermedia a ácida. (Carlotto, V. 2009).

3.4. Descripción del depósito

El depósito metálico “Las Vizcachas” se extiende en el cerro del mismo nombre con una longitud 2 km N – S y 1 km E- W en el norte de La Libertad. En esta área aflora secuencias calcáreas de las formaciones Chulec, Pariatambo, PuyLucana, Quilquiñan del Cretáceo que están compuestas por calizas con rumbo NE– SW y buzamiento variable entre 30 – 25 hacia NW. Estas rocas han sufrido cambios debido al metamorfismo ocasionando así el cambio de su textura y mineralogía.



Figura 3 Calizas metamorfizadas (Fuente Propia)

Entre las calizas aflora de forma alargada y concordante con la estratificación un intrusivo granodiorítico de composición ácida del cretáceo superior, perteneciente al batolito de la costa, estaría vinculado al metamorfismo de contacto y posterior

metasomatismo que permitió la formación de mármol y minerales calcosilicatos a partir de las rocas calcáreas. Estas rocas intrusivas contienen xenolitos (Fig. 5) de composición andesítica subredondeados.

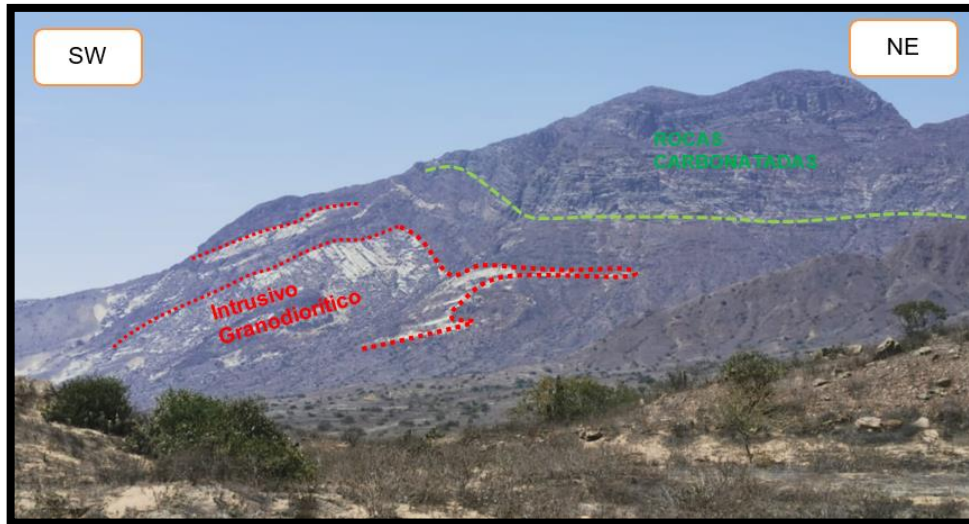


Figura 4 Vista panorámica del depósito las Vizcachas (Fuente Propia)



Figura 5 Xenolito o Enclave dentro de las rocas intrusivas (Granodiorita) (Fuente Propia)

Además de la roca granodiorítica se identificó intrusivos de menor tamaño variando su potencia entre 0.30 m a 0.90 m, esta litología se clasificó como un granito de textura

granular con cristales de 1 – 2.5 mm de cuarzo cristalino, plagioclasas y biotitas de > 1mm, hornblendas de 2,5 mm. En los bordes del intrusivo debido al metasomatismo se evidencia cristales de mayor tamaño de micas (moscovita).

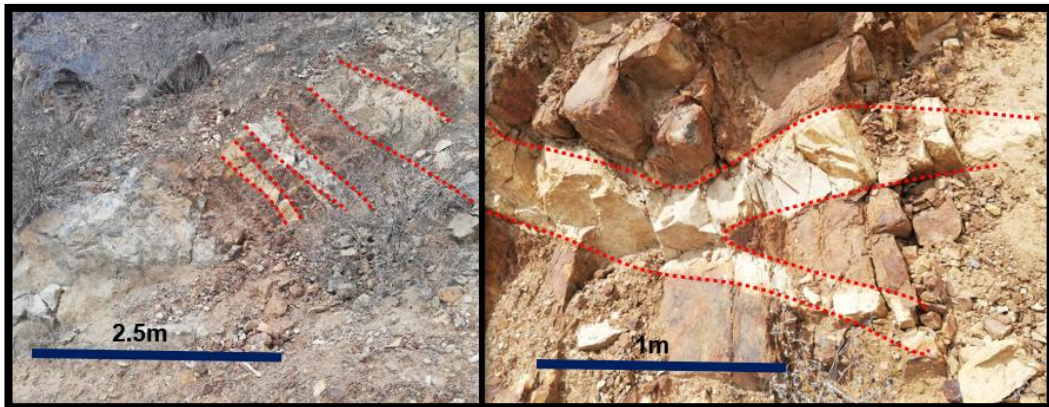


Figura 6 Afloramiento de intrusivo menor (granito) (Fuente Propia)

El aumento de presión y temperatura por el emplazamiento de las rocas intrusivas a producido niveles metamórficos en las rocas carbonatadas, estos niveles metamorfizados son observados a nivel local por el cambio de color (rojizos).



Figura 7 Niveles Rojos Rocas metamorfizadas en las rocas calcáreas. (Fuente Propia)

3.5. Zonas estudiadas

Algunas labores mineras realizadas anteriormente permiten reconocer al menos tres zonas mineralizadas a lo largo del depósito mineral “Las Vizcachas”, como se observa en la figura (Figura 8). Estas zonas han sido seleccionadas para la toma de muestras de roca y mineral éstas corresponden a: Zona 1, Zona 2, Zona 3.

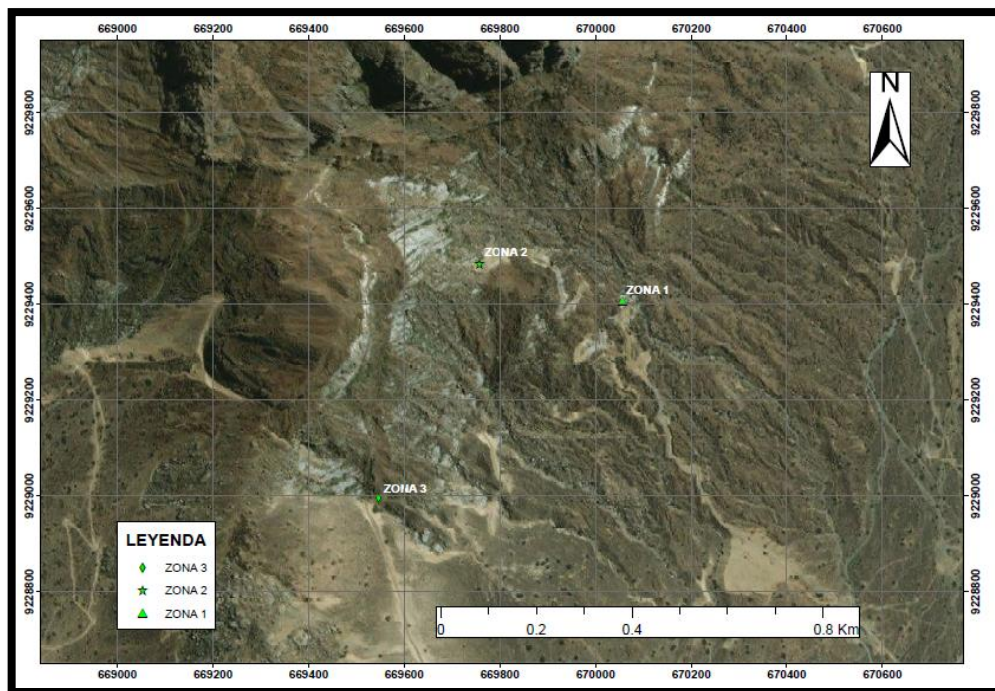


Figura 8 Ubicación de las zonas estudiadas (Fuente Propia)

3.5.1. ZONA 1

Tabla 6

Coordenadas Zona 1 (Fuente Propia)

ESTE	NORTE	COTA
670056	9229405	322

En la zona 1 (Zona manto mineralizado) existe una labor orientada en dirección noroeste perpendicular al manto mineralizado. Éste se desarrolla con forma

constante entre rocas metamórficas como mármol y pizarra de color gris oscura, además estas unidades estratigráficas están cercanas al pórfido granodiorítico del cretácico superior.

Se puede observar el manto mineralizado presente en esta zona con mineralización de granates de color verde amarillentos y cristales de magnetita y esfalerita diseminada. La mineralogía metálica se desarrolla principalmente en el manto de forma diseminada y está compuesta por calcopirita, pirita, pirrotita, covelita, goethita, jarosita y esfalerita en diseminaciones, otros minerales presentes en el manto mineralizado corresponden a calcita y granates. La labor actualmente se encuentra abandonada.

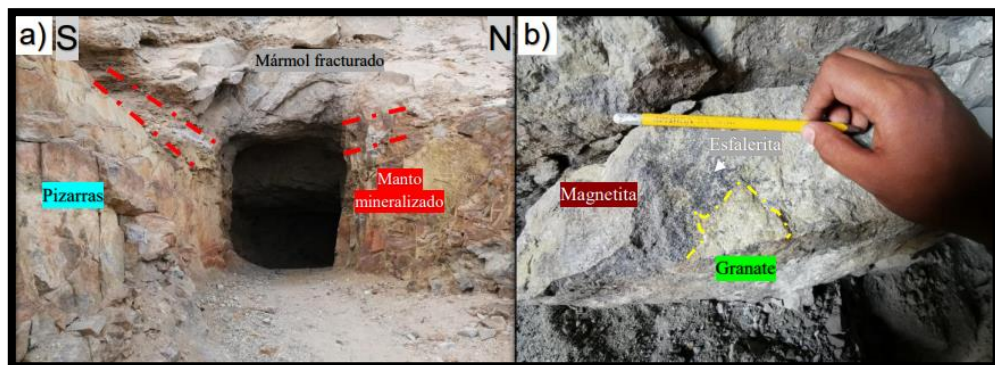


Figura 9. a) Labor en la zona 1; b) Mineralización del manto (Fuente Propia).

Se observa un manto mineralizado en contacto con rocas metamórficas, siendo pizarra y mármol; b) Mineralización del manto mineralizado corresponde a magnetita y granates claramente visibles y esfalerita diseminada,

Los protolitos de las rocas encajonantes del manto mineralizado están totalmente alterados por metamorfismo de contacto provenientes de rocas ígneas como el pórfido granodiorítico y sienogranito cercanas a estas, en cuanto a la roca caja techo (mármol) presenta un color gris, además de fracturas en formas de bandas

en diferentes direcciones que han sido invadidos o rellenados de blastos de granates y cuarzo. Está compuesta por carbonatos y cuarzo; las fracturas de este mármol se presentan en la mayor parte de las zonas 1, siendo en los exteriores de la labor subterránea con un color pardo amarillento debido a la alteración y meteorización por aguas meteóricas., siendo así una de las principales características.

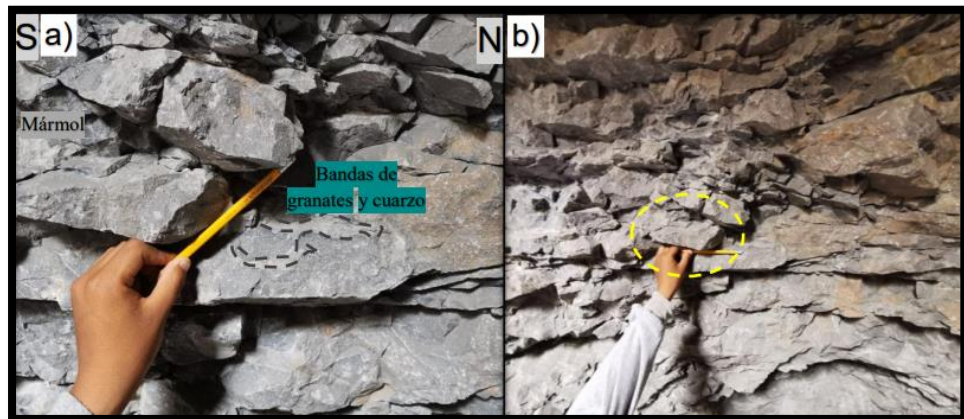


Figura 10 a) bandas rellenas de granate y cuarzo b) menor escala el mármol (Fuente Propia).

a) Se observa bandas rellenas de granate y cuarzo entre roca metamórfica compacta pertenecientes a la roca caja techo del manto mineralizado, se evidencia alta efervescencia debido a la gran cantidad de carbonatos, b) Se divide a menor escala el mármol con fracturas principales en dirección S-N, similar estructura mineralizada

La roca caja piso corresponde a una pizarra de color gris oscuro, compuesta por trazas de carbonatos y pirita presente en diseminaciones y venillas de 0.05 a 0.1 mm de pirita, por sectores hay presencia de pirrotita (magnetismo débil). Se observa además con divisiones en finas láminas o capas (fisibilidad). Estando en contacto con el manto mineralizado, ha permitido la formación e ingreso de

minerales metálicos como pirita y en trazas pirrotita, arsenopirita, esfalerita y calcopirita, que se verá en el avance de esta investigación.

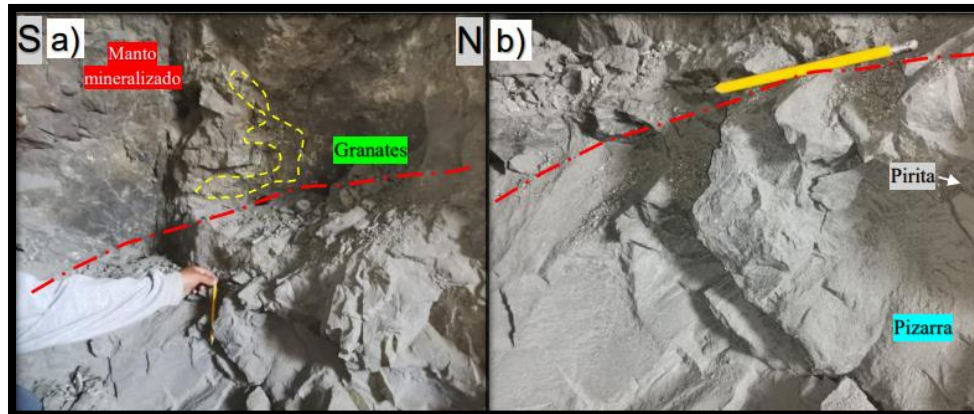


Figura 11 a) Fotografía de roca caja piso (pizarra) b) presencia de diseminaciones de pirita en pizarra. (Fuente Propia)

En la fig. 11 a) Fotografía de roca caja piso (pizarra) en contacto con el manto mineralizado con presencia de granates, además se nota finas láminas o capas (fisibilidad) b) Se puede observar presencia de diseminaciones de pirita en pizarra.

En la labor de esta zona se puede distinguir un manto definido con dirección $N230^\circ$ y un buzamiento de $25^\circ W$ donde la mineralización metálica está diseminada a lo largo de dicha estructura que tiene potencia variable de 0.75 m y con un máximo de 1 metro.

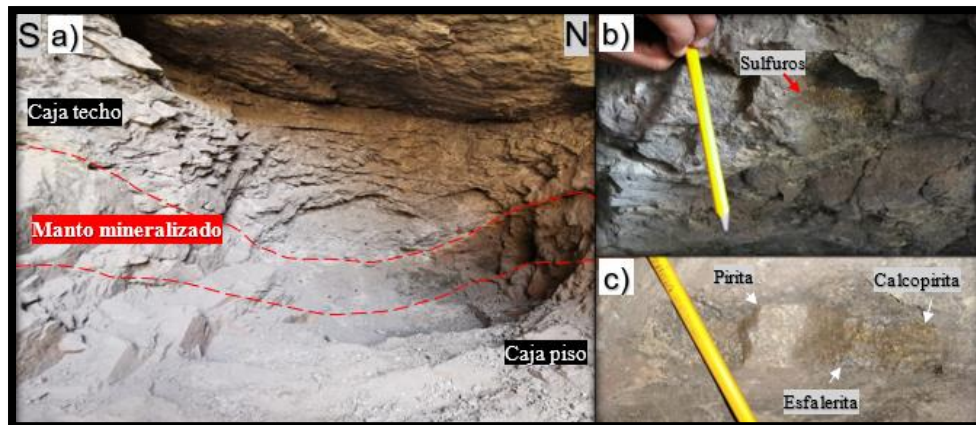


Figura 12 interior de la labor subterránea abandonada de la zona 1 (Fuente Propia)

En la fig. 12 a) Se puede observar el interior de la labor subterránea abandonada de la zona 1, además de la estructura mineralizada con potencia variable; b) Se muestra mineralización de sulfuros perteneciente al manto; c) Fotografía a más detalle de la mineralización presente, se distingue pirita, calcopirita y esfalerita.

3.5.2. Zona 2

Tabla 7

Coordenadas de la zona 2 (Fuente Propia)

ESTE	NORTE	COTA
669850	9229504	395

La zona 2, está ubicada a aproximadamente 230 metros al noreste de la zona 1 y con una diferencia en elevación de 73 metros. En este sector presenta se logró reconocer 2 tipos de ensambles de mineralización, la primera en un mármol blanquecino con presencia de granates de coloración verde amarillento además de mineralización de cobre como calcopirita, bornita (Fig. 14) y otros minerales diseminados como pirita y calcita, mientras que, el segundo tipo de mineralización en diferente tipo roca con una coloración oscura, contiene con menor porcentaje

de calcopirita y bornita pero con presencia de sílice y abundante de óxidos de manganeso, hierro y crisocola (Fig. 15).



Figura 13 a) Mármol con presencia de granates y mineralización metálica (Fuente Propia)

En la fig, 13 a) Mármol con presencia de granates y además con alta de efervescencia; b) Fotografía a más a detalle de la mineralización metálica presente en el Mármol y entre los granates, se puede encontrar covelita y bornita.

La segunda mineralización al igual que la primera se desarrolla en formas de vetas, teniendo como como contacto mármol y al parecer pizarras, al tener contacto los fluidos mineralizantes con el mármol se forma granates de coloración verde amarillenta, covelita, bornita, anfíboles y entre otros; mientras que al tener contacto con pizarras presenta menor proporción de minerales metálicos desarrollándose posteriormente a óxidos de hierro y crisocola; además con presencia de óxidos de manganeso y granates de coloración más oscura.

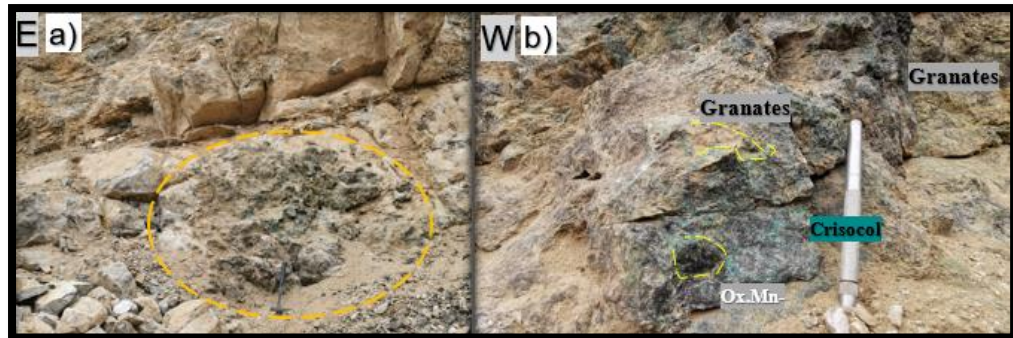


Figura 14 mineralización en contacto con roca metamórfica (mármol)., (Fuente Propia).

En la fig. 14 a) Se observa parte de la mineralización en contacto con roca metamórfica (mármol). b) Fotografía con más detalle de la mineralización presente en la zona 2, se puede notar granates, crisocola o óxidos de manganeso y hierro. Ambas fotografías se ubican en las siguientes coordenadas: E: 669 831 N: 9 229 500 C: 403 m.s.n.m.

Al igual que en las demás zonas, esta se caracteriza por estar en contacto con pórfido granodiorítico de color gris claro, con fenocristales de plagioclasas, cuarzo y feldespatos potásicos, se extiende por más de 500 metros entre la franja calcárea del cretácico superior, obteniendo así por metamorfismo de contacto mármol y pizarras. (Fig.15).

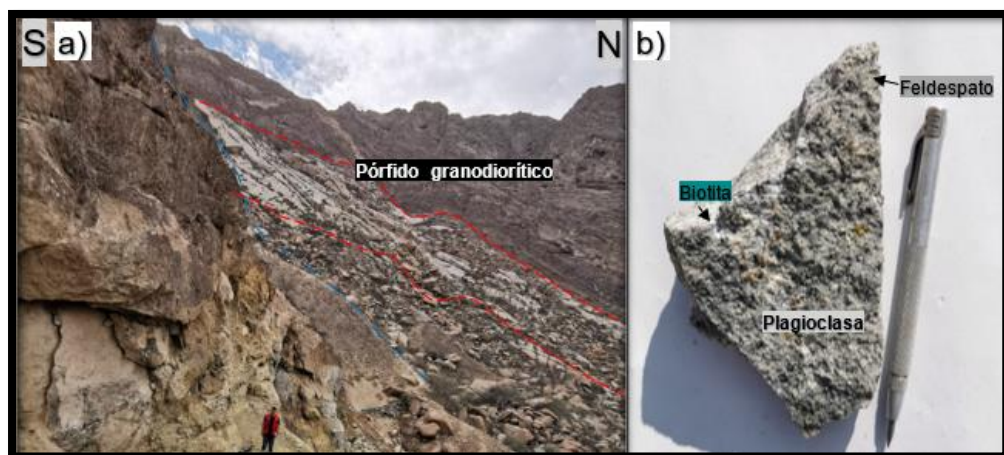


Figura 15 pórfido granodiorítico ubicado en la zona 2. (Fuente Propia)

En la fig. 15 a) Se puede observar un pórfido granodiorítico ubicado en la zona 2 de la presente investigación, además de franjas calcáreas metamorfizadas; b) Se muestra a más detalle muestra del pórfido granodiorita con sus minerales principales

En esta presenta zona se puede encontrar también mineralización de cobre secundaria rellenando fracturas de roca metamórfica oxidada, además de óxidos de hierro como limonita e hidróxidos en jarosita, además de sílice en algunos sectores. (Fig. 17)



Figura 16 mineralización de cobre en fracturas. (Fuente Propia)

En la Fig. 16 a) Se observa mineralización de cobre en fracturas de una roca compacta metamórfica; b) Fotografía de la mineralización de cobre de una coloración verde y, además, minerales de hierro

Como minerales de interés en esta zona de tiene sulfuros de cobre como covelita, bornita, digenita y muy finas diseminaciones de calcopirita, además de minerales metálicos como pirita. En cuanto a la ganga se tiene granates, carbonatos, anfíboles, arcillas y piroxenos.

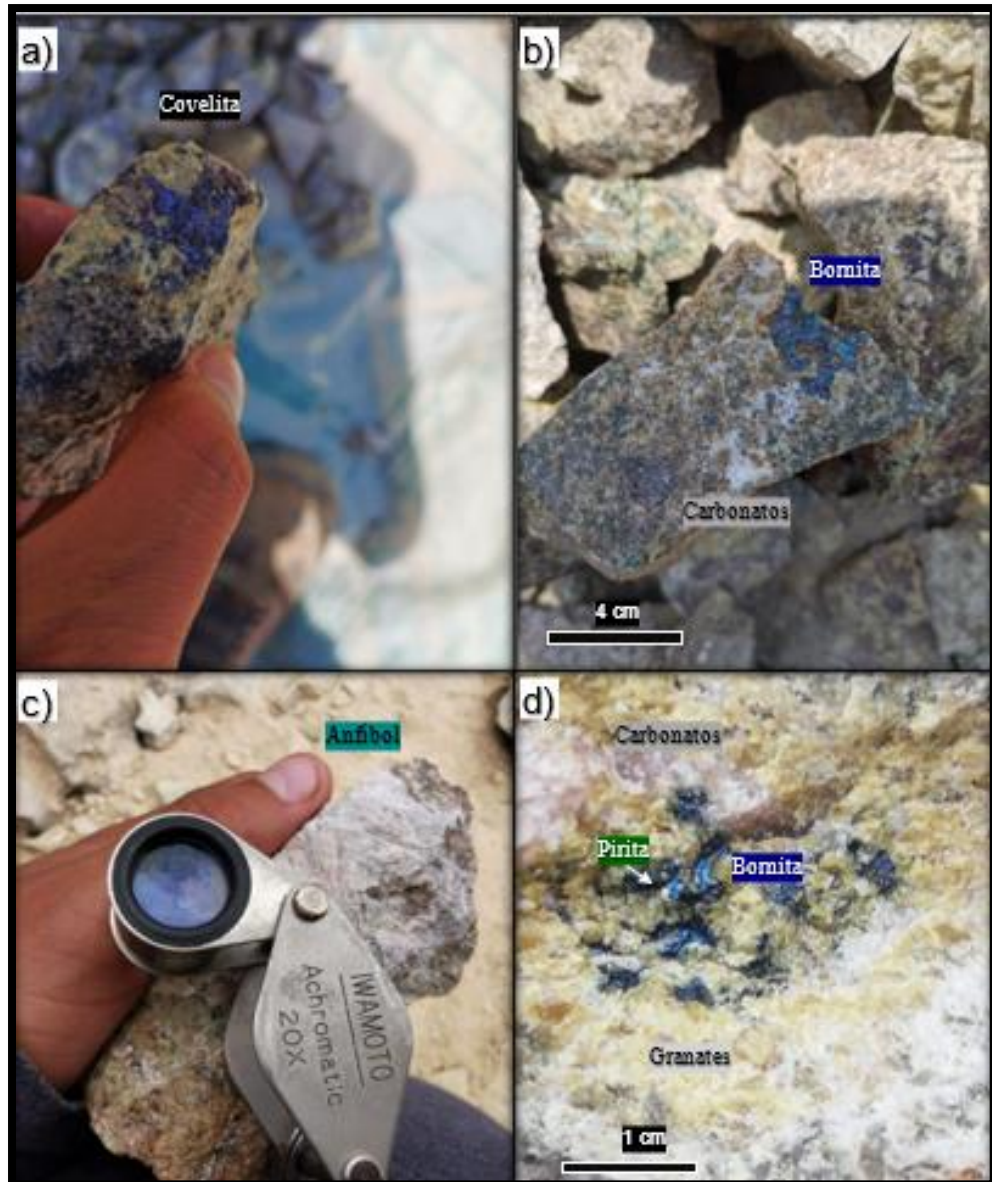


Figura 17 Mineralización en el skarn zona 2. (Fuente Propia)

En la fig. 17 a) Muestra de covellita en granates de coloración verde amarillenta; b) bornita con presencia de carbonatos; c) Mineral de anfíbol sobre matriz de granates; d) Mineralización de pirita, bornita, granates y carbonatos.

3.5.3. Zona 3

Tabla 8

Coordenadas Zona 3 (Fuente Propia)

ESTE	NORTE	COTA
669546	9228995	395

La zona actinolita evidencia mineralización en afloramientos de caliza alterada que exhiben una veta con potencia de 30 cm con presencia de granates, calcita y diseminaciones de sulfuros. Esta estructura con dirección N351 y un buzamiento de 80 W se encuentra a más detalle entre mármol de coloración gris y de grano fino.

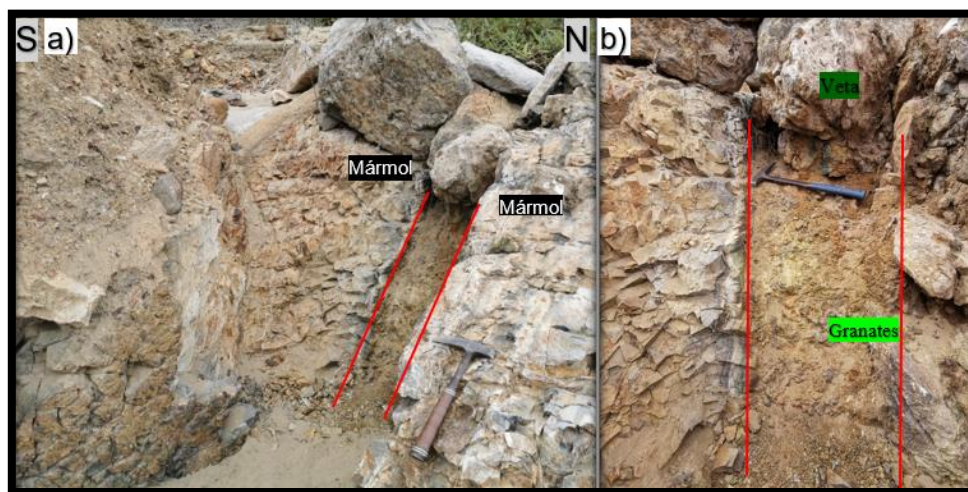


Figura 18 Veta de skarn de granates. (Fuente Propia)

En la fig. 18 a) Veta de skarn de granates entre mármol, con una potencia aproximada de 40 cm; b) Mineralización de granates en la veta ubicada en la zona 3.

Esta zona expone la veta mineralizada y a rocas metamórficas en contacto con un pórfido granodiorítico (Fig. 19) ubicado tanto al oeste como al norte de la franja calcárea



Figura 19 Fotografía de porfidogranodiorítico en contacto con mármol (Fuente Propia).

En la fig. 19 Fotografía de porfidogranodiorítico en contacto con mármol, se puede observar además la veta con mineralización de granates y carbonatos.

Al oeste de la veta con mineralización de granates se puede apreciar estructuras mineralizadas con dirección N357 y un buzamiento de 82° W con abundante magnetita y actinolita cristalizada, en menor proporción se encuentra granates, óxidos de manganeso y fierro.



Figura 20 Estructuras mineralizadas de coloración oscura. (Fuente Propia)

a) Se observa estructuras mineralizadas de coloración oscura, están conformadas de magnetita y actinolita cristalizadas; b) Fotografía a más detalle de la mineralización presente en la zona 3. Se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: E: 669 537
N: 9 228 993.

3.6. Petrografía

A continuación, se describe de manera macro y microscópica las principales litologías estudiadas en esta investigación que han sufrido metamorfismo y metasomatismo al largo del depósito “Las Vizcachas”.

El estudio microscópico con el fin de detallar texturas, mineralogía de alteración, asociaciones paragenéticas presentes para un mejor entendimiento de los procesos que dieron origen a este tipo de rocas.

3.6.1. Muestra 1

La muestra M1 corresponde a un skarn de granates retrogradado a esfalerita y óxidos, fue extraída de un manto mineralizado presente en el área de estudio (Zona 1).

Roca metamórfica compacta, de color verde amarillento, con textura granoblástica. Está compuesta principalmente por agregados de blastos de granates que oblitera el protolito, presenta una venilla de magnetita de 2 a 3 mm de ancho sobre la cual presenta disseminaciones de pirita y calcopirita. Los cristales de magnetita y esfalerita se encuentran de manera intersticial, rellenando cavidades entre los granates.

Microscópicamente (Fig. N° 21) está compuesto principalmente por agregados de blastos de granates (78%) (alterados por arcillas (3%)) con magnetita (13%)

ingresando por sus intersticios y como relleno de fracturas. Además, a través de sus intersticios han ingresado cuarzo (traza), pirita (traza), arsenopirita, esfalerita y carbonatos (traza). Pirrotita (traza) como relictos en arsenopirita (traza). Calcopirita I (traza) como finas disseminaciones en esfalerita (3%). Calcopirita II (traza) en oquedades de arsenopirita y reemplazando a la esfalerita. Finalmente, agregados de goethita (1%) y jarosita (2%) han impregnado e ingresado por los intersticios y fracturas de los blastos de granates.

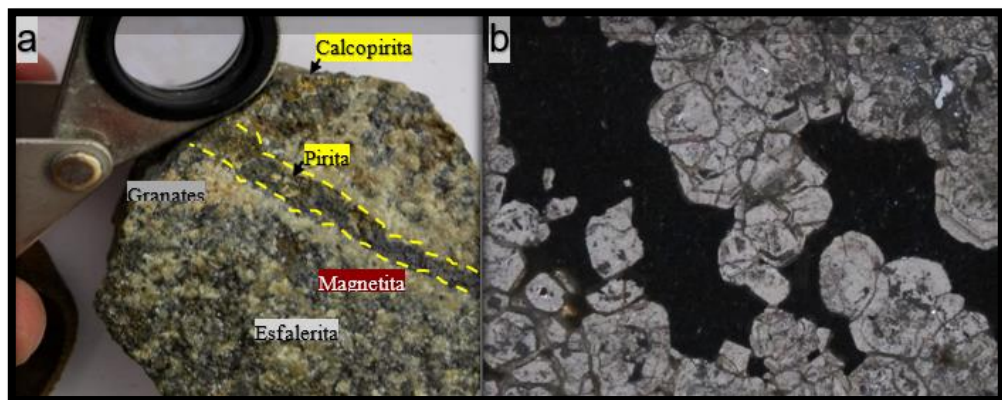


Figura 21 Muestra de Skarn de granate retrogradado a esfalerita y óxidos. (Fuente Propia)

En la fig. 21 a) Fotografía de muestra de Skarn de granate retrogradado a esfalerita y óxidos de la Zona 1; b) Fotomicrografía de Skarn de granate retrogradado a esfalerita y óxidos compuesta principalmente de granates, magnetita y esfalerita – Luz transmitida.

La mineralización metálica en el skarn de granates retrogradado a esfaleritas y óxidos ocurre de manera disseminada y espacialmente asociada a minerales de alteración retrógrada como arcillas, cuarzo y carbonatos. Los minerales de mena observados al microscopio corresponden a esfalerita, pirita, arsenopirita, calcopirita, magnetita y goethita.

La esfalerita con formas irregulares ha ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granate, presenta finas diseminaciones de calcopirita I. Han reemplazado a cristales de magnetita, pirita y arsenopirita desde sus bordes. Así como también han sido reemplazadas por calcopirita II, esta última se aprecia también en oquedades de arsenopirita; por otro lado, los pequeños cristales con formas irregulares de la pirrotina han sido reemplazados parcialmente por arsenopirita quedando a manera de relictos.

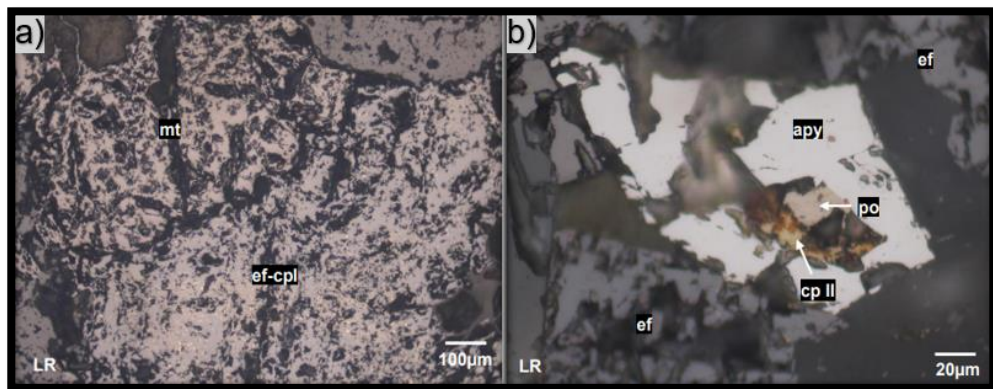


Figura 22 Cristales de esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita (*Fuente Propia*)

En la fig. 22 Fotomicrografía de: a) Cristales de esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita I (ef-cpl) que han reemplazado a los cristales de magnetita (mt) desde sus bordes (luz reflejada); b) Cristales de arsenopirita (apy) con relictos de pirrotita (po) y cristales de calcopirita II (cp II) en sus oquedades. Además, la arsenopirita ha sido reemplazada por esfalerita (ef) desde sus bordes (luz reflejada).

Los granates se encuentran como agregados de blastos con formas euhedrales a subhedrales, fracturados y zonados. Han sido alterados por agregados terrosos de

arcillas desde sus bordes, centros y fracturas. Se aprecian cristales de magnetita en intersticios y como relleno de fracturas entre los granates.

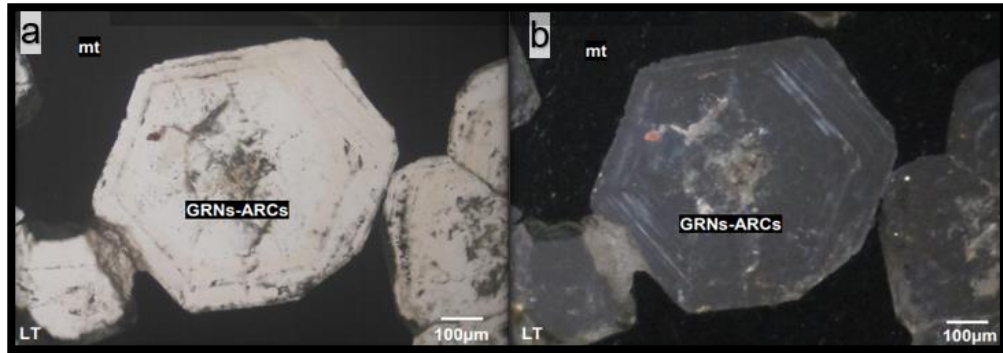


Figura 23 . Blastos de granates zonados y alterados por arcillas. (Fuente Propia)

En la fig. 23 Fotomicrografía de blastos de granates zonados y alterados por arcillas desde sus centros y bordes (GRNs-ARCs); con magnetita (mt) que ha ingresado a través de sus intersticios. a) Nicoles paralelos - Luz transmitida. b) Nicoles cruzados - Luz transmitida.

La magnetita está conformada por agregados de cristales con formas irregulares que han ingresado a través de los intersticios de los cristales de granates; así como también a manera de relleno de sus fracturas. Algunas han sido reemplazadas por pirita, arsenopirita y esfalerita.

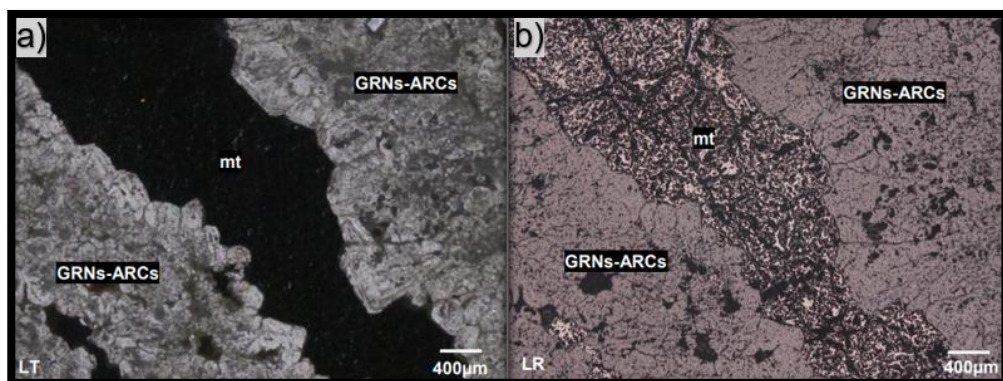


Figura 24 Fotomicrografía de agregados de cristales de magnetita (mt). (Fuente Propia)

En la Fig. 24 Fotomicrografía de agregados de cristales de magnetita (mt) que se presentan como relleno de fracturas que han cortado a los agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs); a) Luz transmitida b) Luz reflejada.

El cuarzo con formas irregulares ha ingresado por los intersticios de los agregados de granates, en ocasiones presentan finas impregnaciones de goethita y arcillas; la goethita se presenta como agregados microcristalinos y de aspecto terroso, a manera de impregnaciones en los blastos de granate, cuarzo y carbonatos, también presentes en fracturas de los granates. En cuanto a la jarosita está en forma de agregados microfibrosos a terrosos, se presenta junto con goethita como impregnaciones y en fracturas de los blastos de granates y carbonatos.

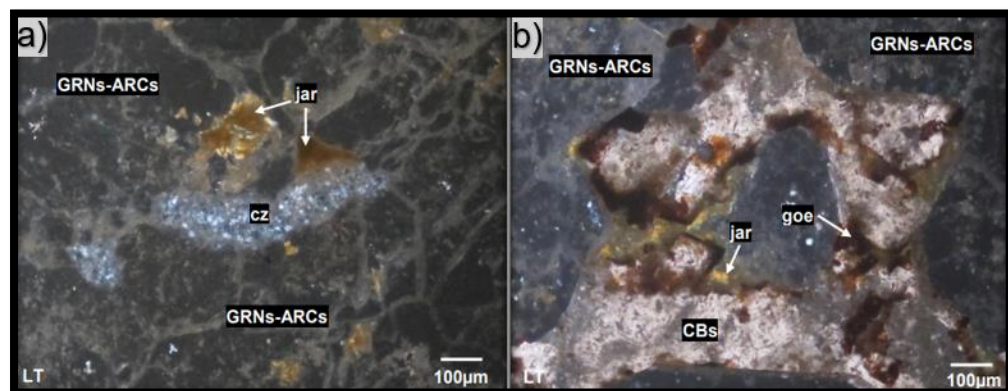


Figura 25 Agregados de pequeños blastos de cuarzo (cz) (Fuente Propia)

En la fig. 25 Fotomicrografía de a) Agregados de pequeños blastos de cuarzo (cz) y agregados terrosos de jarosita (jar) que han ingresado por los intersticios de los agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs); b) Agregados de blastos de carbonatos (CBs) con impregnaciones de goethita (goe)

y jarosita (jar), que han ingresado a través de intersticios entre los blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs).

La pirita se evidencia en cristales con formas irregulares que han ingresado a través de los intersticios de los granates, reemplazando a algunos cristales de magnetita desde sus bordes. Así como también, han sido reemplazadas por arsenopirita y esfalerita.

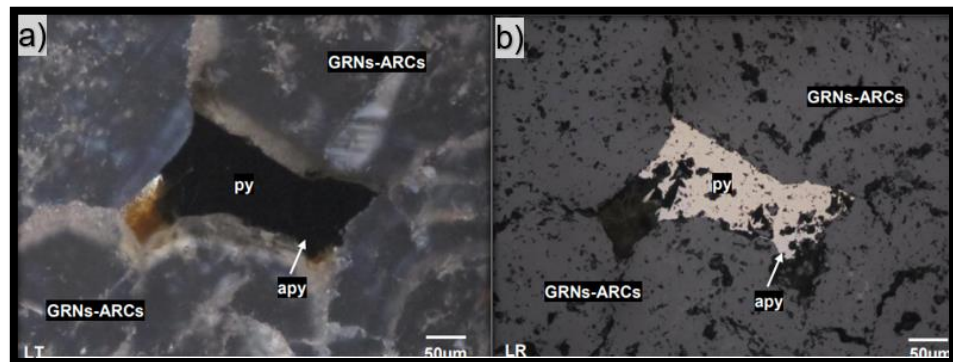


Figura 26 . Fotomicrografía de cristales de pirita (py). (Fuente Propia)

En la fig. 26 Fotomicrografía de cristales de pirita (py) que han sido reemplazados por arsenopirita (apy) desde sus bordes. Han ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs); a) Luz transmitida, b) Luz reflejada.

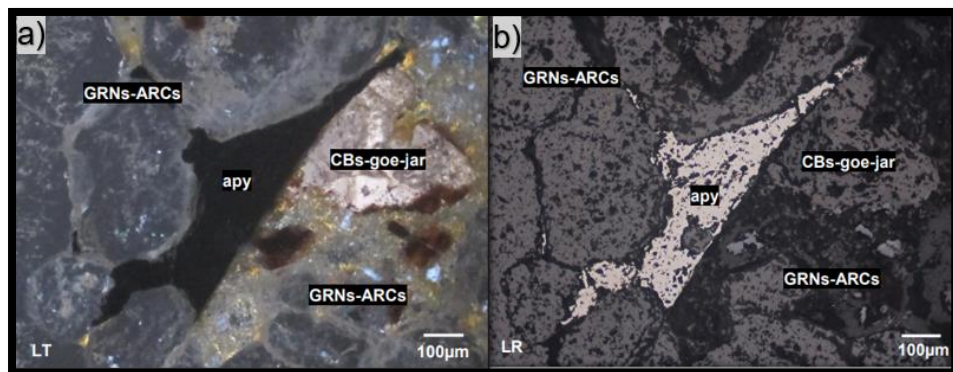


Figura 27 cristales de arsenopirita (apy) y blastos de carbonatos. (Fuente Propia)

En la fig. 27 Fotomicrografía de cristales de arsenopirita (apy) y blastos de carbonatos con impregnaciones de goethita y jarosita (CBs-goe-jar). Han ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs).

3.6.2. Muestra 2

Muestra extraída de la zona ubicada en el contacto del manto y la roca caja techo (mármol), a un skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita, está compuesto por granates de color verde amarillento bien formados que oblitera el protolito original, con textura granoblástica. Además, presenta en sectores calcita cristalizada sobre los granates. El mineral metálico con más abundancia es la esfalerita, seguido de óxido de hierro como magnetita. Otros minerales metálicos observados con escasas disseminaciones corresponden a pirita y covelita.

Al microscopio, está compuesta principalmente por agregados de blastos de granates (49%) (alterados por arcillas (4%)) con escasos cristales de magnetita (2%) intersticiales. Posteriormente han ingresado a través de sus intersticios cristales de pirita (traza), producto intermedio (1%), esfalerita y carbonatos (35%). Calcopirita I (traza) como finas disseminaciones en esfalerita (8%). Calcopirita II (1%) y galena (traza) en oquedades de granates. Covelita (traza) que ha reemplazado a pirita, esfalerita y calcopirita II. Escasa goethita (traza) en intersticios y como impregnaciones en los blastos de granates. Óxidos de Cu-Fe (traza) en microfracturas.

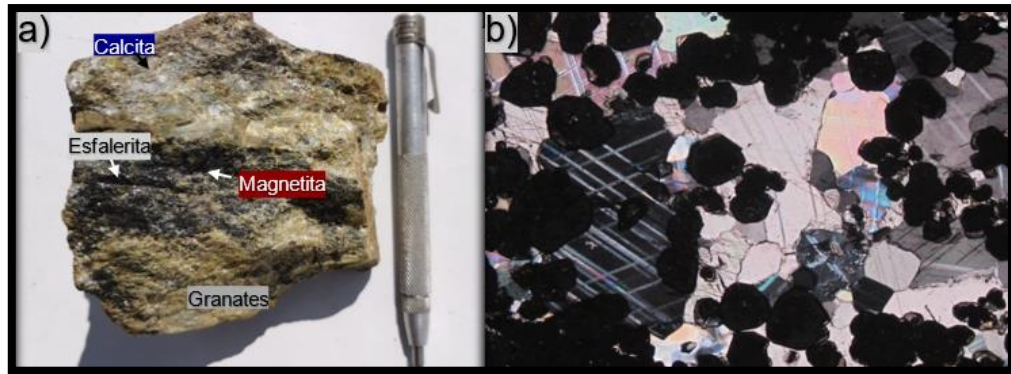


Figura 28 skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita. (Fuente Propia)

En la fig. 28 a) Fotografía de skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita; b) Fotomicrografía de skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita.

Los granates se encuentran como Agregados de blastos con formas euédrales a subédrales, fracturados y zonados. Se hallan alterados por agregados terrosos de arcillas desde sus centros y por carbonatos desde sus bordes. Por sectores se aprecian como agregados de pequeños blastos (con tamaños hasta de 100 micras). Posteriormente han ingresado a través de sus intersticios agregados de blastos de carbonatos con formas irregulares.

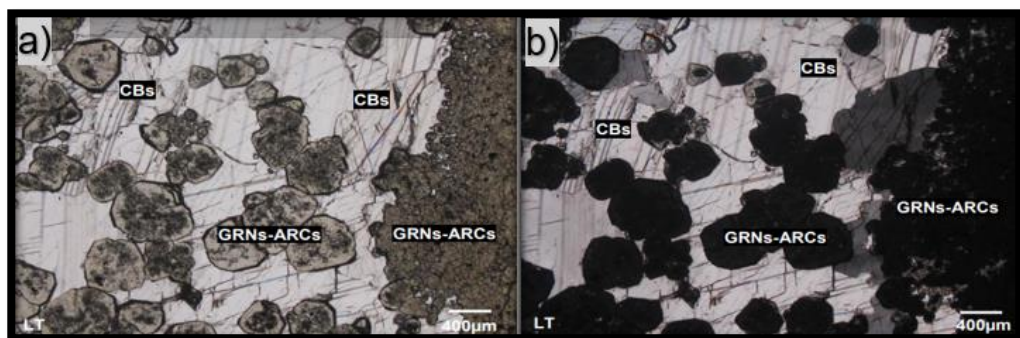


Figura 29 Agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs). (Fuente Propia)

En la fig. 29 Fotomicrografía de agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs). A través de sus intersticios han ingresado agregados de blastos de carbonatos (CBs); a) Nícoles paralelos (Luz transmitida), b) Nícoles cruzados (Luz transmitida).

La magnetita con escasos cristales con formas irregulares ha ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates. Así como también, se aprecia englobadas por agregados de blastos de carbonatos. La magnetita es de mayor tamaño que los granates, alcanzando a los $\leq 1200 \mu\text{m}$.

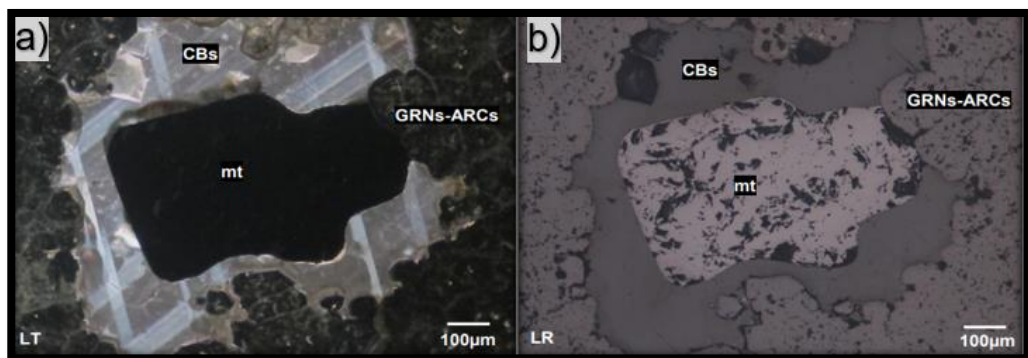


Figura 30 Fotomicrografía de agregados de blastos de carbonatos (Fuente Propia)

En la fig. 30 Fotomicrografía de agregados de blastos de carbonatos (CBs) que han ingresado a través de los intersticios de los blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs) y han englobado a los cristales de magnetita. a) Luz transmitida; b) Luz reflejada.

En cuanto a la mineralogía metálica, la mena principal corresponde al zinc en forma de esfalerita (8%), que ocurre cristales con formas irregulares que han ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates, presenta finas disseminaciones de calcopirita I. Han reemplazado parcialmente a cristales de magnetita, pirita y producto intermedio. Así como también, han sido

reemplazadas débilmente por calcopirita II desde sus centros. También destaca magnetita (2%) y calcopirita (1%), otros minerales metálicos observados a manera de trazas corresponden a pirita, galena, covelita, goethita y óxidos de cobre-ferro. En cuanto a la galena (d) formada por pequeños cristales ($\leq 20 \mu\text{m}$) se presentan en oquedades de granates.

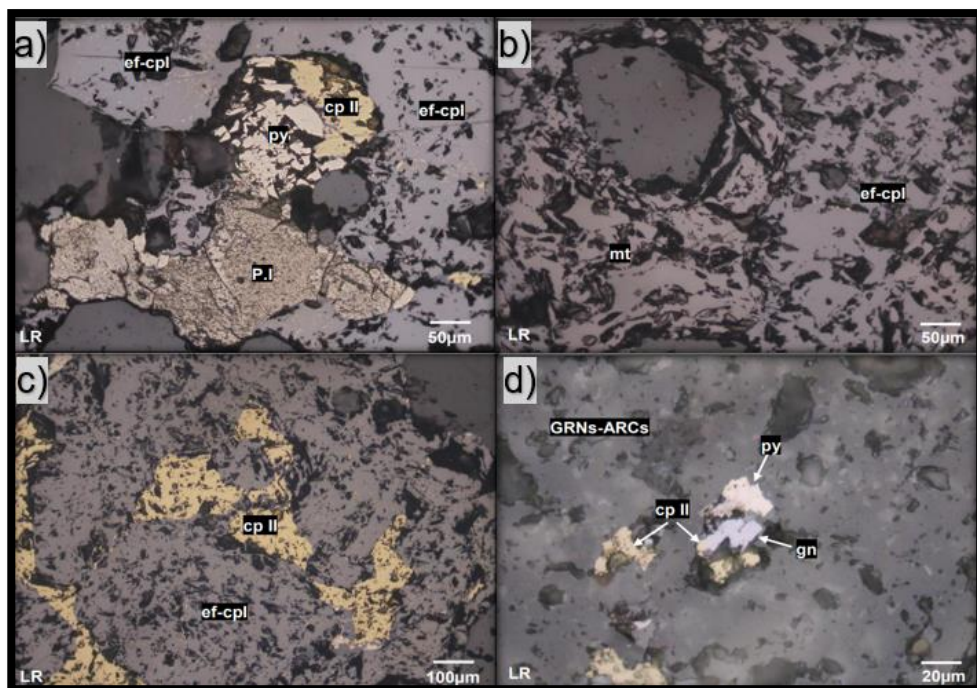


Figura 31 Fotomicrografía de cristales de sulfuros (Fuente Propia)

En la fig. 31 Fotomicrografía de: a) Cristales de pirita (py) que han sido reemplazados desde sus bordes por producto intermedio (P.I) y por esfalerita con finas disseminaciones de calcopirita I (ef-cpl). Posteriormente, han sido reemplazadas débilmente por calcopirita II (cp II); b) Cristales de magnetita (mt) que han sido reemplazados desde sus bordes por esfalerita con finas disseminaciones de calcopirita I (ef-cpl); c) Esfalerita que presenta finas disseminaciones de calcopirita I (ef-cpl). Ha sido reemplazada por calcopirita II (cp II) desde sus centros; d) Pequeños cristales de pirita (py), calcopirita II (cp II)

y galena (gn) presentes en quemaduras de los blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs).

Los óxidos de Cu-Fe en pequeños cristales con formas irregulares se presentan en microfracturas y bordes de producto intermedio y calcopirita II (Figura a), en cuanto a los cristales de covelita han reemplazado débilmente a cristales de pirita y esfalerita. La esfalerita presenta cristales de hasta 2300 μm siendo de mayor tamaño que la calcopirita II que se observaron cristales de dimensiones $\leq 1000 \mu\text{m}$.

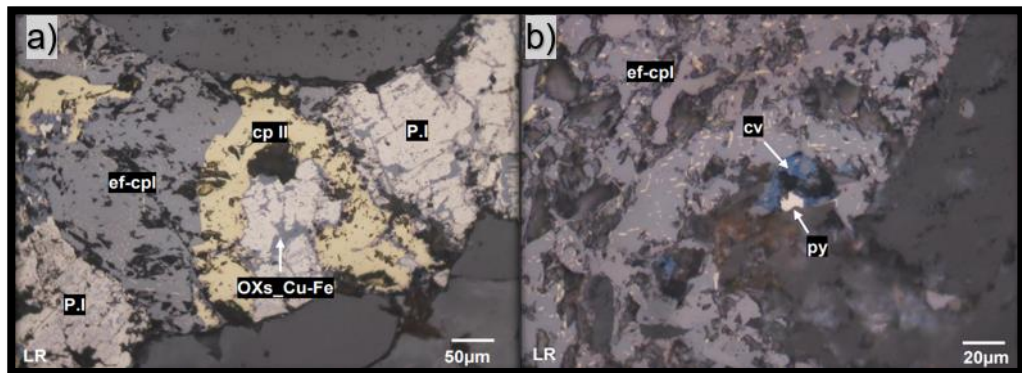


Figura 32 Cristales de producto intermedio que presentan óxidos de cobre y hierro (Fuente Propia)

En la fig. 32 Fotomicrografía de: a) Cristales de producto intermedio (P.I) que presentan óxidos de cobre y hierro (OXs_Cu-Fe) en sus microfracturas. Han sido reemplazados desde sus bordes por esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita I (ef-cpl). Posteriormente, han sido reemplazadas por calcopirita II (cp II); b) Cristales de esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita I (ef-cpl) con relictos de pirita (py). Posteriormente, han sido reemplazadas débilmente por covelita (cv) desde sus bordes.

Como se describió, esta muestra correspondiente a un skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita está asociada a minerales de alteración

retrógrada como arcillas y carbonatos. Los minerales de mena observados al microscopio corresponden a esfalerita, pirita, calcopirita, galena, covelita, goethita y magnetita.

3.6.3. Muestra 3

La muestra 3 es mármol skarnizado, siendo esta una roca metamórfica compacta de textura granoblástica y color gris claro, extraído de roca caja techo del manto mineralizado ubicado en la zona 1, presenta fracturas de 1 cm a 1.4 cm rellenas de granates, constituido además con abundante carbonatos y venillas delgadas rellenas por carbonatos, con escasas diseminaciones de pirita, además grado de efervescencia alta.

Microscópicamente la muestra 3 está compuesta por agregados de blastos de carbonatos I (74%) con escaso cuarzo I (traza), materia orgánica (1%), zircón (traza) y minerales opacos entre sus intersticios. Han sido invadidos (a manera de bandas) por agregados de blastos de granates (16%) (alterados por arcillas (3%)) y englobados por agregados de pequeños piroxenos (4%); con minerales opacos (1%), cuarzo II (traza) y anfíboles (traza) entre los intersticios de los granates. Posteriormente finas venillas de cuarzo III (traza) han cortado a los agregados de carbonatos I. Finalmente, venillas rellenas por carbonatos II (1%) han cortado a los agregados de blastos de carbonatos I, a las bandas de granates y a las venillas de cuarzo III.

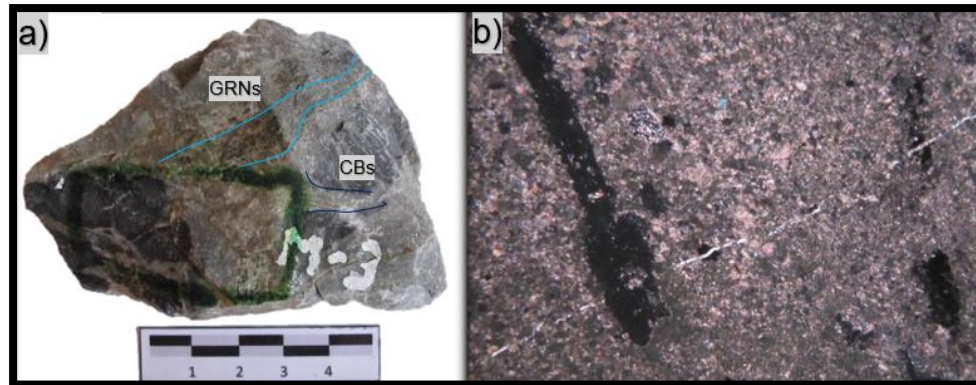


Figura 33 Roca metamórfica compacta caracterizada como marmol skarnizado. (Fuente Propia)

En la Fig. 33 a) Fotografía de roca metamórfica compacta caracterizada como marmol skarnizado; b) Microfotografía de marmol skarnizado de textura granoblástica.

Los carbonatos I se presentan como agregados de blastos con formas irregulares, con textura granoblástica, con ligeras impregnaciones de arcillas de aspecto terroso y polvoriento. Por sectores han invadido (a manera de bandas) por agregados de blastos de granates (alterados por arcillas) y englobados por agregados de pequeños piroxenos, Además, han ingresado a través de sus intersticios pequeños minerales opacos, estos últimos se encuentran como pequeños cristales de hábito cúbico y formas irregulares, también como finas diseminaciones en las bandas de los granates.

En cuanto a los carbonatos II se encuentran como agregados de cristales con formas irregulares. Se aprecian como relleno de venillas (con espesores menores a 400 micras), que han cortado a los agregados de blastos de carbonatos I (Fig. 34-b).

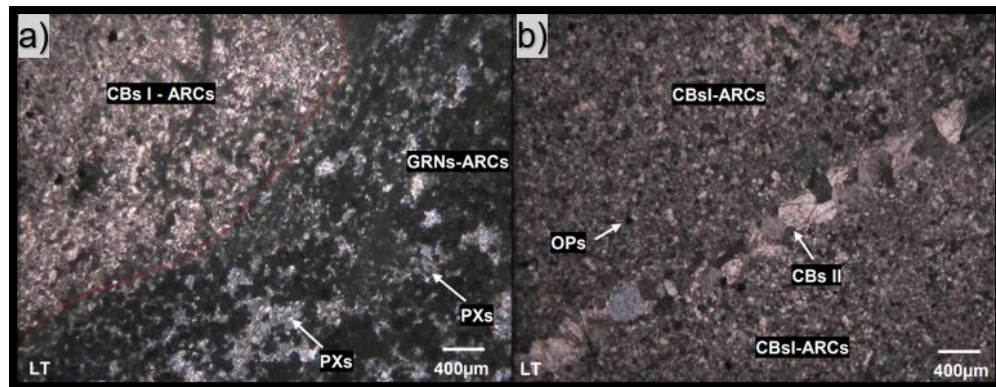


Figura 34 Agregados de blastos de carbonatos I con impregnaciones de arcillas (Fuente Propia)

En la fig. 34 Fotomicrografías de: a) Agregados de blastos de carbonatos I con impregnaciones de arcillas (CBsI-ARCs). Han sido invadidos por bandas de agregados de blastos de granates alterados por arcilla (GRNs-ARCs) y con pequeños piroxenos (PXs) que han ingresado por sus intersticios; b) Agregados de blastos de carbonatos I con impregnaciones de arcillas (CBsI-ARCs) y minerales opacos (OPs) entre sus intersticios. Han sido cortados por venillas rellenas por agregados de carbonatos II (CBs II).

Los cristales de formas irregulares de cuarzo III, se encuentran como relleno de finas venillas (con espesores menores a 30 micras), que han cortado a los agregados de blastos de carbonatos I y a algunos minerales opacos. (Fig.35-a) Posteriormente, han sido cortadas por venillas rellenas por carbonatos II; por otro lado, los anfíboles se presentan como agregados fibrosos que han ingresado a través de los intersticios entre los agregados de blastos de granates.

La materia orgánica es agregados microcristalinos de aspecto terroso. Se observan entre los intersticios de los agregados de blastos de carbonatos I.

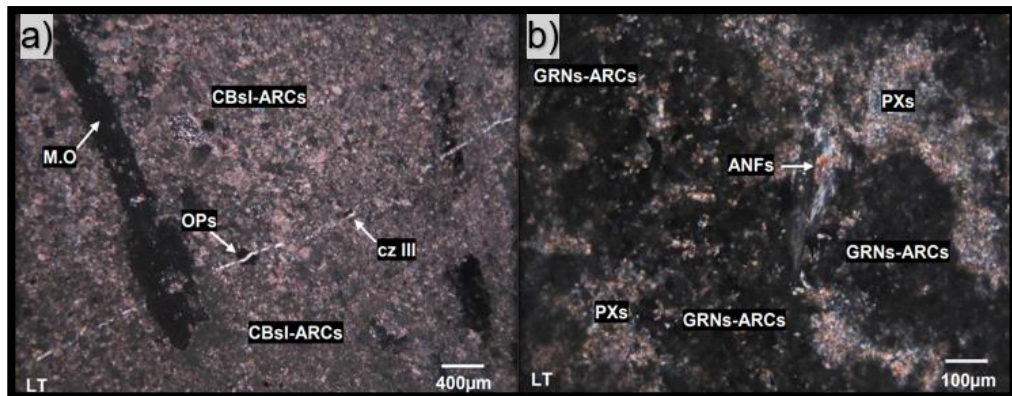


Figura 35. Carbonatos con impregnaciones de arcillas y minerales opacos (Fuente Propia)

En la fig. 35 Fotomicrografía de: a) Agregados de carbonatos I con impregnaciones de arcillas (CBs I-ARCs) y minerales opacos (OPs) entre sus intersticios. Han sido cortados por finas venillas rellenas por cuarzo III (cz III). Por sectores posible materia orgánica (M.O); b) Bandas formadas por agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs). Han sido invadidos y englobados por agregados de pequeños piroxenos (PXs) y agregados fibrosos de anfíboles (ANFs).

En cuanto al cuarzo I de manera de trazas con diminutos blastos con formas irregulares, están presentes entre los intersticios de los agregados de blastos de carbonatos I (Fig.36-b), así como también, el zircón con pequeños blastos en hábitos prismáticos (Fig. 36-c).

El cuarzo II ha ingresado por los intersticios entre los agregados de blastos de granates (Fig. 36-d) y es de mayor tamaño que el cuarzo I, alcanzado a las ≤ 200 μm .

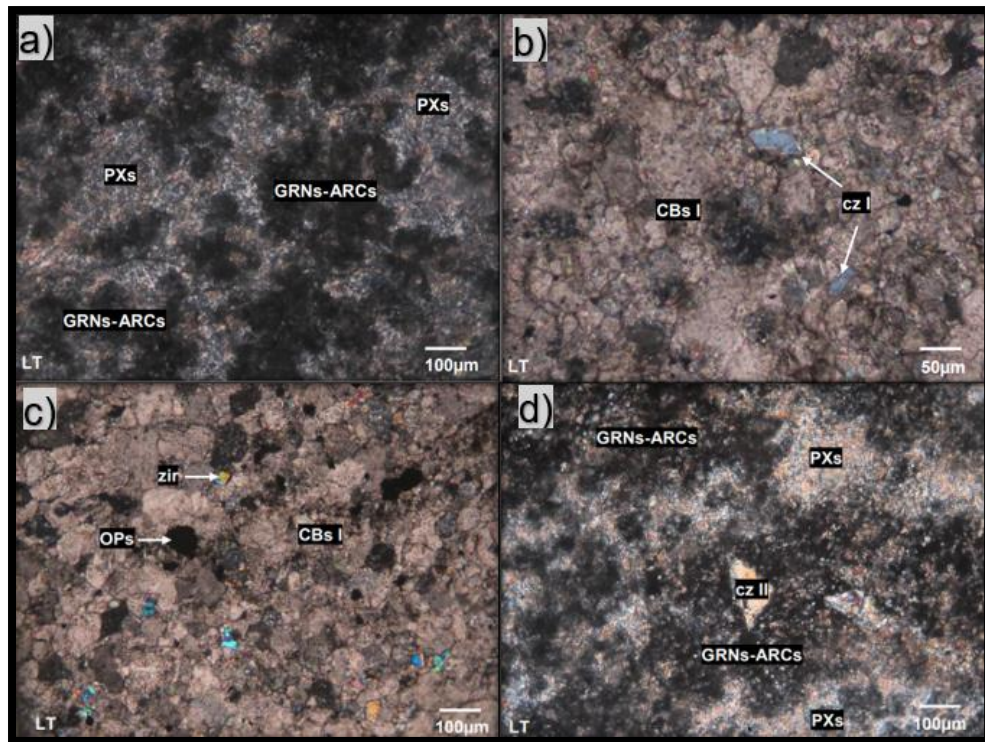


Figura 36. Granates alterados por arcillas y blastos de cuarzo I, II con minerales opacos y zircón. (Fuente Propia)

3.6.4. Muestra 4

Roca metamórfica compacta, de color gris oscuro y textura granoblástica, clasificada como pizarra moteada, extraída de la roca caja piso del manto mineralizado (zona 1), por sectores presenta venillas de aproximadamente de 1 mm con diseminaciones de piritita y cuarzo. No presenta efervescencia. Por sectores contiene pirrotita (magnetismo débil).

Microscópicamente está constituida por franjas con moldes de porfidoblastos de cordierita (alterados totalmente por sericita (7%), cuarzo III (3%) y goethita) englobados por agregados de pequeños blastos de cuarzo I (42%) con sericita, arcillas (1%) y albita (traza) intersticiales. Se aprecian otras franjas formadas por agregados de blastos de cuarzo II (35%) con sericita, arcillas, carbonatos (traza) y

epidota (1%) en sus intersticios. Con venas rellenas por agregados de blastos de cuarzo IV (4%), andalucita (1%), feldespatos potásicos (traza) y piroxenos (4%). Cristales de pirrotita (traza), pirita (0.5%), arsenopirita (traza), producto intermedio (1%), esfalerita (traza) (con finas diseminaciones de calcopirita I (traza)) y calcopirita II (traza) han ingresado por los intersticios de los blastos de cuarzo (I, II y IV). Cloritas (traza) y goethita (0.5%) han ingresado por los intersticios de los blastos de cuarzo (I y II).

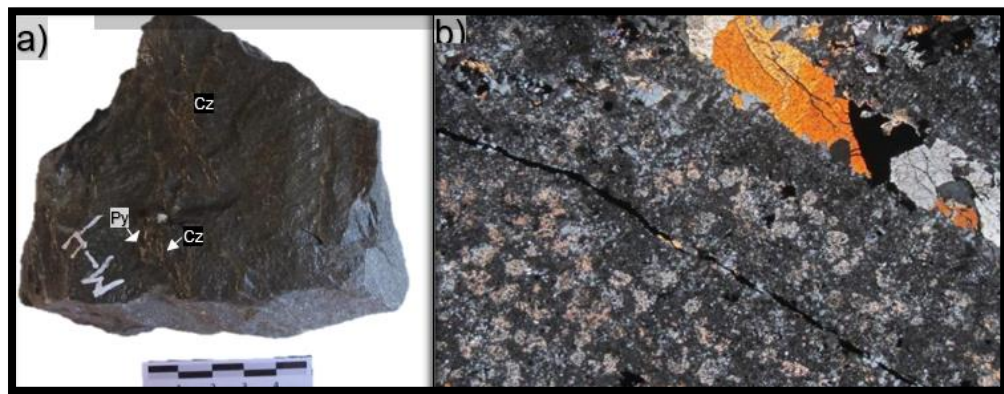


Figura 37 . a) Fotografía de pizarra moteada. (Fuente Propia)

En la Fig. 37 a) Fotografía de pizarra moteada con presencia de cuarzo (cz) rellenando venillas y pirita (py) diseminada; b) Fotomicrografía de pizarra moteada, de textura porfidoblástica.

Microscópicamente los agregados de pequeños blastos de cuarzo I con formas irregulares y contactos suturados; se presentan a manera de franjas, con sericita y arcillas intersticiales. Han englobado a los moldes de posibles porfidoblastos de cordierita totalmente alterados a pinnita, mientras que el cuarzo III que se aprecian junto con sericita y goethita, han alterado completamente a moldes de posibles porfidoblastos de cordierita (Fig. 38-a). Se observa, además, carbonatos que han

ingresado como relleno de espacios vacíos entre los agregados de blastos de cuarzo I (Fig.38 -b).

En relación con la composición de la muestra M4 se tiene diferentes mineralizaciones de cuarzo que se observan en las siguientes y posteriores fotomicrografías, con mayor abundancia se encuentra cuarzo I con 42 % y con medidas de hasta ≤ 100 micras, en cuanto al cuarzo II tiene porcentajes de 35% con medidas ≤ 400 micras, mientras que el cuarzo III y IV se encuentra con proporciones menores con 3% y 4% y tamaño de ≤ 10 y ≤ 750 micras respectivamente.

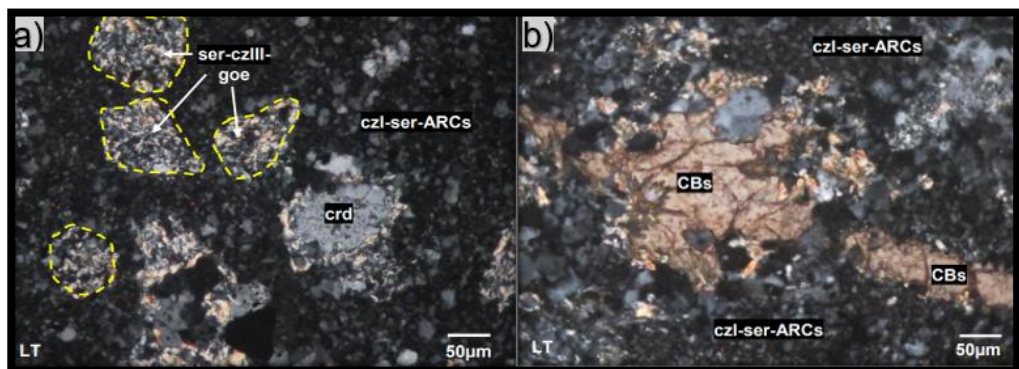


Figura 38 Cristales de cordierita y carbonatos. (Fuente Propia)

La albita encontrada como trazas, con blastos con formas irregulares han ingresado como relleno de espacios vacíos entre los agregados de pequeños blastos de cuarzo I (Fig.39-a); mientras que la epidota se encuentra como blastos tabulares a irregulares que han ingresado a través de los intersticios entre los agregados de blastos de cuarzo II.

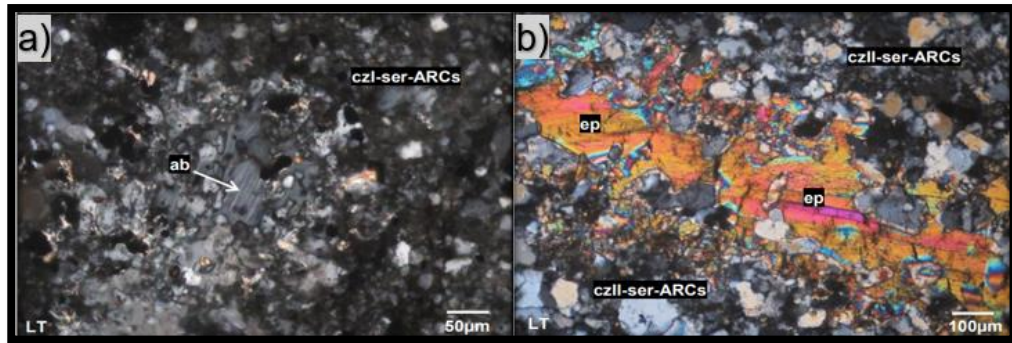


Figura 39 a) Franjas formadas por agregados pequeños blastos de cuarzo (Fuente Propia)

En la fig. 39 a) Franjas formadas por agregados pequeños blastos de cuarzo I con sericita y arcillas en sus intersticios (czI-ser-ARCs). Posteriormente blastos de albita (ab) que han ingresado rellando espacios vacíos (Luz transmitida); b) Franjas formadas por agregados de blastos de cuarzo II de tamaños mayores con sericita y arcilla en sus intersticios (czII-ser-ARCs). Posteriormente blastos de epidota (ep que han ingresado a través de sus intersticios. (Luz transmitida).

La andalucita se presenta en formas irregulares que han ingresado como relleno de venas, similar a la pirita y producto intermedio, siendo ambos cristales de formas irregulares que han ingresado por los intersticios y como relleno de fracturas de los agregados de blastos de cuarzo I (Fig. 40).

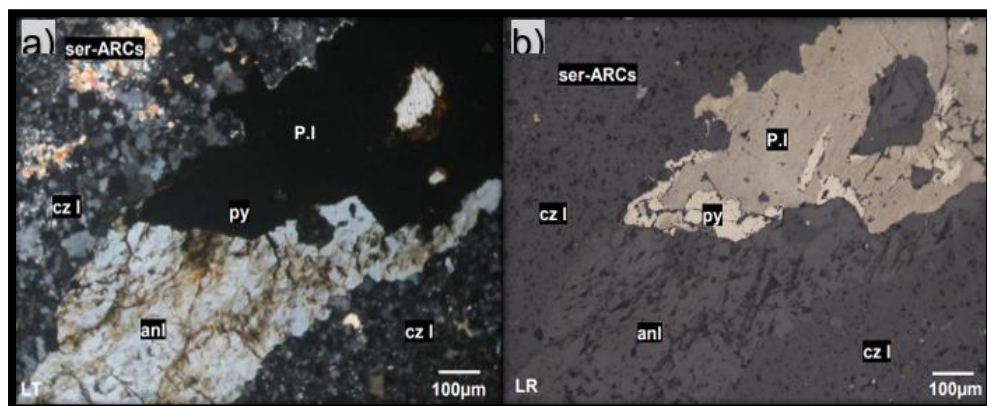


Figura 40 Fotomicrografía de franjas formadas por agregados de pequeños blastos de cuarzo (Fuente Propia)

En la fig. 40 Fotomicrografía de franjas formadas por agregados de pequeños blastos de cuarzo I (cz I) con sericita y arcillas en sus intersticios (ser-ARCs). Venas rellenas por andalucita (anl) con pirita (py) y producto intermedio (P.I). Este último ha reemplazado a la pirita; a) Luz transmitida; b) Luz reflejada.

Los piroxenos microscópicamente se observan como blastos de formas irregulares a tabulares que han ingresado como relleno de venas, siendo uno de los minerales que presenta mayor tamaño llegando a 4000 micras al igual que producto intermedio.

Por otro lado, la calcopirita I se encuentra en manera de trazas y con diminutos cristales con formas irregulares a subredondeados, se presentan como finas disseminaciones en esfalerita.

Mientras que los cristales irregulares de calcopirita II han ingresado por los intersticios de los agregados de blastos de cuarzo I y reemplazado a esfalerita desde sus bordes. Además, se aprecian en las venas, intersticiales a los blastos de piroxenos, a diferencia de la calcopirita I ($\leq 10 \mu\text{m}$), presenta un tamaño superior a esta, llegando hasta a 700 micras, superando.

La sericita se exhibe como agregados micro escamosos que, al igual, que las arcillas se presentan entre los intersticios de los agregados de blastos de cuarzo I.

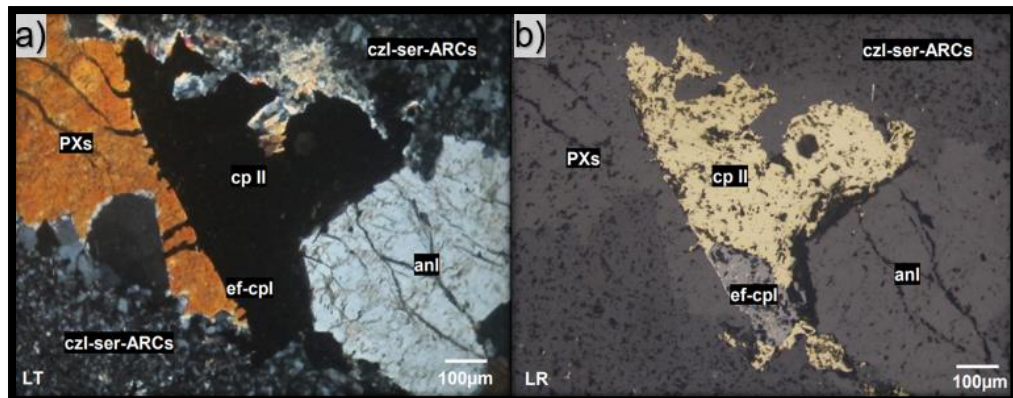


Figura 41 Franjas formadas por agregados de cuarzo I con sericita y arcillas. (Fuente Propia)

En la Fig. 41 Fotomicrografía de franjas formadas por agregados de pequeños blastos de cuarzo I con sericita y arcillas en sus intersticios (czi-ser-ARCs). Con venas rellenas por andalucita (anl), piroxenos (PXs) calcopirita II (cpII) y esfalerita con finas diseminaciones de calcopirita I (ef-cpl). a) Luz transmitida; b) Luz reflejada

Los cristales de arsenopirita presentan formas irregulares que han ingresado por los intersticios y oquedades de los blastos de andalucita y feldespato potásico, así como también han ingresado a través de los intersticios entre los blastos de cuarzo I; mientras que los feldespatos potásicos con blastos irregulares han ingresado como relleno de venas (Fig.42), junto con andalucita y piroxenos

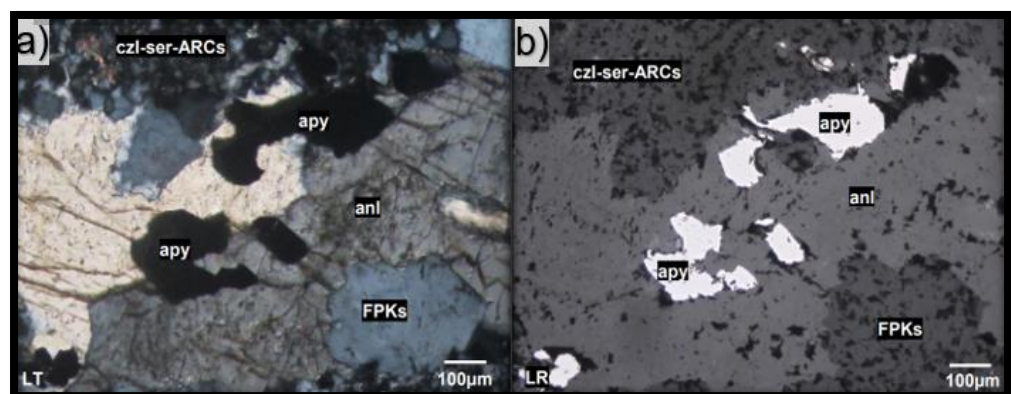


Figura 42 Venas rellenas por andalucita, feldespatos potásicos y arsenopirita (Fuente Propia)

En la fig. 42 Fotomicrografía de franjas formadas por agregados de pequeños blastos de cuarzo I con sericita y arcillas en sus intersticios (czI-serARCs). Con venas rellenas por andalucita (anl), feldespatos potásicos (FPKs) y arsenopirita (apy). a) Luz transmitida; b) Luz reflejada.

La pirrotita exhibe cristales con formas s irregulares que han ingresado a través de los intersticios entre los agregados de blastos de cuarzo I. Han sido reemplazadas por piritita, esfalerita y calcopirita II.

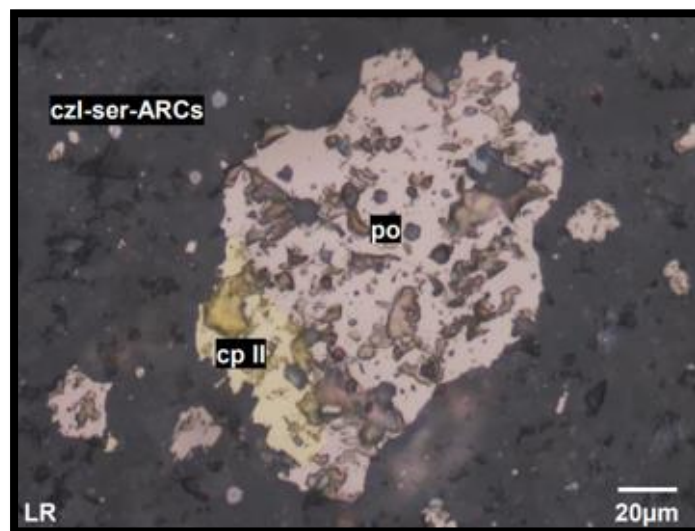


Figura 43 Fotomicrografía de cristales de pirrotita (po) (Fuente Propia)

Fotomicrografía de cristales de pirrotita (po) que han sido reemplazados desde sus bordes por calcopirita II (cp II). Han ingresado a través de los intersticios de los agregados de pequeños blastos de cuarzo I con sericita y arcillas intersticiales (czI-ser-ARCs).

3.6.5. Muestra 5

Esta muestra extraída de la zona 2 de la presente investigación, corresponde a una roca metamórfica compacta, de color verde amarillento, con textura granoblastica. Definida como un skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita y carbonatos, compuesta principalmente por blastos de granates y piroxenos de la

fase prógrada., calcita de manera intersticial y anfíboles de tamaño aproximadamente de 1.5 mm. En cuanto a la mineralización metálica predomina el cobre como bornita.

Microscópicamente está compuesta principalmente por agregados de blastos de granates (44%) (alterados por arcillas (1%) y carbonatos) que han englobado a blastos de piroxenos I (5%). Posteriormente han sido invadidos por blastos de piroxenos II (4%), vesuvianita (2%) y anfíboles (38%) que han ingresado a través de sus intersticios. Pequeños cristales de pirita (traza), cubanita (traza) y calcopirita II (traza) como relictos en bornita (1.5%) y calcosina (traza). También, se observan cristales de esfalerita (0.5%) con finas disseminaciones de calcopirita I (traza). Además, cristales de digenita (traza), calcosina y covelita (traza) que han reemplazado a la esfalerita, calcopirita II y bornita. Finalmente, carbonatos (4%) que ocurren como relleno de espacios vacíos.

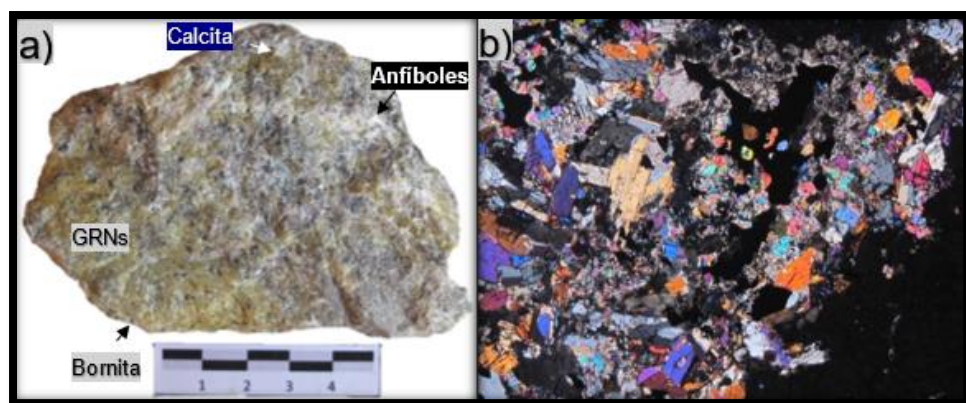


Figura 44 skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita y carbonatos.
(Fuente Propia)

En la fig. 44 a) Fotografía de un skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita y carbonatos de la zona 2, con presencia de anfíboles,

carbonatos, granates y disseminaciones de bornita; b) Fotomicrografía de un skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita y carbonatos.

En la muestra de la zona 2 se observa microscópicamente blastos con formas tabulares a irregulares de anfíboles, han ingresado cortando y a través de los intersticios de los blastos de granates, además, han sido alterados incipientemente por arcillas. Estos anfíboles corresponden a uno de los principales componentes de la muestra con un 38%.

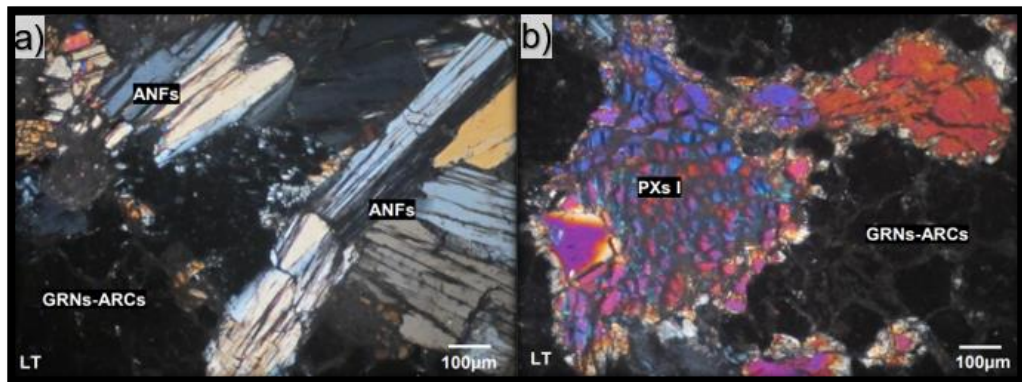


Figura 45 Cristales tabulares de anfíboles (ANFs) que han cortado e (Fuente Propia)

Fotomicrografías de: a) Cristales tabulares de anfíboles (ANFs) que han cortado e invadido a los agregados de blastos de granates alterados incipientemente por arcillas (GRNs-ARCs) (Luz transmitida); b) Blastos de piroxenos I (PXs I) que han sido englobados por agregados de blastos de granates alterados incipientemente por arcillas (GRNs-ARCs) (Luz transmitida).

Los blastos de vesuvianita con formas irregulares han ingresado por las fracturas e intersticios de los blastos de granates, han sido alterados débilmente por carbonatos y además presentan cristales de bornita en sus oquedades.

Mientras que los agregados de blastos de carbonatos con formas irregulares han ingresado relleno de espacios vacíos, por sectores se hallan en fracturas. Además, han englobado a algunos cristales de bornita (Fig. 46-a), presenta cristales de gran tamaño llegando a las 4000 micras.

Entre los minerales de cobre de interés presentes de en estas secciones se encuentra sulfuros de cobre y hierro como bornita y cubanita, mientras que como sulfuro de cobre la calcosina-

La cubanita es conformada por pequeños cristales con formas irregulares que se aprecian como relictos en algunos cristales de bornita y calcosina; esta última se observa de manera de trazas como cristales con formas irregulares reemplazando a bornita a partir de sus centros y bordes (Fig.46-b).

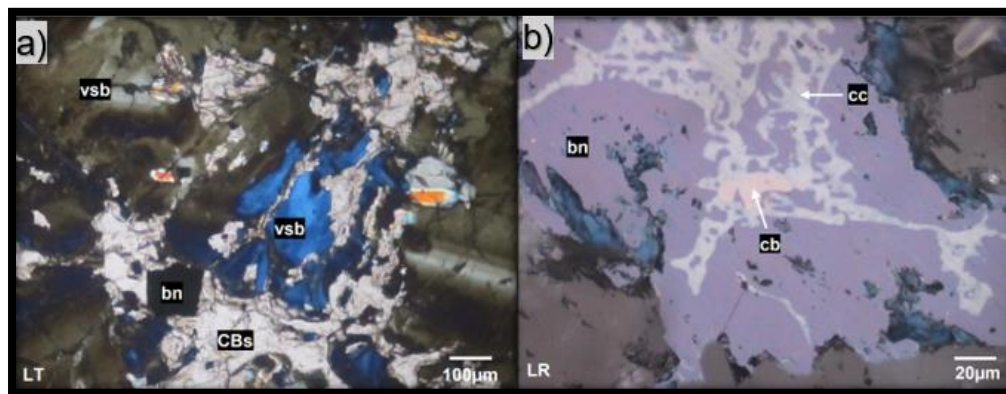


Figura 46 Agregados de blastos de vesuvianita, bornita y calcopirita. (Fuente Propia)

Fotomicrografía de: a) Agregados de blastos de vesuvianita (vsb) que han sido alterados por carbonatos (CBs). Estos últimos han englobado a cristales de bornita (bn) (Luz transmitida); b) Cristales de bornita (bn) con relictos de cubanita (cb). Han sido reemplazados por calcosina (cc) a partir de sus centros y fracturas. (Luz reflejada).

En cuanto a los piroxenos II se presenta como blastos con formas irregulares y de menor tamaño a los piroxenos I. Se aprecia alterados y englobados por los agregados de carbonatos; la bornita con sus cristales con formas irregulares ha ingresado por los intersticios y oquedades de los blastos de piroxenos II y anfíboles, además han sido reemplazadas por calcosina.

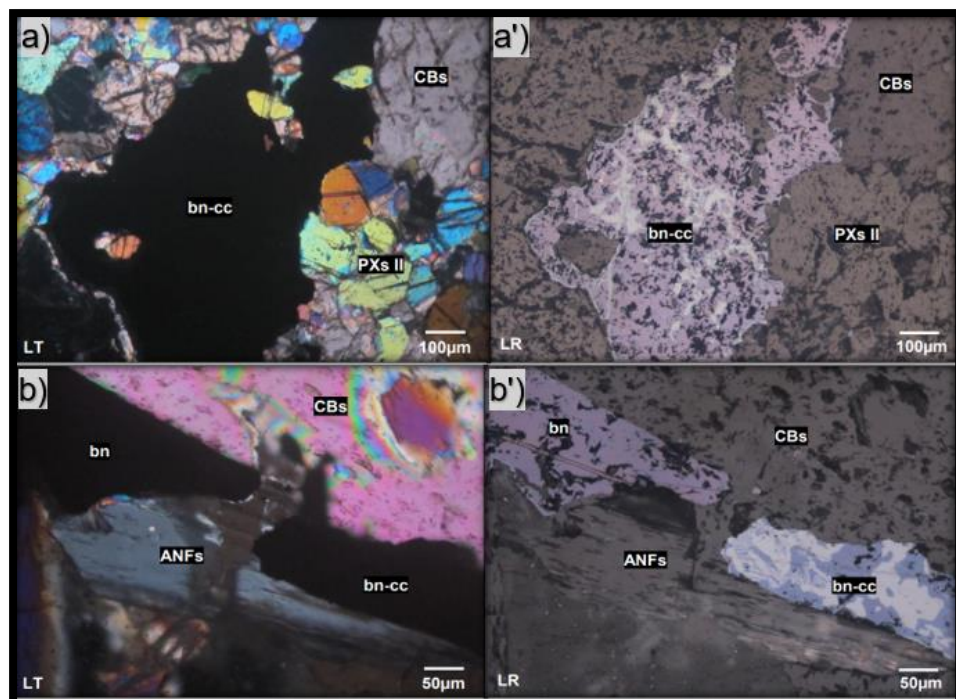


Figura 47 Cristales de bornita reemplazados por calcosita (bn-cc). (Fuente Propia)

En la fig. 47 Fotomicrografía de: a) cristales de bornita reemplazados por calcosita (bn-cc) que han ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de piroxenos II (PXs II). Posteriormente, han ingresado carbonatos (CBs) como relleno de espacios vacíos. a) Luz transmitida; a') Luz reflejada; b) cristales de bornita reemplazados por calcosita (bn-cc) que han cortado a los cristales de anfíboles (ANFs). Posteriormente, han ingresado carbonatos (CBs) como relleno de espacios vacíos. b) Luz transmitida; b') Luz reflejada.

Los piroxenos I presentan cristales de bornita en sus oquedades, mientras que la pirita con formas irregulares se encuentra a manera de relictos en algunos cristales de bornita. (Fig.48-a)

La digenita con pequeños cristales han reemplazado débilmente a esfalerita y bornita a partir de sus bordes y microfracturas. Por otro lado, los cristales irregulares de esfalerita han ingresado a través de los intersticios y oquedades de los blastos de piroxenos II, presentando, además, finas disseminaciones de diminutos cristales de calcopirita I. La covelita con pequeños cristales no mayor a 30 micras ha reemplazado débilmente a cristales de esfalerita a partir de sus centros y bordes (Fig.48 -b), además de calcopirita II, bornita y digenita.

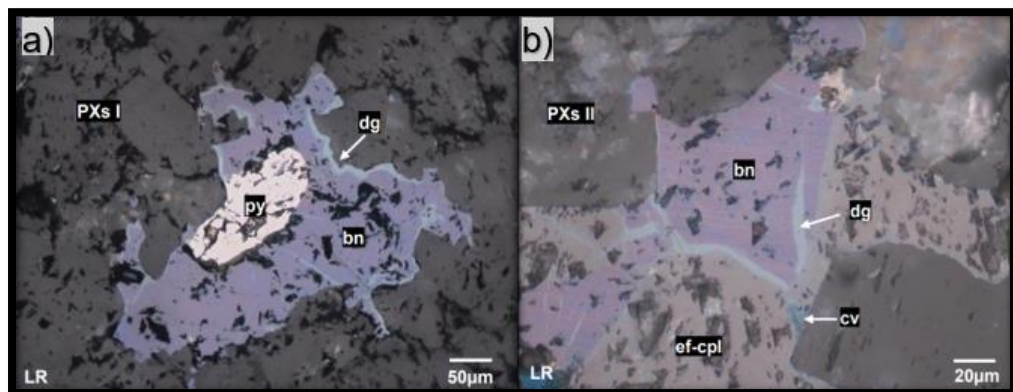


Figura 48 Cristales de pirita que han sido reemplazados por bornita (bn) (Fuente Propia)

En la Fig. 48 Fotomicrografía de: a) Cristales de pirita (py) que han sido reemplazados por bornita (bn) desde sus bordes, en ocasiones englobándola. Posteriormente, la bornita ha sido reemplazada por digenita (dg) desde sus bordes. Han ingresado cortando a los blastos de piroxenos I (PXs I); b) Cristales de esfalerita con finas disseminaciones de calcopirita I (ef-cpl) que han sido

reemplazados por bornita (bn) a partir de sus bordes. Posteriormente, ambas han sido reemplazadas por digenita (dg) y covelita (cv).

La calcopirita II con sus pequeños cristales se observan a manera de relictos en borde de algunos cristales de bornita (Fig. 49), calcosina y covelita.

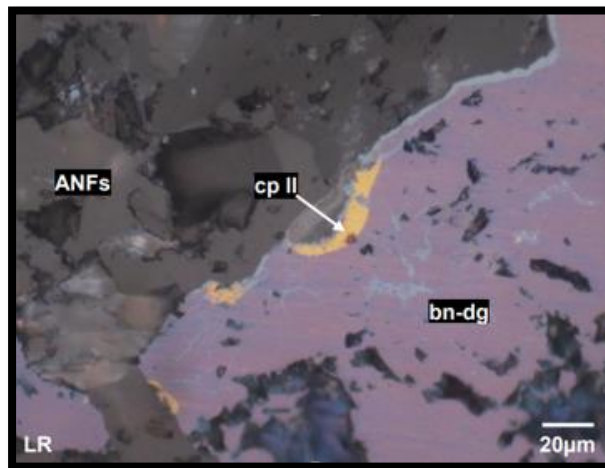


Figura 49 . cristales de calcopirita II (Fuente Propia)

En la fig. 49 Microfotografía de cristales de calcopirita II (cp II) como relictos en bordes de bornita (bn). Posteriormente, reemplazada por digenita (dg) desde sus bordes y centros. Han ingresado a través de los intersticios de los blastos de anfíboles (ANFs).

3.6.6. Muestra 6

Esta muestra obtenida de la zona 2, es clasificada como un skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles y cuarzo, está compuesta por abundantes granates, óxidos de manganeso y fierro. La mineralización de cobre está en silicato como es la crisocola, en cuanto a los óxidos de fierro se encuentra hematita y limonita.

Microscópicamente presenta principalmente agregados de blastos de granates (84%) que han englobado a piroxenos (7%); han sido cortados e invadidos por

blastos de andalucita (1%), anfíboles (3%) y cuarzo (1%). Agregados de arcillas (traza) han alterado débilmente a los blastos de granates, piroxenos, andalucita y anfíboles. También, han ingresado a través de sus intersticios y fracturas agregados de calcedonia (0.5%) y sílice (0.5%) que luego han sido invadidos por agregados de crisocola (1%). Además, agregados de goethita (1%) y óxidos de Cu-Fe (1%) han ingresado por los intersticios de los agregados de blastos de granates. Así mismo, se aprecian pequeños cristales de calcopirita II (traza) que posteriormente han sido reemplazados por bornita (traza) y covelita (traza).

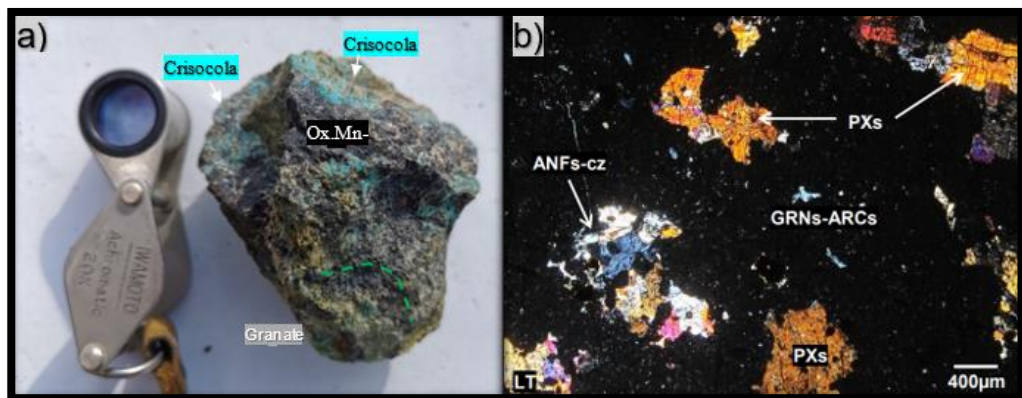


Figura 50 Skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles y cuarzo; (Fuente Propia)

En la fig. 50 a) Fotografía de roca metamórfica compacta extraída de la zona 2, clasificada como skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles y cuarzo; b) Fotomicrografía de skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles y cuarzo, agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNsARCs), han englobado a blastos fracturados de piroxenos (PXs). Posteriormente han sido cortados e invadidos por agregados de blastos de anfíboles y cuarzo (ANFs-cz). Esta roca metamórfica compacta de color gris a pardo verdoso y con textura granoblástica presenta granates que se encuentran en agregados de blastos con

formas irregulares, contactos suturados y fracturados; débilmente alterados por arcillas desde sus centros. Han sido cortados e invadidos por blastos de andalucita, cuarzo y anfíboles; este último (anfíboles) presenta blastos de hábitos prismáticos cortos a irregulares; alterados débilmente por arcillas con dimensiones no mayores a 500 micras, también invadidas por blastos de cuarzo. (Fig. 51). La andalucita se encuentra fracturada y alterada por arcillas.

Los agregados de blastos de granates están representados con el 84% de la composición de la muestra M6, con tamaños no mayor a 2400 micras, mientras que la andalucita y cuarzo se puede encontrar cristales de hasta 1300 y 1100 micras respectivamente.

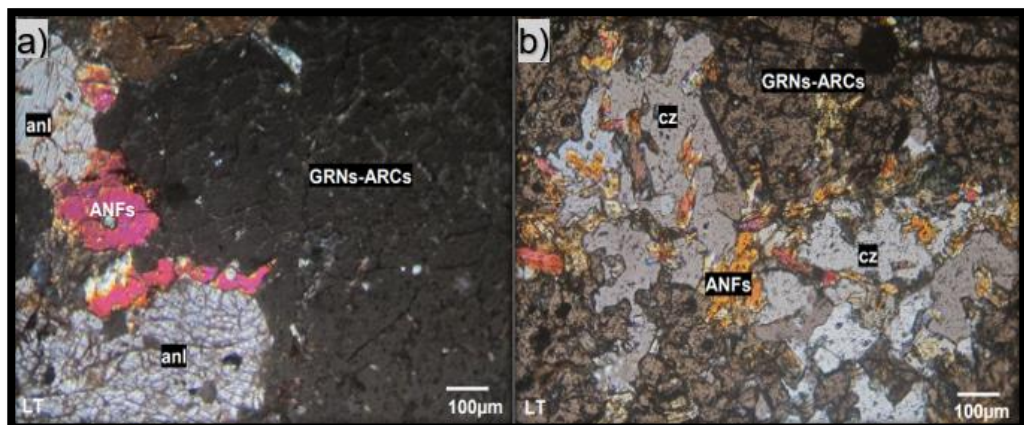


Figura 51 Blastos de granates alterados por arcillas (Fuente Propia)

En la fig.51 a) Fotomicrografía de agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNsARCs) que han sido cortados e invadidos por blastos de andalucita (anl) y posteriormente por anfíboles (ANFs) (Luz transmitida); b) Agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNsARCs) que han sido invadidos por blastos de anfíboles (ANFs) y cuarzo (cz) que han ingresado a través de sus intersticios. (Luz transmitida).

Las arcillas que se encuentran en trazas se observan como agregados criptocristalinos a terrosos que han alterado débilmente a los blastos de granates; mientras que la sílice ha ingresado junto a calcedonia a través de los intersticios y fracturas de los granates, que posteriormente han sido invadidos por agregados fibrosos de crisocola.

Los anfíboles han cortado e invadido a los agregados de blastos de granates, posteriormente, han sido cortados e invadidos por crisocola.

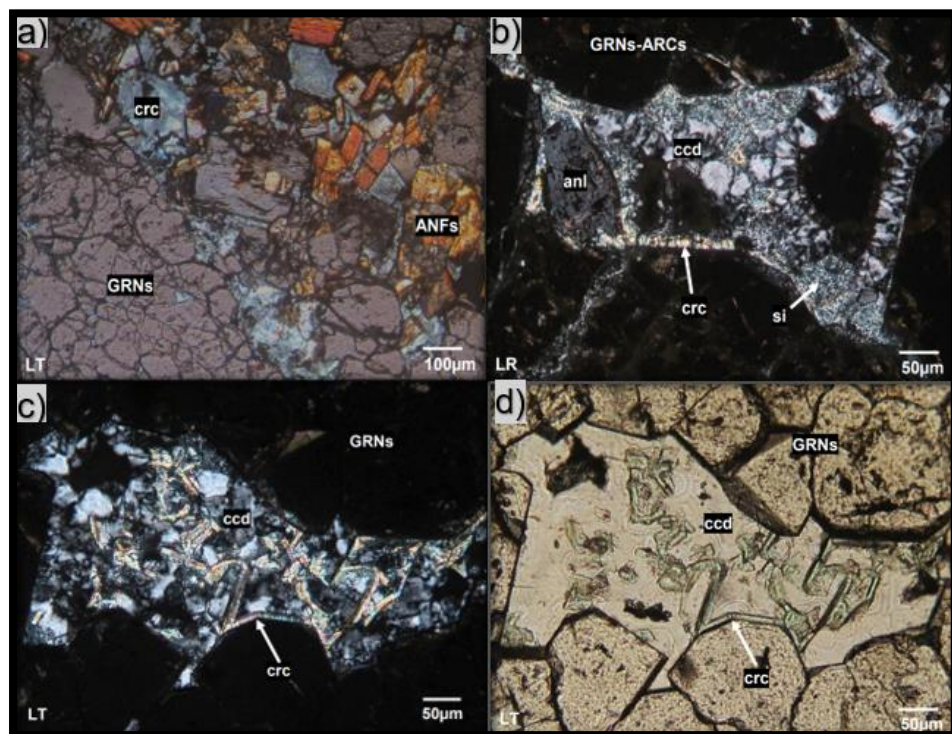


Figura 52 Agregados de blastos de granates) y anfíboles (*Fuente Propia*)

En la fig. 52 Fotomicrografía de: a) Agregados de blastos de granates (GRNs) que han sido invadidos a través de sus intersticios por blastos de anfíboles (ANFs) y agregados de crisocola (crc) (Luz transmitida); b) Agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNsARCs) que han sido invadidos por blastos de andalucita (anl), agregados fibrosos de calcedonia (ccd) y criptocristalinos de

sílice (si). Posteriormente cortados por agregados fibrosos de crisocola (crc) (Luz reflejada); c) y d) Agregados fibrosos de calcedonia (ccd) que han ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates (GRNs). Han sido cortados por agregados fibrosos de crisocola (crc); c) (Nicoles cruzados); d) (Nicoles paralelos).

La mineralización metálica está incluida principalmente en las fracturas e intersticios entre los agregados de blastos de granates, la calcopirita se presenta en manera de relictos con pequeños cristales con formas irregulares, esta ha sido reemplazada por pequeños cristales bornita y covelita (Fig. 54-a); además la bornita también ha sido reemplazada posteriormente por covelita.

La goethita se observa como agregados irregulares a coliformes, reemplazando a cristales de calcopirita, en cuanto a los óxidos de cobre se encuentran como agregados terrosos que han ingresado por los intersticios de los granates invadiendo a los agregados de goethita.

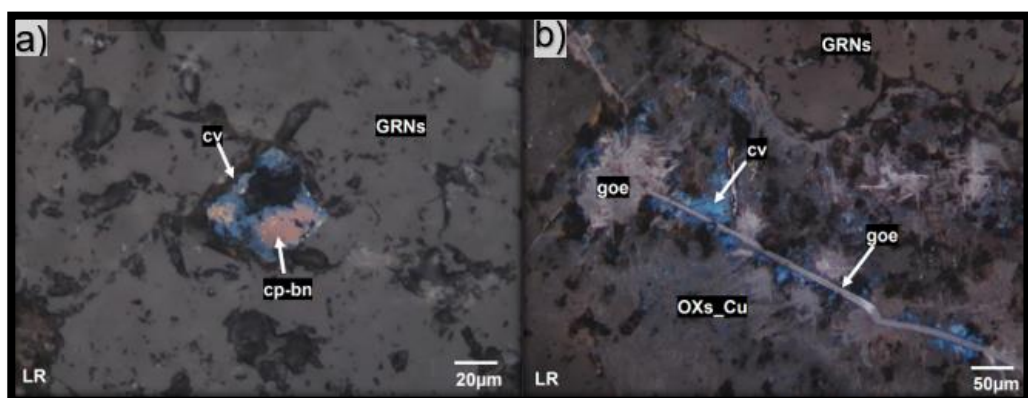


Figura 53 Cristales de bornita con relictos de calcopirita (cp-bn) que han sido reemplazados por covelita (cv) (Fuente Propia)

En la fig. 53 fotomicrografía de: a) Cristales de bornita con relictos de calcopirita (cp-bn) que han sido reemplazados por covelita (cv) desde sus bordes. Ocurren en

oquedades de blastos de granates (GRNs) (Luz reflejada); b) Cristales de covelita (cv) que han sido invadidos y englobados por agregados de goethita (goe) y óxidos de cobre (OXs_Cu). Se observan en intersticios de los blastos de granates (GRNs). (Luz reflejada).

Entre los agregados de blastos de formas irregulares y fracturados de granates se aprecian minerales retrógrados como agregados de crisocola y goethita que han ingresado a través de sus fracturas e intersticios.

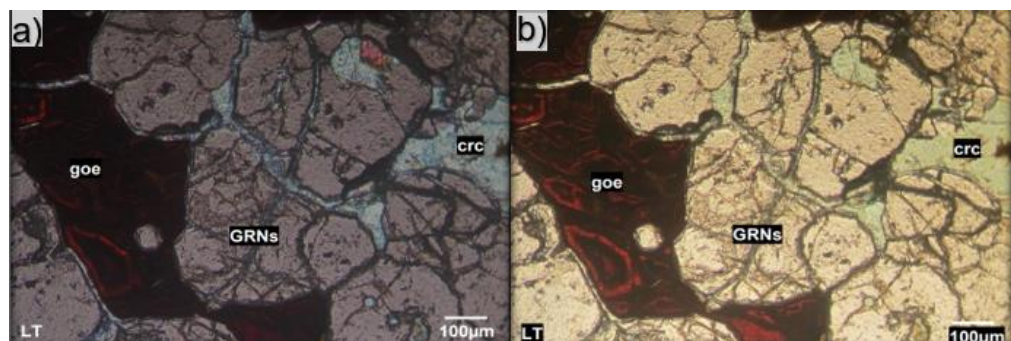


Figura 54) Agregados de goethita (goe) y crisocola (crc) (Fuente Propia)

En la fig. 54 fotomicrografía de: a y b) Agregados de goethita (goe) y crisocola (crc) que han ingresado por los intersticios y fracturas de los agregados de blastos de granates (GRNs); a) Nícoles cruzados; b) Nícoles paralelos.

En la zona 2 de esta presenta investigación se evidencia claramente mineralización de crisocola y óxidos de Cu-Fe siendo cada una de estas el 1% de la composición de esta muestra, mientras que los minerales que contienen cobre se encuentran en trazas como calcopirita, bornita y covelita.

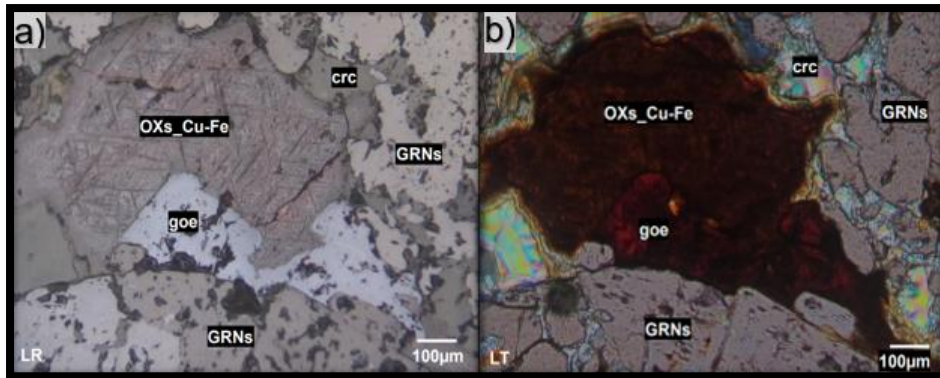


Figura 55 goethita (goe), crisocola (crc) y óxidos de Cu-Fe (OXs_Cu-Fe). (Fuente Propia)

En la fig. 55 fotomicrografía de agregados de goethita (goe), crisocola (crc) y óxidos de Cu-Fe (OXs_Cu-Fe) que han ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates (GRNs). a) Luz reflejada; b) Luz transmitida

3.6.7. Muestra 7

Roca metamórfica compacta, de color pardo amarillento a verdoso, con textura granoblástica. Clasificada como un skarn de granates y piroxenos retrogradado a carbonatos. Está compuesta principalmente de granates que oblitera el protolito de la roca, en la mineralización de interés de cobre se tiene crisocola, en pequeñas cantidades calcopirita y pirita. La calcita se encuentra cristalizada sobre los granates.

Microscópicamente presenta blastos de piroxenos (6%) englobados por agregados de blastos de granates (40%); ambos alterados por arcillas (3%). Los agregados de blastos de carbonatos (47%) han ingresado a través de los intersticios entre los blastos de granates; englobando a blastos de piroxenos, cuarzo (traza) y cristales de magnetita (traza) (reemplazada por hematita (traza)), pirrotita (traza) y calcopirita II (traza). La arsenopirita (traza) y bornita son escasas y se aprecian en

oquedades de granates. La bornita (traza) ha sido reemplazada por digenita (traza) desde sus bordes. Agregados de crisocola (traza) han ingresado por intersticios de los granates reemplazando a blastos de carbonatos. Finalmente, la goethita (4%) ha ingresado por los intersticios entre los carbonatos reemplazando intensamente a los cristales de calcopirita II (quedando a manera de relictos).

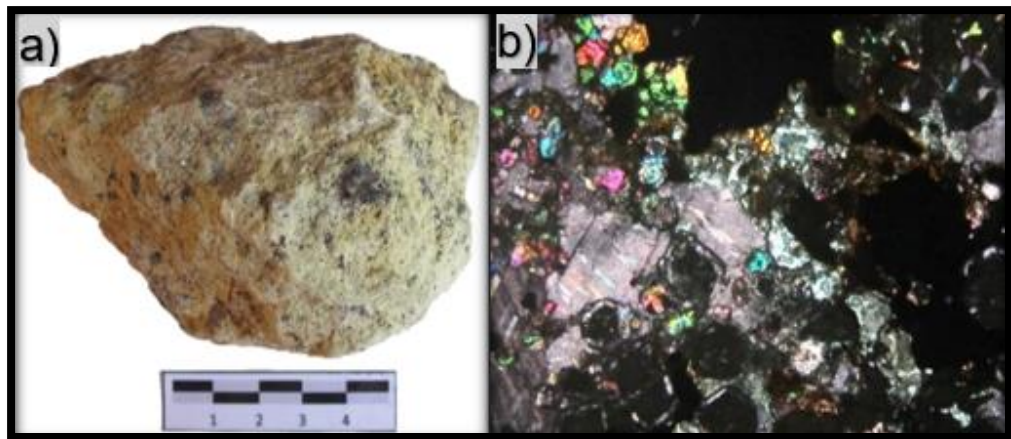


Figura 56 . Skarn de granates y piroxenos retrogradado a carbonatos (*Fuente Propia*)

En la fig. 56 Fotografía de skarn de granates y piroxenos retrogradado a carbonatos, se observa mineralización de granates y calcita; b) Skarn de granates y piroxenos retrogradado a carbonatos.

Como principal mineralización entre los minerales prógrados se tiene a los granates como agregados de blastos con formas irregulares, zonados y fracturados, han sido alterados por arcillas desde sus centros. Además, han englobado a piroxenos y han sido invadidos a través de sus intersticios por agregados de carbonatos.

Los piroxenos se presentan como blastos de hábitos prismáticos y radiales a formas irregulares y se encuentran como relictos entre los agregados de blastos de granates, han sido englobados por los agregados de blastos de carbonatos que han

ingresado a través de sus intersticios. Los carbonatos con un 47% de composición de la muestra tienen tamaños considerables llegando a las 6000 micras, Las arcillas se observan como agregados criptocristalinos de aspecto terroso que han alterado a los agregados de blastos de piroxenos y granates. Por sectores presentan impregnaciones de goethita.

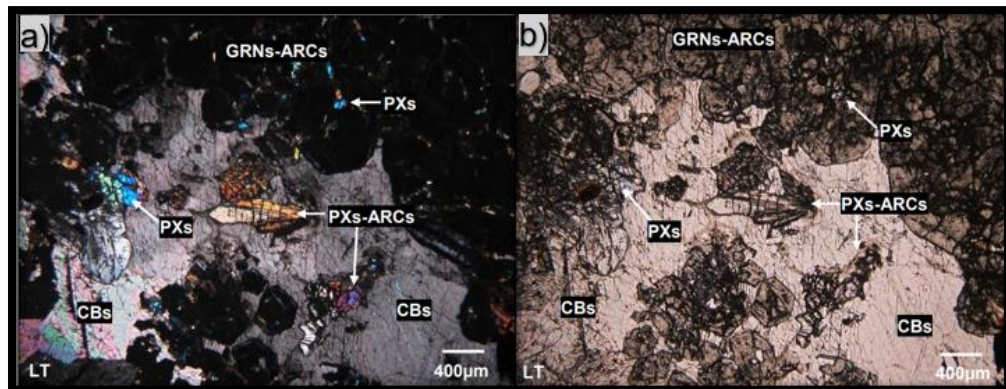


Figura 57 granates alterados por arcillas y con relictos de piroxenos (Fuente Propia)

En la fig. 56 Fotomicrografía de agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNsARCs) y con relictos de piroxenos (PXs). A través de sus intersticios han ingresado agregados de carbonatos (CBs) que han englobado a blastos de piroxenos alterados por arcillas (PXs-ARCs). a) Nícoles cruzados; b) Nícoles paralelos.

La crisocola que se encuentra en trazas presenta agregados fibrosos a radiales que han ingresado a través de los intersticios entre los agregados de blastos de granates; mientras que la calcopirita con sus cristales con formas irregulares ha sido intensamente reemplazada por goethita desde sus bordes, mostrándose a manera de relictos. (Fig. 57). Por sectores se encuentran englobadas por los agregados de blastos de carbonatos.

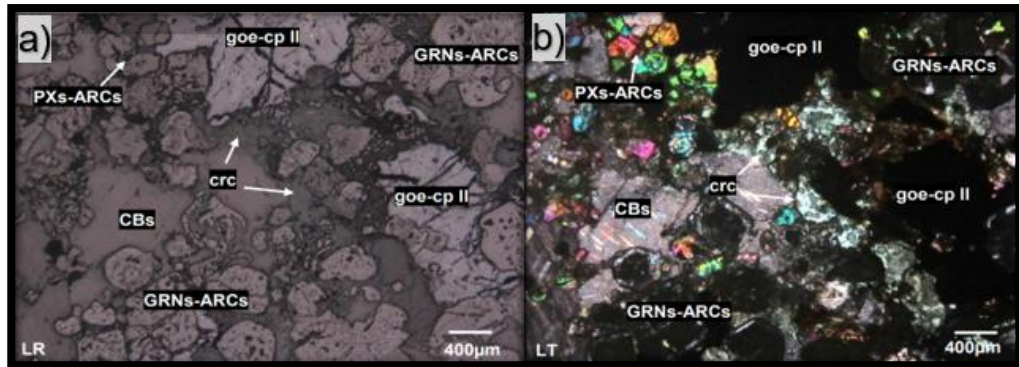


Figura 58 Granates alterados por arcillas y con relictos de piroxenos (Fuente Propia)

En la fig. 57 Fotomicrografía de agregados de blastos de granates alterados por arcillas (GRNsARCs) y con relictos de piroxenos alterados por arcillas (PXs-ARCs). Además, han sido invadidos, englobados y alterados por carbonatos (CBs). Posteriormente los carbonatos han sido reemplazados por crisocola (crc) y por goethita con relictos de calcopirita II (goe-cp II). a) Luz reflejada; b) Luz transmitida.

Como mineralización metálica prógrada se observa en trazas diminutos cristales con formas irregulares de magnetita, presentes como inclusiones en los blastos de carbonatos, han sido reemplazados desde los bordes por hematita.

La pirrotita encontrada como pequeños cristales se encuentran como inclusiones en los carbonatos, han sido reemplazadas débilmente por goethita desde su borde.

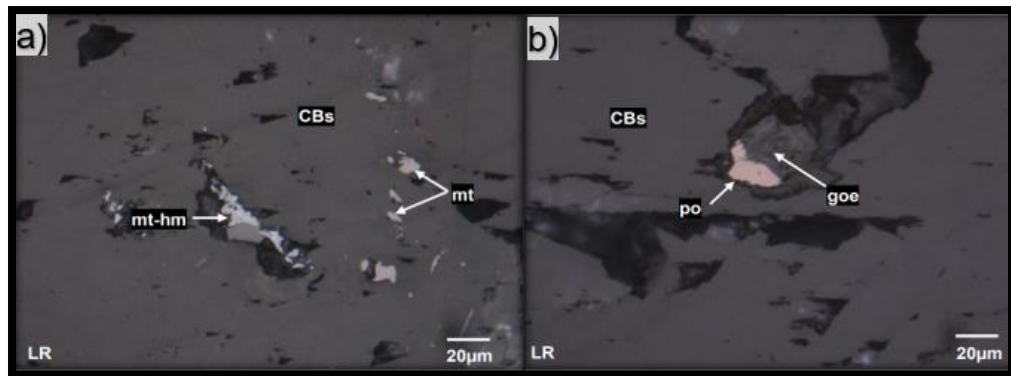


Figura 59 . Pequeños cristales de magnetita (mt) como inclusiones en carbonatos (Fuente Propia)

En la fig. 58 Fotomicrografía de: a) Pequeños cristales de magnetita (mt) como inclusiones en carbonatos (CBs) y reemplazados por hematita (hm) desde sus bordes. (Luz reflejada); b) Cristal de pirrotita (po) incluido en carbonatos (CBs); ha sido reemplazado desde sus bordes por goethita (goe). (Luz reflejada).

El cuarzo con hábito prismático a formas irregulares se encuentra englobados por los agregados de blastos de carbonatos, mientras que la arsenopirita con pequeños cristales con hábito rómbico menores a 50 micras, han ingresado a través de las oquedades de algunos blastos de granates con débil alteración de arcillas.

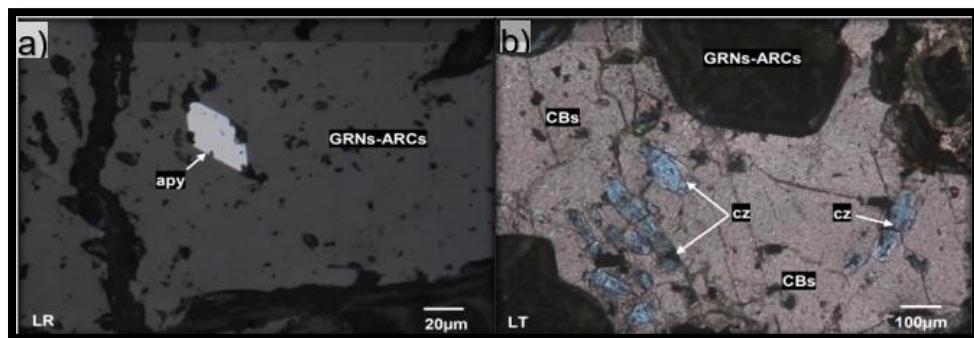


Figura 60 . Cristales de arsenopirita (apy) y blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs). (Fuente Propia)

En la fig. 59 Fotomicrografía de: a) Cristales de arsenopirita (apy) que han ingresado como relleno de oquedades en los blastos de granates alterados por

arcillas (GRNs-ARCs). (Luz reflejada); b) Agregados de blastos de carbonatos (CBs) que han englobado a pequeños blastos de cuarzo (cz) ingresando a través de los intersticios de los blastos de granates alterados por arcillas (GRNs-ARCs). La mineralización de cobre se encuentra además de la calcopirita II, en trazas de bornita y digenita, ambos como pequeños cristales con formas irregulares que han ingresado como relleno de oquedades en algunos blastos de granates, la bornita ha sido reemplazada débilmente por digenita desde sus bordes.

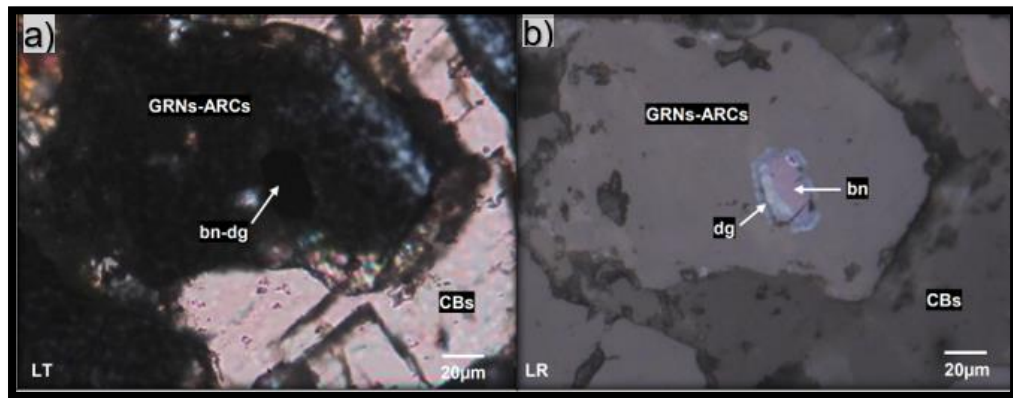


Figura 61 Bornita (bn) reemplazado desde los bordes por digenita (dg). (Fuente Propia)

En la fig. 60 Fotomicrografía de cristal de bornita (bn) reemplazado desde los bordes por digenita (dg). Presentes en oquedades de blastos de granates alterados por arcillas (GRNsARCs). Invasidos posteriormente por carbonatos (CBs). a) Luz transmitida; b) Luz reflejada. (Fuente Propia)

3.6.8. Muestra 8

Roca intrusiva de color gris claro, con textura porfírica y de color gris claro, clasificándose como un pórfido granodiorítico, esta roca aflora en grandes extensiones de la presente investigación instruyendo en franjas calcáreas del cretácico superior. Constituido por fenocristales de plagioclasas, cuarzo,

feldespato potásico y ferromagnesianos, en un matriz de grano fino con textura granular formada por feldespato y cuarzo.

Microscópicamente presenta fenocristales de plagioclasas I (40%), cuarzo I (7%), feldespatos potásicos I (1%), anfíboles (4%) y biotita (3%), con escasos de pequeños cristales de apatito (traza) y zircón (traza). En una matriz formada por pequeños cristales de plagioclasas II (11%), feldespatos potásicos II (15%) y cuarzo II (15%). Las arcillas (2%) han alterado a plagioclasas (I y II) y feldespatos potásicos (I y II). La sericita (traza) ha alterado a las plagioclasas I. Epidota (traza) y cloritas (traza) han alterado a los anfíboles y biotita. Los minerales opacos (1%) se aprecian en la matriz y en oquedades de anfíboles y biotita. Los óxidos de hierro (1%) han alterado a los anfíboles, biotita y minerales opacos.

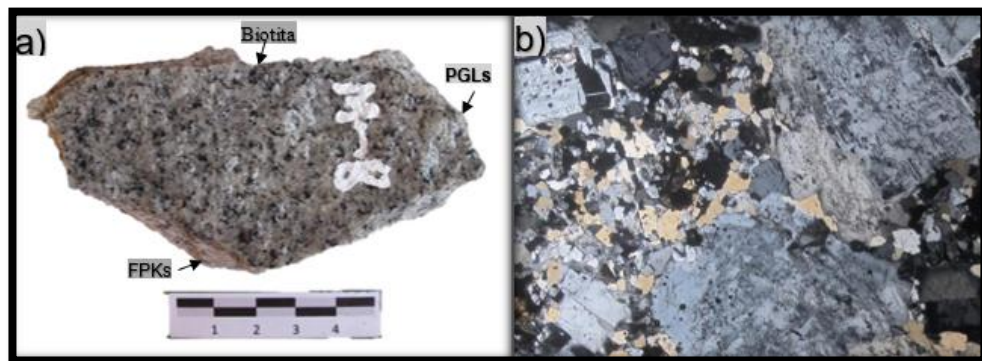


Figura 62 Fotografía de pórfido granodiorítico con fenocristales (Fuente Propia)

Como minerales principales formados por el pórfido granodiorítico, se tiene fenocristales con formas tabulares, fracturados y con macla polisintética de plagioclasas I; débilmente alterados por arcillas. Con minerales opacos en sus oquedades, los fenocristales son de gran tamaño, observando hasta de 3200 micras; además, cuarzo I, con similar tamaño de fenocristales, fracturados, de bordes corroídos y con ligeras impregnaciones de arcillas.

Los anfíboles son conformados por cristales de gran tamaño con formas tabulares a irregulares, fracturados y maclados; en ocasiones con minerales opacos en sus oquedades, algunos pequeños cristales aparecen en la matriz.

La matriz está constituida por plagioclasas II con pequeños cristales con formas tabulares, cuarzo II y feldespato potásico II con cristales con formas irregulares menor de 500 micras.

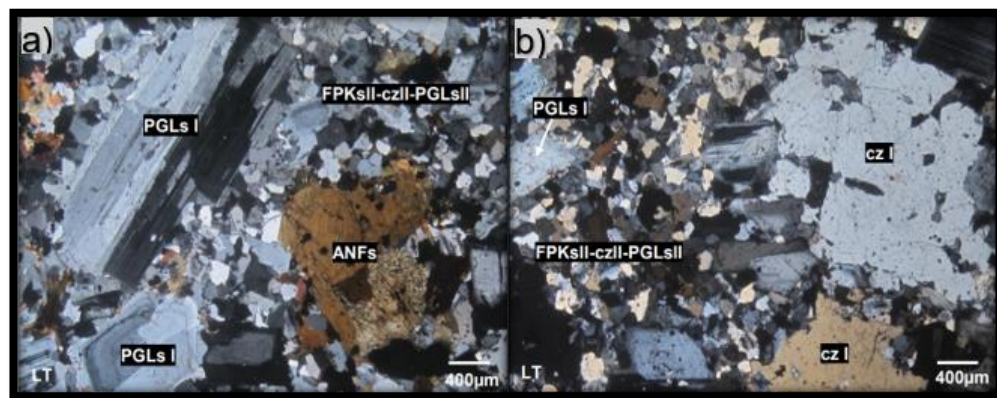


Figura 63 Fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) y anfíboles (ANFs). (Fuente Propia)

En la fig. 62 Fotomicrografía de: a) Fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) y anfíboles (ANFs). Matriz con pequeños cristales de feldespatos potásicos II, cuarzo II y plagioclasas II (FPKsII-czII-PGLsII); b) Fenocristales de cuarzo I (Cz I) y plagioclasas I (PGLs I). Matriz con pequeños cristales de feldespatos potásicos II, cuarzo II y plagioclasas II (FPKsII-czII-PGLsII).

Los minerales opacos están conformados por cristales con formas irregulares que han ingresado por las oquedades de los fenocristales de anfíboles (Fig. 63-a) Además, aparecen diseminados en la matriz en intersticios de plagioclasas II y cuarzo II.

Las arcillas se encuentran como agregados criptocristalinos de aspecto terroso y pulverulento que han alterado a feldespatos potásicos (I y II) (Fig. 63-b) y plagioclasas (I y II).

Los feldespatos potásicos se aprecian junto con plagioclasas II y cuarzo II.

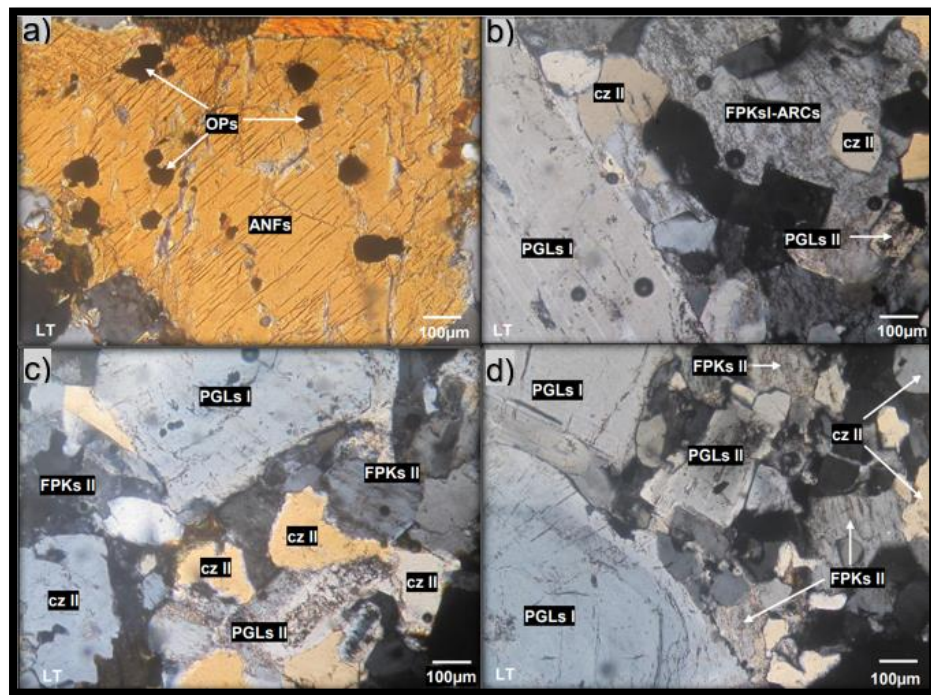


Figura 64 Fotomicrografía de anfíboles y minerales opacos (OPs). (Fuente Propia)

En la fig. 63 fotomicrografía de: a) Fenocristales de anfíboles (ANFs) con pequeños cristales de minerales opacos (OPs) en sus oquedades. (Luz transmitida); b) Fenocristales de plagioclasas I (PGLs I); además feldespatos potásicos I alterados por arcillas (FPKs I-ARCs) con cuarzo II (cz II) y plagioclasas II (PGLs II) en sus oquedades. (Luz transmitida); c) Fenocristales de plagioclasas I (PGLs I); en matriz de pequeños cristales de plagioclasas II (PGLs II), feldespatos potásicos II (FPKs II) y cuarzo II (cz II). (Luz transmitida); d) Fenocristales de

plagioclasas I (PGLs I); en matriz de pequeños cristales de plagioclasas II (PGLs II), feldespatos potásicos II (FPKs II) y cuarzo II (cz II).

La sericita presenta pequeños cristales escamosos que han alterado incipientemente a los fenocristales de plagioclasas I. (Fig.64-a); mientras que las cloritas como agregados micro fibrosos han alterado ligeramente a los fenocristales de anfíboles y biotita (Fig. 64-b). En ocasiones, ocurren como agregados radiales que han ingresado por los intersticios de los pequeños cristales de la matriz.

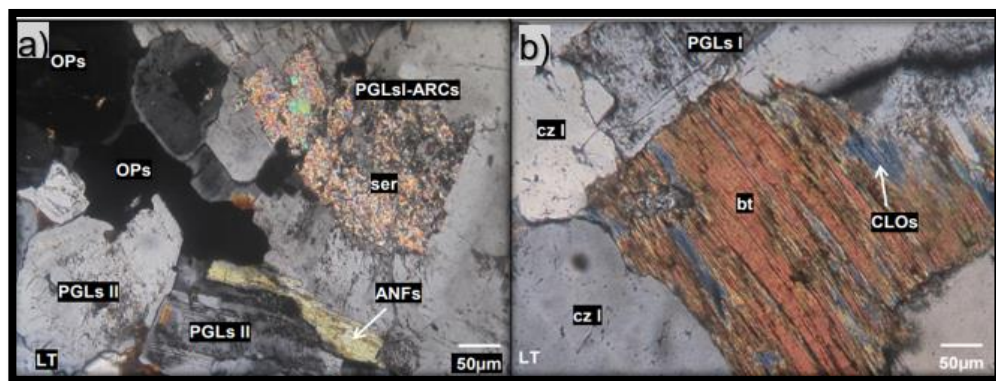


Figura 65 Fenocristales de plagioclasas I alterados por arcillas (PGLs I-ARCs) y agregados de sericita (ser). (Fuente Propia)

En la fig. 64 fotomicrografía de: a) Fenocristales de plagioclasas I alterados por arcillas (PGLs I-ARCs) y agregados de sericita (ser). Matriz con plagioclasas II (PGLs II) con minerales opacos (OPs) y anfíboles (ANFs) (Luz transmitida); b) Biotita (bt) alterada por cloritas (CLOs). Presente en intersticios de los fenocristales de plagioclasas I (PGLs I) y cuarzo I (cz I) (Luz transmitida).

3.6.9. Muestra 9

Roca intrusiva de grano fino con textura fanerítica y de color gris blanquecino.

Presenta cristales de cuarzo, feldespatos potásicos, plagioclasas y biotita; con

ligera alteración a arcillas y por sectores con impregnaciones de óxidos de hierro.

No presenta magnetismo.

Microscópicamente está compuesta principalmente por cristales de feldespatos potásicos (49%) y cuarzo (38%), en menor proporción plagioclasas (7%) y biotita (2%), con escasos pequeños cristales de zircón (traza). Las plagioclasas han sido alteradas por arcillas; los feldespatos potásicos por albita (1%) y arcillas (3%); en tanto la biotita ha sido alterada por óxidos de hierro (traza) y se encuentra decolorada a muscovita (traza). Los minerales opacos (traza) son escasos y se observan en oquedades de algunos cristales de cuarzo y biotita.

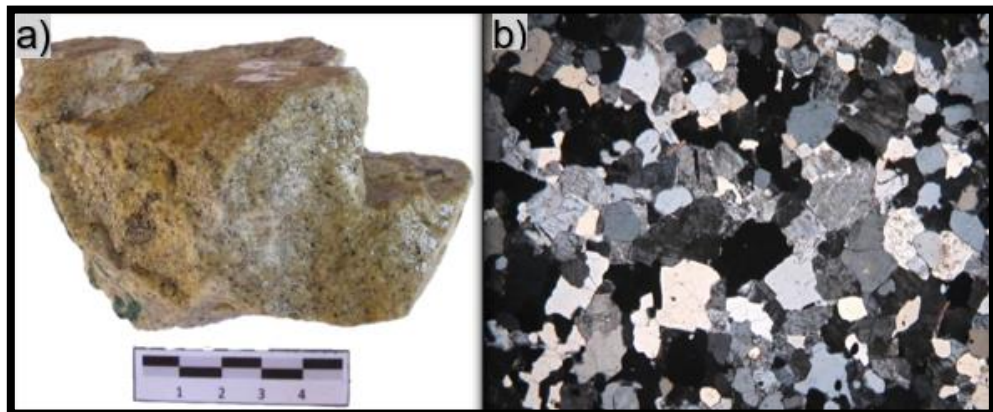


Figura 66 Fotografía y fotomicrografía de muestra de sienogranito (*Fuente Propia*)

Las plagioclasas se observan como cristales con formas tabulares a irregulares; con bordes corroídos y macla polisintética; han sido alterados débilmente por arcillas a partir de sus centros. Presentes en intersticios de feldespatos potásicos y cuarzo. En ocasiones con oquedades que han sido rellenadas por cuarzo.

Como principal composición de esta muestra son los feldespatos potásicos con un 49% en su composición y con cristales con formas irregulares a tabulares no mayores a 3600 micras. La biotita se observa entre los intersticios de feldespato

potásicos; mientras que las arcillas como agregados criptocristalinos de aspecto terroso y pulverulento se encuentran como producto de alteración de los cristales de plagioclasas y feldespatos potásicos.

Los cristales de cuarzo están presentes entre los intersticios de los feldespatos potásicos y plagioclasas; también han ingresado a través de sus oquedades.

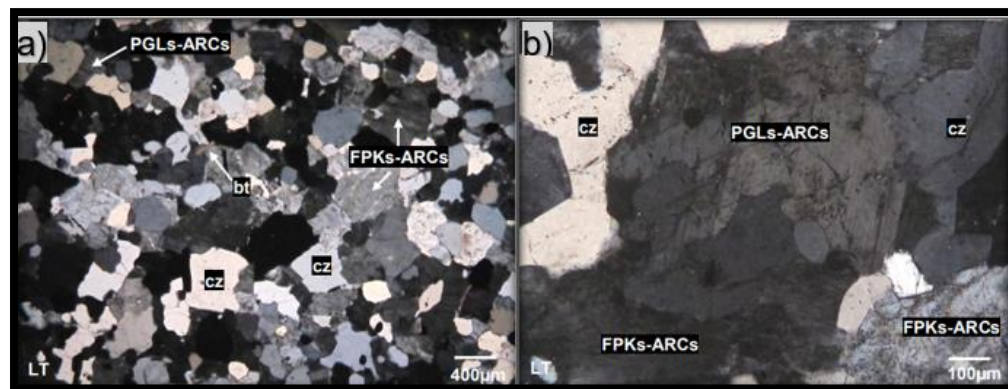


Figura 67 Cristales de cuarzo (cz) y feldespatos potásicos alterados por arcillas (FPKs-ARCs)(Fuente Propia)

En la fig. 66 Fotomicrografía de: a) Cristales de cuarzo (cz) y feldespatos potásicos alterados por arcillas (FPKs- ARCs); en menor proporción se aprecian en sus intersticios cristales de plagioclasas alteradas por arcillas (PGLs-ARCs) y biotita (bt).; b) Cristales de plagioclasas alteradas por arcillas (PGLs-ARCs) presentes en intersticios de cristales de cuarzo (cz) y feldespatos potásicos alterados por arcillas (FPKs-ARCs).

En la muestra de sienogranito obtenido de la zona de estudio, se observa microscópicamente cristales con formas irregulares de albita (Fig. 67-a). La muscovita se encuentra en trazas con cristales en hábitos tabulares a formas irregulares, se aprecian como decoloración de algunos cristales de biotita. (Fig.67-b).

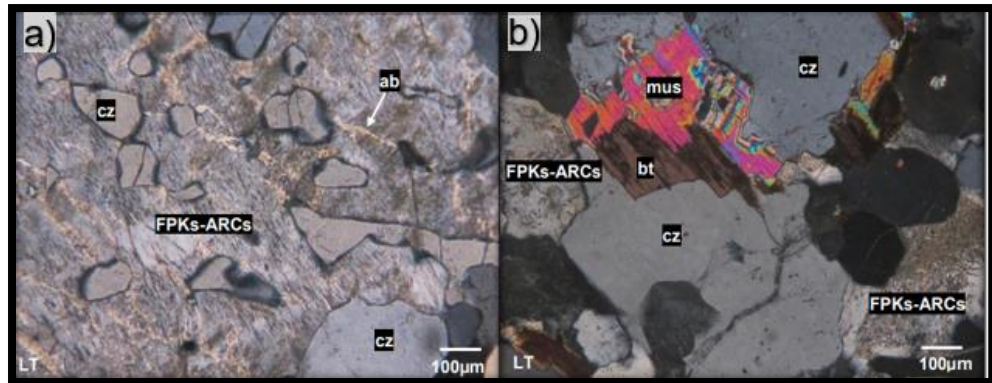


Figura 68 Cristales de feldspatos potásicos alterados por arcillas (FPKs-ARCs) y albita (ab).
(Fuente Propia)

En la fig. 67 fotomicrografías de: a) Cristales de feldspatos potásicos alterados por arcillas (FPKs-ARCs) y albita (ab). Además, presenta oquedades que han sido rellenadas por cuarzo (cz); b) Cristal de biotita (bt) parcialmente decolorada a muscovita (mus). Presentes entre los intersticios de los cristales de cuarzo (cz) y feldspatos potásicos alterados por arcillas (FPKs-ARCs).

El zircón se encuentra en trazas, presente como inclusiones en algunos cristales de feldspatos potásicos y cuarzo, sus pequeños cristales tienen hábitos prismáticos a formas irregulares (Fig. 68-a); por otro lado los óxidos de hierro están como agregados criptocristalinos de aspecto terroso y pulverulento que han alterado a los cristales de biotita desde sus bordes (Fig.68-c), mientras que la albita ha alterado débilmente a los cristales de feldspatos potásicos (a manera de parches desde sus centros). (Fig. 68-b).

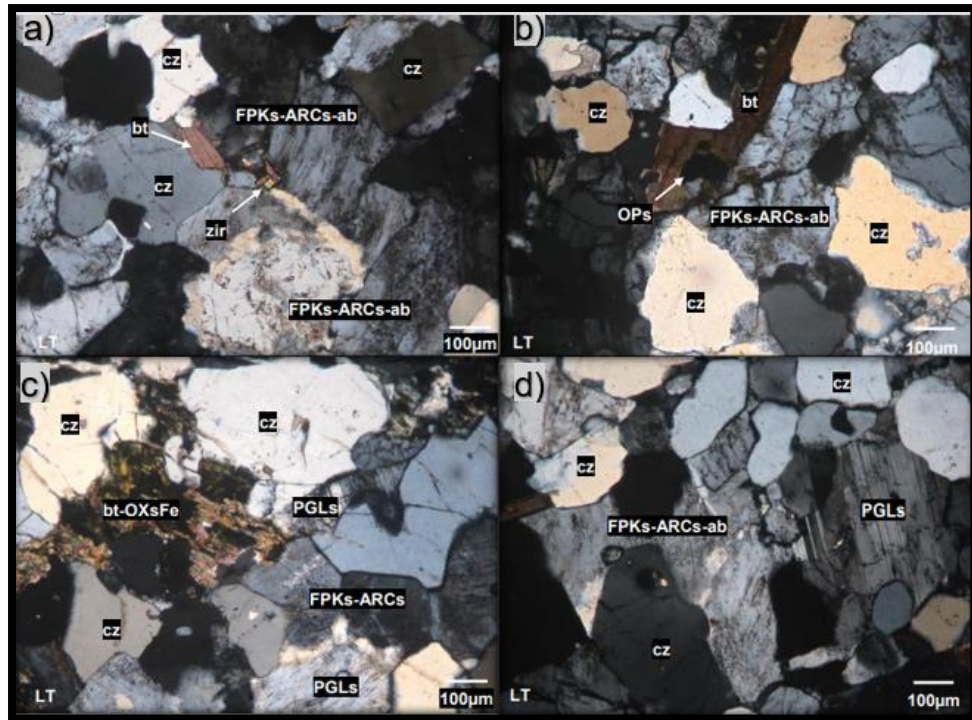


Figura 69 Fotomicrografías de cristales de biotita (bt), zircón (zir) y cuarzo (Fuente Propia).

En la fig. 68 fotomicrografías de: a) Cristales de biotita (bt) y zircón (zir) presentes entre los intersticios de los cristales de cuarzo (cz) y de feldespatos potásicos alterados por acillas y albita (FPKs-ARCs-ab); b) Cristales de biotita (bt) y minerales opacos (OPs) que se aprecian entre los intersticios de los cristales de cuarzo (cz) y de feldespatos potásicos alterados por acillas y albita (FPKs-ARCs-ab); c) Cristales de biotita alterados por óxidos de hierro (bt-OXsFe), presentes entre los intersticios de los cristales de cuarzo (cz), plagioclasas (PGLs) y feldespatos potásicos alterados por arcillas (FPKs-ARCs); d) Cristales de plagioclasas (PGLs) que se observan entre los intersticios de los cristales de cuarzo (cz) y de feldespatos potásicos alterados por acillas y albita (FPKs-ARCs-ab).

3.6.10. Muestra 10

Esta muestra fue obtenida de la zona 3 de la investigación. Está compuesta principalmente por agregados de magnetita que han sido invadidos por blastos de anfíboles (con textura granoblástica). Por sectores se observa ligeras impregnaciones de óxidos de hierro, esta roca metamórfica compacta de color negro a gris oscuro es clasificada como un skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles.

Se aprecian principalmente agregados de cristales de magnetita (78%) que han englobado a los escasos blastos de granates (3%). Posteriormente han sido cortados e invadidos por agregados de blastos de anfíboles (16%) y escasos cuarzo (traza). Los granates y anfíboles han sido alterados por arcillas (2%). Escasos y diminutos cristales de calcopirita II (traza) se observan diseminados en los anfíboles. La hematita (traza) ha reemplazado débilmente a la magnetita y aparece como relictos en goethita. Finalmente, agregados de goethita (1%) y jarosita (traza) han ingresado por los intersticios de los blastos de anfíboles, granates y de los agregados de cristales de magnetita.

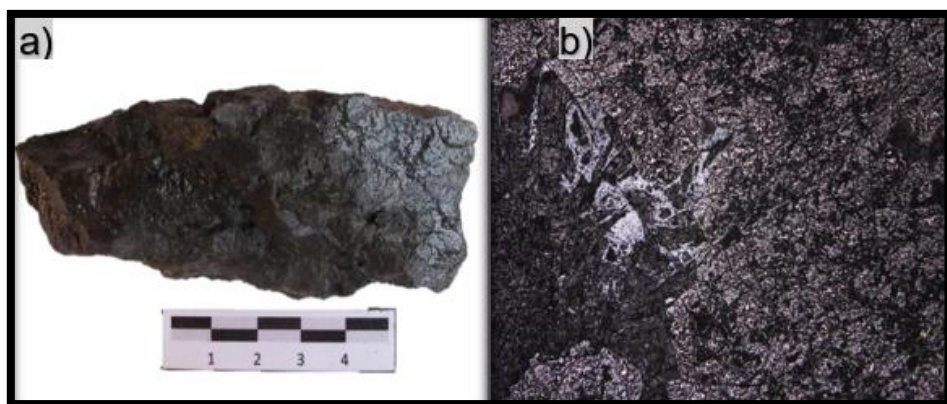


Figura 70 a) Fotografía de muestra de skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles, (Fuente Propia)

En la fig. 69 a) Fotografía de muestra de skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles, de coloración negro a gris oscuro; b) Fotomicrografía e skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles.

Como mineralización prógrada en esta muestra de la zona 3, se tiene granates como blastos con formas irregulares, han sido invadidos y englobados por agregados de cristales de magnetita. Posteriormente han sido cortados por agregados de blastos alargados de anfíboles. Además, han ingresado a través de sus intersticios agregados de goethita y jarosita. (Fig 72-b); la magnetita como principal mineralización (78%) se encuentra en agregados de cristales de hábitos cúbicos a formas irregulares con tamaño considerable (≥ 4000 micras).

La jarosita se observa en trazas como agregados terrosos a microfibrosos que junto con agregados de goethita han ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates y anfíboles; así como por los intersticios de los agregados de cristales de magnetita.

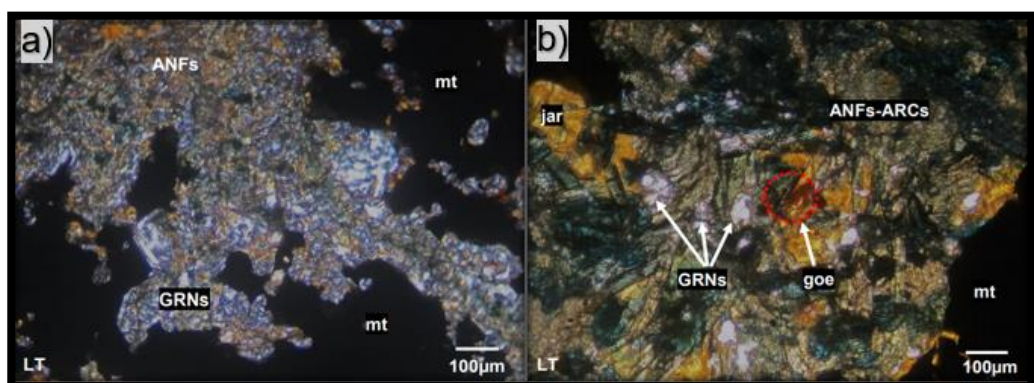


Figura 71 Blastos de granates (GRNs) que han sido englobados por agregados de cristales de magnetita (mt). (Fuente Propia)

En la fig. 70 Fotomicrografía de: a) Blastos de granates (GRNs) que han sido englobados por agregados de cristales de magnetita (mt). Posteriormente han sido

cortados e invadidos por blastos de anfíboles (ANFs); b) Blastos de granates (GRNs) que han sido englobados por cristales de magnetita (mt). Además, han sido cortados e invadidos por blastos de anfíboles alterados ligeramente por arcillas (ANFs-ARCs). Por sus intersticios han ingresado agregados de jarosita (jar) y goethita (goe).

Los anfíboles encontrados en la muestra M10, se puede reconocer de manera macroscópicamente a la actinolita, ocasionalmente han alcanzado tamaños de hasta de 3200 micras, presentándose con un hábito radial, junto a magnetita y óxidos de hierro.

La hematita con sus pequeños cristales con formas irregulares ha reemplazado débilmente a cristales de magnetita desde sus centros y bordes. Además, se presentan a manera de relictos en cristales de goethita.

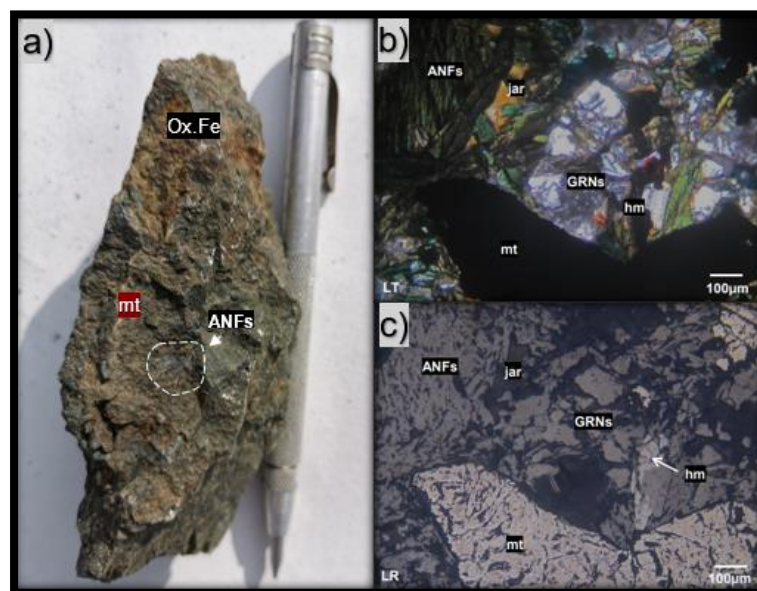


Figura 72 M10 extraída de la zona 3, presenta mineralización de magnetita, actinolita y óxidos de hierro como hematita; además de jarosita. (*Fuente Propia*)

En la fig. 71 a) Fotografía de M10 extraída de la zona 3, presenta mineralización de magnetita, actinolita y óxidos de hierro como hematita; además de jarosita. b- c) Blastos de granates (GRNs) que han sido englobados por cristales de magnetita (mt) y blastos de anfíboles (ANFs). A través de sus intersticios han ingresado cristales de hematita (hm) y agregados de jarosita (jar). b) Luz transmitida; c) Luz reflejada

Los cristales de magnetita se aprecian cortados e invadidos por agregados de blastos alargados de anfíboles. Además, han sido reemplazadas débilmente por hematita y goethita desde sus centros y bordes.

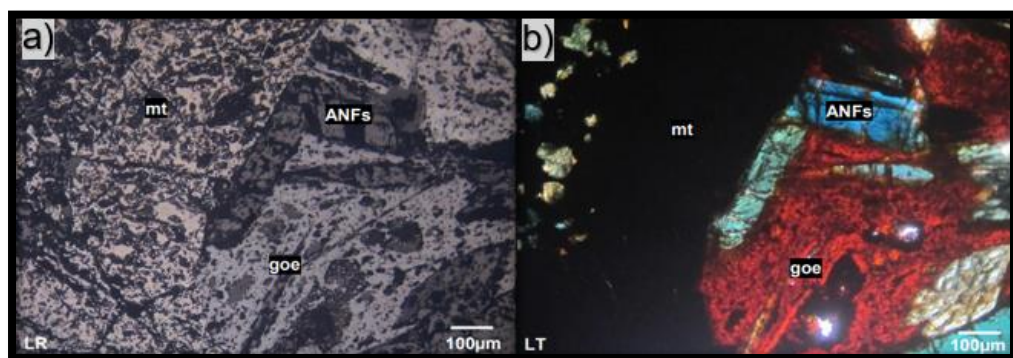


Figura 73 Cristales de magnetita (mt) que han sido invadidos por blastos de anfíboles (ANFs). (Fuente Propia)

En la Fig. 72 Fotomicrografía de agregados de cristales de magnetita (mt) que han sido invadidos por blastos de anfíboles (ANFs) y posteriormente por agregados de goethita (goe). a) Luz reflejada; b) Luz transmitida.

El cuarzo siendo un mineral retrógrado, se presenta en trazas como Agregados de blastos que han cortado e invadido a los agregados de blastos de anfíboles y granates.

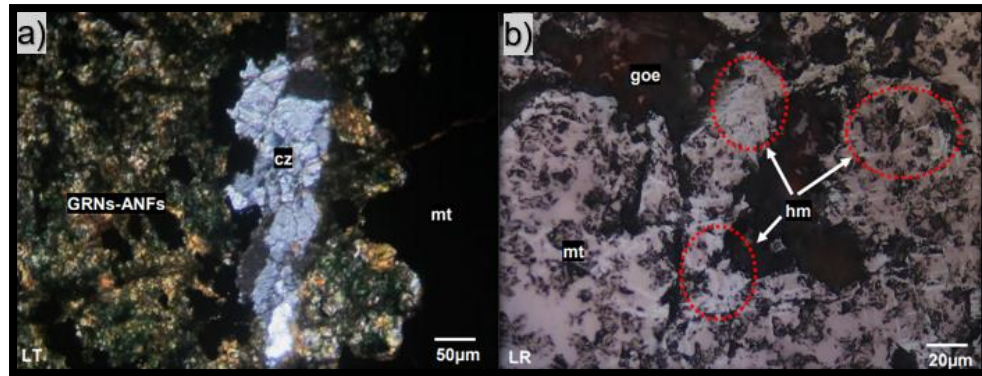


Figura 74 Blastos de granates (GRNs) englobados por magnetita (mt) (Fuente Propia)

En la fig. 73 fotomicrografía de: a) Blastos de granates (GRNs) englobados por magnetita (mt), han sido cortados e invadidos por blastos de anfíboles (ANFs). Posteriormente han sido invadidos por agregados de blastos de cuarzo (cz); b) Cristales de magnetita (mt) débilmente reemplazados por hematita (hm) desde sus centros; y posteriormente invadidos por agregados terrosos de goethita (goe).

Tabla 9.

Cuadro resumen de las zonas mineralizadas estudiadas con su respectivas litologías, mineralogía y mena principal, (Fuente Propia)

Zona	Muestra	Litología	Mineralogía Prógrada	Mineralogía Retrógrada	Mineralogía Metálica
1	M1	Skarn de granates retrogradado a esfalerita y óxidos	Granates>>Magnetita	Arcillas>>Carbonatos>Cuarzo	Esfalerita>>Jarosita>Goethita>>Calcopirita I y II>Arsenopirita>pirita>pirrotita
	M2	Skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita	Granates>>Magnetita	Carbonatos>>Arcillas	Esfalerita>>Calcopirita II>>Pirita>Calcopirita I>Galena>Covelita>Óxidos de Cu-Fe>Goethita
2	M5	Skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita y carbonatos	Granates>>Piroxenos I>Piroxenos II	Anfíboles>>Carbonatos>Vesubianita>Arcillas	Bornita>>Esfalerita>Pirita>Calcosina>Digenita>Cubanita>Covelita>Calcopirita II>Calcopirita I
	M6	Skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles y cuarzo	Granates>>Piroxenos>>Andalucita	Anfíboles>>Cuarzo>Crisocola>Caledonia>Sílice>Arcillas	Goethita>Óxidos de Cu-Fe>Bornita>Calcopirita II>Covelita
	M7	Skarn de granates y piroxenos retrogradado a carbonatos	Granates>>Piroxenos>Magnetita	Carbonatos>>Arcillas>Crisocola>Cuarzo	Goethita>>Arsenopirita>Calcopirita II>Bornita>Pirrotita>Digenita>Hematita
3	M10	Skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles	Magnetita>>Granates	Anfíboles>>Arcillas>Cuarzo	Goethita>>Calcopirita II>Hematita>Jarosita

Tabla 10.

Cuadro resumen de las litologías estudiadas con su respectiva litología, mineralogía y textura. (Fuente Propia)

Zona	Muestra	Litología	Minerales Primarios	Minerales Secundarios	Mineralogía Metálica / Textura
I N T R U S I V O S	M3	Mármol skarnizado	Carbonatos>>Cuarzo I>Zircón	Granates>>Piroxenos>>Arcillas>Carbonatos II>Cuarzo II y III>Anfíboles	Granoblástica
	M4	Pizarra moteada	Cuarzo I>>Cuarzo II>Cordierita	Sericita>>Piroxeno>Cuarzo IV>Cuarzo III>Andalucita>Arcillas>Epidota>Carbonatos>Cloritas>Feldespato Potásico>Albita	Pirita>Goethita>Calcopirita II>Esfalerita>Pirrotita>Arsenopirita>Calcopirita I / Porfidoblástica
I N T R U S I V O S	M8	Pórfido Granodiorítico	Plagioclasas I>>Cuarzo>>Anfíboles>Biotita>Feldespato Potásico I>Apatito>Zircón	Arcillas>>Epidota>Cloritas>Sericita>	Óxidos de hierro / Porfirítica, matriz granular
	M9	Sienogranito	Feldespato potásico>Cuarzo>Plagioclasas>Biotita>Zircón	Arcillas>>Albita>Muscovita>	Óxidos de hierro / Granular

3.7. Paragénesis Mineral

Las texturas petrográficas anteriormente mencionadas permiten reconocer las alteraciones prógrada y retrógrada con sus respectivas asociaciones mineralógicas según la zona estudiada.

La mineralogía prógrada es pervasiva en el área de estudio y está relacionada a minerales principalmente anhidros y de alta temperatura como granates según Kalinin (sf) de 950°-250° para la andradita y la grosularia. Dependiendo de la zona estudiada, las fases minerales de esta etapa son completa o parcialmente reemplazadas por fases minerales tardías pertenecientes a la etapa retrógrada.

De forma contraria a la etapa prógrada, la etapa retrógrada ocurre por el enfriamiento del sistema y posible interacción con aguas meteóricas, por lo que la mineralogía retrógrada consiste en minerales más baja temperatura.

3.7.1. Muestra 1

Las asociaciones paragenéticas en el skarn de granates retrogradado a esfalerita y óxidos de la zona 1 (Tabla 11) corresponde a una etapa inicial prógrada de alta temperatura, constituida de granates ± cuarzo y mineralización metálica (magnetita) que puede que su deposición se haya iniciado en etapas tardía de esta fase prógrada, según Korzhinski (s.f) el descenso de la temperatura provoca mayor disminución de la movilidad del hierro y trae aparejada una acumulación masiva de magnetita.

Tabla 11

Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas para la muestra 1 - Zona 1. (Fuente Propia)

	Etapa prógrada	Etapa retrógrada
Granate	—————	
Magnetita	—————	
Cuarzo		- - - - -
Carbonatos		- - - - -
Pirrotita		- - - - -

Pirita	— — — — — — — —
Arsenopirita	— — — — — — — —
Esfalerita	—————
Calcopirita I	— — — — — — — —
Calcopirita II	— — — — — — — —
Goethita	— — — — — — — —

La etapa siguiente corresponde a la etapa retrógrada representada por un descenso de temperatura, compuesta de cuarzo \pm carbonatos. Así mismo, se puede observar mineralogía metálica en esta zona de investigación, la magnetita ha sido reemplazada por pirita, arsenopirita y esfalerita (mineral dominante en esta etapa), también la pirrotita siendo reemplazada por arsenopirita quedando a manera de relictos, mientras que la calcopirita I se presenta como diseminación es esfalerita; por otro lado, la calcopirita II se observa en oquedades de arsenopirita, además reemplazando a esfalerita a partir de sus bordes.

3.7.2. Muestra 2

Las asociaciones paragenéticas para el skarn de granates retrogradado a carbonatos y esfalerita de la zona 1 están presentada en la tabla 12. La etapa prógrada similar a la muestra 1, consiste en minerales relativamente bien formados y de mayor tamaño, esta etapa presenta granate (900 μm) \pm magnetita (1200 μm). El granate actúa de manera pervasiva obliterando el protolito de la roca, así mismo la magnetita, pero en menor proporción.

Tabla 12

Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 2 - Zona 1. (Fuente Propia)

	Etapa prógrada	Etapa retrógrada
Granate	—————	
Magnetita	— — — — — — — —	
Arcillas		—————

Carbonatos	—————
Pirita	- - - - -
Producto Intermedio	- - - - -
Esfalerita	—————
Calcopirita I	- - - - -
Calcopirita II	- - - - -
Galena	- - - - -
Covelita	- - - - -
Goethita	- - - - -
Óxidos de Cu-Fe	- - - - -

La etapa retrógrada está compuesta de arcillas ± carbonatos. Los carbonatos son la fase dominante en esta etapa con una intensidad de alteración moderada.

Los granates se hallan alterados por agregados de arcillas desde sus centros y por carbonatos desde sus bordes. La pirita ha ingresado por los intersticios de los blastos de granates, ha sido reemplazada por producto intermedio, esfalerita (con finas diseminaciones de calcopirita I), calcopirita II y covelita a partir de sus bordes. Mientras que la calcopirita II ha sido reemplazada por galena y covelita desde sus bordes. En cuanto a la goethita ha reemplazado a cristales de magnetita desde sus bordes, por otro lado, los óxidos de Cu-Fe se presentan en microfracturas y bordes de producto intermedio y calcopirita II.

3.7.3. Muestra 5

Las asociaciones paragenéticas en el skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles, bornita y carbonatos (Tabla 8) corresponden a una inicial etapa prógrada constituida de piroxenos I de gran tamaño (1200 µm) como primera mineralización a altas temperaturas ± granates (3600 µm) ± piroxenos II de menor tamaño (200 µm).

Tabla 13

Diagrama esquemático de las secuencias paragenéticas para la muestra 5 - zona 2, (Fuente Propia)

	Etapa prógrada	Etapa retrógrada
Piroxenos I	—————	
Granate	—————	
Piroxenos II	—————	
Vesuvianita		- - - - -
Anfíboles		—————
Arcillas		- - - - -
Carbonatos		—————
Pirita		- - - - -
Cubanita		- - - - -
Esfalerita		- - - - -
Calcopirita I		- - - - -
Calcopirita II		- - - - -
Bornita		- - - - -
Digenita		- - - - -
Calcosita		- - - - -
Covelita		- - - - -

La etapa posterior corresponde a la etapa retrógrada compuesta de vesuvianita ± anfíboles ± arcillas ± carbonatos, el primero alterado débilmente por arcillas y carbonatos, mientras que los anfíboles han ingresado cortando a piroxenos I, granates y piroxenos II. Mientras que la mineralización metálica como la pirita se encuentra a manera de relictos en algunos cristales de bornita, así mismo la cubanita se aprecia como relictos en algunos cristales de bornita y calcosina; con más mineralización de cobre se encuentra calcopirita I presente en finas disseminaciones de esfalerita, digenita, y covelita.

3.7.4. Muestra 6

Las asociaciones paragenéticas para el skarn de granates y piroxenos retrogradado a anfíboles y cuarzo están representadas en la tabla N° 14. La mineralogía

prógrada ocurre de manera pervasiva, a diferencia de la mineralogía retrógrada, corresponde principalmente a minerales anhidros y de alta temperatura, constituida de piroxenos ± granates ± andalucita. El granate es la fase dominante en esta etapa, observándose, englobando blastos de piroxenos.

Tabla 14

Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 6 - Zona 2. (Fuente Propia)

	Etapa prógrada	Etapa retrógrada
Piroxenos	—————	
Granates	—————	
Andalucita	- - - - -	
Anfíboles		—————
Cuarzo		- - - - -
Arcillas		- - - - -
Calcedonia		- - - - -
Sílice		- - - - -
Crisocola		- - - - -
Calcopirita II		- - - - -
Bornita		- - - - -
Covelita		- - - - -
Goethita		- - - - -
Óxidos de Cu-Fe		- - - - -

La etapa retrógrada corresponde a una mineralogía de baja temperatura y generalmente hidratada, se manifiesta anfíboles ± cuarzo ± arcillas ± calcedonia ± sílice ± crisocola, los piroxenos han sido invadidos por anfíboles y cuarzo; mientras que la mineralización metálica de esta etapa se encuentra presente calcopirita II que ha sido reemplazada por bornita, covelita y goethita desde sus centros y bordes, mientras que los óxidos de Cu-Fe se observan invadiendo agregados de goethita.

3.7.5. Muestra 7

Las asociaciones paragenéticas para el skarn de granates y piroxenos retrogradados a carbonatos están presentes en la tabla N° 15. La etapa prógrada consiste en minerales de gran tamaño en cuanto a la mineralización no metálica como piroxenos (1200 μm) \pm granates (2000 μm), la mineralización metálica en esta etapa está representada por magnetita con diminutos cristales (40 μm) que han sido reemplazados desde los bordes por hematita de la fase retrógrada.

Tabla 15

Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 7 - zona 2, (Fuente Propia)

	Etapa prógrada	Etapa retrógrada
Piroxenos	—————	
Granates	—————	
Magnetita	- - - - -	
Cuarzo		- - - - -
Arcillas		—————
Carbonatos		—————
Crisocola		- - - - -
Pirrotita		- - - - -
Arsenopirita		- - - - -
Calcopirita II		- - - - -
Bornita		- - - - -
Digenita		- - - - -
Hematita		- - - - -
Goethita		—————

La etapa retrógrada está compuesta de cuarzo \pm arcillas \pm carbonatos. Los carbonatos es la fase dominante en esta etapa, ya que oblitera de manera intensa el protolito de la roca, englobando a piroxenos, granates y cuarzo. Por otro lado, la mineralización de esta etapa consta de sulfuros y óxidos de fierro, así, tenemos a la pirrotita, calcopirita II que han sido reemplazadas débil e intensamente (respectivamente) reemplazadas por goethita desde sus bordes. Mientras que la

digenita la han reemplazado débilmente por digenita. La magnetita reemplazada débilmente por hematita.

3.7.6. Muestra 10

Las asociaciones paragenéticas para el skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles de la zona 3 están presentada en la tabla N° 16. La etapa prógrada consiste en minerales bien formados y de mayor tamaño, los que corresponde a granates ± magnetita, siendo esta última el mineral dominante en esta etapa, ya que actúa de manera pervasiva obliterando el protolito de la roca.

Tabla 16 .

Diagrama esquemático de secuencias paragenéticas de la muestra 10 - Zona 3. (Fuente Propia)

	Etapa prógrada	Etapa retrógrada
Granates	=====	
Magnetita	=====	
Anfíboles		=====
Arcillas		- - - - -
Cuarzo		- - - - -
Calcopirita II		- - - - -
Hematita		- - - - -
Goethita		- - - - -
Jarosita		- - - - -

La etapa retrógrada está compuesta de anfíboles ± arcillas ± cuarzo. Los anfíboles por sectores cortando e ingresando por los intersticios de magnetita, siendo este la fase dominante en esta etapa con una intensidad moderada de alteración. La mineralización metálica se encuentra en trazas, la calcopirita se encuentra diseminado en los blastos de anfíboles, la hematita reemplazando débilmente cristales de magnetita, además la jarosita ha ingresado a través de los intersticios de los agregados de blastos de granates.

3.8. Clasificación del depósito

Teniendo como principal característica un pórfido granodiorítico siendo esta fuente de alteración y mineralización en las rocas calcáreas cercanas y en menor proporción sienogranitos en forma de diques con potencias variables entre 30 – 90 cm, estos intrusivos se encuentran emplazando franjas calcáreas del cretácico teniendo como principales litologías metamorfizadas el mármol y la pizarra. La mineralización es variable en cada zona, por un lado, la mineralización metálica se puede encontrar desde mayor cantidad de zinc en esfalerita, hasta logrando tener considerables cantidades de hierro en magnetita, y sulfuros de cobre primarios por otro lado, la mineralización no metálica también es variable, teniendo en zonas gran cantidad de granates y en otras de anfíboles.

A continuación se describe las principales características encontradas en campo que nos permitió llegar a este resultado:

El metamorfismo de contacto en el área de estudio es producido por el efecto termal del emplazamiento de los cuerpos ígneos en las rocas carbonatadas. Este evento corresponde a un metamorfismo isoquímico que causa la recristalización de las calizas y lutitas calcáreas para formar mármol y pizarra respectivamente, desarrollando texturas granoblásticas observadas al microscopio en estas rocas.

La interacción del nivel calcáreo de las formaciones carbonatadas del cretáceo y fluidos magmáticos y/o hidrotermales ricos en sílice, hierro, magnesio, aluminio y volátiles, permite la formación inicial de la mineralización prógrada, tales como granate, piroxeno. A medida que el fluido evoluciona, la depositación de mineralización metálica toma lugar en fases tardías de la alteración prógrada (Evans, 1993).

El enfriamiento del plutón y la introducción de aguas meteóricas hace que el sistema hidrotermal disminuya su temperatura y genere el metasomatismo retrógrado que forma minerales hidratados y de baja temperatura. Éstos minerales se sobre imponen a la alteración prógrada y corresponden principalmente a anfíboles, clorita, epidota, calcita, cuarzo y zeolitas. La mineralogía retrógrada es mucho menos intensa que la mineralogía prógrada. Por otro lado, la disminución de la temperatura favorece la depositación de la mineralización metálica, de manera diseminada en forma de vetas y cuerpos irregulares en el skarn. La disminución de las temperaturas conduce a la precipitación de sulfuros. Las rocas de carbonatos (caliza) siendo el protolito predominante en la zona de estudio se encuentran albergando típicos ensambles minerales de silicatos anhidros como piroxenos, granates (grosularia, andradita) y wollastonita, así como también de minerales hidratados como anfíboles, epidota y vesuvianita descritas en la sección de petrografía.



Figura 75 . Labor subterránea (*Fuente Propia*)

En la fig. 74 Se observa la Zona 1, con la presencia de una labor subterránea, además se puede notar la continuidad del manto mineralizado con buzamiento de 22° W infrayaciendo rocas calcáreas metamorfizadas (mármol) y supra yaciendo pizarras (Zona 1).

La mineralización metálica está representada principalmente por magnetita, esfalerita y calcopirita, además de otros minerales de cobre como cubanita, bornita, digenita, calcosina, covelita; y minerales de hierro en sulfuros como pirrotita, pirita y arsenopirita; como mineral de plomo la galena.

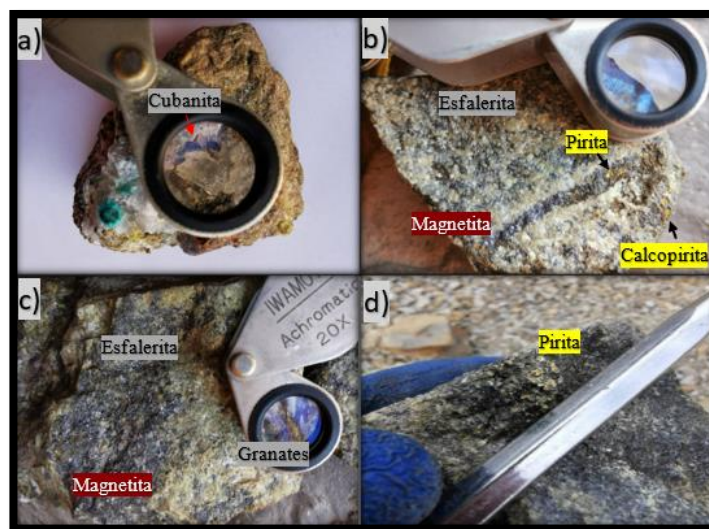


Figura 76 Mineralización de la zona 2 (Fuente Propia)

En la fig. 75 Fotografías de: a) Cubanita entre calcita y granates (Zona 2). b) Venilla de magnetita, con diseminaciones de pirita, calcopirita y esfalerita (Zona 1). c) Mineralización de esfalerita y magnetita (Zona 1). d) Pirita diseminada en magnetita y esfalerita (Zona 1).

La clasificación de depósito ya antes habiendo descrito de manera detallada y general tanto la litología, mineralización, distribución de la mineralización, la disposición de los intrusivos y de las estructuras mineralizadas; además con la ayuda de estudios

petromineroográficos (laboratorio) se deduce que el depósito mineral “Las Vizcachas” pertenece a un depósito mineral tipo skarn. Donde la actividad ígnea fue el principal evento para la mineralización del depósito, con metamorfismo y metasomatismo en las rocas carbonatadas generando las alteraciones progradada con minerales anhidros y retrogradada con minerales hidratados y depositación de minerales metálicos.

Comparación con depósitos tipo skarn.

El estudio de prospección geológica, minera regional en la región Lambayeque realizado por INGEMMET (2018) postula que las rocas ígneas del batolito de la costa que abarcan rocas desde diorita, granodiorita y granito que en general son rocas metaluminosas. Estas características se atribuyen a los plutones que forman skarns de cobre, zinc y plomo. Además, dicho estudio menciona que el ambiente tectónico de la región Lambayeque es el de un arco volcánico de margen activa casi para todas las edades. Indicando que las rocas del batolito de la costa se formaron por regímenes de subducción.

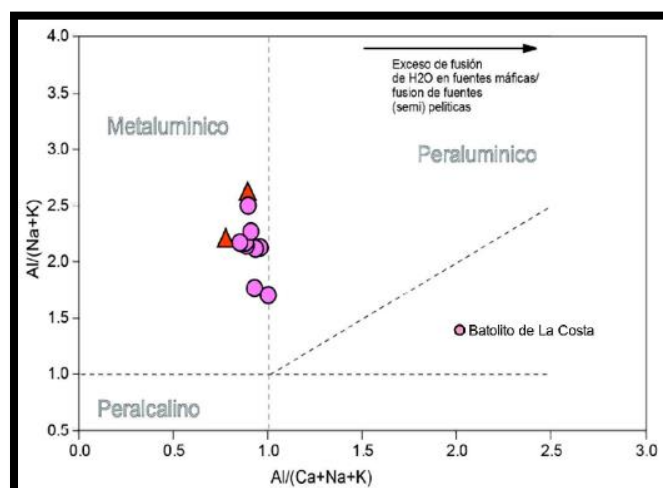


Figura 77 Aluminosidad de las rocas intrusivas y volcánicas estudiadas Región Lambayeque. Tomado de INGEMMET 2018.

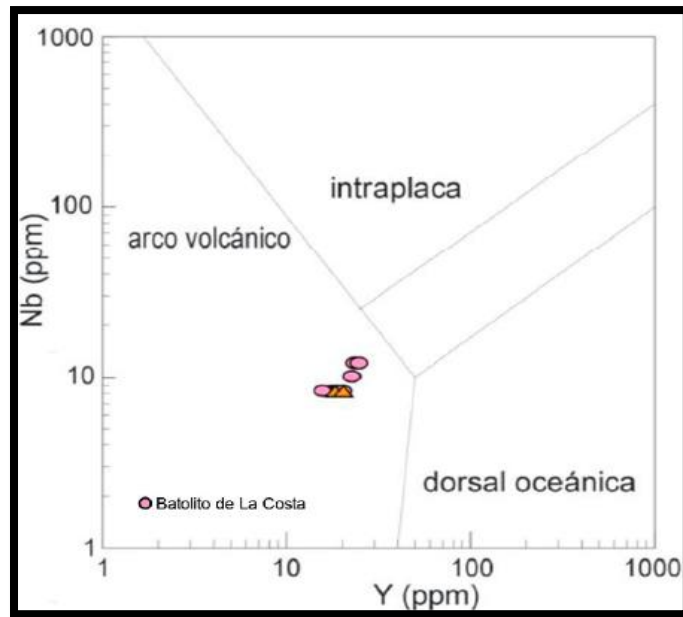


Figura 78 Ambiente tectónico relacionado con las unidades geológicas Tomado de
 INGEMMET 2018

Con la clasificación de (INGEMMET,2018) que las rocas del batolito de la costa pertenecientes al área de estudio son metaluminosas y comparando con (Meinert, 2001). Donde clasifica los diferentes tipos de depósitos Skarn según el contenido de alumina de las rocas ígneas (Fig.72). Estaríamos hablando de depósito skarn Fe, Au, Cu, Zn.

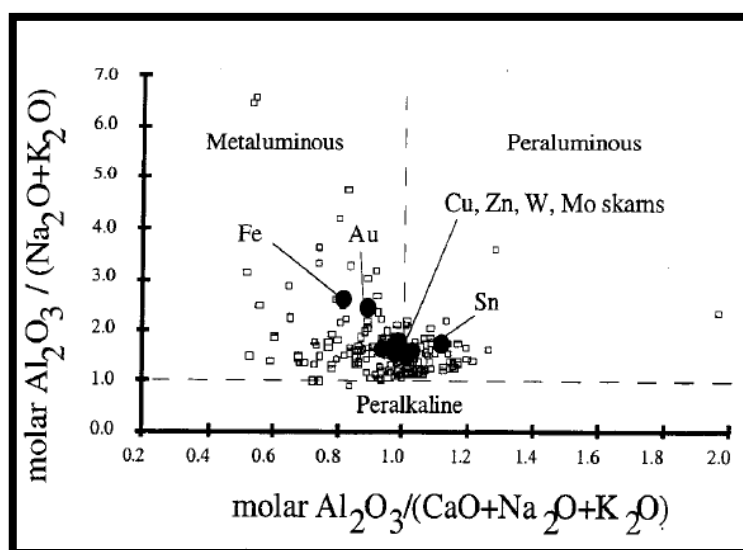


Figura 79 Saturación de alumina para clasificación de Depósitos skarn extraído de Meinert, 2001.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La clasificación petrominerográfica a través del reconocimiento de las asociaciones mineralógicas, minerales de alteración y secuencia de paragénesis logramos clasificar el depósito las Vizcachas.

Teniendo en cuenta los resultados de este estudio petrográfico, tectónica regional y observaciones en campo se realizó una interpretación de los datos y una comparación con datos de investigaciones similares a nuestro depósito de estudio, entre ellos diferentes estudios de yacimientos de skarn y/o depósitos donde intervengan rocas intrusivas y carbonatadas.

Según Meinert (1992), tanto los skarn de cobre, oro, zinc se enmarcan en un contexto tectónico de subducción continental con episodios de cambios en el ángulo de la placa subductada. Esto se vio en el norte del Perú desde la aparición de la subducción y formación de la cordillera de los andes. Después de la depositación de las secuencias sedimentarias y volcánico-sedimentarias del Jurásico-Cretácico medio; en el Albiano superior-Cenomaniano Temprano, se inicia la formación de la Subducción de la Placa Farallón por debajo de la Placa Sudamericana y del levantamiento precoz de la Cuenca Peruana, la cual corresponde a su vez, a la primera abertura del atlántico sur a nivel de las placas de América y África; (Pindell et al 1990). (Bazán. O, 2013).

Los skarn de cobre son relativamente someros en zonas orogénicas, se desarrollan en ambientes oxidados, asociados a plutones porfíricos tipo I, son meta y peraluminosos y con composiciones que varían de diorita a granito. En estas mismas condiciones, se generan skarns de plomo-zinc y de wolframio a mayores profundidades. A medida que el ángulo de la placa subductada disminuye durante una tectónica transicional, se forman

skarns de molibdeno o wolframio-molibdeno a mayor profundidad, asociados a ambientes reducidos, plutones tipo S, leucocráticos y peraluminosos. (Milad,2018)

Las rocas plutónicas estudiadas bajo el microscopio en general son de textura granular. La M8 presenta textura porfírica con matriz granular (pórfido granodiorítico) y la muestra M9 con textura granular (sienogranito). Esto indicaría un enfriamiento lento y la presencia de volátiles especialmente H₂O que facilita el crecimiento mineral (Winter, 2001).

Los fenocristales de cuarzo I corroídos en la muestra de pórfido granodiorítico y plagioclasas en la muestra de sienogranito sugiere aumento en la temperatura generado por desequilibrio debido posiblemente a decrecimiento en la presión de volátiles durante el ascenso del magma. (Gutiérrez, Et al, 2017).

Cristales de minerales opacos que han ingresado por las oquedades de los fenocristales de anfíboles y biotita. Además, aparecen diseminados en la matriz en intersticios de plagioclasas II, cuarzo II y feldespatos potásicos II. Han sido alterados débilmente por óxidos de hierro. Estos minerales opacos podrían ser mineralización de sulfuros o algunos óxidos. (M8) al contrario con la muestra de sienogranito donde la presencia de minerales opacos es menor (M9).

Las rocas de la zona 1 corresponden a una pequeña y antigua labor subterránea de un manto mineralizado donde se recolectaron muestras de la caja techo, caja piso y mineralización debido a la observación de campo grandes diferencias petrográficas para estudio de microscopía óptica que arrojaron resultados de mármol skarnizado (caja techo), skarn de granates retrogradados a esfalerita óxidos y carbonatos (mineralización) y pizarra moteada (caja piso).

Skarnoide es un término descriptivo para rocas calco silicatadas que son de grano relativamente fino y que reflejan, al menos en parte, el control de la composición del protolito. (Meinert. 1992) esto ocurriría en la caja piso (M 4 – pizarra moteada) ya que no hay desarrollo de grandes cristales, sino que son finos y se puede apreciar el protolito que quizás sería una lutita calcárea. Esto concordaría con la información mapeada de la formación Chulec consiste en capas delgadas bien estratificadas de lutitas gris, marga amarillenta y calizas marrón crema. (INGEMMET, 1984).

La formación de un depósito skarn es un proceso dinámico. En la mayoría de los depósitos de skarn, hay una transición del metamorfismo temprano / distal que resulta en hornfels, la reacción skarn y skarnoide tardío/proximal desarrollando un metasomatismo que resulta en skarn de grano relativamente grueso y teniendo mineralización (Meinert,1992). Esto indicaría que el manto mineralizado es posterior a la formación de la pizarra moteada reaccionando con esta para formar minerales calcosilicatados de grano grueso y depositación de minerales sulfuros.

El desarrollo de granates de esta zona es de color verde a verde amarillentos según Meinert (1992) los minerales de skarn individuales pueden mostrar variaciones sistemáticas de color o composición dentro de un patrón de zonificación más grande. por ejemplo, el granate es comúnmente marrón rojo oscuro en las ocurrencias proximales, se vuelve marrón claro en las ocurrencias más distales y es de color verde pálido cerca del frente de mármol. En esta zona cumple lo dicho por Meinert ya que el desarrollo de granates verdes a verdes amarillentos está en contacto con el mármol skarnizado.

La mineralización metálica en la zona 1 corresponde principalmente a magnetita, calcopirita, pirita, esfalerita pirrotina, arsenopirita, galena y covelina. Si bien no existen estudios previos ni estimaciones de recursos minerales para esta zona, la concentración de sulfuros de cobre observados, particularmente calcopirita. Además de mineralización de magnetita. Según la clasificación de skarn por mineralización metálica estaríamos hablando de un skarn de cobre o fierro.

La presencia de minerales hidratados como anfíbol que ocurren en reemplazo de piroxenos evidencia una introducción de importante cantidad de agua en el sistema durante la alteración retrógrada. (Milad,2018). En la zona 2 se reconoció minerales hidratados como anfíboles y vesuvianita evidenciando la introducción de cantidad significativa de agua en el sistema. Esta alteración ocurre debido probablemente a que esta zona del skarn se desarrolló a profundidades más someras donde la infiltración de aguas meteóricas fue más eficiente en esta zona.

En la mayoría de los skarns, hay un patrón de zonificación general de granate proximal, piroxeno distal y vesuvianita (o un piroxenoide como wollastonita, bustamita o rodonita) en el contacto entre skarn y mármol. (Meinert, 1992). En la muestra M- 5 “SKARN DE GRANATES Y PIROXENOS RETROGRADADO A ANFÍBOLES, BORNITA Y CARBONATOS”. Se aprecia la vesuvianita que a ingresado por los intersticios de los granates, nos estaría evidenciando zona distal al intrusivo, además de que en general los granates son de color verde a verde amarillentos.

En la muestra M- 7 se evidencia cristales de sílice, cuarzo, calcedonia según (Milad, 2018) la presencia de estos minerales indicaría que el fluido responsable del

metasomatismo debió contener cantidades de sílice que permitió la obliteración total del protolito de la roca. Por lo tanto, interpreta que para la formación del depósito de skarn, con estas condiciones, se requieren fluidos de composición rica en sílice y, por ende, plutones más diferenciados que los generen.

En la zona 3 se tomó la muestra M – 10 dando resultado de “SKARN DE MAGNETITA Y GRANATES RETROGRADADO A ANFÍBOLES” la magnetita en esta zona es más abrupta teniendo como mineral principal del cuerpo, los granates son más subordinados. La alteración retrograda dada por anfíboles y diminutos cristales de sulfuros de cobre (calcopirita). La magnetita es uno de los minerales principales de la alteración prógrada del skarn y la calcopirita pertenece a fases posteriores con fluidos más ricos en cobre. (García J, 2019). Según esto y lo mostrado en la Fig. 81 el fluido solo fue capaz precipitar en la alteración retrograda los diminutos cristales de calcopirita esto como mineralización de sulfuros.

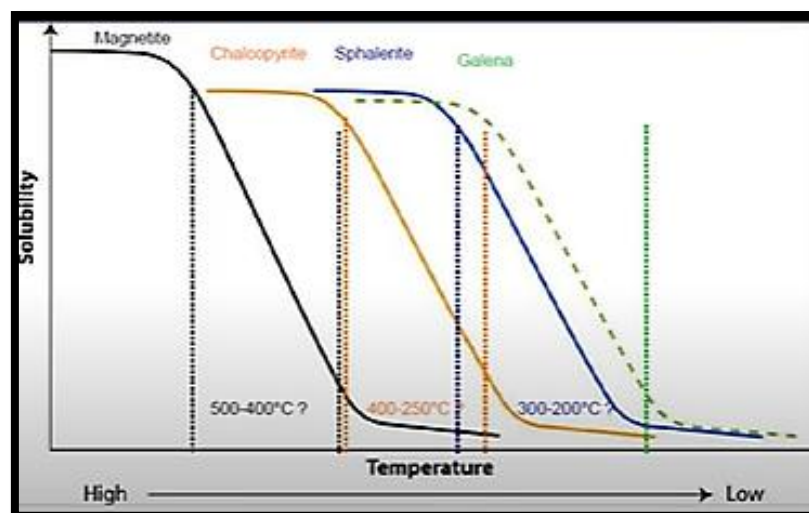


Figura 80 Relación de la precipitación de Minerales en depósito Skarn extraído de L. Meinert 1992

Mineralogía de skarn retrogrado es la formación de epidota, anfíbol, clorita y otros minerales hidratados típicamente estructurado sobre imponiendo la secuencia prógrada. (Meinert, 1992). Esto concuerda con nuestros resultados de las muestras de skarn donde la alteración prógrada de granates y magnetita esta superpuesta por anfíboles de la alteración retrograda.

A medida que el fluido evoluciona, la depositación de mineralización metálica toma lugar en fases tardías de la alteración prógrada (Evans, 1993). La depositación de sulfuros y/o mineralización metálica vistas en nuestras muestras se ha depositado posterior a toda la alteración prógrada.

Con la clasificación petrominerográfica se logró clasificar un tipo de depósito, aunque con estudios geoquímicos obtendrían datos de las fases de minerales y así clasificar los tipos de yacimientos skarn es decir skarn de cobre, zinc, wolframio, oro, estaño, hierro.

Para un mejor entendimiento de la formación del depósito las Vizcachas se recomienda hacer estudios de inclusiones fluidas y así conocer o poder diferenciar los fluidos que dieron origen a la mineralización.

4.2 Conclusiones.

Con la clasificación petrominerográfica de las muestras obtenidas en el área de estudio se logró reconocer las secuencias paragenéticas, alteraciones y remplazamientos. En la Zona 1 las rocas observadas corresponden a skarn de granates retrogradado esfalerita, óxidos y carbonatos donde se desarrolla una etapa prógrada compuesta de granate masivo de color verde y escaso piroxeno. La etapa retrógrada consiste en carbonatos cuarzo y sulfuros. La mineralización metálica corresponde principalmente a

magnetita, calcopirita, pirita, esfalerita pirrotina, arsenopirita, galena y covelina, goetita y óxidos de cobre y hierro.

La Zona 2 la mineralización se desarrolla principalmente en un skarn granate y piroxenos retrogradado a anfíboles. La fase prógrada consiste en granates de color verde a verdes amarillentos, piroxeno, andalucita en inclusión dentro de granates. Por otro lado, la etapa retrógrada compuesta por anfíbol, vesuvianita, carbonatos y cuarzo, que oblitera completamente el protolito de la roca. Al haber mayor cantidad de anfíboles y la diferencia de cotas que en la zona 1 indicaría una menor profundidad de formación.

La zona 3 es un skarn de magnetita y granates retrogradado a anfíboles donde la mineralización principal es de magnetita, con cristales diminutos de calcopirita es decir que en la alteración retrograda no hubo una precipitación importante de sulfuros.

Las secuencias paragenéticas concuerdan en general con un yacimiento skarn teniendo marcadas alteraciones de skarn prógrados y retrógrados cada una de estas con sus minerales característicos granates y piroxenos prógrados y anfíboles, carbonatos, cuarzo y depositación de minerales metálicos (sulfuros) en la alteración retrograda.

Según la descripción del depósito Las Vizcachas. se desarrolla a lo largo del nivel calcáreo de orientación NE-SW de las formaciones carbonatadas del cretáceo superior. Estas rocas han sido emplazadas por plutones (pórfido – granodiorítico y sienogranito) pertenecientes al batolito de la costa, cuyos fluidos dieron origen al depósito tipo skarn. En éste se pueden encontrar litologías características de este tipo de depósitos, tales como skarn de granates, skarn de magnetita, pizarras y mármol. La infiltración de fluidos

magmáticos responsable de la formación del skarn ocurre principalmente a través del contacto entre el nivel calcáreo y el emplazamiento del plutón granodiorítico y sienogranito aprovechando los planos de estratificación de las calizas y permeabilidad de estas.

REFERENCIAS

- Cañola, C., Gallego, A., Bolivar, W. (2015). Caracterización mineralógica y mineralogía de procesos aplicada a la mina de veta “la esperanza”, ubicada en la vereda Cedeño parte alta del municipio de Támesis, Antioquia.
- Yparraguirre, J. (2005). Secuencias paragenéticas, alteraciones hidrotermales e inclusiones fluidas de la veta bienaventurada - Huachocolpa – Huancavelica.
- Navarro, P. (sf) Características metalogenética de los yacimientos asociados al grupo Calipuy en el norte del Perú, departamentos de La libertad y Ancash. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Melgarejo, C., Proenza, J., Gali, S., Llovet, X. (2010) Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Volumen 62, núm. 1, 2010, p. 1-23.
- Wilson, J. (1984) Boletín N° 38 serie A Carta geológica Nacional. Geología de los cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, ChIclayo, Chota, Chongoyape, Celendín, Pacasmayo, Chepén. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- Evans, A. (1993). Ore Geology and Industrial Minerals and Introduction Thir Edition, pp 61.
- Milad, J. (2018). Química mineral del depósito tipo skarn del distrito caimanes, provincia de Choapa, región de Coquimbo, Chile.
- Winter, D. (2001): An Introduction to igneous and metamorphic Petrology pp 343.

Pavez, V. (2017). Petrografía, geoquímica y relación con mineralización metálica de los intrusivos colindantes al skarn del distrito caimanes, provincia de Choapa, región de Coquimbo, Chile.

Meinert, L. (1992). Skarn and Skarn deposits. *Geoscience Canadá*. Vol. 19, N° 4: 145-157. USA.

Bazan, O. (2013). Tectónica andina y su componente cizallante: Alusivo al norte del Perú.

Carlotto, V., Quispe, J., Rodríguez, R., Cerpa, L. (2009). Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú.

García, J. (2019). Microscopía práctica de los minerales opacos. pp 68.

Cáceres, A. (2013) ESTUDIO GEOLÓGICO DEL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE. Gobierno Regional de Lambayeque.

Valencia, M., Santisteban, A., Oscco, S., Lozada, V. (2018). Prospección Geológica Minera Regional en la Regio Lambayeque. Boletín N° 51 Serie B Geología Económica. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Meinert, L. (2001). Workshop on Exploration for skarn Deposits. Congreso Geológico ProExplo 2001.

Gutierrez, M., Lopez, J., Zuluaga, C. (2017). Petrología y Geoquímica Diques porfíricos con matriz esferulítica presentes en la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, Macizo de Santander.

Dannunzio, M., Rubinstein, N., Gómez, A. y Hernández, L. (2017). *Paragénesis mineral del depósito epitermal de Au Quebrada del Diablo Lower West, San Juan*. Recuperado de:

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/64675/CONICET_Digital_Nro.dba76ccc-944c-4309-b925-98410b2f3a0e_Z.pdf?sequence=6&isAllowed=y

Misra, K. (2000). *Understanding mineral deposits*. Tennessee, U.S.A: Springer-Science+Business Media, B.V

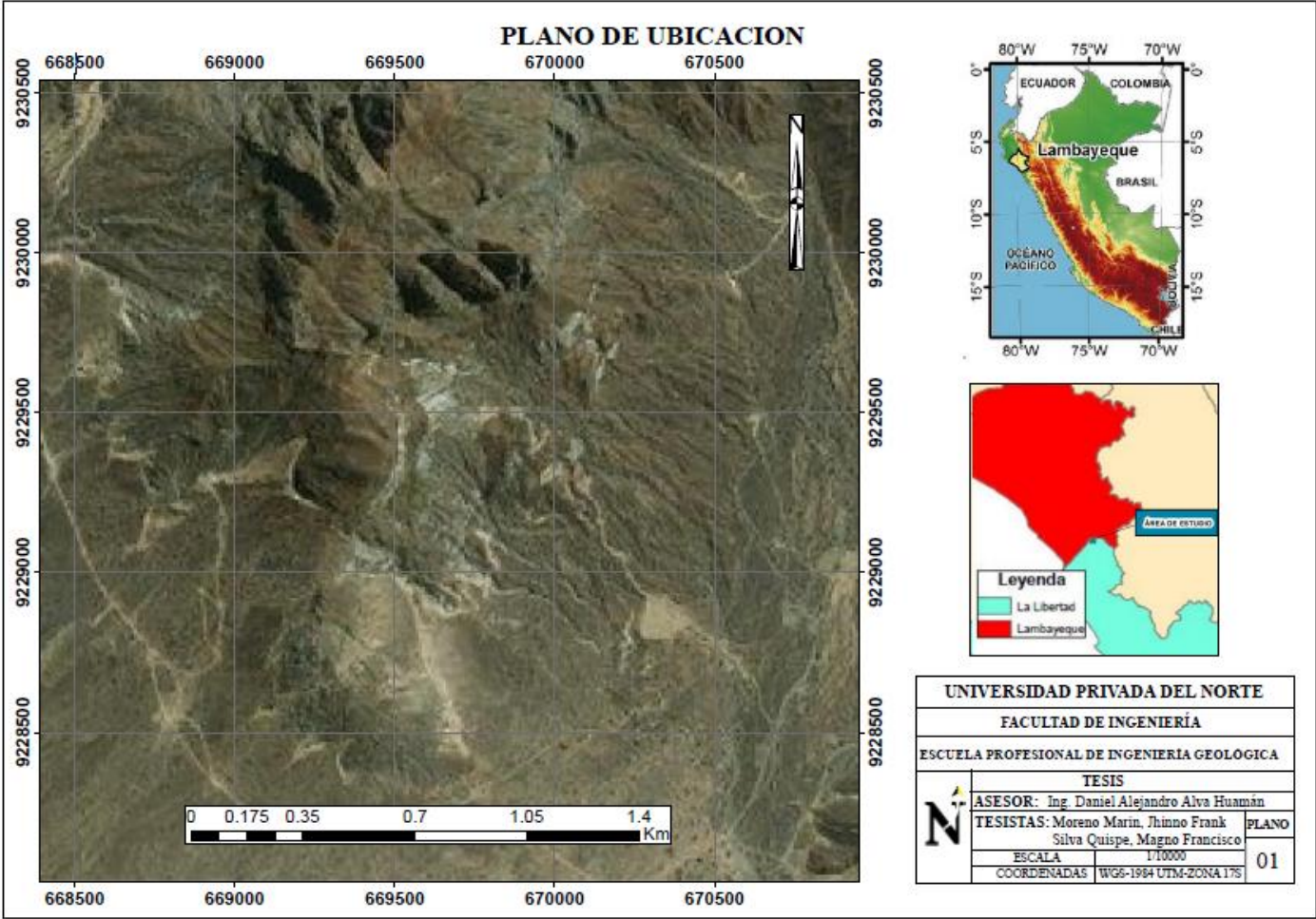
Ojeda, C., Sánchez, C. (2009). *Petrografía, petrología y análisis de procedencia de unidades paleógenas en las cuencas Cesar – Ranchería y Catatumbo*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/3496/349631996006.pdf>

Pérez, E. y Gonzáles, E. (2010). *Mineralogía de skarn y fluidos asociados a los yacimientos de Cu-Zn-Ni-Co de La Esperanza, Sonora, México*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcg/v27n1/v27n1a1.pdf>

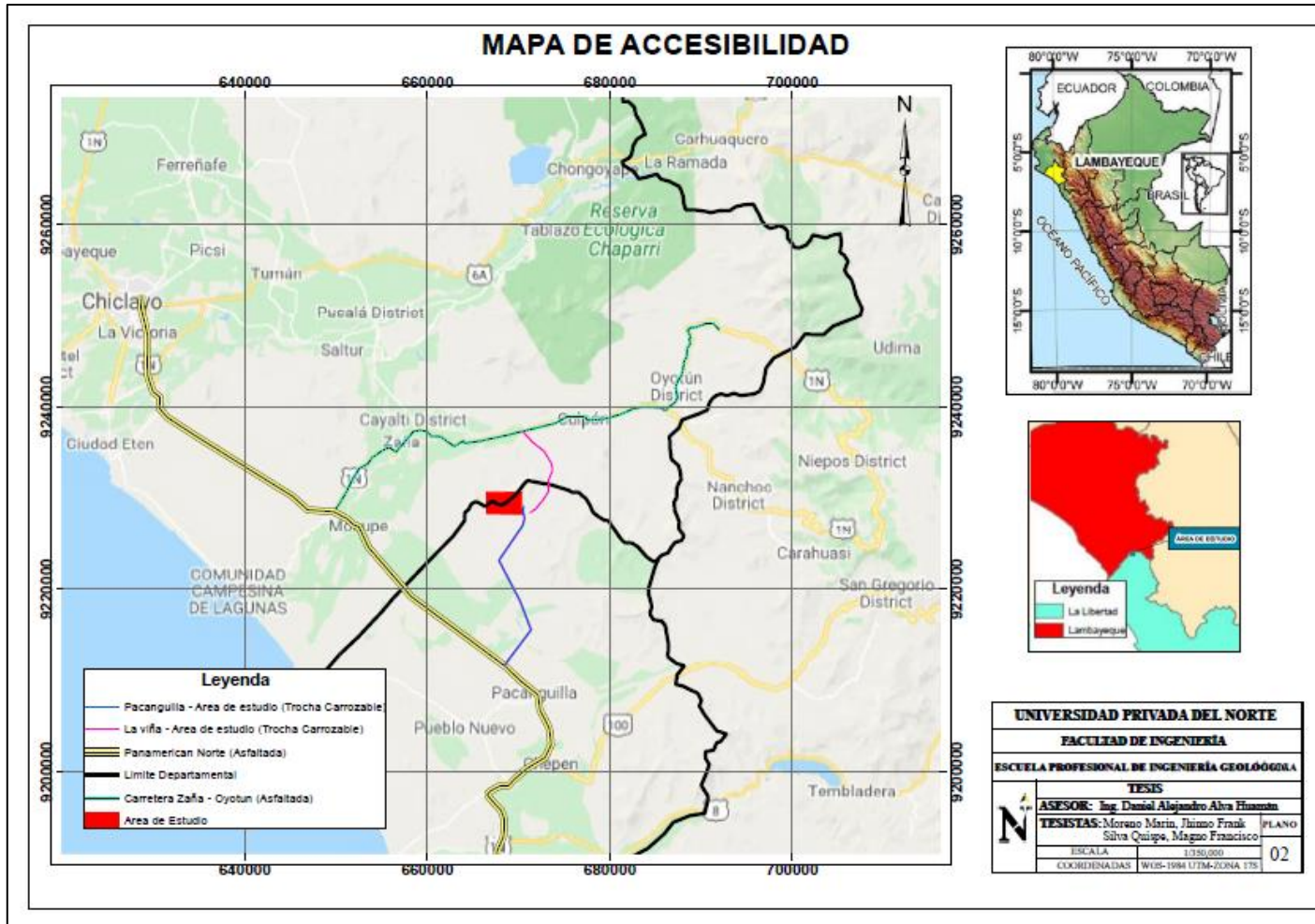
Smirnov, V (1982). *Geología de yacimientos minerales*. Moscú, Rusia: Mir Moscu

ANEXOS

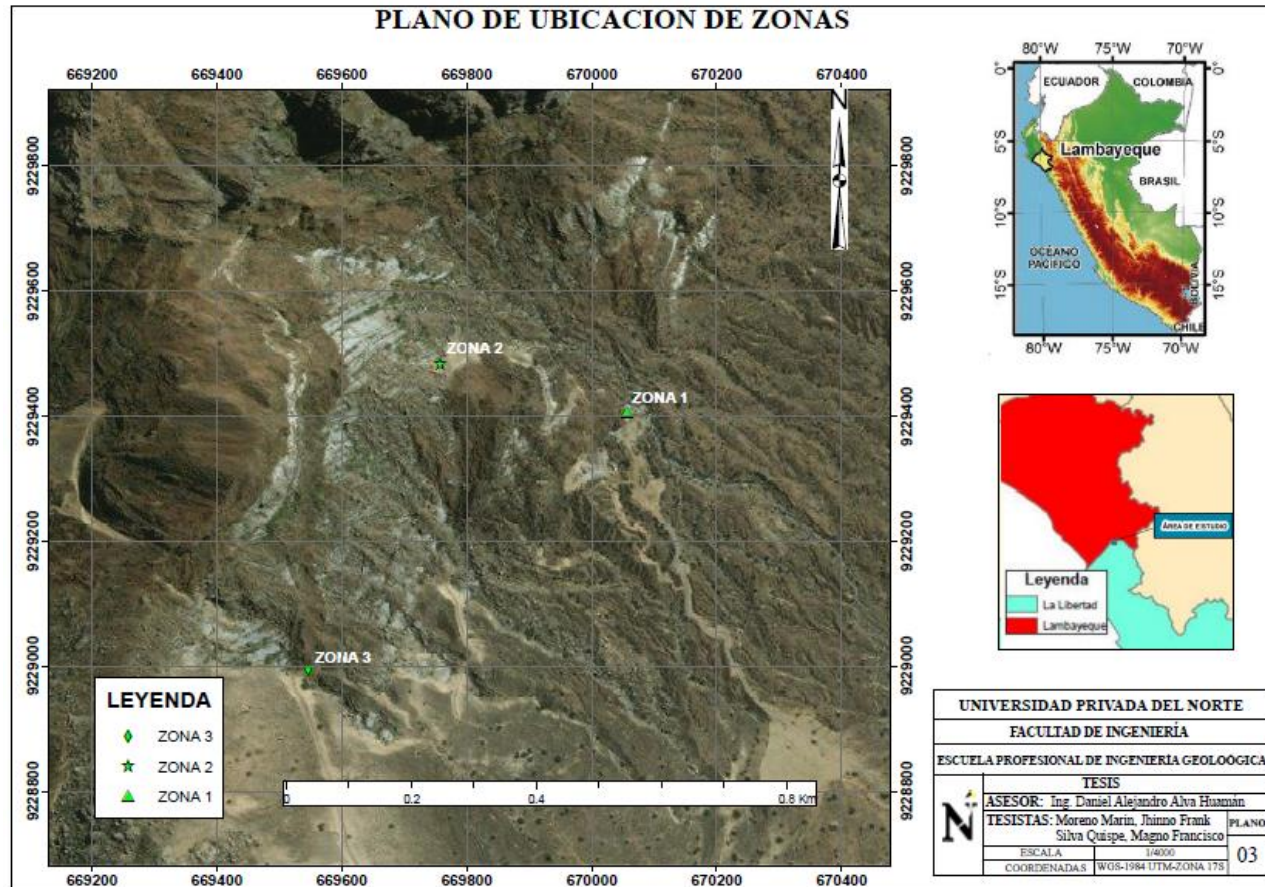
ANEXO 1 PLANO DE UBICACIÓN AREA DE ESTUDIO



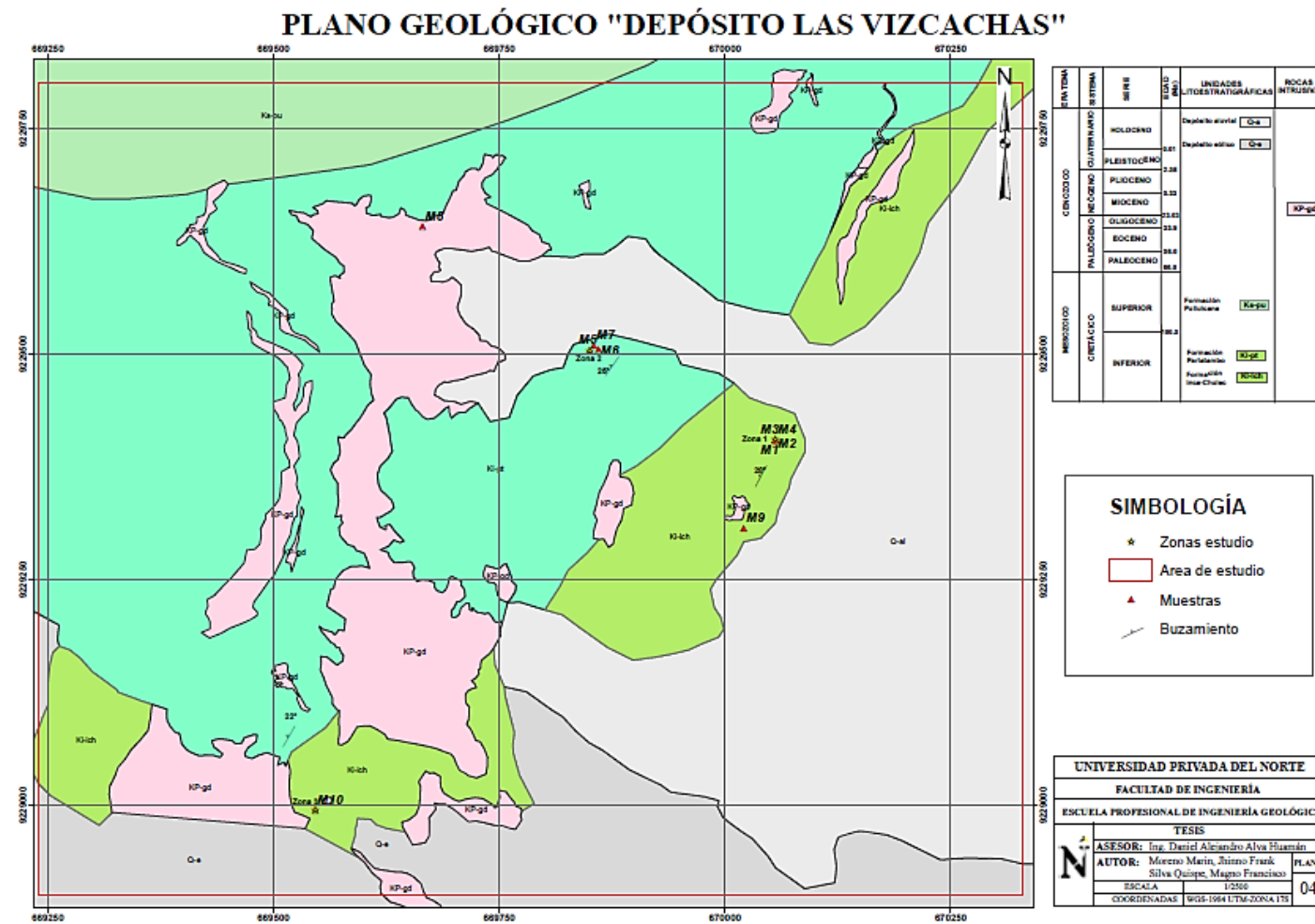
ANEXO 2 PLANO DE ACCESIBILIDAD AREA DE ESTUDIO



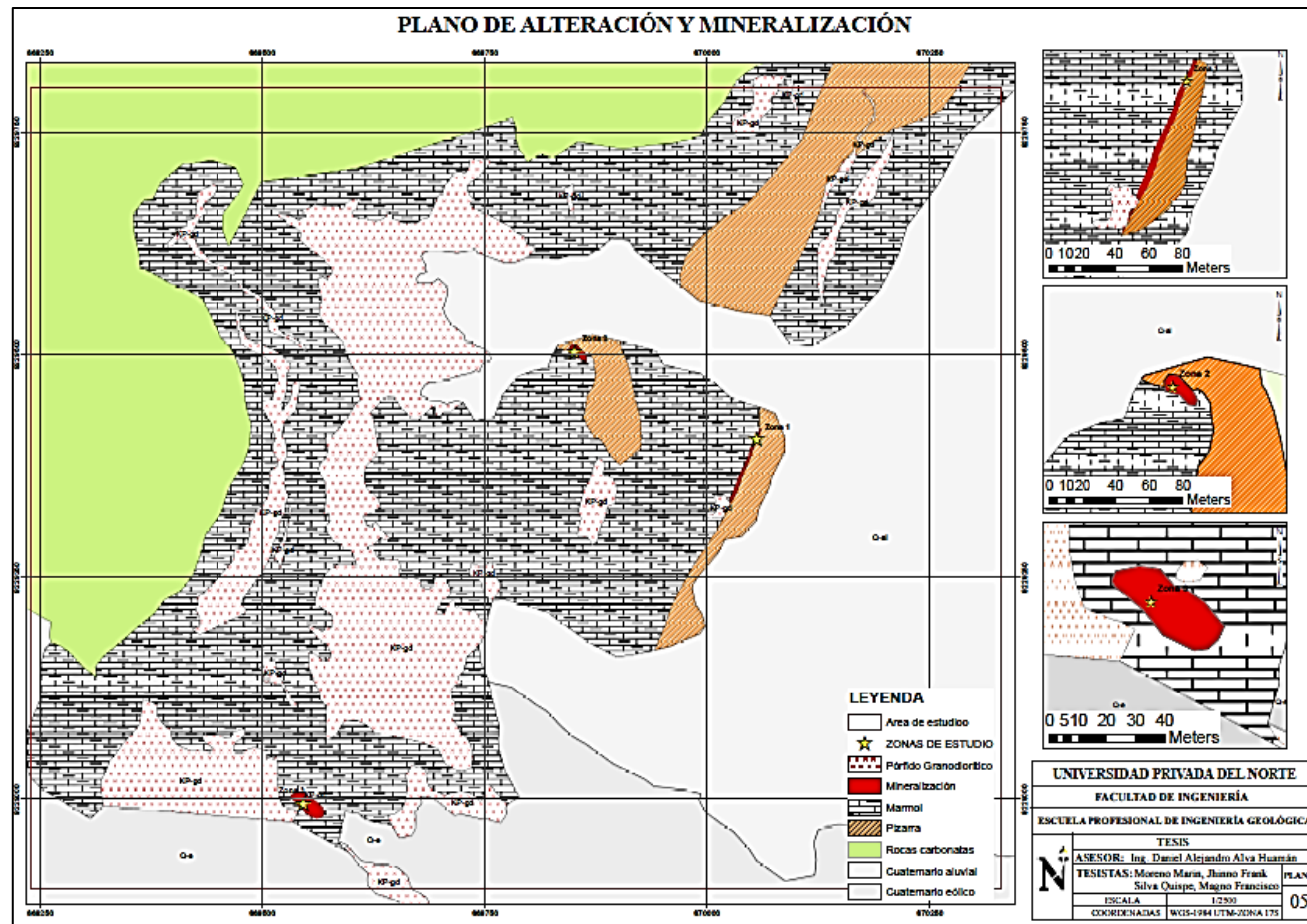
ANEXO 3 PLANO DE UBICACIÓN DE ZONAS DE ESTUDIO



ANEXO 4 PLANO GEOLOGICO DE LAS ZONAS DE ESTUDIO



ANEXO 5 PLANO GEOLOGIO DE LAS ZONAS DE ESTUDIO



**ANEXO 6 TABLA COORDENADAS DE MUESTRAS DE INTRUSIVOS PARA
DESCRIPCION VISU**

CODIGO DE MUESTRA	COORDENADAS UTM WGS 84		
	ESTE	NORTE	COTA
I-1	670004	9229737	430
I-2	670084	9229766	416
I-3	669430	9229232	537
I-4	669461	9229388	592
I-5	669549	9229236	466
I-6	669568	9229370	507
I-7	669608	9229513	523
I-8-	669665	9229641	503
I-9	670021	9229307	316
I-10	669970	9229334	336

ANEXO 7 TABLA DESCRIPCION VISU INTRUSIVOS (LUPA IWAMOTO 20X)

Código de la muestra	Textura	COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (%)				
		Qz	FPKs	PGLs	Otros	Clasificación
I-1	Porfírica	30	20	41	9	Granodiorita
I-2	Fanerítica	28	15	45	12	Granodiorita
I-3	Porfírica	30	20	45	5	Granodiorita
I-4	Porfírica	27	20	40	13	Granodiorita
I-5	Fanerítica	25	14	50	11	Granodiorita
I-6	Porfírica	24	20	48	8	Granodiorita
I-7	Porfírica	28	15	45	12	Granodiorita
I-8	Fanerítica	24	16	50	10	Granodiorita
I-9	Fanerítica	37	45	10	8	Granito
I-10	Fanerítica	35	40	15	10	Granito

ANEXO 7 TABLA DESCRIPCION VISU INTRUSIVOS (LUPA 20X)

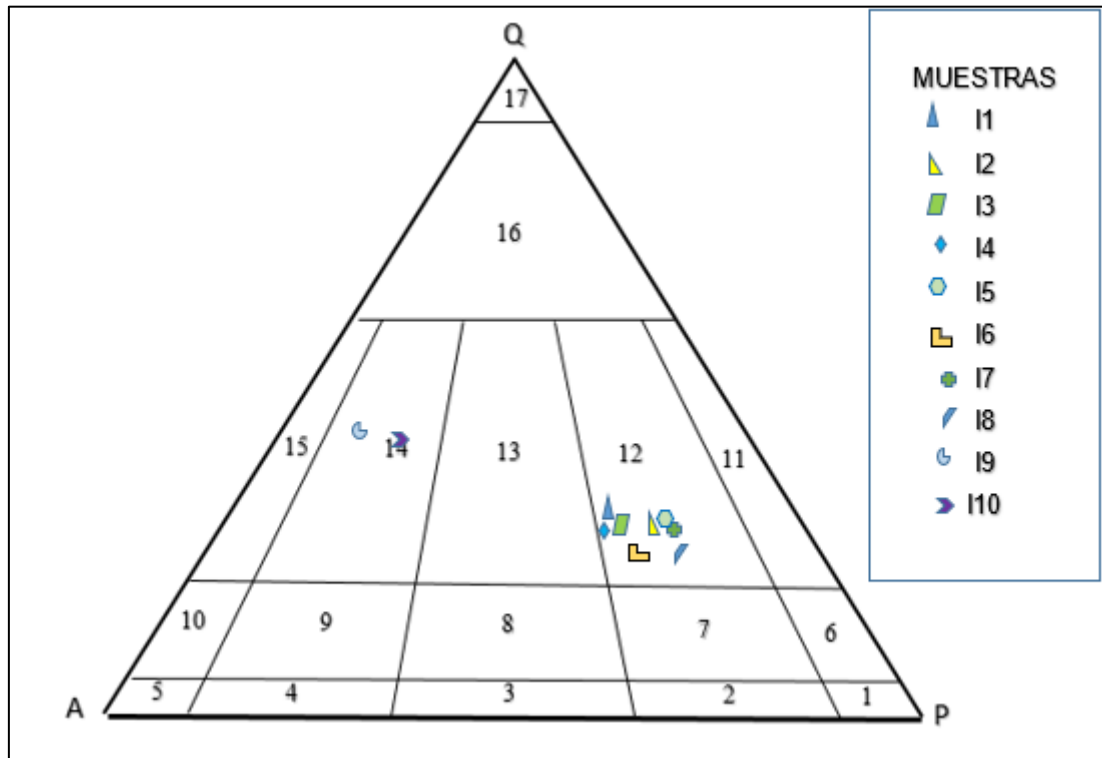


Diagrama QAP de Streckeisen (1976), con las muestras extraídas en terreno. 1; Gabro o Diorita: 2; Monzodiorita/monzogabro: 3; Monzonita 4; Sienita: 5; Cuarzosienita: 6; Cuarzodiorita/Cuarzogabro : 7; Cuarzomonzodiorita/Cuarzomonzogabro: 8; Cuarzo - Monzonita: 9; Cuarzosienita 10; Cuarzosienita de feledespato alcalino: 11; Tonalita, Cuarzodiorita: 12; Granodiorita: 13; Monzogranito, Adamelita: 14; Sienogranito: 15; Granito de feldeespato alcalino: 16; Granitoides Ricos en cuarzo: 17. Cuarzolita

**ANEXO 9 TABLA COORDENADAS DE MUESTRAS ENVIADAS A
LABORATORIO**

Muestra	Este	Norte	Cota	Zona
M – 1	670056	9229405	322	Zona 1
M – 2	670056	9229405	322	Zona 1
M – 3	670056	9229405	322	Zona 1
M – 4	670056	9229405	322	Zona 1
M – 5	669850	9229504	395	Zona 2
M – 6	669860	9229505	395	Zona 2
M – 7	669855	9229509	395	Zona 2
M – 8	669665	9229641	503	INTRUSIVO
M – 9	670021	9229307	316	INTRUSIVO
M – 10	669546	9228995	395	Zona 3

ANEXO 10 FOTOS



Foto 1 Tesistas en la bocamina de la labor en la zona 1.



Foto 2 Tesista reconociendo litologías en la zona de estudio.



Foto 3 Tesista Observando el emplazamiento del plutón entre las rocas carbonatadas.



Foto 4 Tesista describiendo calizas alteradas por el metamorfismo.



Foto 5 Tesista observando contacto entre plutón y rocas carbonatadas.



Foto 6 Mineralización de la zona 2