

ESCUA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y MINERALÓGICA DEL DEPÓSITO VMS “LA PLATA” EN EL CANTÓN SIGCHOS, PROVINCIA DE COTOPAXI.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA GEÓLOGA

OPCIÓN: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

JOSELYNE BELEN CUEVA MAZA

Joselyne.cueva@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSC. DARÍO ALEJANDRO FUENTES MEDINA

dario.fuentes@epn.edu.ec

CODIRECTOR: PHD. CRISTIAN FERNANDO VALLEJO CRUZ

cristian.vallejov@epn.edu.ec

Marzo, 2023

DECLARACIÓN

Yo, JOSELYNE BELEN CUEVA MAZA, declaro que el trabajo aquí presentado es de mi autoría: que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



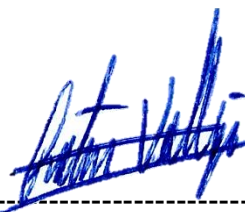
JOSELYNE BELEN CUEVA MAZA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Joselyne Belen Cueva Maza, bajo mi supervisión.



MSC. DARÍO ALEJANDRO FUENTES MEDINA.



PHD. CRISTIAN FERNANDO VALLEJO FUENTES.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento sincero a la Compañía Minera La Plata por su colaboración con la recopilación de datos, y de manera especial al gerente de Exploración-Geología Luis López, por su confianza en el desarrollo de este proyecto de titulación. También agradezco a los profesores de la Facultad de Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), MSC. Darío Fuentes, PhD. Fabián Villares, PhD. Cristian Vallejo, que me han apoyado en este proceso con su paciente orientación. Al Ing. Stalin Pilatasig y departamento de geología de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) con su guía en la elaboración de láminas delgada y secciones pulidas en el laboratorio de láminas delgadas. La PhD. Martha Romero del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador por el uso del laboratorio de Microscopio Electrónico de Barrido (SEM). Finalmente, agradezco a mis amigos Anita Chiluisa, Jairo Inca, Géne Bermeo, Eve Rodríguez (los VVs), Jonathan Vega, Henry Calderón, Alejo Chavarría, Álvaro Pérez, los cuales estuvieron presentes a lo largo del desarrollo de este proyecto dándome su apoyo tanto profesional como personalmente.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis padres Carlos Cueva y Yolanda Maza, mis hermanos Kerly Cueva, Carlos Cueva y Jaqueline Cueva (que nos cuida desde el cielo), y mis sobrinos Doménica Carvajal y Alejandro Carvajal. Este trabajo de titulación es el producto del esfuerzo y apoyo de mi familia que siempre han tenido palabras de aliento en los buenos y malos momentos.

ÍNDICE GENERAL

Declaración.....	II
Certificación	III
Agradecimientos	IV
Dedicatoria.....	V
Índice General.....	VI
Índice de Figuras.....	VIII
Índice de Tablas.....	XII
Resumen	XIII
Abstract.....	XIV
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivos Generales	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance.....	4
1.5. Metodología.....	5
1.6. Depósito de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS).....	6
1.6.1. Sistemas hidrotermales submarinos	6
1.6.2. Morfología y estructura.....	7
1.6.3. Mineralización.....	9
1.6.4. Zonación mineral.	11
1.6.5. Clasificación de los VMS	12
1.6.6. ALTERACIÓN HIDROTERMAL.....	16
2. Contexto geológico	18
2.1. Marco geodinámico	18
2.2. Geología Regional.....	20
2.2.1. Formación Pallatanga (Santoniano – Campaniano ¿).....	20

2.2.2.	La Unidad San Juan (Cenomaniano – Coniaciano)	20
2.2.3.	Grupo Rio Cala (Santoniano – Mastrichtiano Temprano).....	20
2.2.3.1.	La Portada (Santoniano – Campaniano).....	21
2.2.3.2.	Unidad Mulaute (Cretácico tardío)	21
2.2.3.3.	Unidad Pilatón (Senoniano – Campaniano).....	21
2.2.3.4.	Unidad Rio Cala (Campaniano - Mastrichtiano).....	21
2.2.3.5.	Unidad Natividad (Campaniano - Mastrichtiano).....	22
2.2.4.	Unidad Pilaló (Paleoceno-Eoceno).....	22
2.2.5.	Unidad Macuchi	24
2.3.	Características del Proyecto “La Plata”	27
2.3.1.	Ubicación y Acceso del área de estudio	27
2.3.2.	Geología local	28
2.3.2.1.	Secuencia litoestratigráfica	30
2.3.2.2.	Mineralización	32
2.3.3.	Contexto estructural	33
3.	Muestreo y Métodos Analíticos	34
3.1.	Muestreo	34
3.2.	Petrografía	36
3.2.1.	Análisis macroscópico	36
3.2.2.	Elaboración de láminas pulidas y Láminas delgadas	37
3.2.2.1.	Preparación inicial	39
3.2.2.2.	Esmerilado y Pulido de la muestra	41
3.2.3.	Análisis microscópico de láminas pulidas	44
3.2.3.1.	Propiedades ópticas de los minerales opacos	46
3.2.3.1.1.	Propiedades estructurales y morfológicas	50
3.2.3.1.2.	Texturas de mena	51
3.2.4.	Análisis con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM-EDS)	54
4.	Resultados petrográficos y mineralógicos del depósito “La Plata-Cuerpo Sur” 56	
4.1.	Mineralogía de mena	56
4.2.	Mineralogía de roca caja	68
5.	Conclusión y discusión	74
5.1.	Secuencia paragenética del yacimiento “La Plata-Cuerpo Sur”	74
5.2.	Génesis del Yacimiento “La Plata-Cuerpo Sur”	79

5.3. Conclusiones	82
5.4. Recomendaciones.	84
6. Bibliografía	85
Anexos	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador, con ubicación de los depósitos tipo VMS La Plata, El Domo y Macuchi (Hughes & Pilatasig, 2002).	2
Figura 1.2. Modelo hidrotermal general para la formación de depósitos VMS, ilustra los componentes básicos de un sistema hidrotermal VMS de alta temperatura (Franklin et al., 1981; Galley et al., 2007).	7
Figura 1.3. Morfología y estructura general de los depósitos de VMS. El gradiente de temperatura da lugar a la zonación de los minerales de sulfuro (Shanks III & Thurston, 2012)...8	8
Figura 1.4. Modelo de zonación mineral de los depósitos de VMS. El gradiente de temperatura da lugar a la zonación de los minerales de sulfuro. (Po) pirrotina, (Cp) calcopirita, (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Py) pirita, (Brt) barita (Galley et al., 2007).	12
.....	13
Figura 1.5. Modelo de los sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) en entornos tectónicos. (Shanks III & Thurston, 2012).	13
Figura 1.6. Modelo de clasificación litoestratigráfico de los sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) (Shanks III & Thurston, 2012).	15
Figura 1.7. Sección esquemática a través de un sistema de alteración hidrotermal de VMS en el campo minero Bathurst (Canadá) (Galley et al., 2007).....	17
Figura 2.1. Marco geodinámico del Ecuador, convergencia de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana. El Bloque Norte de los Andes (NAB) con dirección NNE y la Faja Inca con dirección SSE. Cordillera Costera (CC), cordillera Occidental (WC), Depresión Interandina (ID), Cordillera Oriental (EC), sistema de falla Chingual-Cosanga-Pallatanga-Púna (CCPP). (Yepes et al., 2016).....	19
Figura 2.2. Secuencia litoestratigráfica de la cordillera occidental y costa del Ecuador (Vallejo et al., 2019).....	23
Figura 2.3. Modelo paleogeográfico del arco submarino de Macuchi. Se formó sobre el basamento del Plateau oceanico acrecioado del Caribe . (Vallejo et al., 2019).....	24
Figura 2.4. Mapa geológico de la Cordillera Occidental entre 1° N a 2° S. (Vallejo, 2007).	26
Figura 2.5. Localización del depósito de VMS “La Plata”.....	27
Figura 2.6. Mapa geológico del depósito mineral de VHMS “La Plata”.Reporte técnico, (Leroux, 2019).	29
Figura 2.7. Secuencia litoestratigráfica del depósito mineral de VMS “La Plata”. Reporte técnico, (Leroux, 2019).....	30
Figura 2.8. A) Esquema tridimensional del depóstio “La Plata” del cuerpo sur. (Chiaradia, 2008). B) Interpretación geológica del “Cuerpo Sur” del pozo 177-98-23. Se observa plagamiento de la mineralización, Cornestone en (Leroux, 2019).	33
.....	35
Figura 3.1. Pozos de exploración de Toachi mining S.A.. A) litológico del depósito mineral de VMS “La Plata”. B) mineralización del depósito sur. Brechas (BX), volcánicos del footwall (FVS), gabro (GAB), dolerita (GDO), volcánicos del hanging wall (HVS), Jaspe (JAS), regolito (REG),	

stockwork (STW), sulfuros semimasivos (SVMS), sulfuro masivos (VMS), semimasivos de calcopirita y esfalerita (CPSP_SVMS), masivos de calcopirita y esfalerita (CPSP_VMS), stockwork de calcopirita (CPY_STW), semimasivo de calcopirita (CPY_SVMS), stockwork de pirita (PY_STW), semimasivo de pirita (PY_SVMS), masivo de pirita (PY_VMS), stockwork de esfalerita (SPA_STW), semimasivo de esfalerita (SPA_SVMS), masivo de esfalerita (SPA_VMS), semimasivo de esfalerita y galena (SPGA_SVMS), masivo de esfalerita y galena (SPGA_VMS).....	35
Figura 3.2. (A) Lupa de aumento 20X iwamoto, (B) lápiz de dureza de tungsteno con imán y (C) testigo de perforación mineralizado.....	36
Figura 3.3. Preparación inicial de láminas delgado-pulidas: (A) cortadora de diamantes, (B) chip de sulfuros masivos, (C) cara frontal pegada en lámina de vidrio, (D) pulidora de succión, (E) polvo de carburo de sílice, (F) cara frontal y posterior pegadas en lámina de vidrio, (G) cortadora de succión, (H) resina y endurecedor Z-poxy, (I) cara posterior pegada en lámina de vidrio.	40
Figura 3.4. Esquema transversal de una sección pulida que ilustra la naturaleza de la deformación desde la superficie cortada. Fuente:(Craig & Vaughan, 1994).	41
Figura 3.5. Esmerilado y pulido de Láminas delgado-pulidas: (A) polvo de carburo de silicio, (B) placa de vidrio con pulimento, (C) lijas de carburo de silicio, (D) desbastadora, (E) área de pulido, (F) pasta de diamante para pulimento metalográfico de 14 mesh, (G) aplicación de pasta, (H) uso de pañuelo para pulido manual, (I) resultado final de una sección pulida.	43
Figura 3.6. Microscopio Olympus BX 51M de la facultad de Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional.....	45
Figura 3.7. Clasificación de minerales opacos (Spry & Gedlinske, 1987).	46
Figura 3.8. Esquema de reflectividad de minerales transparentes, semiopacos, y opacos. (Ii) Intensidad de incidencia, (Ir) intensidad reflejada, (It) intensidad transmitida.	48
Figura 3.9. A) estructura de peine con crisales bien desarrollados hacia fuera de la paredes de fractura. B) textura coliforme en bandas de esfalerita (Craig & Vaughan, 1994).	52
Figura 3.10. Ejemplo de texturas de remplazamiento obtenidas en el presente estudio. (A) remplazamiento de galena por covelita. (B) remplazamiento de tennantita por galena, galena con triángulos de arranque (pits). (C) enfermedad de la calcopirita. (D) textura selectiva pirita framboidal con remplazamiento de galena y esfalerita.....	53
Figura 3.11. Microscopio electrónico de barrido (SEM) del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador.....	54
Figura 3.12. Ejemplo de análisis SEM-EDSobtenido para la muestra 06-01-22 en el presente trabajo. (A) Mapa elemental semicuantitativo SEM-EDS, que representa zonas de alta intensidad en Cu, Fe, S. (B) Imagen de electrones de retrodispersión (BSE). (C) Difractograma con las fases identificadas y cuantificadas mediante análisis de perfil.	55
Figura 4.1. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa Py (I) con remplazamiento de Gn y Sp, (B) Py I con remplazamiento de galena y esfalerita. (C) Py (II) con remplazamiento de Ccp, granos de Sp, y Brt, (D) Py II con remplazamiento de calcopirita y bornita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita.....	57
Figura 4.2. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) luz reflejada, se observa textura de enfermedad de la calcopirita, (B) se observa bandas de esfalerita y calcopirita, (C) se observa remplazamiento de calcopirita en pirita II, (D) mapa elemental semicuantitativo de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDS) donde se observa un remplazamiento de pirita por calcopirita y esfalerita. (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita, (Qz) cuarzo.	58
Figura 4.3. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa la relacion de esfalerita y galena, remplazado por Ccp, (B)se observa esfalerita bordeando a clastos de barita, y textura de enfermedad de calcopirita, (C) se observa	

clastos de esfalerita , 0.7 mm, en el cuadro 1 presenta un enriquecimiento de Fe, (D) se observa el grano de esfalerita de C, (E) se observa clasto de esfalerita con remplazamiento de calcopirita (textura atolón) , (F) Luz reflejada; se observa esfalerita ebordeando a calcopirita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita, (Tnt) tenantita, (Cct) calcosita.....	60
Figura 4.4. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa la galena rellenoando espacios de esfalerita, (B) se observa a galena rellenoando granos de barita, remplazamiento de calcopirita, y pirita euhedral, (C) se observa matriz de esfalerita con inclusiones de calcopirita y granos de plomo de 30 μm, (D) mapa elemental (SEM-EDS), se observa granos de plomo libre, presenta una distorsión de colores debido a la sobre imposición del mapa semicuantitativo en la imagen BSE, (E) espectro de plomo libre. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita, (Bn) bornita. 61	
Figura 4.5. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) matriz de bornita con texturas de atolón de galena, esfalerita, tenantita y pirita I, (B) mapa (SEM-EDS) se observan granos de tenantita y esfalerita siendo remplazado por bornita, presenta una distorsión de colores debido a la sobre imposición del mapa semicuantitativo en el mapa BSE, (C) se observa remplazamiento de galena, tenantita y pirita I, asociado a calcosita, (D) remplazamiento de bornita por calcopirita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita, (Tnt-Ttr) tenantita-tetraedrita, (Bn) bornita, (Cct) calcosina, (Cv) covellita.	62
Figura 4.6. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) remplazo de tenantita en bordes de esfalerita, (B) galena, tenantita rellenoando espacios de esfalerita y granos de barita, remplazamiento de calcopirita por esfalerita (textura de la enfermedad de la calcopirita), (C) masivo de calcopirita con tetraedrita en textura atolón, (D) granos de tenantita y tetraedrita euhedrales y asociados con esfalerita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py II) pirita, (Tnt-Ttr) tenantita-tetraedrita.	64
Figura 4.7. Imágenes con microscopio de luz reflejada. (A) se observa remplazamiento de bornita en pirita y calcosina, (B) se observa remplazamiento de bornita por calcosina y digenita por galena. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py II) pirita, (Tnt-Ttr) tenantita-tetraedrita, (Cct) calcosita, (Dg) digenita.	64
Figura 4.8. Imágenes de microscopio con luz reflejada. (A) se observa remplazamiento de bornita en pirita y calcosina, (B) se observa remplazamiento de bornita por calcosina, y galena por covelina. (Gn) galena, (Brt) barita, (Bn) bornita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita, (Cv) covellita. 65	
Figura 4.9. Imágenes de microscopio con luz reflejada. (A) oro libre asociado a calcopirita, esfalerita y barita, (B) oro libre como inclusion dentro de grano de galena. (Gn) galena, (Brt) barita, (Bn) bornita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita, (Cv) covellita, (Au) oro.....	66
Figura 4.10. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa pirita framboidal remplazada por barita, galena, esfalerita, y granos de cuarzo menores de 50μm, (B) se observa un grano de cuarzo rellenoando espacios, (C) grano de cuarzo 670μm con espacios rellenos de galena, esfalerita, calcopirita, (D) grano de cuarzo bordeado por sulfuros. (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita,(Py) pirita, , (Qz) cuarzo	67
Andesita-Basáltica a Andesita.....	68
Figura 4.11. Muestra: 97_22_30., Foot wall, (A) nicoles cruzados, se observa las plagioclasas carlsbad seriada, (B) nicoles paralelos, se observan alteración sericitica en la matriz, (C, D) Nicoles cruzados y nicoles paralelos, minerales de alteración clorita en veta de Jaspe. (E) muestra de mano, con halos de alteración de clorita. (Pl) plagioclasa, (Chl) clorita, (Ser) sericitita, (Jas) Jaspe.	69
Figura 4.12. Imagenes de microscopio petrográfico con luz transmitida. (Muestra: 06_01_20., andesita basáltica) (A) nicoles cruzados, se observa textura porfirítica. (B) nicoles paralelos, (C,	

D) Nicoles cruzados y nicoles paralelos, vetillas con cuarzo y calcita. (Cpx) clinopiroxeno, (Opx) ortopiroxeno, (Pl) plagioclasa, (Cal) calcita, (Qz) cuarzo.	70
Figura 4.13. Imágen de microscopio petrográfico con luz transmitida. Muestra: 06_01_21., toba volcánica, (A) nicoles cruzados, se observa las plagioclasas que conservan poco de su textura original, (B) nicoles paralelos, se observan fragmentos de rocas volcánicas, (C, D) Nicoles cruzados y nicoles paralelos, minerales de alteración clorita, sericita. (Pl) plagioclasa, (Chl) clorita, (Ser) sericita.	72
.....	73
Figura 4.14. Muestras del Hanging wall: (A) basalto con vesículas rellenas de carbonato (muestra: 20_104_01), (B) brecha autoclástica (muestra: 20_96_04), (C) toba volcánica con vetillas rellenas de carbonato (muestra: 06_01_21), (D) Chert con vetillas de cuarzo presenta pirita diagenética (Muestra: 06_02_24), (E) colada de jaspe en contacto con sedimentos volcánicos (Muestras: 20_98_18).....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.....	9
Mineralogía hipogénica de los depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (Koski et al., 2012)	9
Tabla 1.2.....	16
Clasificación de los sulfuros masivos hospedados en volcánicos (VMS) (Barrie & Hannington, 1999; Franklin et al., 2005).....	16
Tabla 3.1.....	37
Muestras para la elaboración de láminas pulidas y láminas delgadas.....	37
Tabla 3.2.....	41
Dimensiones de tamaño de malla y grit.(Craig & Vaughan, 1994).....	41
Tabla 3.3.....	47
Propiedades ópticas de los minerales opacos(Craig & Vaughan, 1994).....	47
Tabla 4.1.....	75
Paragénesis de la mineralización del depósito “La Plata-Cuerpo Sur”	75

RESUMEN

El proyecto mineral “La Plata” está ubicado en la Cordillera Occidental en el flanco occidental, en la provincia de Cotopaxi, del Ecuador. Se encuentra alojado en la Formación Macuchi con una edad Paleocénica a Eocénica Medio. El proyecto VMS “La Plata” se divide en dos cuerpos minerales principales económicamente “La Mina Norte” y “La Mina Sur”, este último a su vez se subdivide en “Cuerpo Norte” y “Cuerpo Sur”. Nuevos datos exploratorios de mineralización en el “Cuerpo Sur” son obtenidos, y con ello; surge la necesidad de establecer y correlacionar la paragénesis mineral del cuerpo mineral. La mineralización se encuentra como pequeños lentes de sulfuros masivos, stockwork, y diseminado. Se tomaron muestras de testigos de perforación del “Cuerpo Sur” de la Compañía Minera La Plata donde se analizaron 20 láminas pulidas, y 3 láminas delgadas bajo el microscopio petrográfico con luz reflejada y transmitida, respectivamente. Muestras seleccionadas fueron analizadas bajo el microscopio electrónico de barrido (SEM) con espectroscopía de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDS).

El estudio petrográfico, mineralógico y textural de “La Plata-Cuerpo Sur” permitió determinar la secuencia paragenética definiendo 6 etapas de mineralización; Etapa 1: pirita framboidal la cual es singenética con los sedimentos (lodolitas) se clasifica como mineralización temprana. La mineralización principal está representada por; Etapa 2: enriquecimiento de Zn-Pb que presenta un remplazamiento de la etapa 1, la mineralización sugiere temperaturas bajas (~150 – 250°C); Etapa 3: enriquecimiento de Zn-Cu-Au, las texturas indican un remplazamiento de las etapas anteriores y un aumento de temperatura (~250 – 300°C); Etapa 4: enriquecimiento de Cu, representada por mineralización de calcopirita, la mineralización y texturas observadas sugieren un aumento de temperatura (~300 – 350°C); Etapa 5: enriquecimiento de Brt, representa una etapa de cierre del sistema y enfriamiento, la estabilidad de la barita es de baja temperatura (< 250°C). Por último, la Etapa 6: presenta covelita que remplaza a las etapas anteriores y sugiere una fase de enriquecimiento supergénico.

ABSTRACT

The "La Plata" mineral project is in the Western Cordillera on the western flank, in the province of Cotopaxi, Ecuador. It is hosted in the Macuchi Formation with a Paleocene to Late Eocene age. The VMS "La Plata" project is divided into two main ore bodies economically "La Mina Norte" and "La Mina Sur", the latter in turn is subdivided into "Cuerpo Norte" and "Cuerpo Sur". New exploratory data of mineralization in the "South Body" is obtained, and with it the need to establish and correlate the mineral paragenesis of the orebody arises. The mineralization is found as small lenses of massive sulphides, stockwork, and disseminated. Drill core samples were taken from the "Cuerpo Sur" of La Plata Mining Company where 20 polished sections and 3 thin sections were analyzed under the petrographic microscope with reflected and transmitted light, respectively. Selected samples were analyzed under the scanning electron microscope (SEM) with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS).

The petrographic, mineralogical and textural study of "La Plata-South Body" allowed determining the paragenetic sequence defining 6 stages of mineralization; Stage 1: framboidal pyrite which is syngenetic with the sediments (mudstones) is classified as early mineralization. The main mineralization is represented by; Stage 2: Zn-Pb enrichment which presents a replacement of stage 1, the mineralization suggests low temperatures (~150 - 250°C); Stage 3: Zn-Cu-Au enrichment, textures indicate a replacement of the previous stages and an increase in temperature (~250 - 300°C); Stage 4: Cu enrichment, represented by ore of chalcopyrite, mineralization and textures observed suggest a temperature increase (~300 - 350°C); Stage 5: Brt enrichment, represents a stage of system closure and cooling, barite stability is low temperature (< 250°C). Finally, Stage 6: presents covellite that replaces the previous stages and suggests a supergene enrichment stage.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Los depósitos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) son fuentes importantes de metales como: Zn, Cu, Pb, Ag, y Au; y fuentes significativas de: Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Gn, y Ge (Galley et al., 2007). Se conoce alrededor de 850 depósitos de VMS en todo el mundo, con reservas geológicas superiores a 200.000 toneladas (Galley et al., 2007). Los depósitos de VMS presentan: el 22% de la producción mundial de Zn, el 6% de Cu, el 9.7% de Pb, 8.7% de Ag, y 2.2% de Au (Singer, 1995). El proyecto mineral de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) “La Plata” ubicado en la provincia de Cotopaxi, es considerado la mayor reserva mineral de este tipo de depósitos en el Ecuador con un recurso inferido de 840.000 toneladas y una ley de corte de 4.8 g/t de Au, 54 g/t de Ag, 4.1 % de Cu, 0.7% de Pb y 4.2% de Zn (Chiaradia et al., 2008).

En el Ecuador el proyecto VMS “La Plata” comprende dos depósitos mineralizados principales (“La Mina Norte” y “La Mina Sur”) de gran interés económico debido a la presencia de metales como: oro, plata, y cobre. Para conocer el contexto geológico de mineralización del proyecto, se han realizado diversos estudios técnicos, entre ellos: Chiaradia et al. (2008), programas de exploración de Cambior en 1998, Cornerstone en 2006 (Leroux, 2019), y en el año 2020 se realizaron nuevos programas de exploración por la Compañía Minera La Plata. El presente trabajo de titulación toma en cuenta estos datos exploratorios para contribuir a la caracterización petrográfica y mineralógica del proyecto minero “La Plata”.

La caracterización petrográfica en un depósito mineral ayuda a determinar las fases minerales presentes; así como también las relaciones texturales entre los granos del mineral. Un estudio petrográfico de las muestras del VMS y del encajante permite describir la evolución de la mineralización y puede ser útil para posteriores etapas de exploración. Además, este estudio toma en cuenta los análisis geoquímicos realizados por Chiaradia et al. (2008) y otros estudios técnicos que han sido facilitados por la Compañía Minera La Plata para caracterizar de mejor manera la mineralización del depósito.

1.2. JUSTIFICACIÓN

A lo largo del segmento norte de la Cordillera Occidental del Ecuador se encuentra ubicado la formación Macuchi que presenta una secuencia de arcos volcánicos submarinos y una serie de flujos de composición basáltica y andesítica, los cuales están afectados por un metamorfismo de bajo grado sin deformación (Aguirre & Atherton, 1987). Este ambiente volcánico submarino es propicio para formar depósitos minerales de tipo VMS; es así, que en la Formación Macuchi se conocen varios tipos de estos depósitos como: “La Plata”, “Macuchi”, y “El Domo” (Figura 1.1).

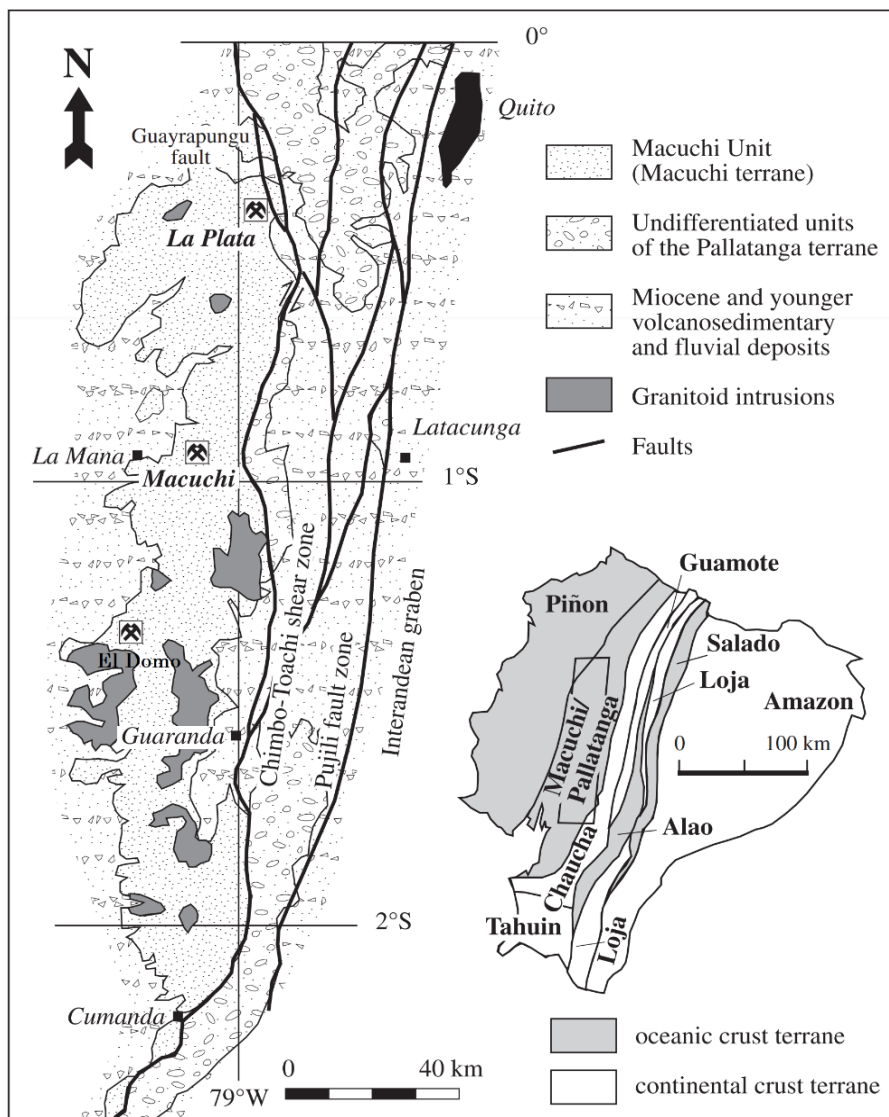


Figura 1.1. Mapa geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador, con ubicación de los depósitos tipo VMS La Plata, El Domo y Macuchi (Hughes & Pilatasig, 2002).

El depósito “Macuchi” se encuentra ubicado a 65Km al sur del depósito “La Mina” del proyecto minero “La Plata”. La caracterización del depósito mineral “Macuchi” no se encuentra bien documentada, los datos disponibles del depósito son escasos debido al poco acceso a los cuerpos mineralizados y la falta de cortes de sulfuros masivos en las perforaciones, por ello hay varias incógnitas que presenta el Proyecto “Macuchi”, (ej. no se ha encontrado un sistema de alimentación o stockwork).

El depósito polimetálico “El Domo” es parte del proyecto “Curipamba” y se encuentra ubicado a 100 Km al sur del proyecto “La Plata”. La caracterización del depósito mineral no deformado “El Domo” se encuentra documentada en: Vallejo et al. (2015), y el reporte técnico NI 34-101 de Salazar Resources Limited (Calvo et al., 2014), donde se determina el entorno geológico, la mineralización, la génesis del depósito mineral “El Domo”, y descripciones de las litofacies del footwall y Hanging wall.

Varios estudios de perforaciones se han realizado en el proyecto “La Plata”: Cambior (1998), Cornerstone (2006) en (Leroux, 2019); sin embargo, no se tiene estudios actualizados sobre la paragénesis mineral del sistema de sulfuros masivos por lo que se limita la planificación de recuperación de minerales metálicos de interés económico. Los resultados de este estudio permitirán determinar la secuencia de formación de la mineralización la cual es útil para la etapa de exploración avanzada. Este proyecto contribuirá al entendimiento de la petrografía de mineralización del depósito mineral “Cuerpo Sur” del proyecto “La Plata”; por lo tanto, ayudará a mejorar la recuperación de los minerales metálicos de interés para la Compañía Minera La Plata.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVOS GENERALES

Caracterizar el ensamblaje mineral de tipo sulfuro masivo volcanogénico del depósito “La Plata–Cuerpo Sur” mediante el estudio petrográfico de láminas pulidas y láminas delgadas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y describir petrográficamente la mineralización y la roca encajante del depósito “La Plata–Cuerpo Sur”
- Determinar la secuencia paragenética del depósito “La Plata” en la parte sur del cuerpo mineral.
- Discutir el origen de mineralización del depósito “La Plata–Cuerpo Sur” mediante la asociación mineral y datos semicuantitativos de SEM.

1.4. ALCANCE

Para cumplir con los objetivos del proyecto se pretende:

- Recopilar información bibliográfica del proyecto “La Plata–Cuerpo Sur”.
- Recolectar muestras de mineralización y de roca caja de 17 pozos correspondientes a la zona de estudio.
- Elaborar láminas pulidas y láminas delgadas de la zona mineralizada, del Footwall, y Hanging wall, respectivamente.
- Analizar, identificar, y describir la mineralización y roca caja del depósito “Cuerpo Sur” del proyecto “La Plata”.
- Analizar láminas pulidas con el microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS), en el laboratorio del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador. Estos análisis permiten caracterizar la: composición mineral y texturas de las fases minerales presentes.

- Finalmente, redactar el trabajo de titulación e integrar con los datos que se tienen del área de estudio.

1.5. METODOLOGÍA

La investigación de este proyecto se realizó en las siguientes etapas:

1. Etapa de gabinete

- Recopilación de información bibliográfica.
- Análisis de data de Leapfrog de los sondajes para la selección de muestras.
- Diseño de Muestreo.

2. Etapa de campo.

- Recopilación de muestras desde testigoteca donde se tomaron muestras de la zona mineralizada y roca caja.

3. Etapa de laboratorio

- Elaboración de lámina pulidas y láminas delgadas. Se utilizó el laboratorio de láminas delgadas del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

4. Etapa de identificación y descripción mineralógica.

- Análisis macroscópico de lámina delgadas y láminas pulidas. Se utiliza lupa de aumento y lápiz de dureza de tungsteno con imán.
- Análisis microscópico de lámina delgadas y láminas pulidas. Mediante el análisis con el microscopio petrográfico con luz transmitida y reflejada, respectivamente. Se utiliza el laboratorio de microscopía del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

- Análisis de láminas pulidas. Se utiliza el microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS), en el laboratorio del ministerio de cultura y patrimonio del Ecuador.

5. Etapa de interpretación y discusión

- Caracterizar, interpretar y discutir los resultados obtenidos en la etapa anterior.

1.6. DEPÓSITO DE SULFUROS MASIVOS VOLCANOGÉNICOS (VMS)

1.6.1. SISTEMAS HIDROTERMALES SUBMARINOS

Los sistemas hidrotermales submarinos representan un gran interés económico, ya que generan depósitos minerales originados por la circulación de fluidos hidrotermales en la subsuperficie marina. En el planeta la mayor parte de la actividad hidrotermal se da en entornos de dorsales oceánicas y arcos insulares debido a la gran actividad volcánica (Pirajno, 2009). Para la formación de los depósitos de VMS los factores principales son: 1) fuente de calor, 2) zona de reacción de alta temperatura, 3) zona de Fallas, 4) zona de alteración de la pared subyacente inferior del depósito mineral (Foot wall) y pared superior del depósito mineral (Hanging wall), donde circulan los fluidos hidrotermales, 5) zona de precipitación de mineralización, y 6) sedimentación del fondo marino (Figura 1.2.) (Franklin et al., 2005). Las fuentes de calor proporcionan la energía necesaria para la circulación convectiva de los fluidos hidrotermales, en algunos depósitos puede ser fuente de metales. Los fluidos derivados de la infiltración de agua de mar al interactuar con la roca caja a altas temperaturas se cargan de Mg^+ y OH^- , lo que produce H^+ , cuya presencia tiene un fuerte efecto sobre la solubilidad de los metales (ej. Cu, Zn, Pb, Mn) los cuales son recargados en los fluidos. Los metales son transportados por los fluidos en las zonas de circulación la cual produce la alteración del Foot wall, finalmente son depositados en la zona de descarga.

La precipitación de los metales se da por sobresaturación de los fluidos hidrotermales formando minerales de ganga (minerales sin interés económico) y mena (minerales con interés económico). La sobresaturación se puede producir por: 1) el enfriamiento de los fluidos hidrotermales cuando el magma asciende a zonas poco profundas, o 2) un cambio en el pH de los fluidos hidrotermales. Las reacciones redox (Eh) se produce por: 1) el contacto de los fluidos con la roca caja, 2) el ascenso a zonas más oxidadas, 3) mezcla con otros fluidos, o 4)

por actividad de bacterias. El estado de oxidación de algunos metales difiere mucho en su solubilidad (Fe^{2+} es soluble, Fe^{3+} insoluble), el azufre tiene varios estados de oxidación y puede ser reducido (Sulfuros: S^{2-}) u oxidado (Sulfatos, S^{4+} , y S^{6+}), estos iones, junto con los metales, pueden formar complejos solubles, afectando la solubilidad de los metales.

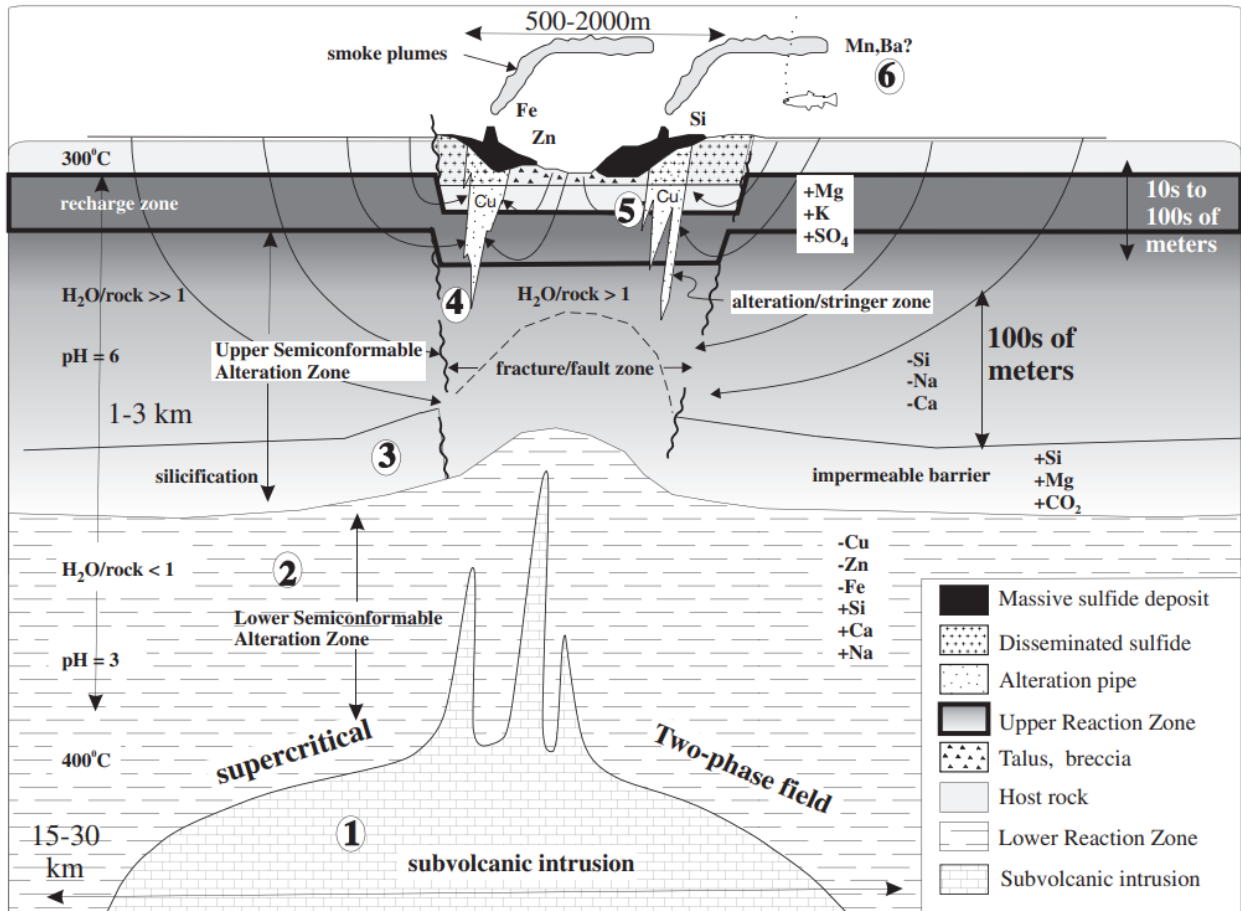


Figura 1.2. Modelo hidrotermal general para la formación de depósitos VMS, ilustra los componentes básicos de un sistema hidrotermal VMS de alta temperatura (Franklin et al., 1981; Galley et al., 2007).

1.6.2. MORFOLOGÍA Y ESTRUCTURA

La morfología de los depósitos tipo VMS varían principalmente por el ambiente de formación, depositación, y deformación posterior. Los depósitos actuales presentan: montículos, zonas de remplazamiento, y stockwork subyacentes. De acuerdo con la morfología los depósitos pueden presentar uno o más estilos de mineralización:

- **Lentes y hojas:** presentan zonación de sulfuros masivos en la zona central dividido en zonas ricas en: Cu (Yellow ore), y Pb, Zn (Black ore). La baritina se encuentra en zona periféricas y sobre los sulfuros. Los sulfatos (Yeso, anhidrita) se encuentra en zonas periféricas inferiores, se superponen al stockwork.
- **Montículos:** volumétricamente son más grandes que los cuerpos de lentes. Se componen de lentes de sulfuros y presenta la misma división de mineralización (Figura 1.3.). Los fluidos hidrotermales se terminan concentrando en el límite de la capa más impermeable y disueltos en zonas más permeables, suelen estar por encima del stockwork.
- **Stockwork:** se encuentra dominado por un sistema de vetillas entrecruzadas, donde se alojan los sulfuros (pirita y calcopirita), llamada zona de stringer o stockwork con halos de alteración distintivos que pueden extenderse por los estratos del Hanging wall (Franklin et al., 2005a). Las chimeneas se suelen presentar colapsadas como brechas (figura 1.3).

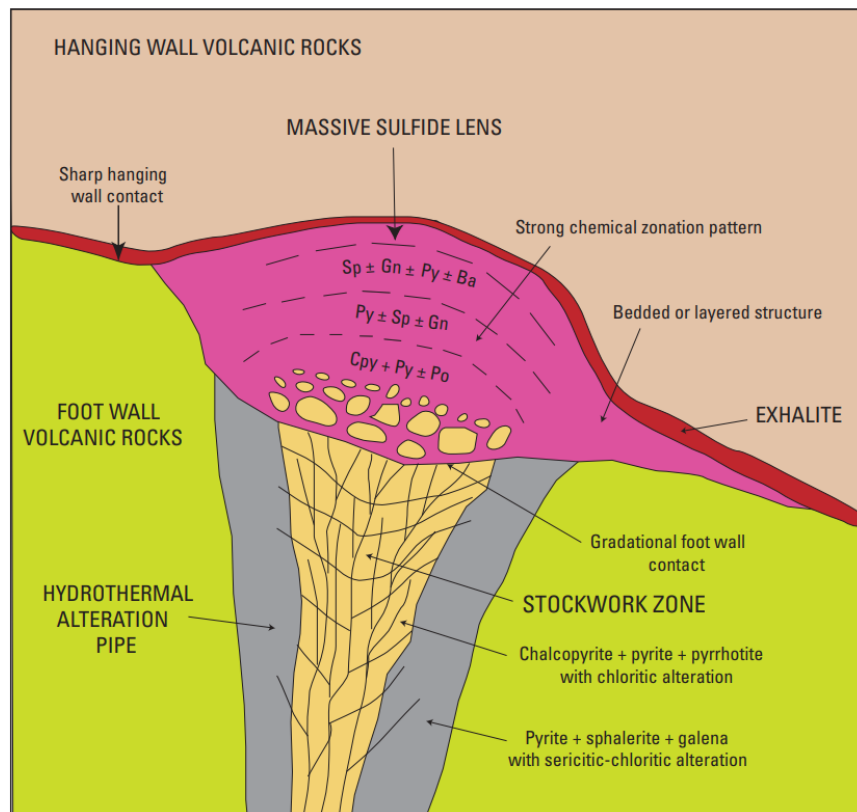


Figura 1.3. Morfología y estructura general de los depósitos de VMS. El gradiente de temperatura da lugar a la zonación de los minerales de sulfuro (Shanks III & Thurston, 2012).

Poco se conoce de los procesos de remplazamiento en depósitos VMS actuales, debido a que ocurren en la subsuperficie marina. La mayoría de depósitos de VMS se formaron en ambientes anóxicos por procesos de remplazamiento de litologías con mayor permeabilidad como las facies volcánoclasticas, estos yacimientos no presentan alta oxidación, ni erosión del fondo marino por lo que se conservan muy bien a diferencia de los montículos, la morfología producto del remplazamiento está definida por las litologías más porosas y reactivas (Tornos et al., 2015). Algunos depósitos VMS no se caracterizan por los clásicos estilos morfológicos mencionados, algunos presentan morfologías planas o tabulares, y parecen estrar distales de una chimenea, esto debido a las propiedades de los fluidos hidrotermales a medida que se infiltran en la roca caja (Robb, 2005).

1.6.3. MINERALIZACIÓN

Los depósitos de VMS son polimetálicos debido a la interacción de los fluidos hidrotermales con la roca caja, las principales fuentes son de: Zn, Cu, Pb, Ag, y Au, en menores cantidades de: Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Gn, y Ge (Galley et al., 2007). La mineralización de los VMS varía según las características propias de cada depósito mineral y si el depósito sufrió o no un enriquecimiento supergénico. En la mayoría de los depósitos, los minerales de sulfuro dominantes son: pirita, pirrotina, calcopirita, esfalerita, y galena. En (Tabla 1.1.) los minerales se clasifica en: minerales mayores, minerales menores, y minerales traza, que corresponde a los sulfuros más abundantes que se encuentran en los depósitos de VMS (Koski et al., 2012).

Tabla 1.1.
Mineralogía hipogénica de los depósitos de sulfuros masivos volcánogénicos (Koski et al., 2012)

Minerales mayores		Minerales traza	
Pirita	FeS ₂	freibergita	(Ag, Cu) ₁₂ (Sb,As) ₄ S ₁₃
Pirrotina	Fe _{1-x} S	germanita	Cu ₃ (Ge, Fe)(S, As) ₄
Calcopirita	CuFeS ₂	gersdorffite	NiAsS
Esfalerita	(Zn, Fe)S	glaucodot	(Co, Fe) AsS
Galena	PbS	oro	Au

Minerales menores		telúricos de oro	
marcasita	FeS ₂	idaíta	Cu ₅ FeS ₆
magnetita	Fe ₃ O ₄	hedleyita	Bi ₇ Te ₃
cobaltita	(Co, Fe) AsS	hessite	Ag ₂ Te
arsenopirita	FeAsS	lollingite	FeAs ₂
tennantita	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	mackinawite	Fe ₁ +XS
tetrahedrita	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	millerita	NiS
Minerales traza		mawsonita	Cu ₆ Fe ₂ SnS ₈
acantita	Ag ₂ S	molibdenita	MoS ₂
argentita	Ag ₂ S	níquel	NiAs
bismuto	Bi	pentlandita	(Fe, Ni) ₉ S ₈
bismutinita	Bi ₂ S ₃	pyrargyrita	Ag ₃ SbS ₃
telúricos de bismuto	Bi ₂ Te ₃	rejalgar	AsS
bornita	Cu ₅ FeS ₄	rammelsbergita	NiAs ₂
cubanita	CuFe ₂ S ₃	roquesita	CuInS ₂
boulangerita	Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁	rutilo	TiO ₂
bournonita	PbCuSbS ₃	saflorita	CoAs ₂
brannerita	UTi ₂ O ₆	plata	Ag
bravoita	(Fe, Ni, Co)S ₂	skutterudita	CoAs ₂₋₃
carrolita	CuCo ₂ S ₄	stannita	Cu ₂ FeSnS ₄
casiterita	SnO ₂	stibnita	Sb ₂ S ₃
cinabrio	HgS	stromeyerita	AgCuS
electro	(Au, Ag)	tetradimita	Bi ₂ Te ₂ S
digenita	Cu ₉ S ₅	valleriita	(Fe, Cu)S ₂ •(Mg, Al)(OH) ₂
enargita	Cu ₃ AsS ₄	wurtzita	ZnS

1.6.4. ZONACIÓN MINERAL.

La zonación vertical en los depósitos de VMS presenta una zona del stockwork superior dominada por: calcopirita + pirita \pm magnetita, la base de los sulfuros masivos está dominado por: pirita + calcopirita, y los márgenes distales de los sulfuros masivos están dominados por: esfalerita \pm galena \pm barita (Figura 1.4). El refinamiento zonal es un proceso que se da por removilización de los metales previamente depositados debido al aumento de temperatura y cambio en la composición química en los fluidos hidrotermales produciendo una zonación donde el centro se enriquece en: calcopirita \pm pirrotina, de un ensamblaje mineral anterior compuestas por: esfalerita + galena + tetraedrita +pirita. El Zn y el Pb removilizados migran hacia las partes más frías y reprecipitan en esfalerita y galena (Galley et al., 2007). Los núcleos con pirita masiva y márgenes exteriores delgados y enriquecidos en metales son características de depósitos de VMS con una historia térmica prolongada.

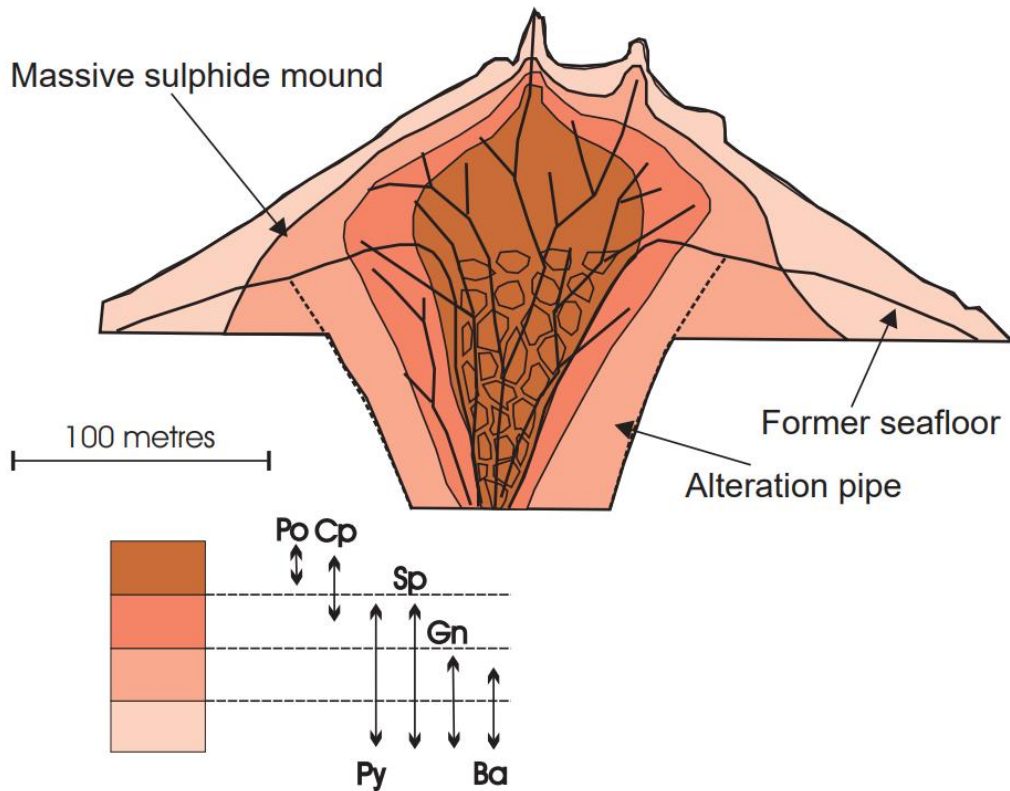


Figura 1.4. Modelo de zonación mineral de los depósitos de VMS. El gradiente de temperatura da lugar a la zonación de los minerales de sulfuro. (Po) pirrotina, (Cp) calcopirita, (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Py) pirita, (Brt) barita (Galley et al., 2007).

1.6.5. CLASIFICACIÓN DE LOS VMS

Para la clasificación de los depósitos de VMS se toma en cuenta las principales características según:

- El contenido de metales base (Cu-Zn, Cu-Zn-Pb, Cu-Zn-Au, etc.) (Solomon, 1976).
- El entorno tectónico de los VMS. Se forman en entornos tectónico marinos, estos son:
 - 1) **dorsales**, presenta una asociación litológica con rocas máficas a ultramáficas, 2) **arcos de islas oceánicas** presenta una asociación litológica de rocas bimodal máficas, 3) **Cuenca continental de arco posterior**, presentan una asociación litológica de rocas bimodal - félsico y félsico siliciclástico, y 4) **Cuenca de arco posterior**, presenta una

asociación litológica de rocas bimodal máficas, con abundantes domos de lava de composición dacítica y riolítica post caldera (Figura 1.5) (Pirajno, 2009; Prodeminc, 2000).

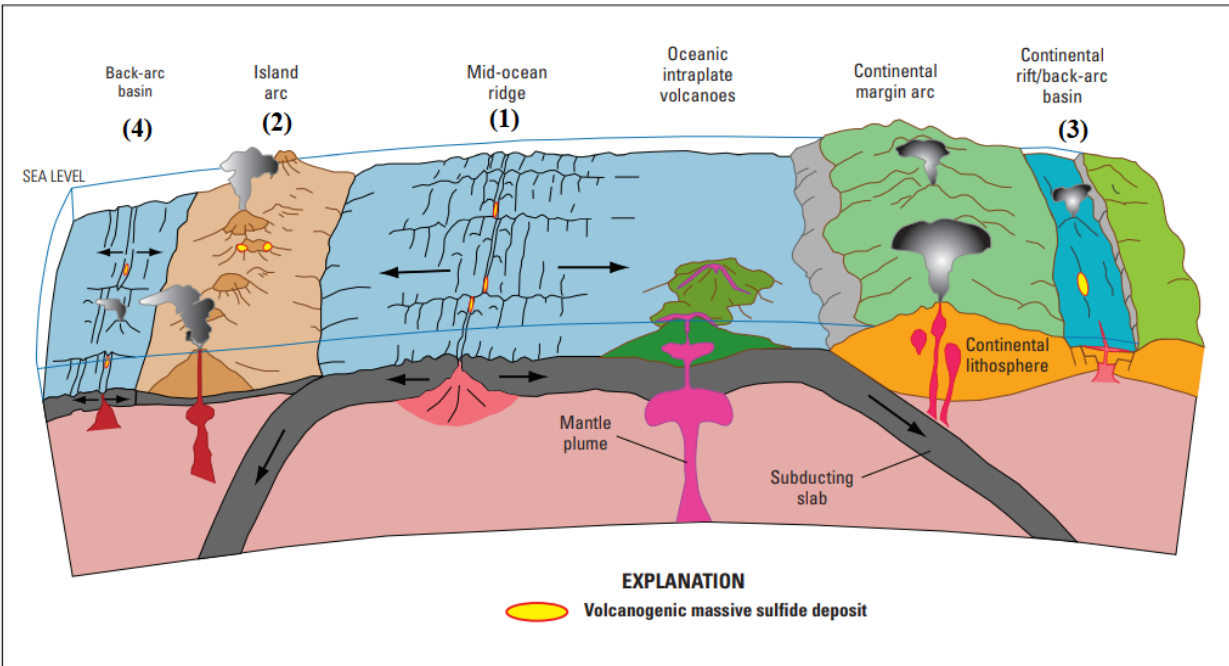


Figura 1.5. Modelo de los sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) en entornos tectónicos. (Shanks III & Thurston, 2012).

- Los distritos mineros famosos se los considera por ser buenos ejemplos que representan relaciones de: litología, el contenido metálico, y entorno geológico. Se clasifican en: 1) **tipo Chipre** están asociados a ambientes de dorsal oceánica, fumarolas negras, y centros extensionales arcos posteriores, composición básica con bajo contenido de potasio, la mineralización se presenta en los complejos ofiolíticos y contiene principalmente sulfuros de Fe-Cu-Zn, y Au como subproducto. La mineralización presente es: pirita + calcopirita + esfalerita+ marcasita+/- pirrotina; 2) **tipo Besshi** están asociados a un ambiente de arco posterior, rifts continentales. Los sulfuros se encuentran en basaltos y sedimentos clásticos, la mineralización presente es pirita + pirrotina + calcopirita + esfalerita +/- magnetita +/- valleriita +/- galena +/- bornita +/- tetraedrita +/- cobaltita +/- ubanita +/- estannita +/- molibdenita; 3) **tipo**

Kuroko están asociados a ambientes de arco posterior oceánicos, de composición andesítica a riolítica. Está relacionado con volcanismo félsico y calco-alcalino. Los depósitos ricos en plomo están relacionados con sedimentos volcánicos de grano fino. En la zona de mena negra (black ore) la mineralización presenta: pirita + esfalerita + calcopirita + pirrotina + galena +/- barita +/- tetraedrita-tennantita +/- bornita; en la zona de mena amarilla (yellow ore): pirita + calcopirita +/- esfalerita +/- pirrotina +/- magnetita; y en la zona de stockwork: pirita + calcopirita + (oro + plata); 4) **tipo Noranda** se encuentran asociados a rocas volcánicas-ácidas y máficas de arcos de islas, presentan una morfología y mineralización tipo kuroko. El distrito de Noranda ocurre dentro de litofacies dominadas por flujos; y 5) **tipo Faja Pirítica Ibérica** se sugiere una colisión continental oblicua durante la formación de las montañas Variscas. Presenta sulfuros con morfología lenticular, la mineralización presente es pirita + calcopirita + esfalerita + galena + casiterita +/- tetraedrita-tennantita +/- arsenopirita +/- pirrotita.

- La litoestratigrafía según la composición de los tipos de roca hospedante (Barrie & Hannington, 1999). Franklin et al. (2005) modificó los intervalos litoestratigráficos mejorando los depósitos de VMS con el entorno geodinámico. Se reconocen 5 tipos litoestratigráficos de distritos de VMS: 1) **máfico-ultramáfico**, caracterizado por secuencias de ofiolitas que contiene menos del 10% de sedimentos; 2) **bimodal-máfico**, caracterizado por flujos de lava con un contenido menor al 25% de estratos félsicos; 3) **bimodal-félsico**, caracterizado por un 35 a 70% de estratos volcanoclásticos félsicos; 4) **siliciclástico-félsico**, dominados por pelitas y basaltos; y 5) **siliciclástico-máfico**, dominados por estratos sedimentarios y volcanoclásticos de origen continental (Figura 1.6.). En esta clasificación se considera toda la secuencia volcanosedimentaria dentro de cada tipo de depósito de VMS.

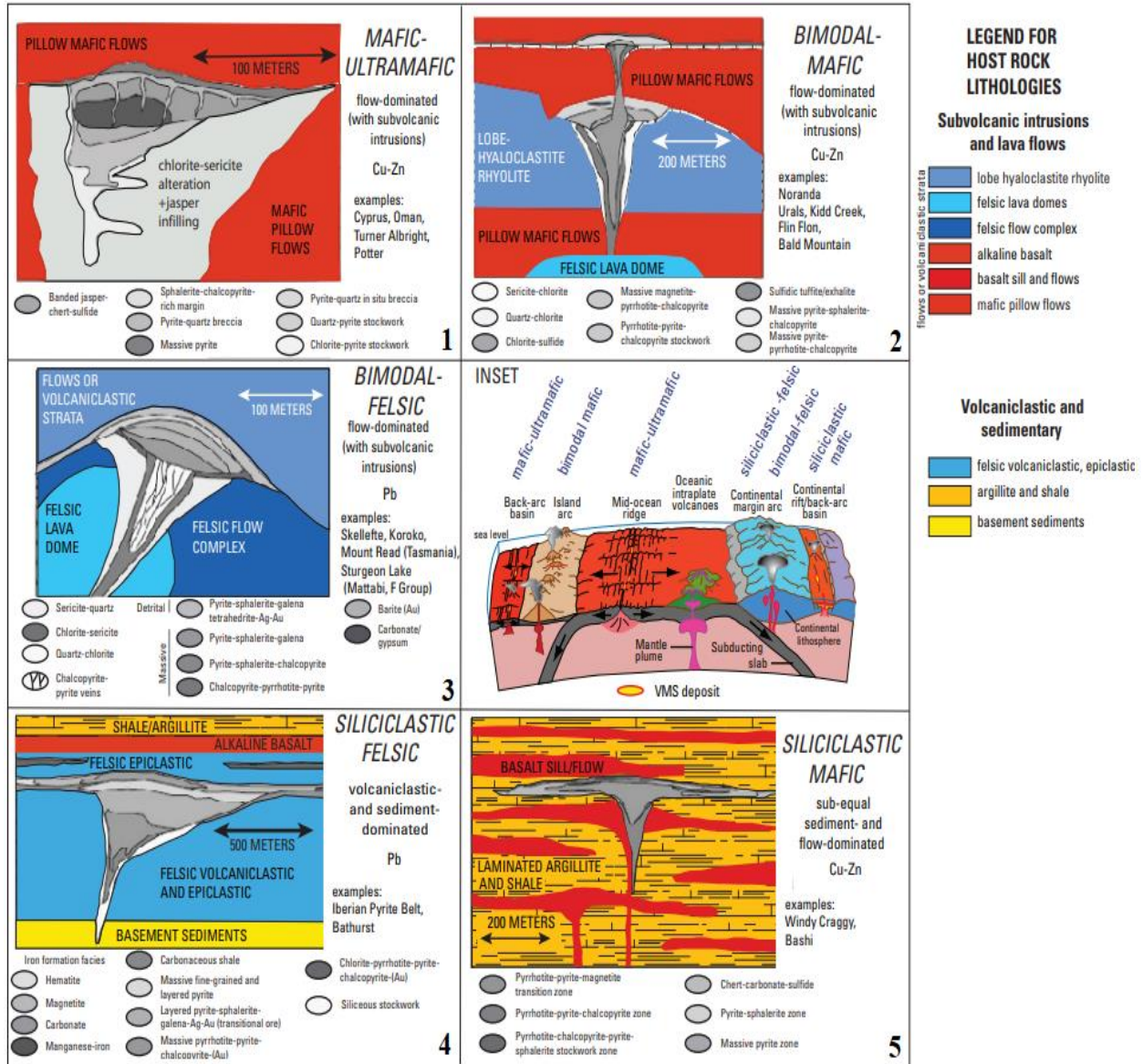


Figura 1.6. Modelo de clasificación litoestratigráfica de los sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) (Shanks III & Thurston, 2012).

La tabla 1.2. se presenta un resumen de la clasificación de los depósitos de VMS correlacionando características como: metales base, ambiente tectónico, distritos mineros famosos, y litoestratigrafía.

Tabla 1.2.

Clasificación de los sulfuros masivos hospedados en volcánicos (VMS) (Barrie & Hannington, 1999; Franklin et al., 2005).

Clasificación litoestratigráfica	Clasificación acorde a distritos mineros	Contenido Metálico	Entorno Tectónico
(Franklin et al., 2005)			
Máfico-ultramáfico	Tipo Chipre	Cu-Zn	Dorsales oceánicas, arcos posteriores intraoceánicos
Pelítico máfico (Máfico siliciclástico)	Tipo Besshi	Zn-Cu	Arcos posteriores intraoceánicos, Dorsales oceánicas cerca del continente
Bimodal máfico	Tipo Noranda	Zn-Cu	Extensión en arco de islas, plateau.
Bimodal félsico	Tipo Kuroko	Zn-Pb-Cu	Rift (corteza continental), arcos posteriores continental
Siliciclástico félsico (Bimodal siliciclástico)	Tipo Faja Pirítica Ibérica	Zn-Pb-Cu	Arcos posteriores continental, colisión oblicua

1.6.6. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.

En la descarga de los sulfuros, los fluidos hidrotermales generan alteración en el Foot wall y en el Hanging wall. Para los depósitos de VMS tipo bimodales máficos, dominados por flujos volcánicos de composición basáltica y volcanoclásticos, la principal alteración en las rocas del Foot wall se encuentra en los conductos donde ascienden los fluidos, las zonas centrales se encuentran fuertemente cloritizadas (clorita de Fe) y presenta silicificación local variable;

además, presenta sulfuros en vetillas a medida que se aleja de los conductos, el sistema se va enriqueciendo en clorita de magnesio + sericita, y en vetillas de talco masivo con magnetita (Franklin et al., 2005b). Debido a que los fluidos hidrotermales se encuentran canalizados por fallas o fisuras, la alteración hidrotermal se extiende verticalmente y se ensancha en la proximidad de la superficie del paleosuelo y se restringe transversalmente dependiendo de la litología (Galley et al., 2007) (Figura 1.7.).

En las rocas de Hanging wall la alteración es normalmente menos pervasiva que en las rocas del Foot wall, cuando la actividad hidrotermal del sistema disminuye la alteración del Hanging wall se enriquece en CaO, K₂O, Na₂O, CO₂, Brt, Ag, As, Mo, Sb, Cct, Cr, V, Ni, y Tl. La alteración producida por el retrabajo hidrotermal es difícil de diferenciar de la alteración hidrotermal producida por el evento primario (Franklin et al., 2005b).

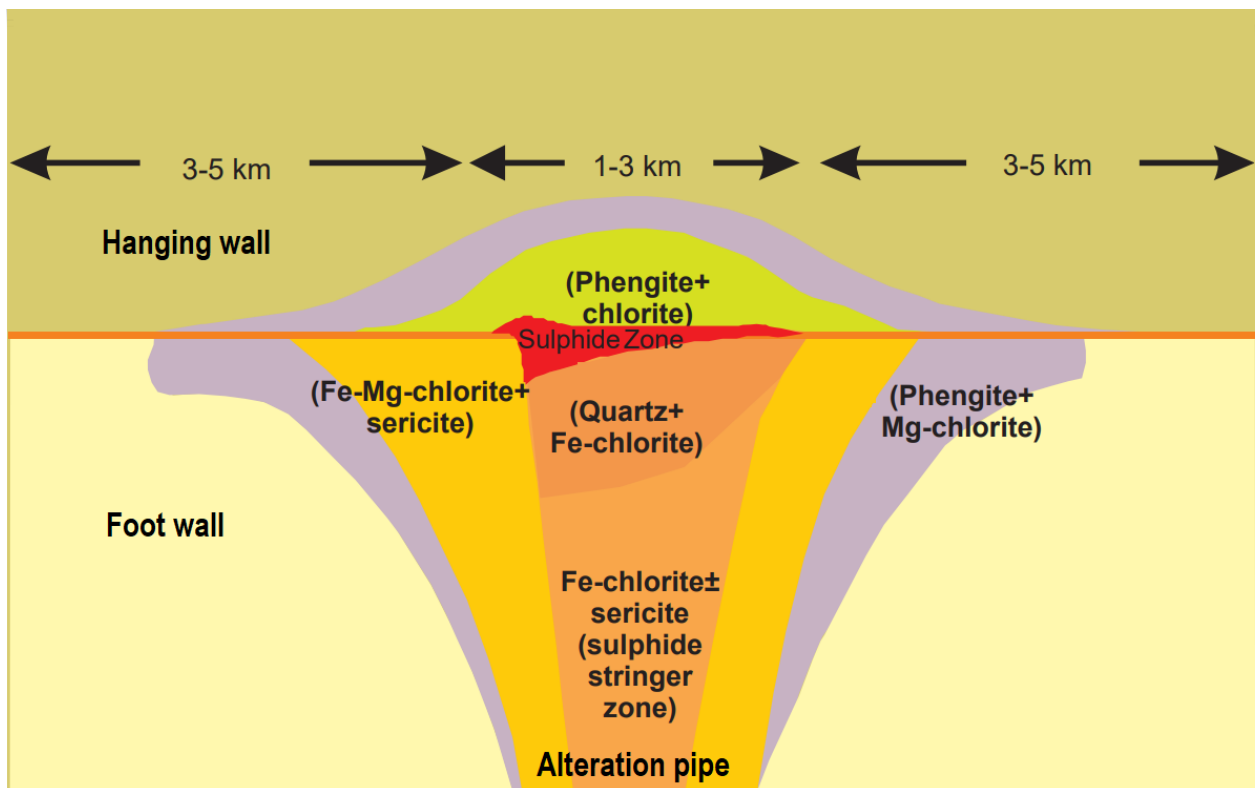


Figura 1.7. Sección esquemática a través de un sistema de alteración hidrotermal de VMS en el campo minero Bathurst (Canadá) (Galley et al., 2007).

CAPÍTULO II

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1. MARCO GEODINÁMICO

El Ecuador es parte del segmento Norte de los Andes septentrionales (Aspden et al., 1992; Feininger & Bristow, 1980), se encuentra en una zona activa de subducción donde la placa de Nazca subduce bajo la placa Sudamericana desde el Mioceno temprano con una velocidad de 56 mm por año (Kendrick et al., 2003). La dorsal de Carnegie (~200 km de ancho y 2000 m de altura) es producto del movimiento del punto caliente Galápagos; mientras que, el Rift de Grijalva es un producto del rifting de la placa Farallón a principios del Mioceno que dio como resultado la formación de la placa de Nazca y la placa de Cocos. El Rift de Grijalva separa dos cortezas de diferente edad con una diferencia de hasta 9 Ma mostrando un contraste de densidad (Figura 2.1.). La dorsal de Carnegie y el Rift de Grijalva se subducen en la placa sudamericana hace 3 a 6 Ma con una profundidad de 300 a 500 Km (Yepes et al., 2016). Los Andes del Norte (NAB) sufren un desplazamiento hacia el NNE con una velocidad de 9 mm por año a lo largo del sistema de falla transpresivo Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puna (CCPP), a diferencia de los andes centrales, el Inca Silver sufre un desplazamiento hacia el SSE con una velocidad de 5 mm por año (Figura 2.1.).

La zona de estudio se encuentra en la Cordillera Occidental del Ecuador, en el bloque NAB, la cual se formó como producto de la colisión y acreción del Plateau Oceánico del Caribe con la placa Sudamericana en el Cretácico Superior (Kerr et al., 2002; Luzieux et al., 2006; R. Spikings et al., 2015; Vallejo et al., 2009). Esta larga Provincia Ígnea del Caribe (CLIP) se formó aproximadamente hace 90-100 Ma en la placa Farallón y abarca países como: Colombia, Venezuela, República Dominicana, Panamá, Costa Rica, y Ecuador.

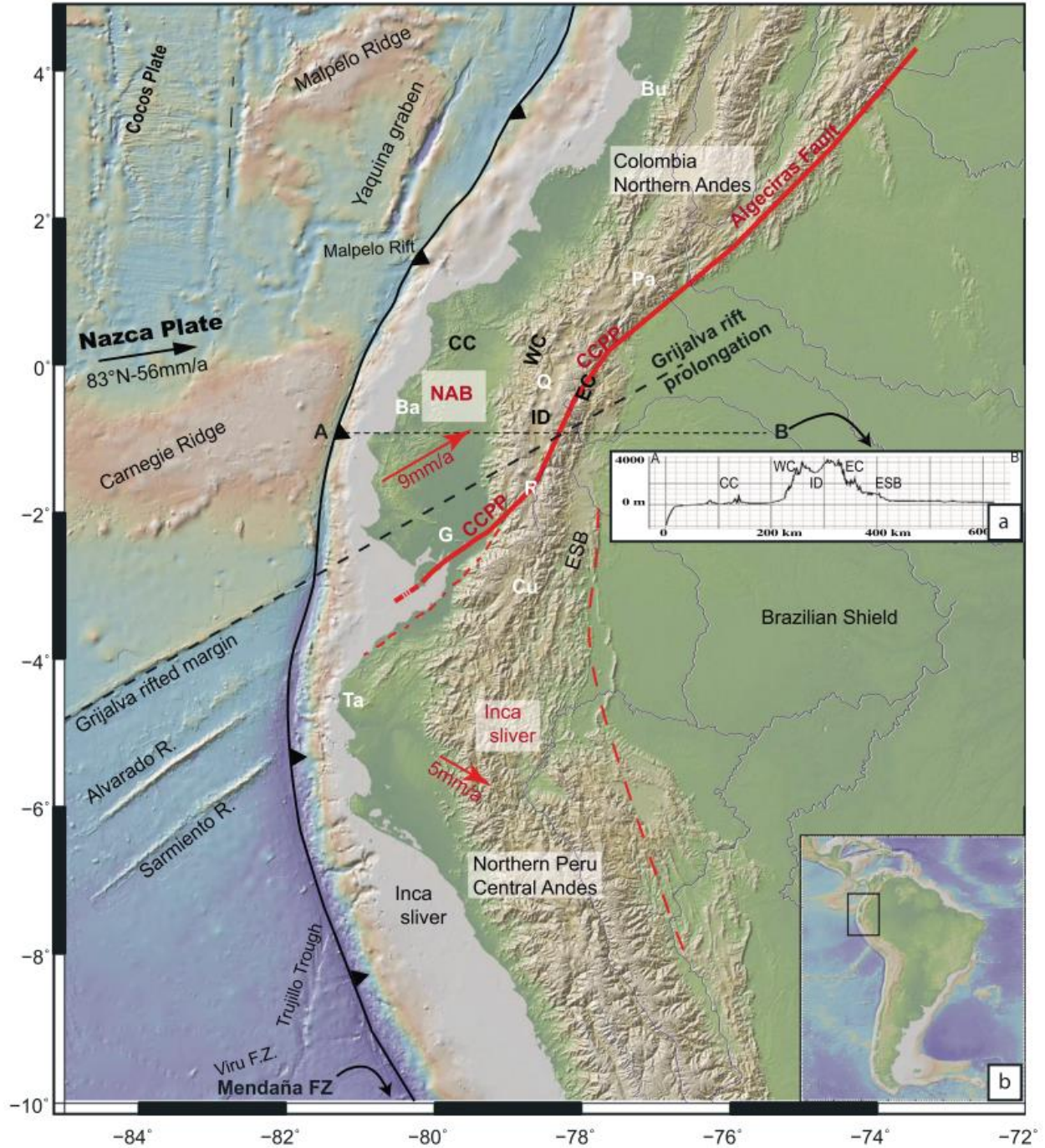


Figura 2.1. Marco geodinámico del Ecuador, convergencia de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana. El Bloque Norte de los Andes (NAB) con dirección NNE y la Faja Inca con dirección SSE. Cordillera Costera (CC), cordillera Occidental (WC), Depresión Interandina (ID), Cordillera Oriental (EC), sistema de falla Chingual-Cosanga-Pallatanga-Púna (CCPP). (Yepes et al., 2016).

2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

El Ecuador se puede dividir en las siguientes secciones morfológicas: una zona de Oriente (cuenca de trasarco), zona Subandina, Cordillera Real, depresión Interandina, Cordillera Occidental, zona Costera (antearco). La Cordillera Occidental es una de las principales cadenas montañosas del Ecuador, se extiende desde 1° N hasta 3° S aproximadamente a lo largo del país, el área de estudio se encuentra en el flanco oeste de esta cordillera.

La Cordillera Occidental se encuentra limitada por una Zona de Falla Calacalí Pujilí (CPFZ), hacia el este y por el antearco de la costa hacia el occidente. El basamento de la Cordillera Occidental está representado por rocas máficas con afinidad geoquímica del plateau oceánico del Caribe (CLIP) que colisionó con la placa Sudamericana en el Cretácico tardío (Vallejo et al., 2006). El Bloque Pallatanga corresponde el basamento de la ultramáficas y máfica de la Cordillera Occidental. Los arcos oceánicos corresponden a edades cretácicas tardías (Bloque Naranjal) y cenozoicas (Bloque Macuchi). A continuación, se describe la litoestratigrafía de la Cordillera Occidental (Figura 2.2.):

2.2.1. Formación Pallatanga (Santoniano – Campaniano ¿)

Corresponde al basamento de la Cordillera Occidental, presenta una composición basáltica y ultrabásica, consiste en: basaltos, microgabros, diabasas, peridotitas, pillow lavas, doleritas masivas no vesiculares, y hialoclastitas. La geoquímica de los basaltos son similares al de un plateau oceánico (Kerr et al., 2002).

2.2.2. La Unidad San Juan (Cenomaniano – Coniaciano)

Corresponde a gabros olivínicos con anortita local estratificados, peridotitas serpentinizadas y dunitas, anortositas y doleritas. Corresponden a los intrusivos asociados a las raíces de un plateau oceánico (Mamberti et al., 2003) con una edad de cristalización de 87.10 +/- 1.66 Ma, por el método (U-Pb) (Vallejo, 2007).

2.2.3. Grupo Río Cala (Santoniano – Maastrichtiano Temprano)

Corresponde a rocas volcánicas y volcanoclásticas, se depositan como lechos turbidíticos con flujos detríticos intercalados. Incluyen las unidades de: Natividad, Río Cala, Mulaute y Pilatón.

El ambiente es de arco insular intraoceánico (Chiaradia, 2009; Vallejo, 2007). El granito de Pujilí se interpreta parte del arco magmático del Río Cala, intruyen la Formación Pallatanga.

2.2.3.1. **La Portada** (Santoniano – Campaniano)

Corresponde a basaltos con textura afanítica y pillow lavas, presenta alteración hidrotermal y oxidación (Vallejo, 2007). Se encuentra en la parte Norte del Ecuador (0°00'-1°00'N) (Almagor, 2019). Interpretan la edad a partir de foraminíferos encontrados en una intercalación de lodolitas dentro de basaltos (Boland et al., 2000).

2.2.3.2. **Unidad Mulaute** (Cretácico tardío)

Corresponde a secuencias sedimentarias con una matriz soportado de gano fino, paquetes de limolitas y argilitas laminadas a gris oscuras (CODIGEM-BGS, 1993; Hughes & Bermudez, 1997). Son depósitos proximales de un abanico submarino con mineralogía rica en plagioclasa, piroxeno y epidota (Vallejo, 2007), plantean una edad del cretácico tardío de acuerdo con relaciones estratigráficas (Hughes & Bermudez, 1997).

2.2.3.3. **Unidad Pilatón** (Senoniano – Campaniano)

Corresponde a capas finas de areniscas turbidíticas ricas en fragmentos volcánicos y microbrechas con fragmentos volcánicos líticos (Hughes & Pilatasig, 2002; Vallejo et al., 2009). Presenta intercalaciones de pillow lavas dentro de las rocas sedimentarias de la unidad Pilatón. Presenta contacto hacia el este con la Unidad Silante y hacia el oeste con la Unidad Mulaute (CODIGEM-BGS, 1993; Vallejo, 2007). La edad corresponde Senoniano (88-65 Ma) por la presencia de foraminíferos *Globotruncana sp.*, *Guembelina sp.*, y *Globigrina sp.* Singal (1968) (Boland et al., 2000).

2.2.3.4. **Unidad Río Cala** (Campaniano - Maastrichtiano)

Corresponde a lavas de composición basáltica a andesítica con fenocristales de piroxenos, brechas volcánicas, rocas volcanoclásticas y lentes de areniscas (Kerr et al., 2002), presentan afinidad calco-alkalina a toleítica derivados del mando juvenil, formado por la subducción de la corteza oceánica engrosada, edad datada en piroxenos por el método Ar/Ar (66.7 ± 7.16 Ma) (Vallejo, 2007).

2.2.3.5. **Unidad Natividad** (Campaniano - Maastrichtiano)

Corresponde a secuencias sedimentarias de: areniscas turbidíticas, lodolitas, arcillas, y cherts. La secuencia sedimentaria presenta intercalaciones con lavas y tobas de composición basáltica. Durante la actividad volcánica del arco "Río Cala" la unidad natividad es depositada en la parte distal de un abanico turbidítico (Vallejo, 2007), la edad se determinó por la presencia de Foraminíferos: *Hedbergalla monmouthensis*, *Osangularia navarroana* y *Osangularia cordieriana*, Wilkinson (1998) (Boland et al., 2000).

2.2.4. **Unidad Yunguilla** (Campaniano - Maastrichtiano)

Corresponde a turbiditas que se interpreta como depósitos de medios a distales de abanicos turbidíticos, presentan lodolitas, cherts pelágicos, areniscas de grano fino bien sorteadas y calcoturbiditas (Vallejo, 2007). La edad de Paleoceno (Daniano) determinada por foraminíferos (Boland et al., 2000). (Jaillard et al., 2004) determinó una edad de Campaniano a Maastrichtiano por la presencia de amonites *Exiteloceras sp* y *Phylloceras*, (Vallejo, 2007) determinó una edad de 72.4 ± 6.4 Ma en zircones.

2.2.5. **Unidad Pilaló** (Paleoceno-Eoceno)

Corresponde a rocas volcanoclásticas y areniscas turbidíticas de grano grueso, lutitas negras, brechas con clasto soportado de composición andesítica, limolitas y tobas retrabajadas (Vallejo, 2007), el ambiente de depositación de la formación es continental (Egüez, 1986; Vallejo, 2007). La edad se determina por los foraminíferos encontrados en esta Unidad (Boland et al., 2000).

2.2.6. **Unidad Saguangal** (Paleoceno)

Corresponde a secuencias de lodolitas negras, limolitas y areniscas de grano fino a medio, en la parte inferior brechas volcánicas ricas en clastos volcánicos de composición andesítica (Vallejo, 2007). Presenta clivaje pizarroso por lo que se interpreta como metamorfismo de cizallamiento generado por la zona de falla Mulaute (Egüez, 1986; Vallejo, 2007). La edad se determinó en zircones detríticos de 58.8 ± 8.9 Ma con el método U/Pb (Vallejo, 2007).

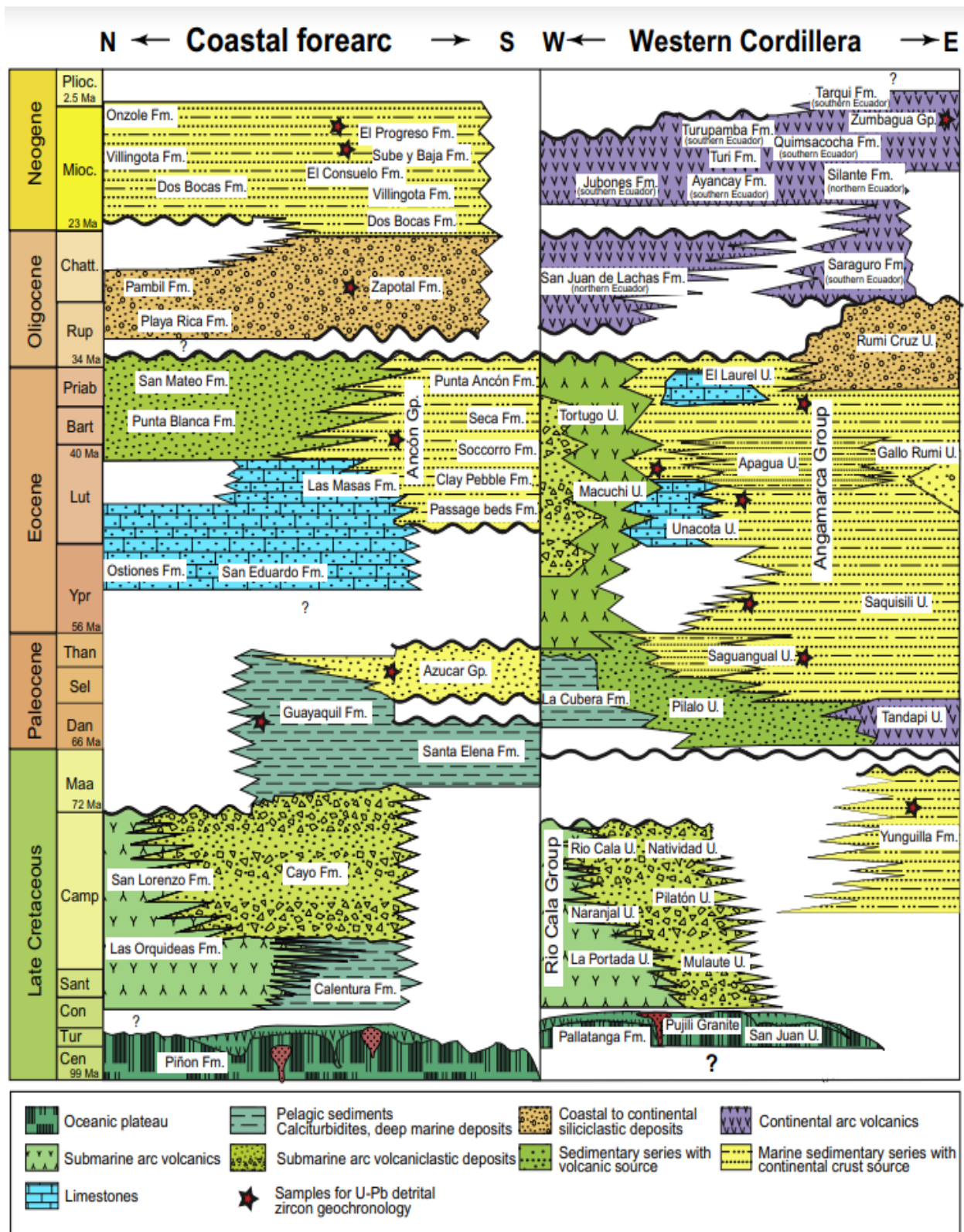


Figura 2.2. Secuencia litoestratigráfica de la Cordillera Occidental y costa del Ecuador (Vallejo et al., 2019).

2.2.7. Unidad Macuchi

El proyecto minero “La Plata” se encuentra alojado en la unidad Macuchi de edad Paleocénica a Eocénica Medio (Egüez, 1986; R. A. Spikings et al., 2005; Vallejo et al., 2009). El origen del terreno Macuchi se sugiere como una depositación autóctona de un ambiente extensional en una sucesión de arcos volcánicos submarinos del Paleoceno al Eoceno (Figura 2.3.) (Spikings et al., 2005; Vallejo, 2007). Por otro lado, Egüez, (1986) y Hughes & Pilatasig, (2002) sugieren una acreción de terrenos durante el Eoceno tardío. Se extiende a lo largo de aproximadamente 300 kilómetros con tendencia NNE a SSW y se encuentra limitada por los sedimentos del cuaternario de la costa en el oeste y por la Falla Chimbo-Toachi (CTF) al este (Figura 2.4.).

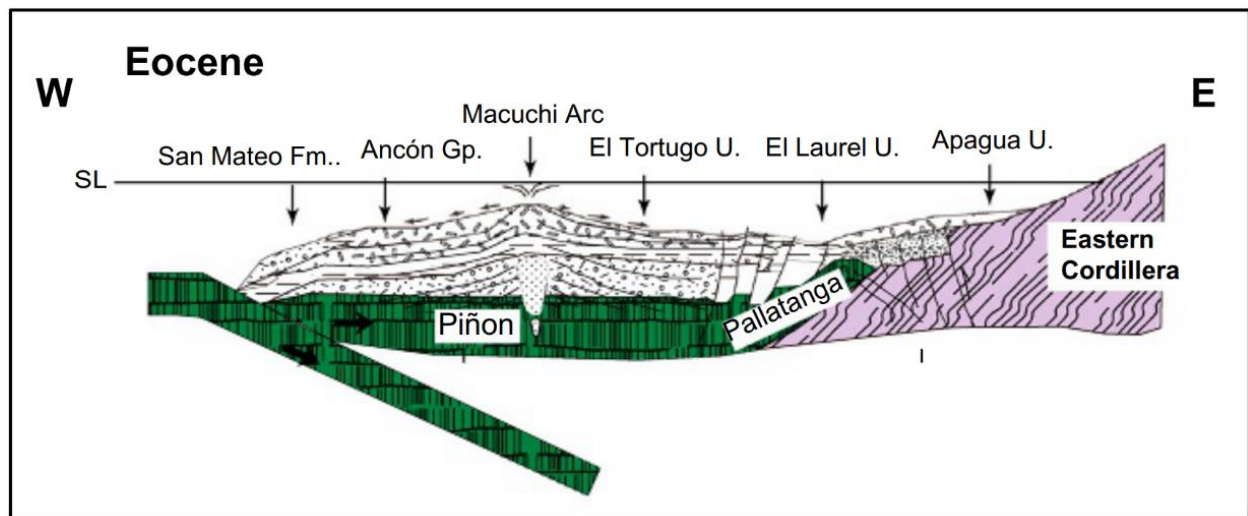


Figura 2.3. Modelo paleogeográfico del arco submarino de Macuchi. Se formó sobre el basamento del Plateau oceánico acreciado del Caribe. (Vallejo et al., 2019).

La Unidad Macuchi está compuesta de un 80% de rocas volcanoclásticas, las cuales son principalmente polimícticas, también presentan clastos angulares a subangulares de composición basáltica y andesítica, flujos andesíticos, diques de riódacitas y dacitas dentro de una andesita epidotizada y rica en vidrio (Hughes & Pilatasig, 2002). Presenta metamorfismo sin deformación de bajo grado, se caracteriza por la presencia de zeolita, prehnita-pumpelita y facies de esquistos verde. Los basaltos y andesitas de la formación Macuchi presentan una composición geoquímica toleítica y calcoalcalina con alto contenido de K₂O (Chiaradia, 2009; Hughes & Pilatasig, 2002; Vallejo, 2007). Chiaradia & Fontboté, (2001) basándose en

diferencias estratigráficas, geoquímica e isótopos de plomo, dividieron la unidad Macuchi en una secuencia Macuchi Basal de edad Paleoceno y una secuencia Macuchi principal de edad Eoceno. Macuchi Basal, dominada por una sucesión de arcos volcánicos de composición basálticos con estructura almohadillada. Por otro lado, Macuchi principal está dominada por brechas y areniscas volcánicas con cantidades menores de flujos basálticos y andesíticos.

La edad se determinó mediante el análisis en rocas sedimentarias a partir de foraminíferos del Eoceno medio y radiolarios del Eoceno tardío (Egüez, 1986), además se dataron por K/Ar en sills andesíticos con edad de 42 a 36 Ma. Por último, se dataron por Ar/Ar de $41,5 \pm 0.4$ Ma en rocas volcanoclásticas máficas y por U/Pb en circones de riodacita dan una edad de $42,13 \pm 0.54$ Ma correspondiente al Eoceno medio en el depósito "El Domo" (Vallejo et al., 2016).

Asociada a la actividad volcánica se desarrollaron depósitos turbidíticos como el grupo Angamarca de edad Paleoceno a Eoceno cuyo ambiente es de cuenca marina, y la Unidad Silante descrita como una secuencia terrestre de edad Eoceno Tardío a Mioceno (Figura 2.2.) (Hughes & Pilatasig, 2002). Finalmente, se encuentran depósitos volcánicos neógenos que cubren la Cordillera Occidental hasta el Cuaternario, periodo donde se forma el arco volcánico actual.

La formación Macuchi es de gran interés económico debido a que se encuentran alojados depósitos polimetálicos de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS): "La Plata", "Macuchi", y "El Domo" (Figura 2.4.).

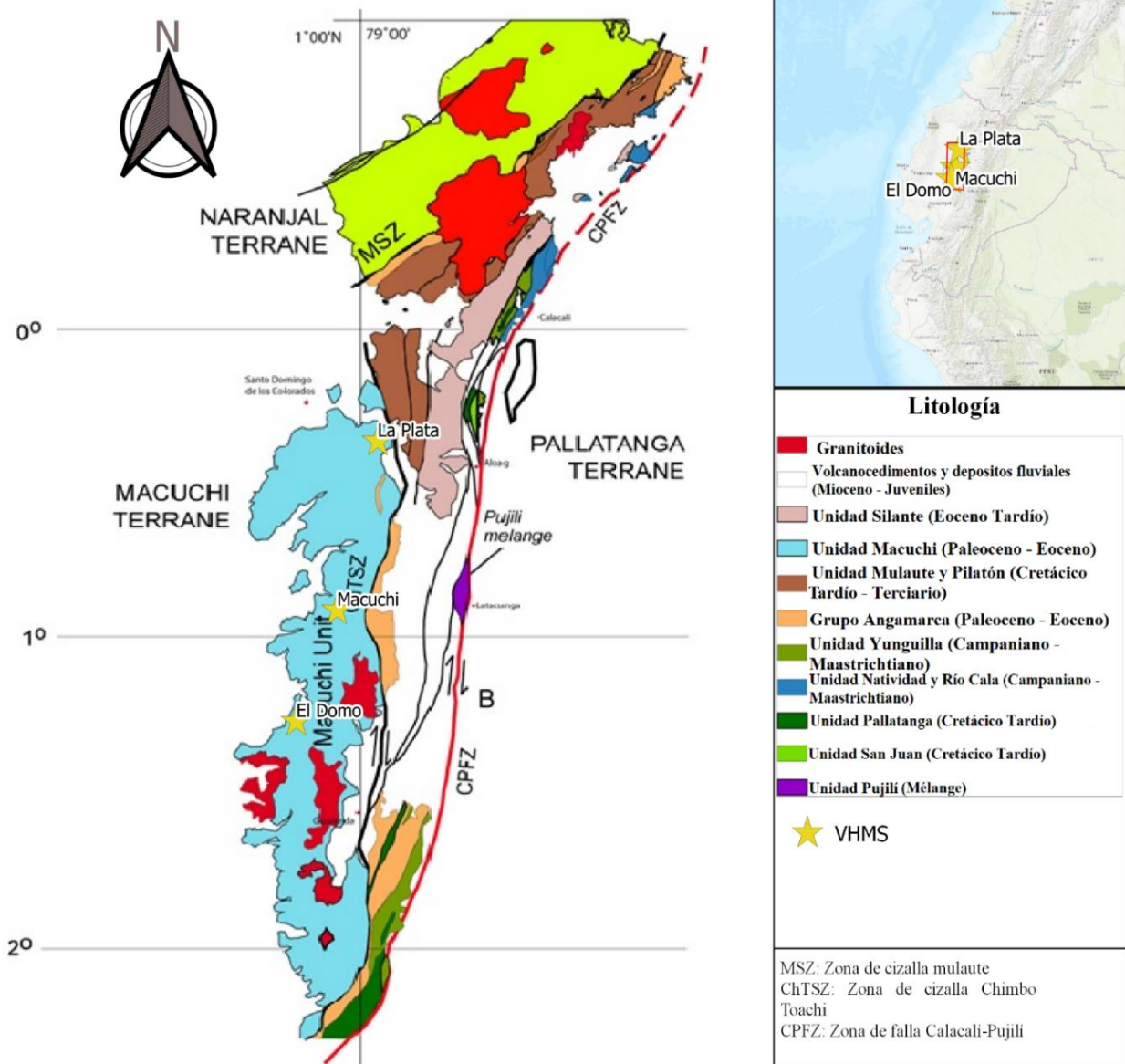


Figura 2.4. Mapa geológico de la Cordillera Occidental entre 1° N a 2° S. (Vallejo, 2007).

2.3. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO “LA PLATA”

2.3.1. UBICACIÓN Y ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto minero “La Plata” está ubicado en la provincia de Cotopaxi en el cantón Sigchos, aproximadamente a 100 kilómetros al oeste de Quito y 25 kilómetros al este de Santo Domingo de los Tsáchilas (Figura 2.5.). El acceso al yacimiento minero de VMS es por la vía Aloag-Santo Domingo, hasta el pueblo de Unión del Toachi. Desde el punto de intersección, se encuentra un camino de tierra de 13 kilómetros que lleva al pueblo Palo Quemado donde se encuentran las oficinas y alojamientos del campamento de la Compañía Minera La Plata

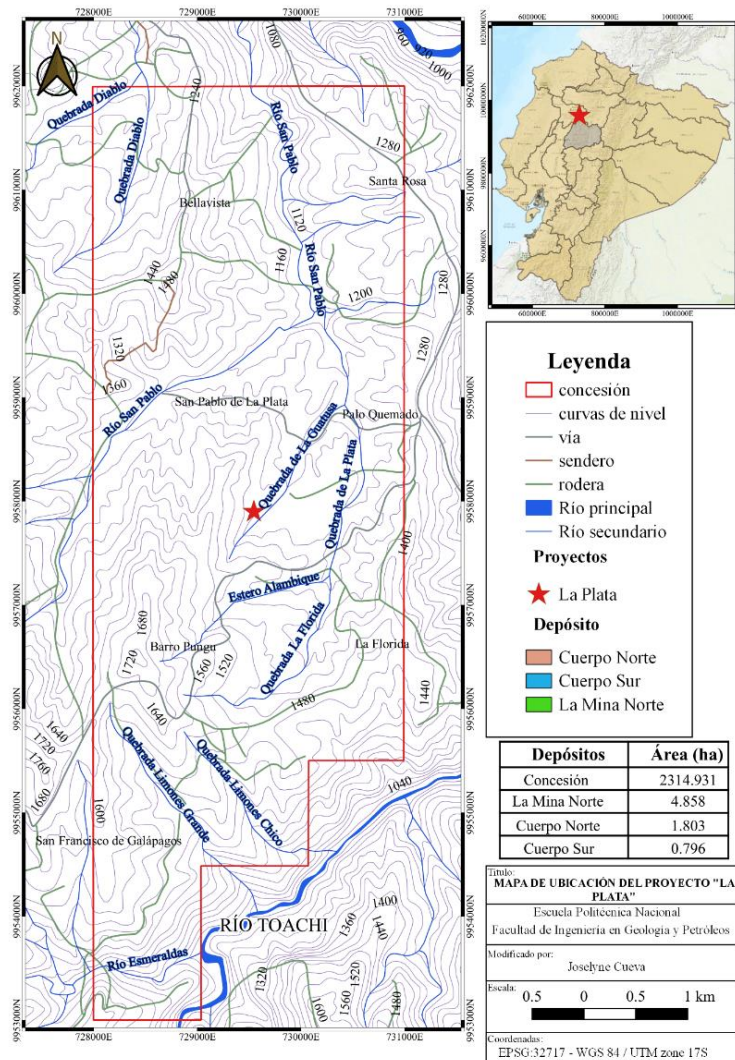


Figura 2.5. Localización del depósito de VMS “La Plata”

2.3.2. GEOLOGÍA LOCAL.

En el proyecto “La Plata” uno de los principales objetivos de exploración es el depósito “La Mina”, se divide en dos bloques mineralizados (“La Mina Norte” y “La Mina Sur”). “La Mina Sur” se divide en: “Cuerpo Norte” y “Cuerpo Sur” (Figura 2.6).

El depósito se encuentra alojado en secuencias volcánicas y volcanoclásticas de composición basáltica a andesítica-basáltica de la Unidad Macuchi de edad Paleocénica a Eocénica Medio (Chiaradia, 2009; Hughes & Pilatasig, 2002; Vallejo, 2007) (Figura 2.6.). En el bloque “La Mina Norte” las rocas volcánicas y sedimentarias se encuentran cortadas por intrusiones de diques de composición riódacítica de grano grueso, gabroica de grano fino a medio, y un sill dolerítico con textura ofítica que corresponde a un episodio magmático posterior a las lavas del arco Macuchi (en algunas zonas corta la mineralización). Estas intrusiones principalmente cortan el Hanging wall del yacimiento mineral “La Plata”. (Chiaradia et al., 2008; Leroux, 2019).

Las rocas de Hanging wall se encuentran con una alteración poco pervasiva por lo que conserva la textura primaria de la roca, los principales minerales de alteración que se encuentran son: clorita, hematita, epidota, cuarzo. Se identifican dos etapas de epidota en los núcleos de perforación (Leroux, 2019). La alteración hidrotermal afecta a las rocas del Foot wall con una alteración pervasiva que no permite identificar la textura de la roca, las zonas de alteración hidrotermal identificadas en la zona son: silicificación, sericitización y piritización.

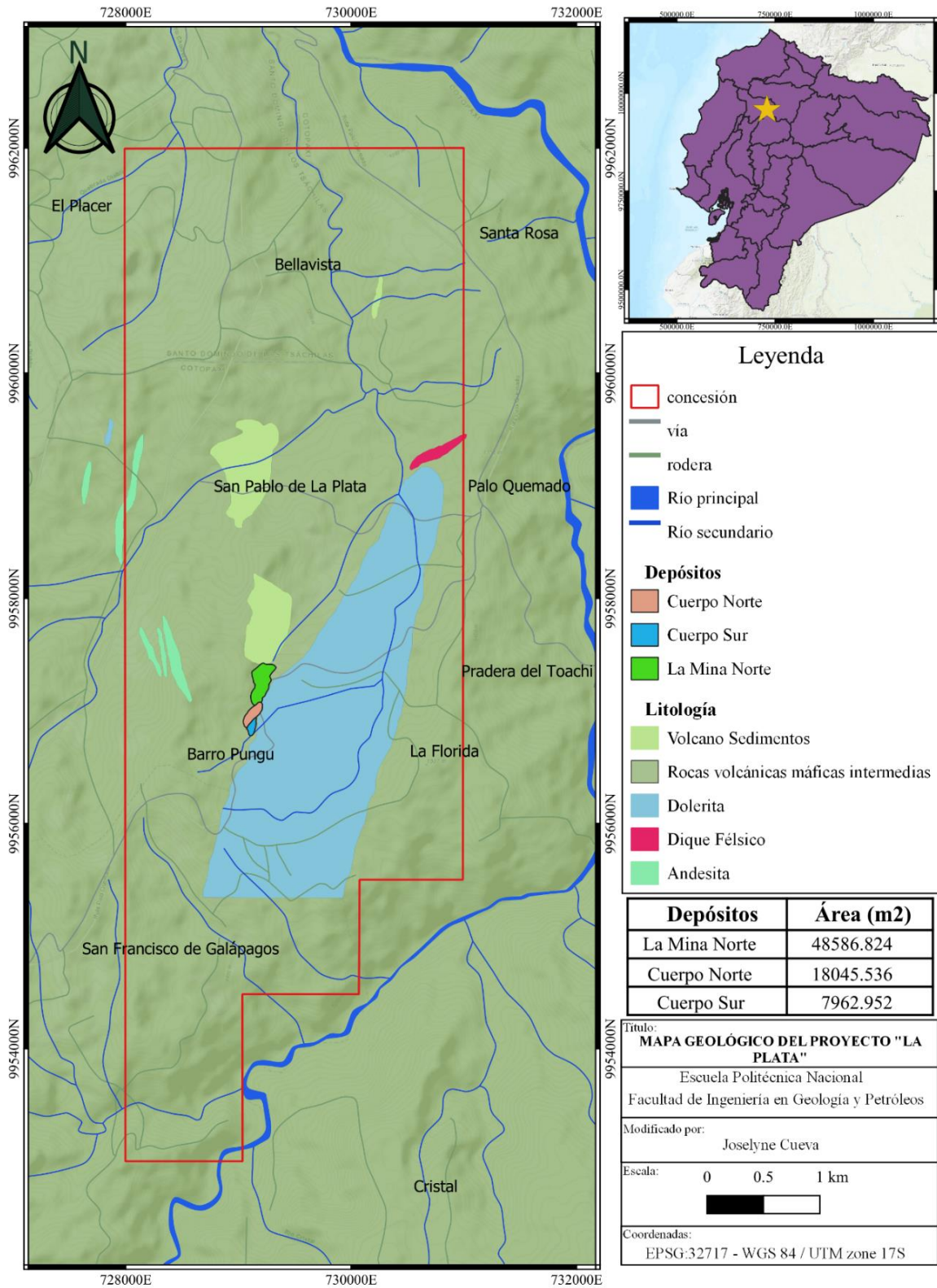


Figura 2.6. Mapa geológico del depósito mineral de VHMS "La Plata".Reporte técnico, (Leroux, 2019).

2.3.2.1. SECUENCIA LITOSTRATIGRÁFICA

La secuencia litoestratigráfica que se presenta a continuación es la más actualizada del proyecto “La Plata” (Chiaradia et al., 2008; Leroux, 2019) (Figura 2.7.). La secuencia presenta flujos de lavas de composición basáltica, y de transición andesítica, brechas autoclásticas y rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias comprenden niveles de lentes de chert-jaspilítico o sedimentación pelágica, areniscas tobáceas y brechas sedimentarias. El metamorfismo de bajo grado y la ausencia de tectonismo han dado lugar a una excelente preservación de las texturas volcánicas primarias dentro del Hanging wall. Sin embargo, debido a la plasticidad de los sulfuros masivos y el Footwall, se ha producido una intensa deformación y casi todas las texturas primarias han sido afectadas. A continuación, se detallan las principales litologías:

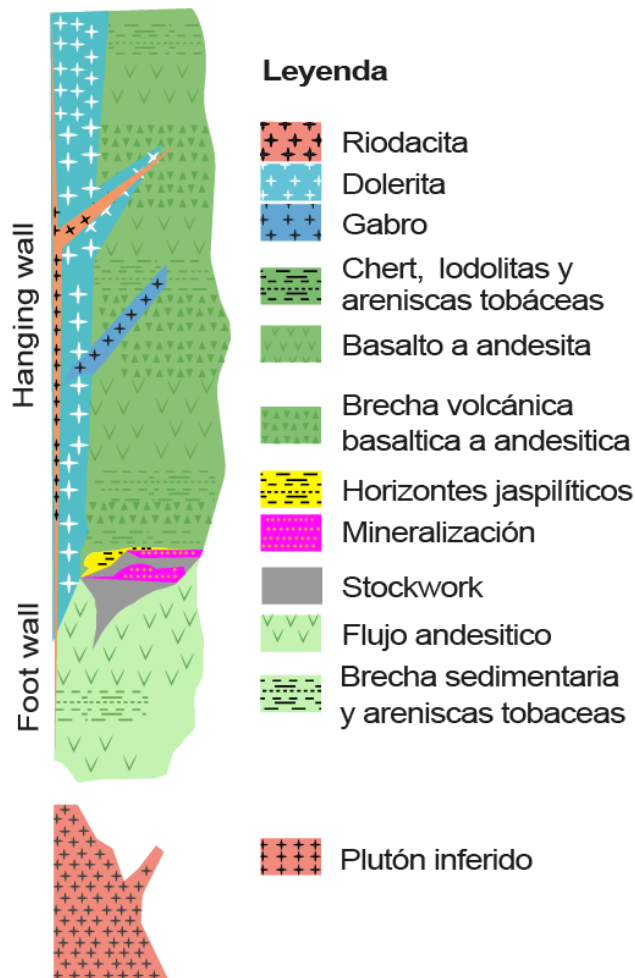


Figura 2.7. Secuencia litoestratigráfica del depósito mineral de VMS “La Plata”. Reporte técnico, (Leroux, 2019).

2.3.2.1.1. FOOT WALL

El Foot Wall consiste en rocas grises alteradas, que están atravesadas por un stockwork de pirita, han sido clasificadas en el pasado como riolita (Lehne, 1990), dacita (Cambior, 1998), y andesita (Chiaradia et al., 2008). La clasificación de estas rocas basada en elementos de alta intensidad de campo (HFSE) arroja una composición andesítica. La alteración de la roca es penetrativa la cual borra la textura de la roca original, y complica la determinación de la roca.

2.3.2.1.2. HANGING WALL

El Hanging wall presenta una secuencia de flujos volcánicos de composición basáltica a andesitas-basálticas cubiertos por brechas autoclásticas de 2 tipos (brechas hialoclastita y brechas monomícticas). Además, contiene secuencias volcanoclásticas, volcanosedimentarias Chert y Jaspe como horizonte marcador de los lentes de sulfuro masivo. Aproximadamente presenta un espesor de 400m. Debido a la alteración que presenta el Hanging wall el color de la roca es verde medio a oscuro, la alteración principal presenta clorita, epidota, y pirita.

- **Secuencia Volcánica Basáltica**

El color varía de verde medio a oscuro, hipohialino y amigdaloides, las amígdalas rellenas de clorita, zeolita, cuarzo, +/- calcita, +/- epidota, espesor mínimo de 50 metros (Leroux, 2019), presente en casi todas las secciones de la zona mineralizada como secuencia volcánica del Hanging wall. La alteración está caracterizada por clorita-epidota-cuarzo-hematita +/- carbonato. Dominado por flujos gruesos y brechas autoclásticas asociadas de 2 tipos (brechas hialoclastita y brechas monomícticas), abundante hematita en la matriz de las capas de brechas autoclásticas hasta 300 m por encima del yacimiento.

Sill de dolerita

Presenta un espesor de hasta 170 m, equigranular, se observa en las muestras la textura ofítica, de grano medio, el sill está en contacto directo con el mineral de sulfuro masivo en algunas perforaciones. La interpretación para el sill de dolerita sugiere que es más antigua que el dique de gabro y dolerita, pero más tardía que las secuencias del Footwall y Hanging wall (Leroux, 2019).

Dique de gabro

Roca máfica de color gris oscuro, espesor de (0,5 a 3m) pero puede tener hasta 10m en algunas intersecciones, de grano medio a fino, porfídica y masiva. En el Hanging wall se encuentra como intrusión de diques planos y delgados. Además, la unidad de gabro corta la roca mineralizada del Footwall y corta parte del mineral de sulfuro masivo. Estos diques han sido interpretados como más antiguos que los diques de riodacita, pero más jóvenes que las otras litologías.

Dique de riodacita

Espesor de hasta 20 m, de grano muy grueso, porfídico a equigranular, generalmente fresco o débilmente con alteración propilítica y diseminaciones de pirita. Los diques de riodacita atraviesan todas las demás litologías, por tanto, se interpretan como el intrusivo más joven.

2.3.2.2. MINERALIZACIÓN

El depósito de VMS se encuentra dentro de un intervalo estratigráfico de un espesor de 20 m en las rocas alteradas del Footwall (Figura 2.7). Los lentes de mineralización se encuentran por debajo de la capa de jaspe (horizonte marcador, que presenta ~ 5 cm de espesor) desde unos pocos centímetros hasta 6 m de profundidad pasando por volcanosedimentos o Chert. La mineralización se presenta como:

- Sulfuros diseminados que ocurren dentro del Footwall y lo alteran hidrotermalmente. La ocurrencia de estos sulfuros se observa dentro del Hanging wall en la zona entre el Jaspe y los lentes de sulfuros masivos.
- Sulfuros masivos que se presentan como varios lentes de grano fino, dentro de un intervalo estratigráfico con un espesor de hasta 20 m. La mineralización consiste en pirita-calcopirita-esfalerita-galena-barita, con accesorios de bornita±covelita-calcocita y sulfosales (Tripodi et al., 2003).
- El stockwork está expuesto en el tajo abierto y en perforaciones, consistente en vetas de cuarzo y pirita en las rocas del Footwall, está restringido al oeste y al este por dos cinturones de rocas intensamente deformadas con dirección norte-sur.

2.3.3. CONTEXTO ESTRUCTURAL

En el depósito de VMS se estableció una serie de fallas inversas y de cizallamiento en toda la zona, con orientaciones dominantes N-S, NNE-SSW y NNW-SSE, todas ellas subverticales. Presenta un anticlinal donde los estratos de Hanging wall tienen un buzamiento hacia el este principalmente, los sulfuros masivos se encuentran en el Footwall y presenta una fuerte deformación y foliación tectónica subvertical de tendencia N-S. La deformación no es uniforme y algunos volúmenes de roca del Footwall y de sulfuros masivos no presentan deformación. Estructuras S-C evidencian movimiento dextral entre el Footwall respecto al Hanging wall (Figura 2.8. A). Chiaradia et al. (2008) sugiere que estas estructuras están relacionadas a la deformación, que corresponde con la Falla Chimbo-Toachi. En los pozos del "Cuerpo Sur" se ha interpretado que la mineralización presenta un plegamiento inclinado con el plano axial hacia el Noroeste y un ángulo 80° y 45° (Figura 2.8. B).

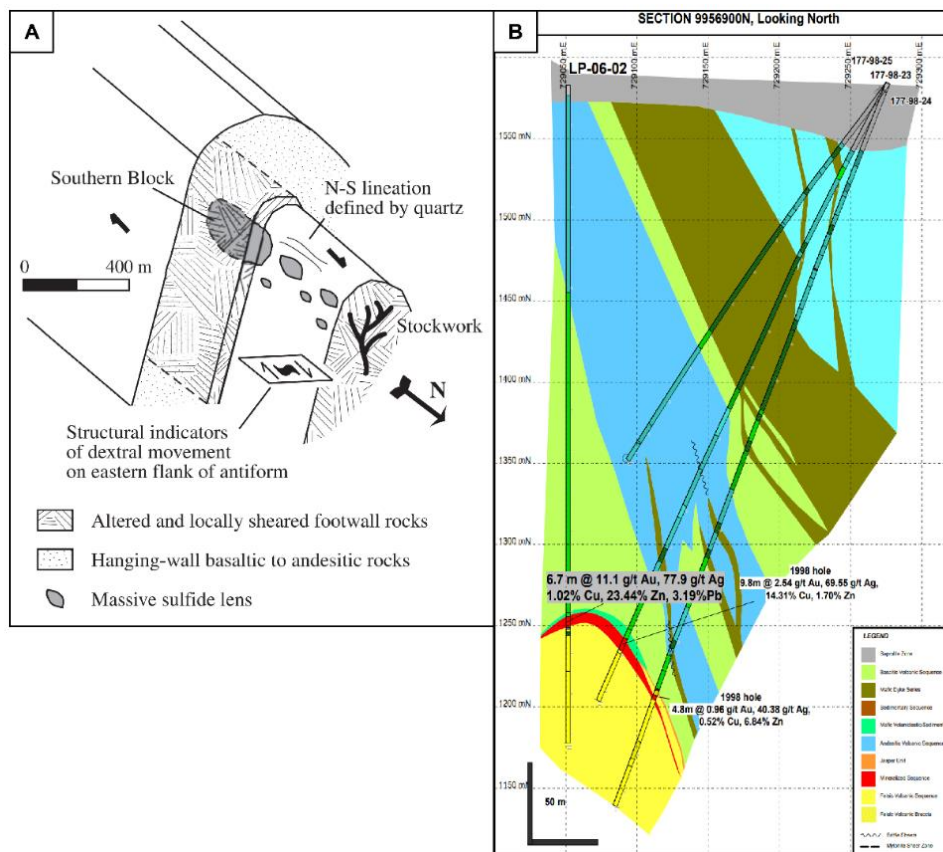


Figura 2.8. A) Esquema tridimensional del depósito "La Plata" del cuerpo sur. (Chiaradia, 2008). **B)** Interpretación geológica del "Cuerpo Sur" del pozo 177-98-23. Se observa plegamiento de la mineralización, Cornestone en (Leroux, 2019).

CAPÍTULO III

3. MUESTREO Y MÉTODOS ANALÍTICOS

3.1. MUESTREO

El depósito de VMS “La Mina” se divide en dos cuerpos minerales “La Mina Norte” y “La Mina Sur”, este último a su vez se subdivide en “Cuerpo Norte” y “Cuerpo Sur”. El muestreo y métodos analíticos en esta investigación se realizó en el “Cuerpo Sur”. Se tomaron muestras en 17 testigos de perforación realizados por la Compañía Minera La Plata (Figura 3.1). Las muestras se tomaron de tres zonas características: 1) el Footwall, 2) zona mineralizada que incluye (stockwork, sulfuros masivos, y diseminado), y 3) Hanging wall. Estas zonas se clasifican de acuerdo con la alteración de la roca, porcentaje de mineralización y litología. En los pozos de perforación seleccionados se extrajeron: 2 muestras del Footwall, 27 muestras de roca mineralizada y 14 muestras de roca del Hanging wall, dando un total de 43 muestras (Anexo I.).

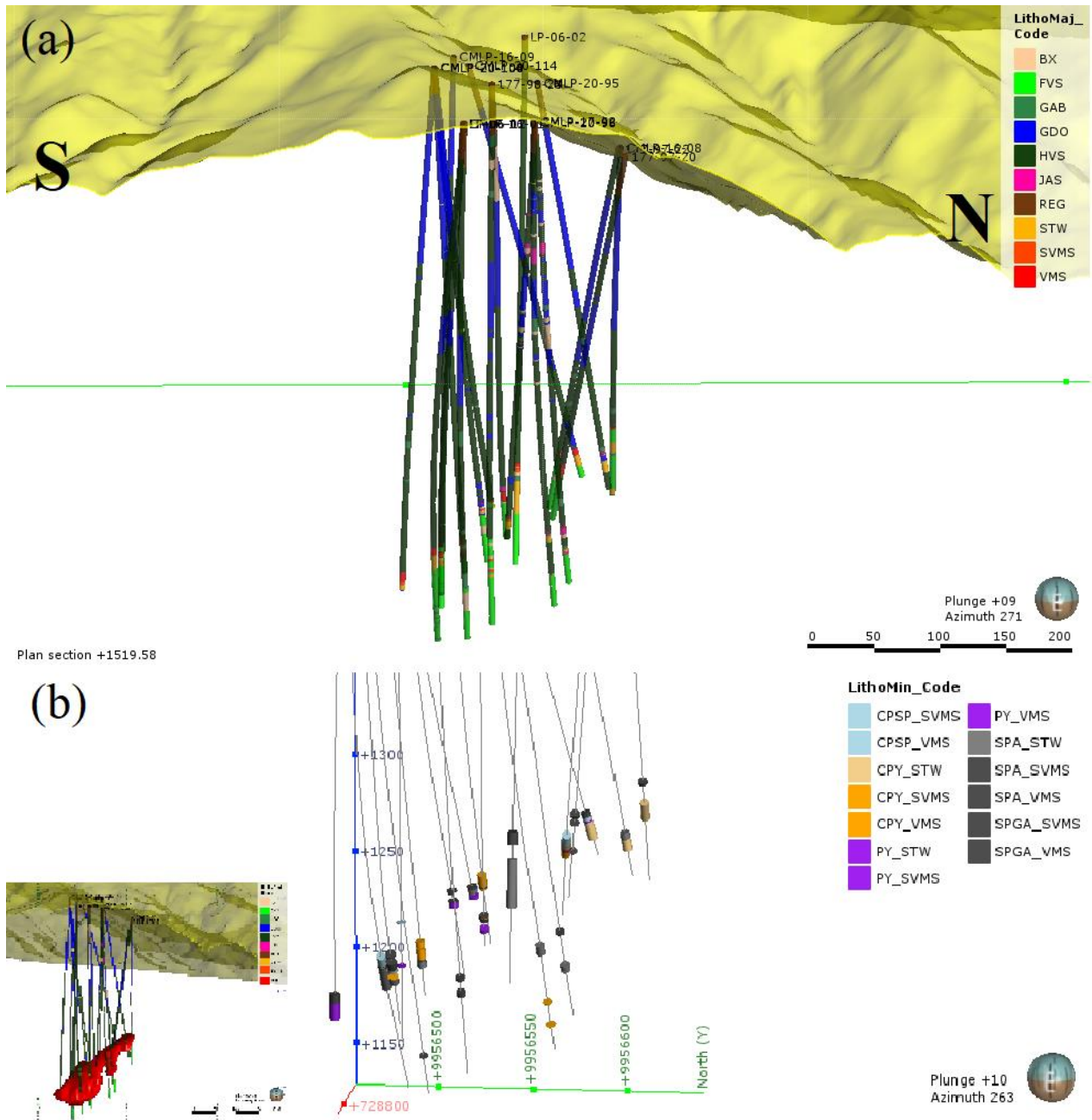


Figura 3.1. Pozos de exploración de Toachi mining S.A.. A) litológico del depósito mineral de VMS "La Plata". B) mineralización del depósito sur. Brechas (BX), volcánicos del footwall (FVS), gabro (GAB), dolerita (GDO), volcánicos del hanging wall (HVS), Jaspe (JAS), regolito (REG), stockwork (STW), sulfuros semimasivos (SVMS), sulfuro masivos (VMS), semimasivos de calcopirita y esfalerita (CPSP_SVMS), masivos de calcopirita y esfalerita (CPSP_VMS), stockwork de calcopirita (CPY_STW), semimasivo de calcopirita (CPY_SVMS), stockwork de pirita (PY_STW), semimasivo de pirita (PY_SVMS), masivo de pirita (PY_VMS), stockwork de esfalerita (SPA_STW), semimasivo de esfalerita (SPA_SVMS), masivo de esfalerita (SPA_VMS), semimasivo de esfalerita y galena (SPGA_SVMS), masivo de esfalerita y galena (SPGA_VMS).

3.2. PETROGRAFÍA

3.2.1. ANÁLISIS MACROSCÓPICO

Se realizó la descripción de 43 muestras de 17 testigos de perforación del “Cuerpo Sur” con segmentos representativos (10 cm x 6 cm) en zonas del Foot Wall, Hanging wall y la zona mineralizada. La descripción se realiza mediante el uso de lupas de mano con aumento de 20X y rayador de dureza (Figura 3.2.), con los cuales se determina color, alteraciones, estructura, textura, magnetismo y minerales de mena.

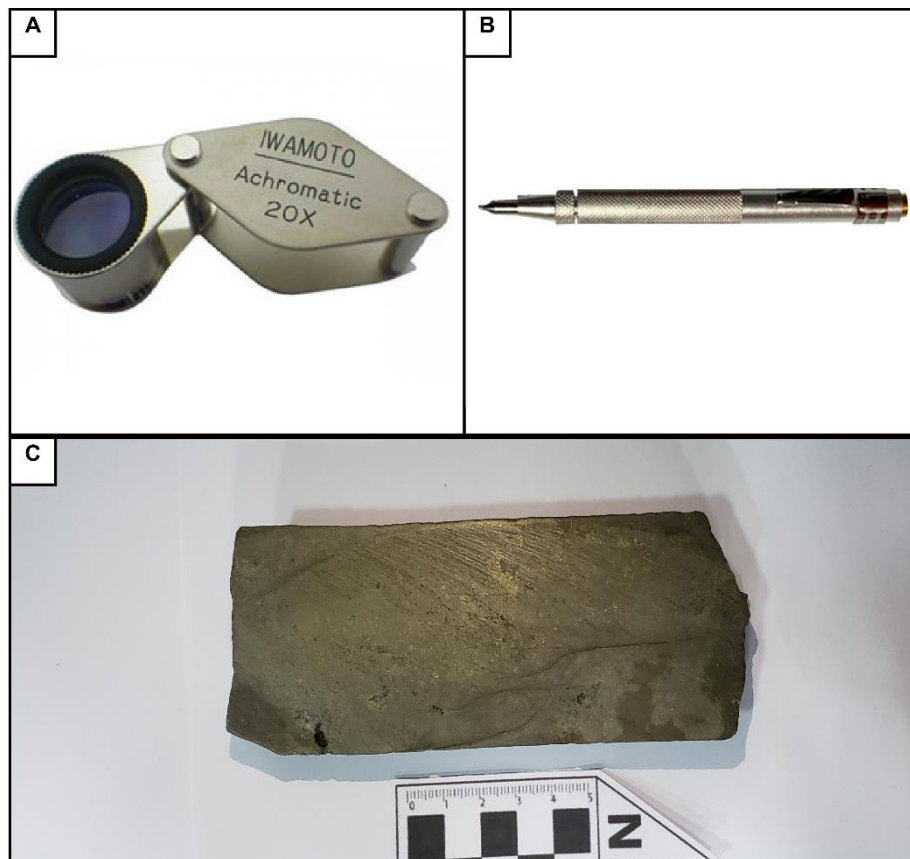


Figura 3.2. (A) Lupa de aumento 20X iwamoto, (B) lápiz de dureza de tungsteno con imán y (C) testigo de perforación mineralizado.

3.2.2. ELABORACIÓN DE LÁMINAS PULIDAS Y LÁMINAS DELGADAS.

La caracterización de la mineralización en este estudio se realizó mediante el análisis de lámina pulidas y láminas delgadas las cuales fueron elaboradas en el Laboratorio de Láminas Delgadas del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional (EPN). En este estudio se realizó la preparación de lámina pulidas en 20 muestras recolectadas de las zonas de Sulfuros Masivos Volcanogénicos (VMS) y Sulfuros Semi-Masivos Volcanogénicos (SVMS), y en 3 muestras de láminas delgadas (Tabla 3.1.). El procedimiento para la elaboración de láminas delgadas y pulidas se describe con detalle a continuación:

Tabla 3.1.

Muestras para la elaboración de láminas pulidas y láminas delgadas.

Láminas Pulidas

Pozo	Código	from	to	Litología	# Muestras	DEEP (cm)	Diámetro
CMLP-20-104	20_104_03	420.86	421	PY_VMS	1	14	HTW 1/4
CMLP-20-96	20_96_05	382.25	382.39	SPA_VMS	1	14	HTW 1/2
CMLP-16-09	16_09_09	374.75	374.85	CPSP_VMS	1	10	HTW 1/2
CMLP-20-106	20_106_13	389	389.1	CPY_VMS	1	10	HTW 1/2
CMLP-20-106	20_106_14	396.25	396.35	CPY_VMS	1	10	HTW 1/2
CMLP-20-98	20_98_17	385.94	386.04	CPY_VMS	1	10	HTW 1/2
LP-06-01	06_01_22	453.59	453.69	CPSP_VMS	1	10	BTW 1/2
LP-06-01	06_01_23	457.96	458.06	CPSP_VMS	1	10	BTW 1/2
LP-06-02	06_02_25	331.45	331.58	SP_VMS	1	13	BTW 1/2
177-98-23	98_23_26	392.68	392.81	CPY_VMS	1	13	BTW 1/2
177-97-22	97_22_29	344.2	344.3	SPGA_SVMS	1	10	BTW 1/2
CMLP-20-114	20_114_32	331.4	331.5	SPA_VMS	1	10	NTW 1/4
	20_114_33	334.39	334.49	CPSP_VMS	1	10	NTW 1/4
CMLP-16-08	16_08_34	293.72	293.8	SPA_VMS	1	8	HTW ¼
CMLP-17-92	17_92_36	424.75	424.86	CPY_SVMS	1	11	HTW ½

CMLP-20-108	20_108_37	382.48	382.6	SPA_VMS	1	12	NTW ¼
CMLP-16-01	16_01_38	455.9	456.04	SPA_SVMS	1	14	HTW ½
	16_01_39	458.64	458.74	CPSP_SVMS	1	10	HTW ¼
	16_01_40	464.9	464.96	CPSP_VMS	1	6	HTW ¼
CMLP-20-100	20_100_41	371.22	371.32	SPA_VMS	1	10	HTW ½
Total de muestras:					20		
Láminas Delgadas							
LP-06-01	06_01_20	452.3	452.42	HVOL	1	12	BTW ½
	06_01_21	453.22	453.33	HSED	1	11	BTW ½
177-97-22	97_22_30	352.17	352.27	FVOL	1	10	BTW ½
Total de muestras:					3		

3.2.2.1. PREPARACIÓN INICIAL

Para la preparación inicial de las láminas pulidas y láminas delgadas se siguieron los siguientes pasos:

- **Elaboración de chips**

Las muestras se cortaron con una disco de diamante (Figura 3.3.A), la cual se lubricaba con agua para evitar el calentamiento de la muestra durante el corte. El tamaño obtenido de los chips es de: 2 a 2.5 cm de ancho, 3.5 a 4 cm de largo, menos de 1 cm de espesor (Figura 3.3.B). El grosor de la muestra no debe superar 1 a 2 cm (Craig & Vaughan, 1994), las muestras son coherentes con baja porosidad por lo cual no se usó una resina de montaje.

- **Pulido de la cara posterior**

Los chips se pegaron con 1 gota de resina y endurecedor de Z-poxy en el fondo de una lámina de vidrio de 3 x 5 cm (Figura 3.3. C, H). Luego se utilizó la pulidora de succión donde se pega el molde de vidrio para nivelar el relieve (Figura 3.3. D), después se usó el polvo de carburo de silicio de 800 y 1200 gritz, aproximadamente 3 minutos, para suavizar el relieve de la cara posterior la cual va a ir pegada al fondo del molde (Figura 3.3.E).

- **Montaje sobre el portaobjeto**

Se pegó la cara posterior con 1 gota de resina y endurecedor de Z-poxy; suavizado el relieve, en una lámina de vidrio de 3 x 5 cm (Figura 3.3. F). Finalmente, con la cortadora de succión se corta nuevamente la lámina para obtener la cara frontal que se encuentra pegada al vidrio, que quede un grosor de aproximadamente 3-5 mm (Figura 3.3.G, I).

- **Reducción de lámina**

Para las láminas delgadas, una vez montada la lámina en el portaobjeto con la ayuda de la pulidora de succión (Figura 3.3.D) se reduce la lámina hasta aproximadamente 300 μm .

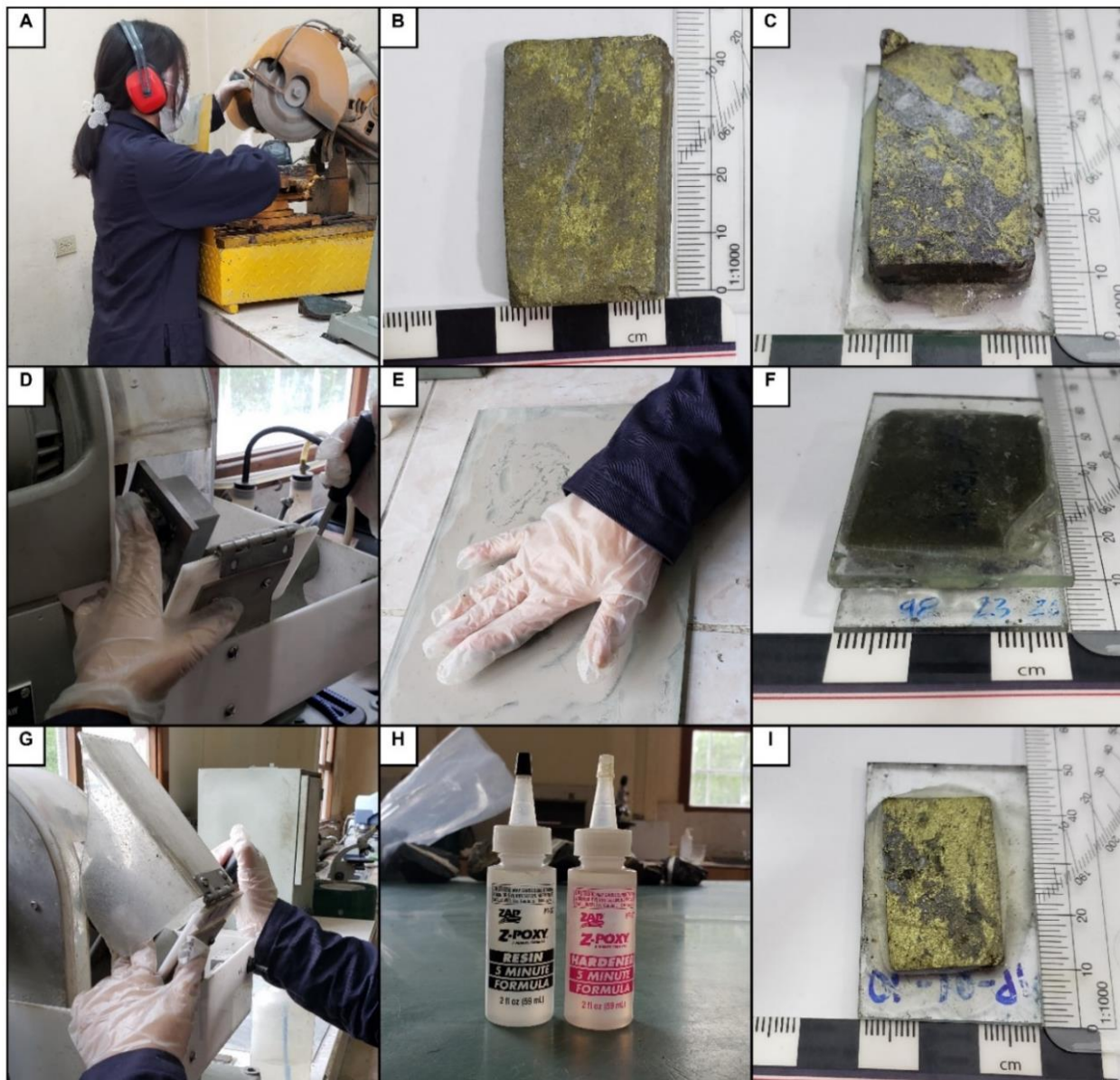


Figura 3.3. Preparación inicial de láminas delgado-pulidas: (A) cortadora de diamantes, (B) chip de sulfuros masivos, (C) cara frontal pegada en lámina de vidrio, (D) pulidora de succión, (E) polvo de carburo de sílice, (F) cara frontal y posterior pegadas en lámina de vidrio, (G) cortadora de succión, (H) resina y endurecedor Z-poxy, (I) cara posterior pegada en lámina de vidrio.

3.2.2.2. ESMERILADO Y PULIDO DE LA MUESTRA

Una vez que las muestras se han cortado y pegado en las láminas de vidrio, están listas para el esmerilado y el pulido. El objetivo de esta etapa es eliminar las irregularidades de la superficie, eliminar la resina que cubre la muestra, reducir el grosor, preparar una superficie lisa y eliminar cualquier zona de deformación importante como resultado del corte inicial de la muestra (Craig & Vaughan, 1994) (Figura 3.4.). Los compuestos de esmerilado y pulido se pueden designar en términos de tamaño de grano, malla, o micras (Tabla 3.2). El proceso para la preparación final de las secciones pulidas se divide en los siguientes pasos:

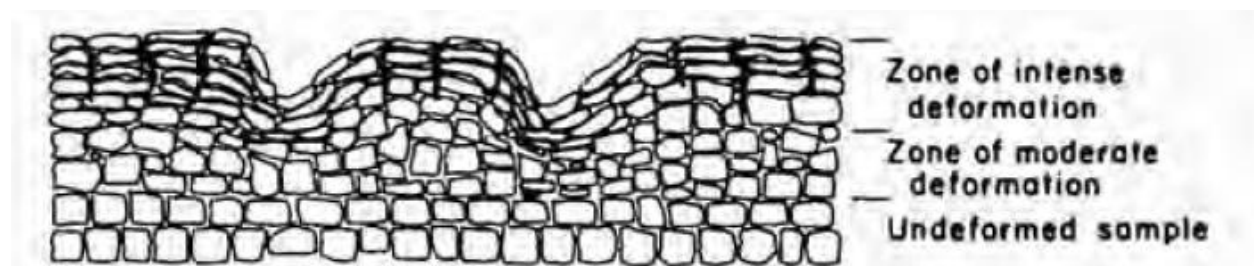


Figura 3.4. Esquema transversal de una sección pulida que ilustra la naturaleza de la deformación desde la superficie cortada. Fuente:(Craig & Vaughan, 1994).

Tabla 3.2.

Dimensiones de tamaño de malla y grit.(Craig & Vaughan, 1994).

grit	Microns	Inches
100	150	0.0059
200	75	0.003
260	60	0.0024
325	45	0.0018
400	38	0.0015
600	30	0.0012
1200	15	0.00059
1800	9	0.00035

3000	6	0.00024
8000	3	0.00012

- **Esmerilado**

Se usa polvo de carburo de silicio de: 600, 800, 1200 grit (Figura 3.5. A). Se comenzó el esmerilado mojando el polvo de carburo de silicio de 600 grit en una placa de vidrio y aplicando movimientos en forma de ocho sobre la superficie de la lija aproximadamente de 3 a 4 minutos (Figura 3.5. B), luego se pasa al polvo de 800 grit realizando el mismo proceso. Las muestras siempre deben lavarse y limpiarse cuando se cambia de polvo, para evitar la contaminación por arrastre de abrasivo. Los guantes también se lavan siempre que se cambia de polvo, ya que las partículas sueltas por el esmerilado pueden quedar impregnada en los guantes. Para finalizar el esmerilado se usó el polvo de 1200 grit.

- **Cubre objetos**

Para las láminas delgadas, una vez obtenido el espesor de 30 μm aproximadamente de las láminas delgadas se coloca un cubreobjetos con epoxi sobre la lámina delgada, terminando la elaboración de las láminas delgadas.

En láminas pulidas no se utiliza el cubreobjetos debido a que la luz se refleja sobre la superficie de los minerales opacos.

- **Desbastado**

El pulido posterior al esmerilado elimina las imperfecciones de la superficie y los arañazos más profundos de la muestra. Para el primer pulido se utilizó lijas de carburo de silicio de 2500 grit y la desbastadora (Figura 3.5.C, D), se adhirió la lija a la desbastadora con movimientos circulares donde se mantuvo la muestra aproximadamente de 4 a 5 minutos (Figura 3.5.E), las muestras en este punto presentaban un brillo metálico de media intensidad.

- Pulido final

Para esta etapa se utilizó pasta de diamante de 14,000 mesh, se aplicó aproximadamente una tira de 4 a 5 mm de pasta en cada muestra (Figura 3.5. F, G). Se realizó el pulido manual con el uso del pañuelo, aproximadamente 4 a 5 minutos, ya que permite que los granos de diamante aplanen la superficie sin causar arañazos o estrías irregulares (Figura 3.5. H). Finalmente, se termina esta etapa cuando la muestra presenta un brillo metálico de alta intensidad (Figura 3.5. I).

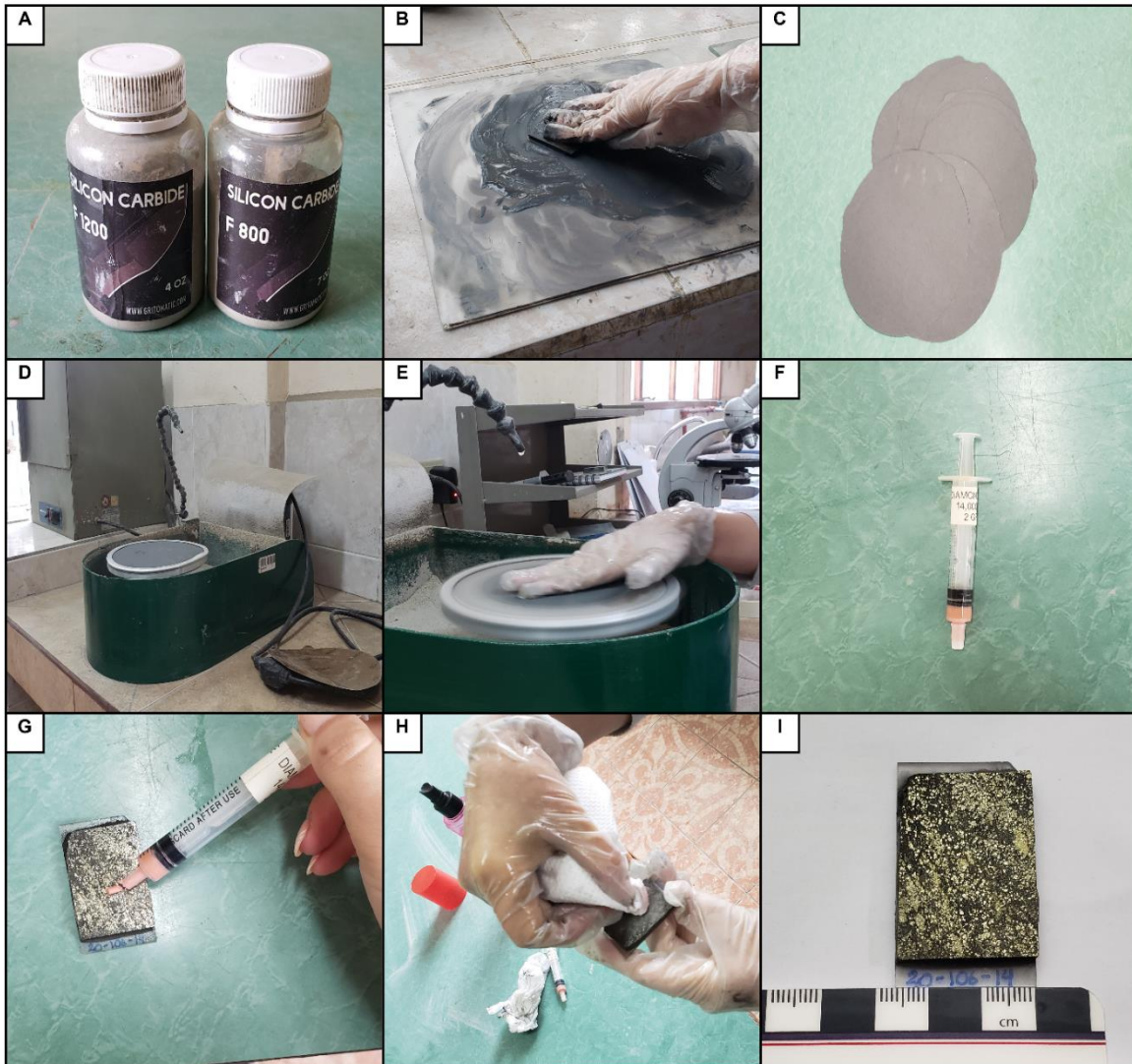


Figura 3.5. Esmerilado y pulido de Láminas delgado-pulidas: (A) polvo de carburo de silicio, (B) placa de vidrio con pulimento, (C) lijas de carburo de silicio, (D) desbastadora, (E) área de pulido, (F) pasta de diamante para pulimento metalográfico de 14 mesh, (G) aplicación de pasta, (H) uso de pañuelo para pulido manual, (I) resultado final de una sección pulida.

3.2.3. ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE LÁMINAS PULIDAS

Para el análisis de las láminas pulidas del “Cuerpo Sur” del depósito de VMS “La Plata” se identificaron minerales opacos (minerales de mena) con la ayuda de un microscopio Olympus BX51M de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) (Figura 3.6). Una guía para la identificación de los minerales opacos se presenta en la Figura 3.7, en el cual los minerales presentan una agrupación según: intensidad de color, pleocroísmo, anisotropía, reflexiones internas, y dureza. Está diseñada para una rápida y eficaz identificación de los minerales opacos más comunes. Primero se determina la intensidad de color de los minerales opacos, si es débil (gris a blanco con tintes) o intenso. Se observó el pleocroísmo con nicoles paralelos dando movimiento a la platina, si presenta cambio de color del grano será +PL (pleocroísmo fuerte o moderado) caso contrario será -PL (pleocroísmo suave o ausente). Se usa nicoles cruzados para determinar la anisotropía (se observa si es: fuerte (++ AN), media (+AN), débil o isotrópico (-AN)), las reflexiones internas ocurren en minerales semitransparentes y se determina con nicoles cruzados, si presenta (+IR); caso contrario (-IR), la dureza se determina con la línea de Kalb, la cual aparece al desenfocar levemente la imagen con el diafragma de apertura semicerrado, la línea se desaparecerá hacia el mineral de menor dureza al alejar el objetivo de la platina y viceversa, se los clasifica como: dureza suave (S), dureza media (M), dureza alta (D). Una vez ubicado el grano y grupo al que pertenece, se determina el resto de las propiedades ópticas para identificar el mineral observado.

El estudio petrográfico se realizó en 20 láminas pulidas, siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, y en 3 láminas delgadas. Las abreviaturas para los minerales se tomaron de (Whitney & Evans, 2010).

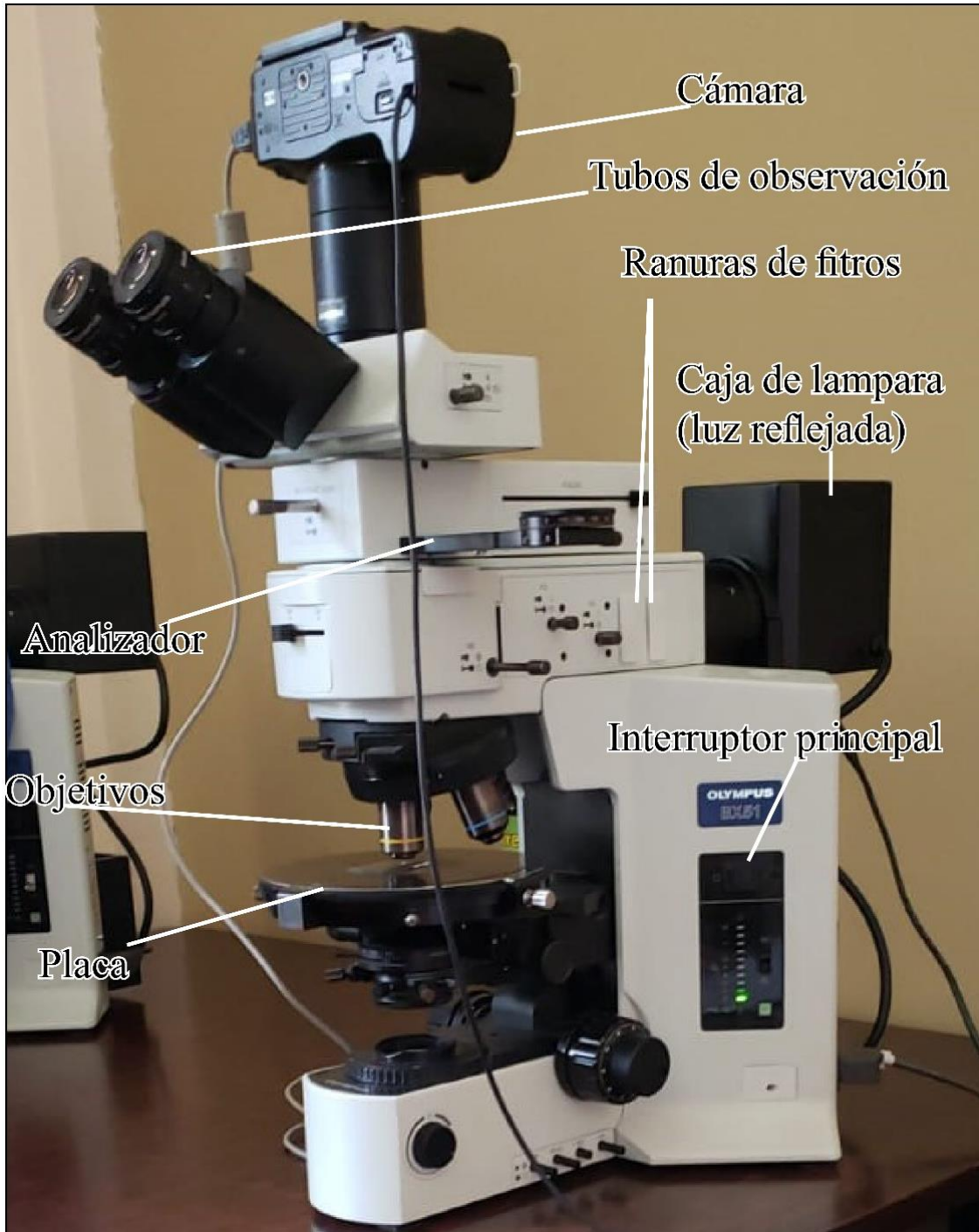


Figura 3.6. Microscopio Olympus BX 51M de la facultad de Geología y Petróleos de la Escuela Politécnica Nacional.

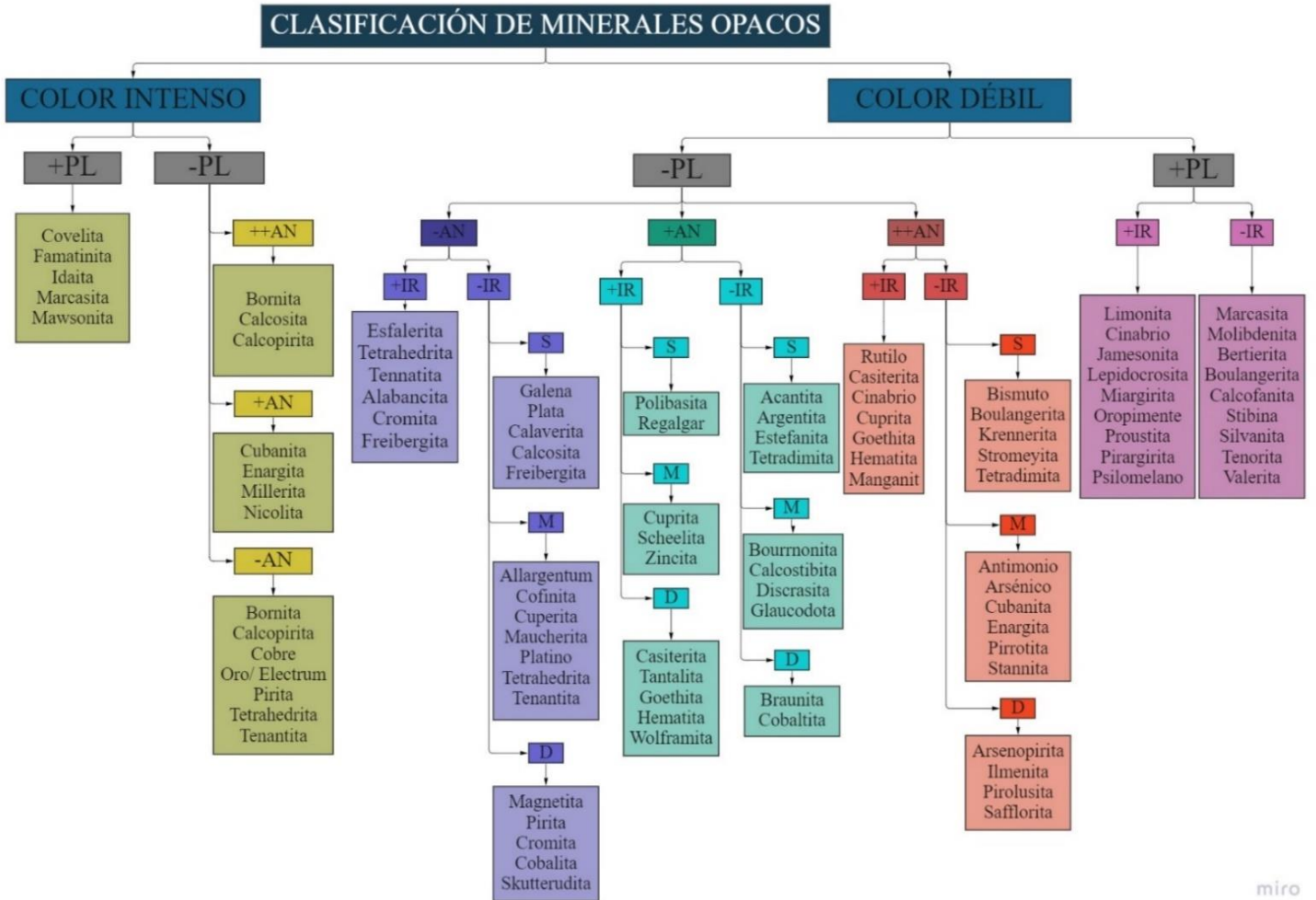


Figura 3.7. Clasificación de minerales opacos (Spry & Gedlinske, 1987).

3.2.3.1. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MINERALES OPACOS

Las observaciones con el microscopio petrográfico de luz reflejada se realizan con: 1) nicoles paralelos, utilizando solo polarizador; 2) nicoles cruzados, utilizando analizador y polarizador. En la Tabla 3.3 se observan cuáles de las propiedades ópticas que necesitan nicoles paralelos o nicoles cruzados.

Tabla 3.3.

Propiedades ópticas de los minerales opacos(Craig & Vaughan, 1994).

PROPIEDADES ÓPTICAS DE MINERALES

OPACOS

Nicoles Paralelos	Nicoles Cruzados
Color	Reflexiones internas
Reflectividad	Anisotropía
Birreflectancia	Maclas
Pleocroísmo de reflexión	
Dureza	
Clivaje y fractura	
Forma	
Hábito cristalino	

- **Color**

Lo primero que se identifica en una mineral es el color, esta propiedad de acuerdo con la guía utilizada se la puede clasificar en: 1) color intenso y 2) color débil (Figura 3.7). Un número reducido de minerales tienen colores fuertes y distintivos (ej. covelita, bornita, oro, etc.), la mayoría de los minerales opacos presentara un color débil con varios tonos de gris a blanco. Es importante ver la asociación mineral, ya que el color aparente de un mineral puede presentar ciertos cambios como la calcopirita que es de color amarillo con tonos grises a blancos, pero la calcopirita presenta color amarillo verdoso cuando se encuentra junto con oro

nativo. Hay que tener en cuenta que algunos minerales pueden cambiar el color debido al efecto de deslustre (ej.: la bornita puede cambiar el color si se lo deja expuesto al aire).

- **Reflectividad**

Representa la cantidad de luz incidente que es reflejada por la superficie pulida de un mineral, es decir la cantidad de brillo o brillantes que presenta un mineral, esta propiedad se determina para el estudio de minerales opacos. La reflectividad de los minerales observados en el microscopio depende de: 1) la orientación cristalográfica de los minerales opacos, 2) la intensidad de la luz, por ello siempre se debe usar la misma intensidad para la observación de los minerales. En este estudio se hace una estimación cualitativa de: “muy alta”, “alta”, “baja”, y “muy baja” (Figura 3.8.).

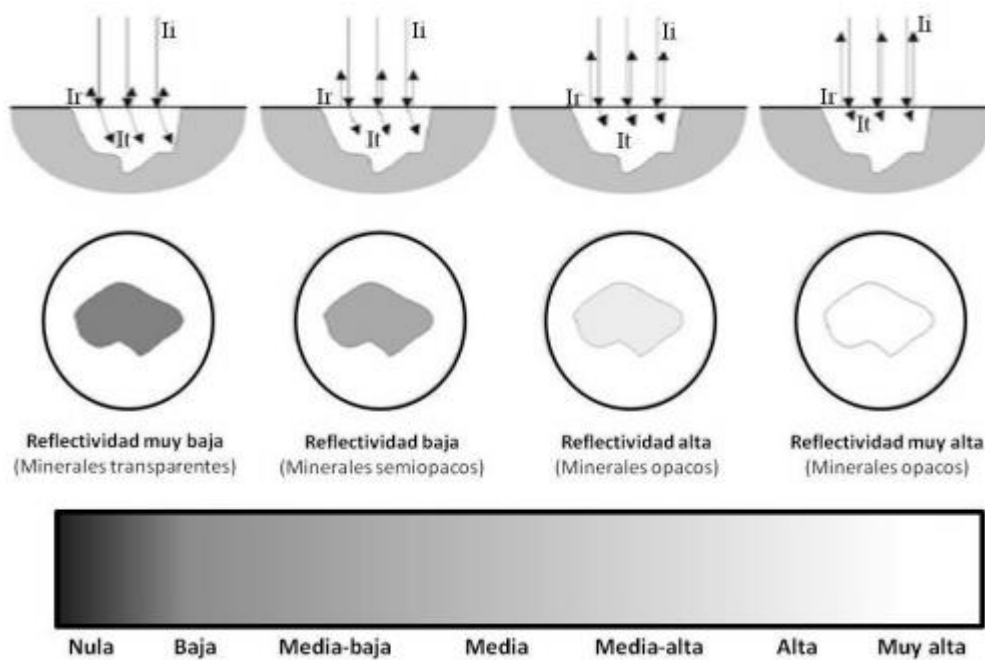


Figura 3.8. Esquema de reflectividad de minerales transparentes, semiopacos, y opacos. (I_i) Intensidad de incidencia, (I_r) intensidad reflejada, (I_t) intensidad transmitida.

- **Birreflectancia y Pleocroísmo de reflexión**

Los minerales con estructura cristalina cúbica no cambian su reflectancia o el color al girar la platina a diferencia de los minerales con otra estructura cristalina. La variación de la reflectividad al mover la platina con nicoles paralelos se denomina birreflectancia, y el cambio en el color o tinte se denomina pleocroísmo de reflexión. En el pleocroísmo de reflexión se debe anotar los colores que se observan en las diferentes orientaciones, en la birreflectancia se anota como “alta”, “media” o “baja” (Craig & Vaughan, 1994).

- **Anisotropía**

En el análisis de la anisotropía de los minerales se utiliza nicoles paralelos (Tabla 3.3), donde los minerales que presentan una extinción inalterable al girar la platina son isótropos. Los minerales que al girar la platina presentan extinción se denominan anisótropos. Para los minerales que presentan anisotropía se determina 4 posiciones con respecto a la rotación de la platina, 90° y 360° los minerales presentan un brillo mínimo, entre 45° se presenta el máximo brillo (Craig & Vaughan, 1994).

- **Reflexiones Internas**

Algunos minerales en lámina pulidas son transparentes y otros son completamente opacos. Los minerales opacos permiten que la luz penetre la superficie de la lámina pulida y se refleje desde grietas o imperfecciones dentro de los cristales. Esta reflexión se presenta como manchas difusas denominadas reflexiones internas. Para determinar las reflexiones internas se usa nicoles cruzados con iluminación intensa. Los granos de magnetita y esfalerita presentan propiedades ópticas similares, una propiedad para diferenciar estos dos minerales son las reflexiones internas que presenta la esfalerita; mientras que la magnetita carece, otro es el magnetismo de la magnetita.

- **Dureza**

En las secciones pulidas se pueden determinar 2 tipos de dureza los cuales son importantes y característicos de ciertos minerales: dureza de pulido, y dureza de rayado.

- **Dureza del Pulido.**

Representa la resistencia de los minerales a la abrasión durante el proceso de elaboración de las láminas pulidas, donde los minerales más duros se desgastan menos que los minerales blandos, este relieve es inevitable a pesar de que se utiliza los materiales y equipos adecuados. Este relieve permite hacer una estimación relativa de la dureza de los minerales opacos. Mediante en análisis de luz de Kalb, que es un fenómeno análogo de la línea de Becke. Se realiza el siguiente procedimiento: 1) enfocar el límite de contacto entre los granos minerales, 2) bajar la platina para que la muestra se desenfoque a medida que aumenta la distancia, y 3) observar el desplazamiento de la línea que se desplaza hacia el mineral más blando.

- **Dureza de Rayado**

Esta propiedad se produce durante la elaboración de láminas pulidas, y se puede usar para estimar la dureza relativa de los minerales. Algunos minerales blandos pueden tener un pulido liso y brillante, pero casi siempre conservan un aspecto rayado (ej. grafito, molibdenita, oro, y plata). Los minerales duros generalmente presentan un pulido suave (ej. arsenopirita, ilmenita). Se tiene que tomar en cuenta la orientación cristalográfica de los minerales.

3.2.3.1.1. PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y MORFOLÓGICAS

Estas propiedades dependen de la estructura cristalina de los minerales y comprenden: 1) forma y hábito, 2) clivaje, y 3) maclas.

- **Forma y hábito**

En el estudio de minerales opacos, algunas superficies minerales suelen desarrollar caras perfectas, planas, o cúbicas. como la piritita, pero la mayoría de los minerales de mena presentan caras anhedrales (ej. calcopiritita, bornita, esfalerita). En este estudio, para la identificación de los minerales se determina la forma de las caras si están bien desarrolladas o mal desarrolladas (euhedrales, anhedrales o subhedrales).

- **Clivaje**

El clivaje se genera en el proceso del pulido y esmerilado de las secciones pulidas. Por ejemplo, se pueden observar triángulos de arranque en la galena producto del pulido final de las láminas. El desarrollo de las formas de arranque depende de la orientación de la superficie de las secciones pulida con respecto a las direcciones de clivaje. Un clivaje prismático da patrones de arranque en forma de diamante, triangular o rectangular, un clivaje pinacoidal da patrones de arranque de un conjunto de grietas paralelas.

- **Maclas**

En los minerales opacos se pueden observar tres tipos de maclas principales: crecimiento, inversión y deformación. Se observan mejor en los minerales anisótropos bajo nicoles cruzados. Se pueden observar cómo reflexiones internas dentro de los minerales.

3.2.3.1.2. TEXTURAS DE MENA

Para la identificación de las asociaciones minerales y secuencias paragenética, es esencial ver la interacción de los granos minerales mediante las relaciones espaciales entre los granos. Mediante la interpretación de las texturas de los minerales se puede determinar la depositación inicial del mineral, el reequilibrio post depositación, la deformación, el metamorfismo, la meteorización y el recalentamiento. Las texturas se las clasifica como primarias y secundarias.

- **Las texturas primarias**

Se producen a partir de fundidos y por espacios abiertos en vetas o fracturas, se caracterizan por: caras cristalinas bien desarrolladas, crecimiento-zonificación, bandas monominerales coloformes. Por ejemplo, la calcopirita y la tetraedrita que usualmente no presentan superficies minerales bien definidas, y suelen aparecer como cristales euhedrales cuando se produce un crecimiento sin obstáculos (Figura 3.9).

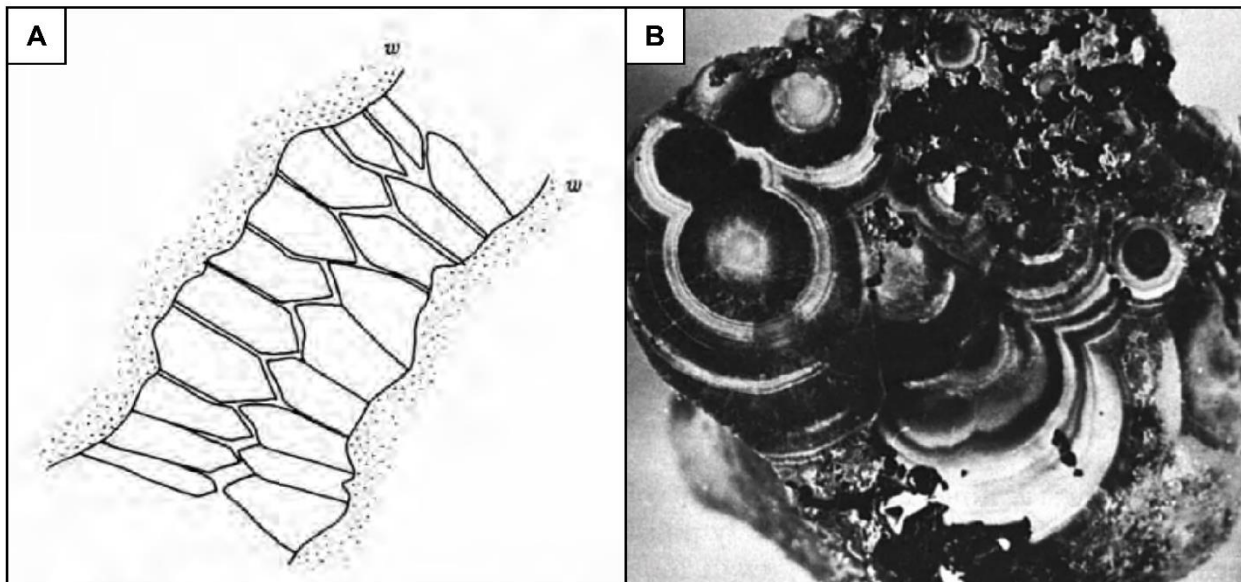


Figura 3.9. A) estructura de peine con cristales bien desarrollados hacia fuera de la paredes de fractura. B) textura coloforme en bandas de esfalerita (Craig & Vaughan, 1994).

- **Las texturas secundarias**

El remplazamiento se produce a partir de un mineral preexistente como resultado de disolución o posterior reprecipitación, oxidación y difusión en estado sólido. En las primeras etapas del remplazamiento puede identificarse fácilmente texturas de la fase primaria, a diferencia de una etapa avanzada que presentará islas de la fase primaria (Figura 3.10. A). El remplazamiento consume parte de la fase original produciendo una forma esférica en las superficies irregulares (Figura 3.10. B), cuando se produce una inyección durante el metamorfismo la textura puede parecer a un remplazamiento, pero este no deja redondo la superficie del grano. En el caso de intercrecimientos de la calcopirita y esfalerita “enfermedad de la calcopirita” suele confundirse con exsolución, pero es el resultado del crecimiento epitaxial durante la formación de la

calcopirita, o remplazamiento de fluidos ricos en cobre (Figura 3.10. C) (Barton & Bethke, 1987). Por otro lado, el remplazamiento puede ocurrir selectivamente, donde afecta sólo a determinadas zonas de un cristal que presenta zonación produciendo una textura de atolón (Figura 3.10 D). Como resultado del enfriamiento en los depósitos minerales se pueden generar texturas de: recristalización, exsolución (marginal, laminar, y mirmequíta).

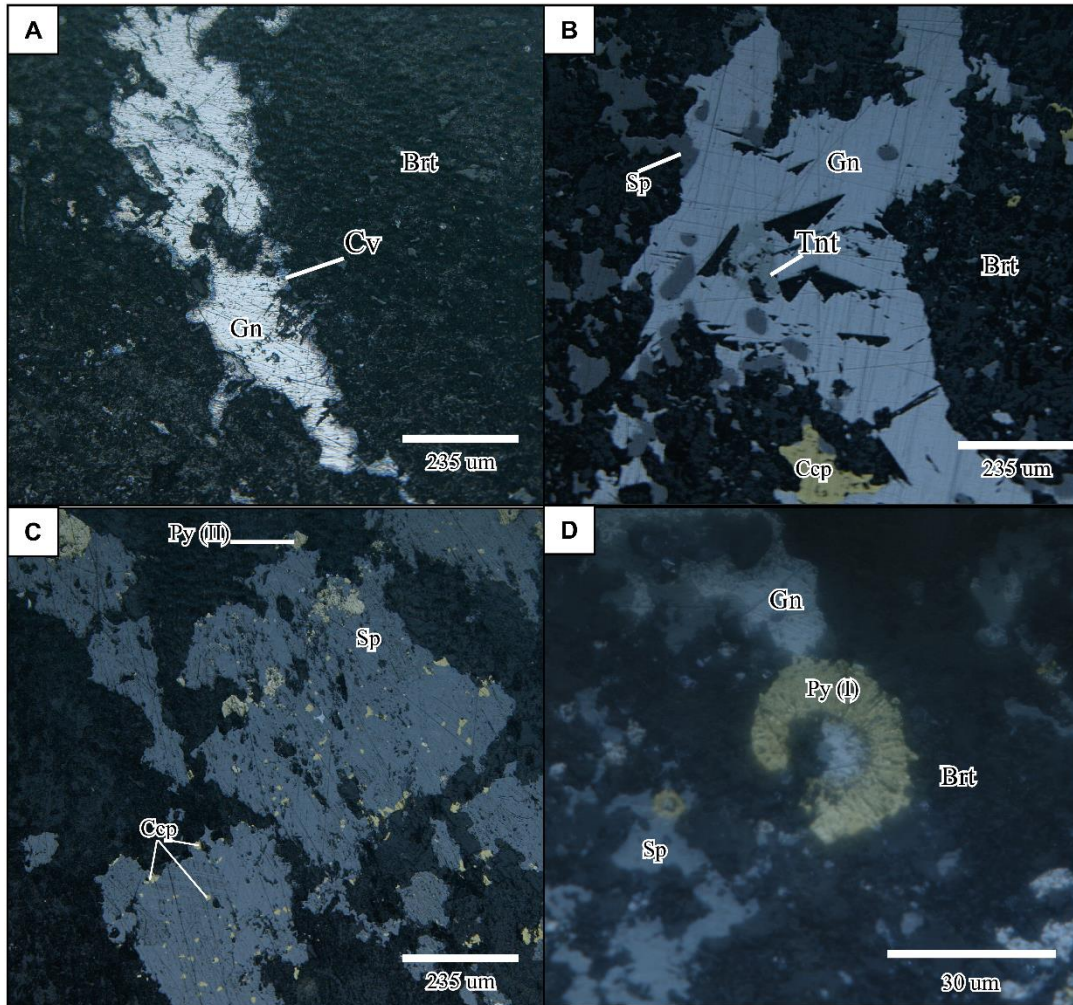


Figura 3.10. Ejemplo de texturas de remplazamiento obtenidas en el presente estudio. (A) remplazamiento de galena por covelita. (B) remplazamiento de tennantita por galena, galena con triángulos de arranque (pits). (C) enfermedad de la calcopirita. (D) textura selectiva pirita framboidal con remplazamiento de galena y esfalerita.

3.2.4. ANÁLISIS CON MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO (SEM-EDS).

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es una técnica de imagen en la que se escanea un haz de electrones enfocados en la superficie de las secciones pulidas para generar electrones secundarios, de electrones retrodispersados, donde las imágenes generadas proporcionan información topográfica y estructural de la muestra. La espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDS) es una técnica de microanálisis semicuantitativo de elementos integrada al SEM. Los análisis de SEM-EDS generan mapas elementales semicuantitativos (figura 3.11. A), donde los rayos X generados durante el escaneo de electrones proporcionan espectros de composición local (figura 3.12. B y C). Se utilizó esta técnica para comprender los conjuntos minerales, las relaciones texturales y paragénesis mineral.

En este trabajo se seleccionaron muestras de láminas pulidas representativas para estudio mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS), en el laboratorio del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador (Figura 3.11). Las condiciones de operación fueron de 20 y 25 KeV de voltaje de aceleración y una corriente de 30 nA; las imágenes fueron adquiridas en modo de electrones retrodispersados (*backscattered electron* - BSE). Se procesaron mapas semicuantitativos de elementos con escaneos de líneas para las muestras utilizando el software de microanálisis AZtec.



Figura 3.11. Microscopio electrónico de barrido (SEM) del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural del Ecuador.

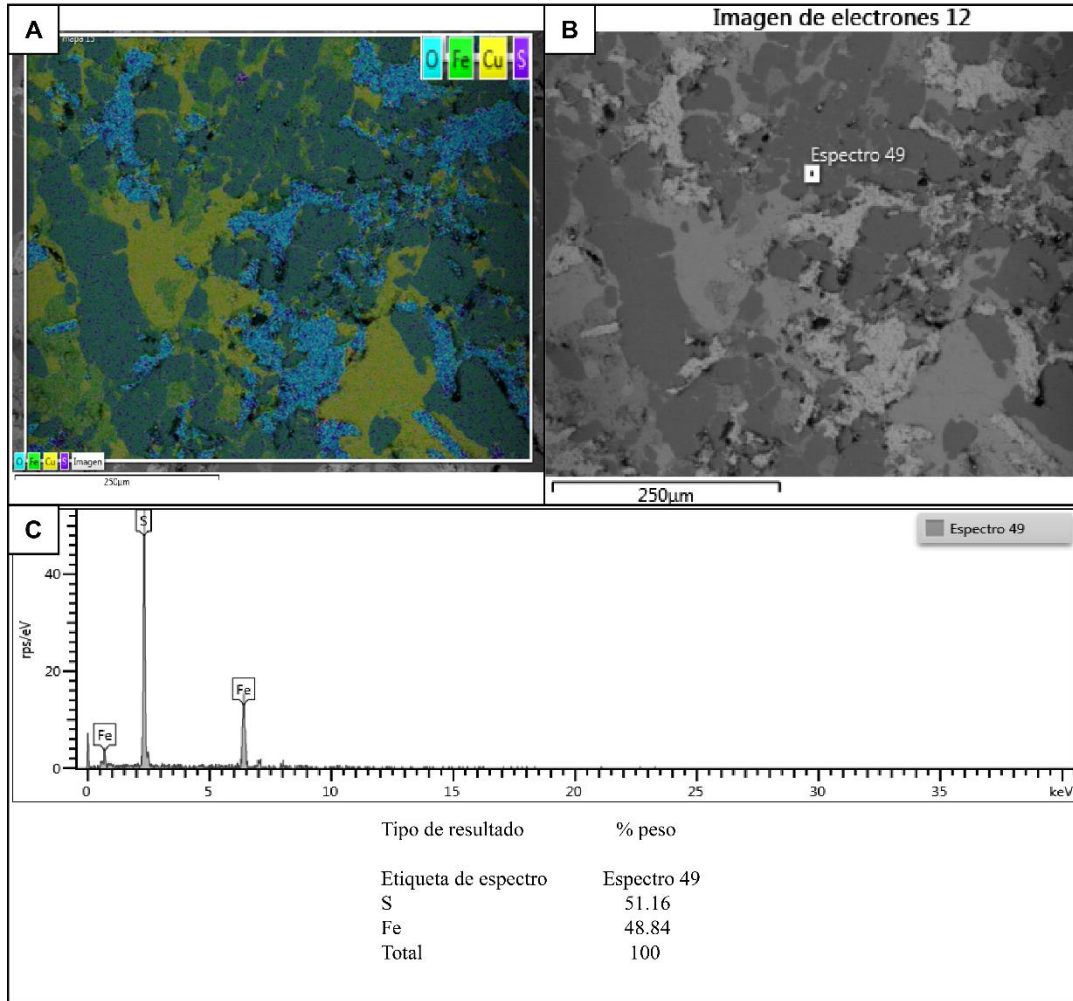


Figura 3.12. Ejemplo de análisis SEM-EDS obtenido para la muestra 06-01-22 en el presente trabajo. (A) Mapa elemental semicuantitativo SEM-EDS, que representa zonas de alta intensidad en Cu, Fe, S. (B) Imagen de electrones de retrodispersión (BSE). (C) Difractograma con las fases identificadas y cuantificadas mediante análisis de perfil.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS PETROGRÁFICOS Y MINERALÓGICOS DEL DEPÓSITO “LA PLATA-CUERPO SUR”

4.1. MINERALOGÍA DE MENA

Se estudió láminas pulidas representativas de la zona de mineralización para caracterizar la mineralogía de los sulfuros, conjunto de minerales y paragénesis mediante el uso de un microscopio con luz reflejada y SEM-EDS. La luz polarizada con luz refleja ayuda a identificar los minerales opacos mediante los rasgos morfológicos, tamaños de grano, tipos de texturas, porcentajes, asociaciones mineralógicas, relaciones espaciales, remplazamientos, sustituciones, entre otras. En el caso del SEM-EDS se obtuvieron mapas semicuantitativos de elementos de rayos X de dispersión de energía que mediante análisis puntual en los granos minerales permite caracterizar la química de los minerales se pueden observar los resultados en el Anexos II.

La mineralización de sulfuros se produce en un momento de quietud volcánica (Chiaradia & Fontboté, 2001) entre la depositación de los flujos del Foot Wall y el Hanging Wall, esta mineralización se hospeda preferencialmente en rocas sedimentarias de forma diseminada y en lentes semimasivos y masivos. En el Anexos III se incluye las fichas de cada muestra realizada en el estudio mediante análisis macroscópico con la luz reflejada. A continuación, se realiza una descripción general de los minerales reconocidos en el “Cuerpo Sur” de “La Mina Sur” del proyecto “La Plata”.

- **Pirita (FeS_2).**

Se identifican dos tipos de pirita: framboidal (Py I) y euhedral-subhedral (Py II). La pirita I presenta texturas framboidal esferulítica, con tamaño de 20-50 μm , se encuentra reemplazada por esfalerita, galena y tennantita (Figura 4.1A y B), se observan en los masivos sin deformación y enriquecidos en zinc y plomo (Anexos III, muestras: 20-104-03, 20-114-32, 16-01-38, 16-01-39), se encuentra presente en la muestra de lodolita (Anexos III, muestra: 06-01-21). La pirita II se presenta como cristales euhedrales a subhedrales con un aumento del

tamaño de grano cuando cambia de etapa hasta tamaños mayores a 150 μm , se encuentran asociados a esfalerita, galena, tennantita (Anexos III, muestras: 97-22-29, 20-114-32, 16-01-38), y es remplazado por calcopirita, bornita, esfalerita (Figura 4.1C y D).

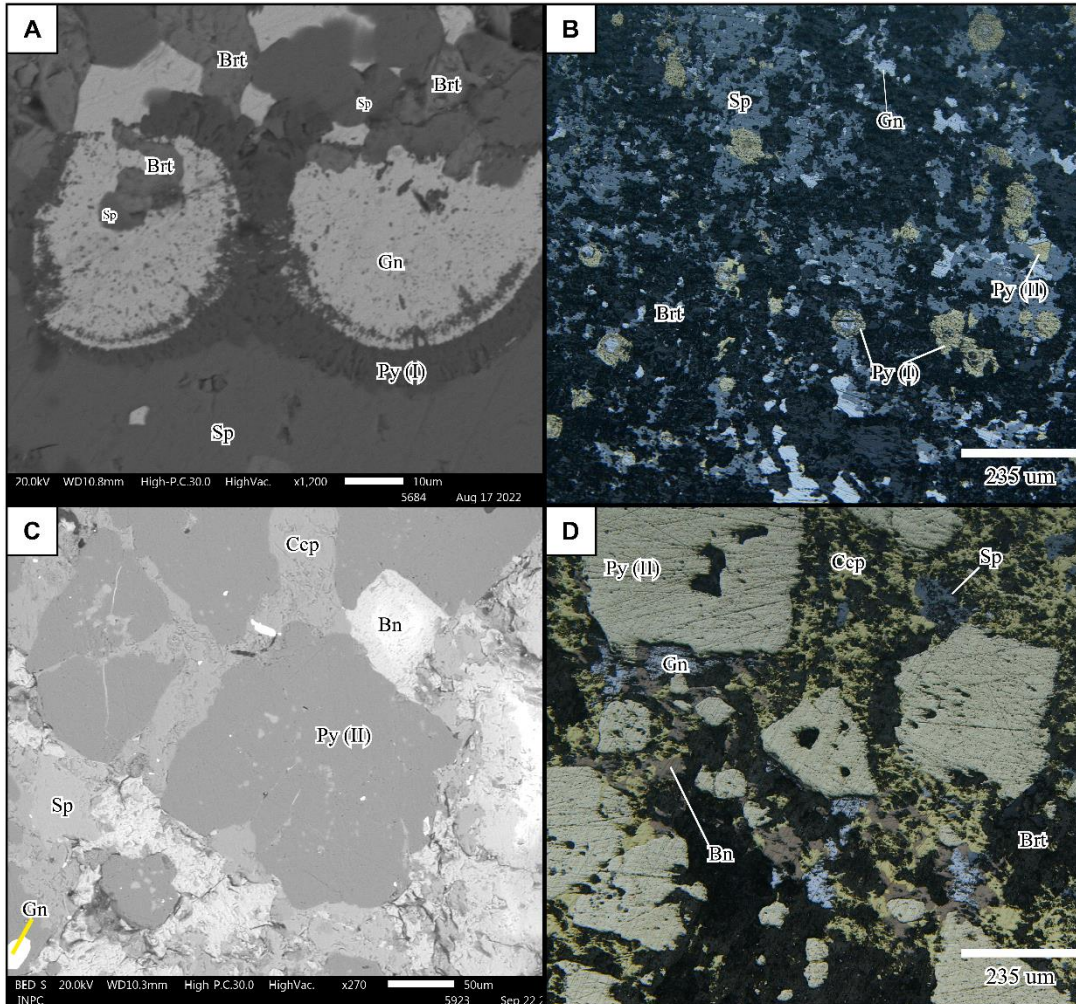


Figura 4.1. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa Py (I) con remplazamiento de Gn y Sp, (B) Py I con remplazamiento de galena y esfalerita. (C) Py (II) con remplazamiento de Ccp, granos de Sp, y Brt, (D) Py II con remplazamiento de calcopirita y bornita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita.

- **Calcopirita (CuFeS_2)**

En los masivos donde la calcopirita supera al 80% de los sulfuros, reemplaza y rellena fracturas de pirita (II), clastos de barita, presenta remanentes de esfalerita, galena, tennantita, y bornita (Figura 4.1. D) (Anexos III, muestra: 20-106-13, 06-01-22, 06-21-23, 98-23-26, 20-114-33, 16-08-34, 17-92-36, 16-01-40). Se observa bandeamiento de calcopirita y esfalerita, se encuentra reemplazando a esfalerita y barita, y presenta clastos de calcopirita mayores a los 100 μm (Figura 4.2. A y B). En rocas no deformadas la calcopirita se encuentra menor al 5%, reemplazando a la esfalerita, se observa la textura característica de la enfermedad de la calcopirita, galena y pirita II (Figura 4.2. C y D).

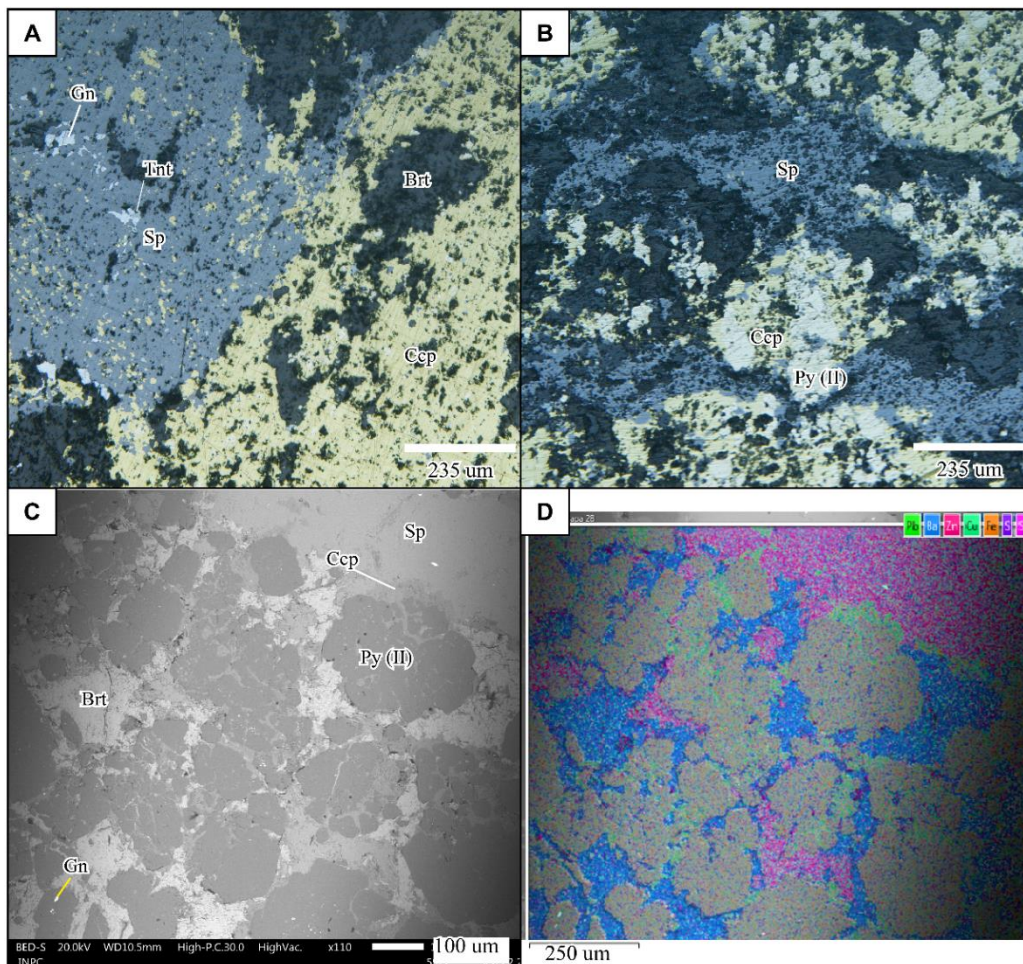
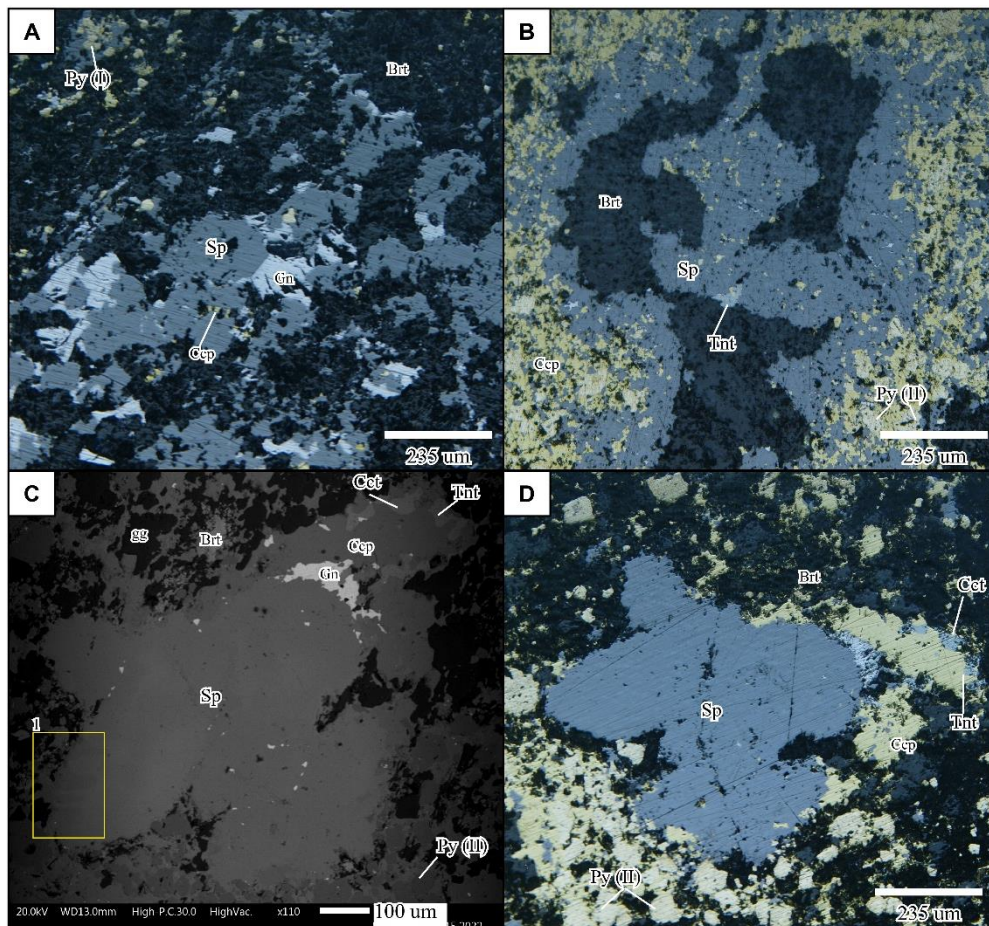


Figura 4.2. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) luz reflejada, se observa textura de enfermedad de la calcopirita, (B) se observa bandas de esfalerita y calcopirita, (C) se observa reemplazamiento de calcopirita en pirita II, (D) mapa elemental semicuantitativo de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDS) donde se observa un reemplazamiento de pirita por calcopirita y esfalerita. (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita, (Qz) cuarzo.

- **Esfalerita (ZnS)**

En las zonas de sulfuros masivos, donde la esfalerita supera en 70% de los sulfuros, en análisis puntuales semicuantitativo SEM-EDS indica una composición entre 60-68% en peso de Zn, se asocia con: galena, tennantita, pirita I, calcopirita en pequeñas proporciones (< 5%). La esfalerita presenta la textura de enfermedad de la calcopirita (Figura 4.3 A y B.) (Anexos III, muestras: 20-100-41, 16-01-39, 16-01-38, 20-114-32, 97-22-29). En muestras donde la calcopirita presenta > 20% de sulfuros y un aumento de Py II, la esfalerita en análisis puntuales semicuantitativo SEM-EDS indica una composición entre 30-50% en peso de Zn y algunos granos contiene Hierro (Fe) (< 12% en peso), se observa que bordea a clastos de barita, remplazado por calcopirita (textura enfermedad de la calcopirita) y pirita II (Figura 4.3. B) (Anexos III, muestra: 06-21-23), se observan clastos de esfalerita con tamaño de 300-800 μm con Fe (Figura 4.3. C y D), y con remplazamiento de calcopirita (Figura 4.3. E). La esfalerita se encuentra bordeando clastos de calcopirita en muestras donde la calcopirita se encuentra mayor al 80% de sulfuros (Figura 4.3 F) (Anexos III, muestra: 20-114-33, 16-08-34).



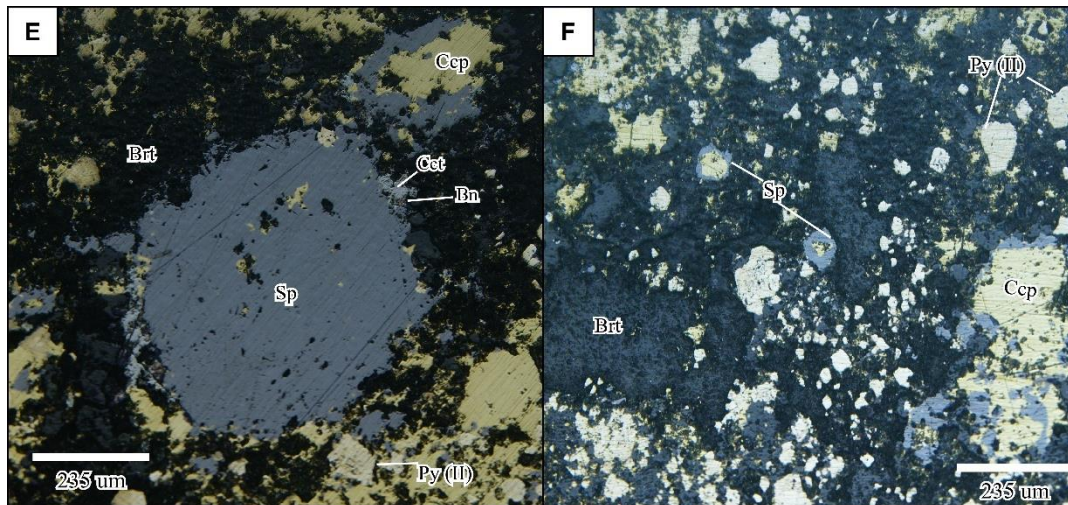


Figura 4.3. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa la relación de esfalerita y galena, remplazado por Ccp, (B) se observa esfalerita bordeando a clastos de barita, y textura de enfermedad de calcopirita, (C) se observa clastos de esfalerita, 0.7 mm, en el cuadro 1 presenta un enriquecimiento de Fe, (D) se observa el grano de esfalerita de C, (E) se observa clasto de esfalerita con remplazamiento de calcopirita (textura atolón), (F) Luz reflejada; se observa esfalerita bordeando a calcopirita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita, (Tnt) tenantita, (Cct) calcosita.

- **Galena (PbS)**

Se presenta con caras subhedrales relleno de espacios abiertos en clastos de barita y esfalerita generando parches, presenta triángulos de arranque (pits) y su color gris claro con alta reflectividad (Figura 4.4. A y B), en análisis puntuales SEM-EDS indica una composición del 79-89% en peso de Pb y 11-17% en peso de S. Los cristales de galena se encuentran asociados a: esfalerita, tennantita, y remplazando a pirita I en forma framboidal (Figura 4.1 A y B), en muestras con mayor contenido de esfalerita el análisis puntual SEM-EDS indica una composición < 1% en peso de Zn. Se observa plomo libre en granos menores de 30 μm, con un contenido del 0.3% en muestras de masivos de esfalerita y en masivos de calcopirita se presenta con un 0.1% (Figura 4.4 C, D y E). En Muestras de sulfuros con mayor contenido de calcopirita se observa oro en galena (Figura 4.9. B), se encuentra remplazada por calcopirita y bornita (Figura 4.5 A y B).

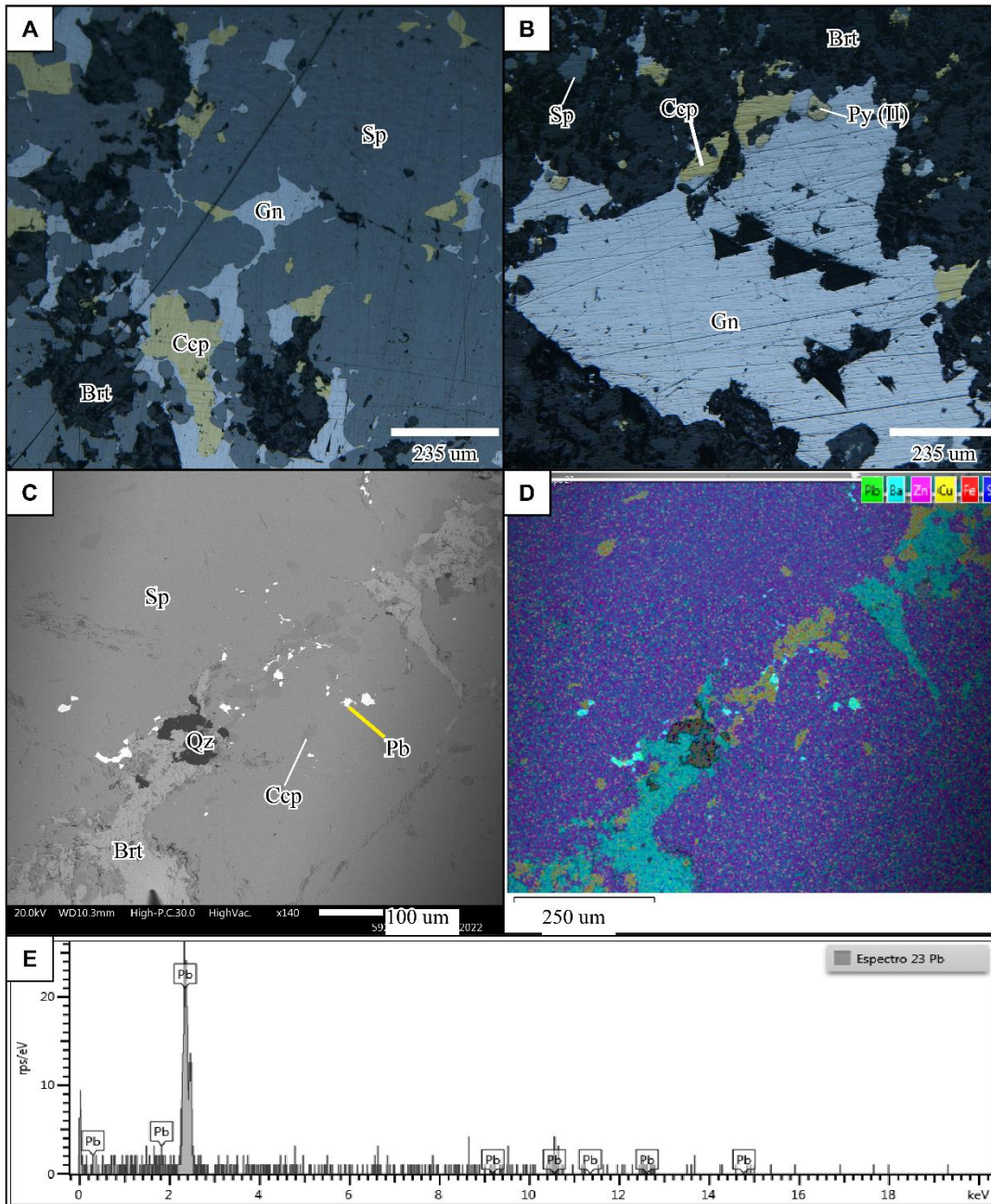


Figura 4.4. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa la galena relleno espacios de esfalerita, (B) se observa a galena relleno granos de barita, remplazamiento de calcopirita, y pirita euهدral, (C) se observa matriz de esfalerita con inclusiones de calcopirita y granos de plomo de 30 μm , (D) mapa elemental (SEM-EDS), se observa granos de plomo libre, presenta una distorsión de colores debido a la sobre imposición del mapa semicuantitativo en la imagen BSE, (E) espectro de plomo libre. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita, (Bn) bornita.

- **Bornita (Cu_5FeS_4)**

Se presenta de forma anhedral, masivo, el análisis puntual semicuantitativo SEM-EDS indica una composición del 56-62% en peso de Cu, 26-30% en peso de S, 10-13% en peso de Fe. Presenta remplazamiento en pirita I, esfalerita, galena, y tennantita (Figura 4.5 A y B), se observa remplazada por covelita, digenita, y calcopirita, rellenando fracturas en granos de pirita II (Figura 4.5 C y D). En masivos con mayor contenido de calcopirita, la bornita se encuentra asociado a calcosina (Anexos III, muestras: 98-23-26, 06-21-23, 06-01-22). En masivo de barita se encuentra asociada con galena, calcosina, tennantita y remplazada por covelita (Figura 4.7. B, Anexos III, muestra: 20-96-05).

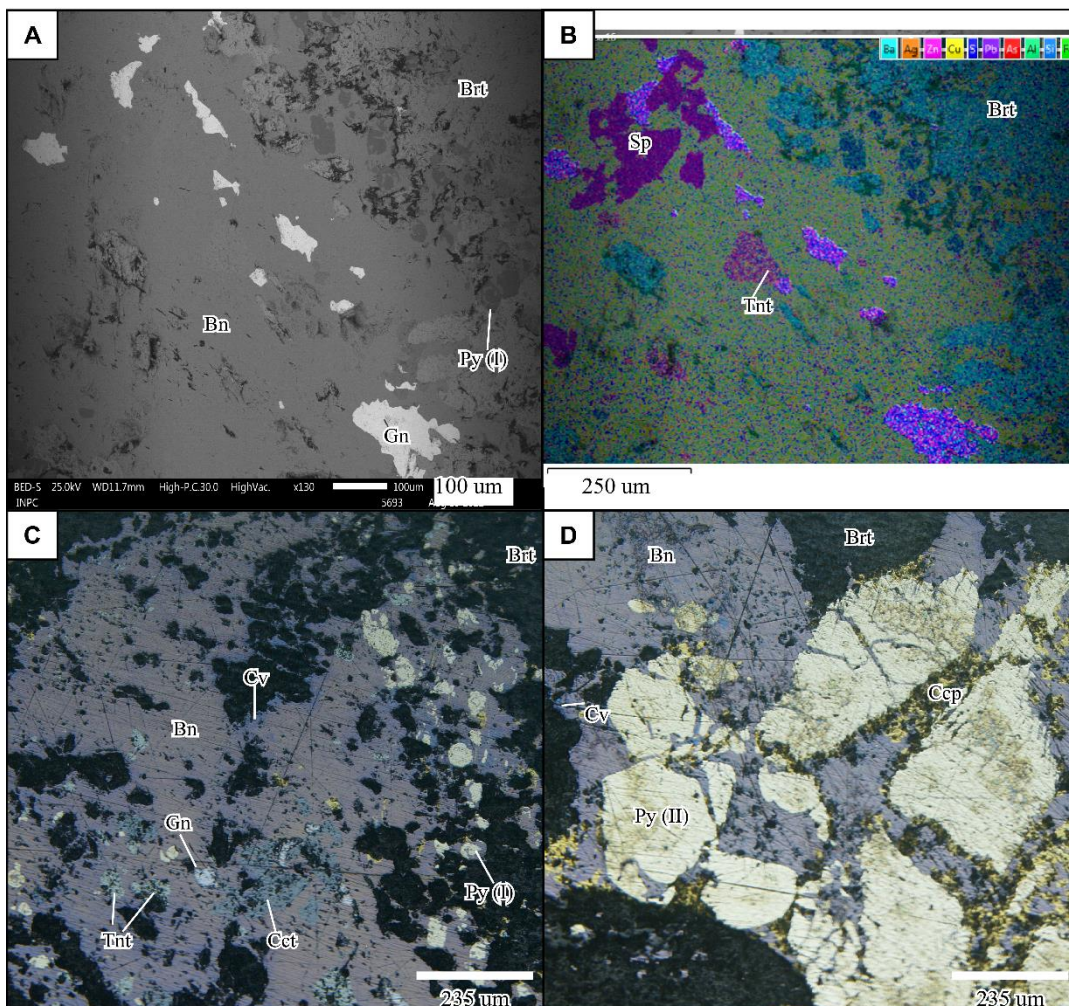


Figura 4.5. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) matriz de bornita con texturas de atolón de galena, esfalerita, tennantita y pirita I, (B) mapa (SEM-EDS) se observan granos de tennantita y esfalerita siendo remplazado por bornita, presenta una distorsión de colores debido a la sobre imposición del mapa semicuantitativo en el mapa BSE, (C) se observa remplazamiento de galena, tennantita y pirita I, asociado a calcosina,

(D) remplazamiento de bornita por calcopirita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita, (Tnt-Ttr) tenantita-tetraedrita, (Bn) bornita, (Cct) calcosina, (Cv) covellita.

- **Tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) – Tetraedrita ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$)**

Se encuentra en menor concentración que los anteriores sulfuros, presenta un color gris con tintes verdosos para tennantita y gris con tintes azulado para tetraedrita. Se presentan como granos anhedrales menores a $175\ \mu\text{m}$ (Figura 4.4. B y 4.6.D) y se encuentra en bordes de esfalerita (Figura 4.6. A). El análisis puntual SEM-EDS indica una composición del: 33-44% en peso de Cu, 29-40% en peso de S, 16-23% en peso de As, y 12-17% en peso de Sb, en algunos granos minerales contiene una concentración $< 8\%$ en peso de Zn (Figura 4.4. A y B). está asociado con: la esfalerita y galena, (Figura 4.6 B) y presenta remplazamiento de calcopirita y bornita (Figura 4.6. C y 4.4 C, respectivamente).

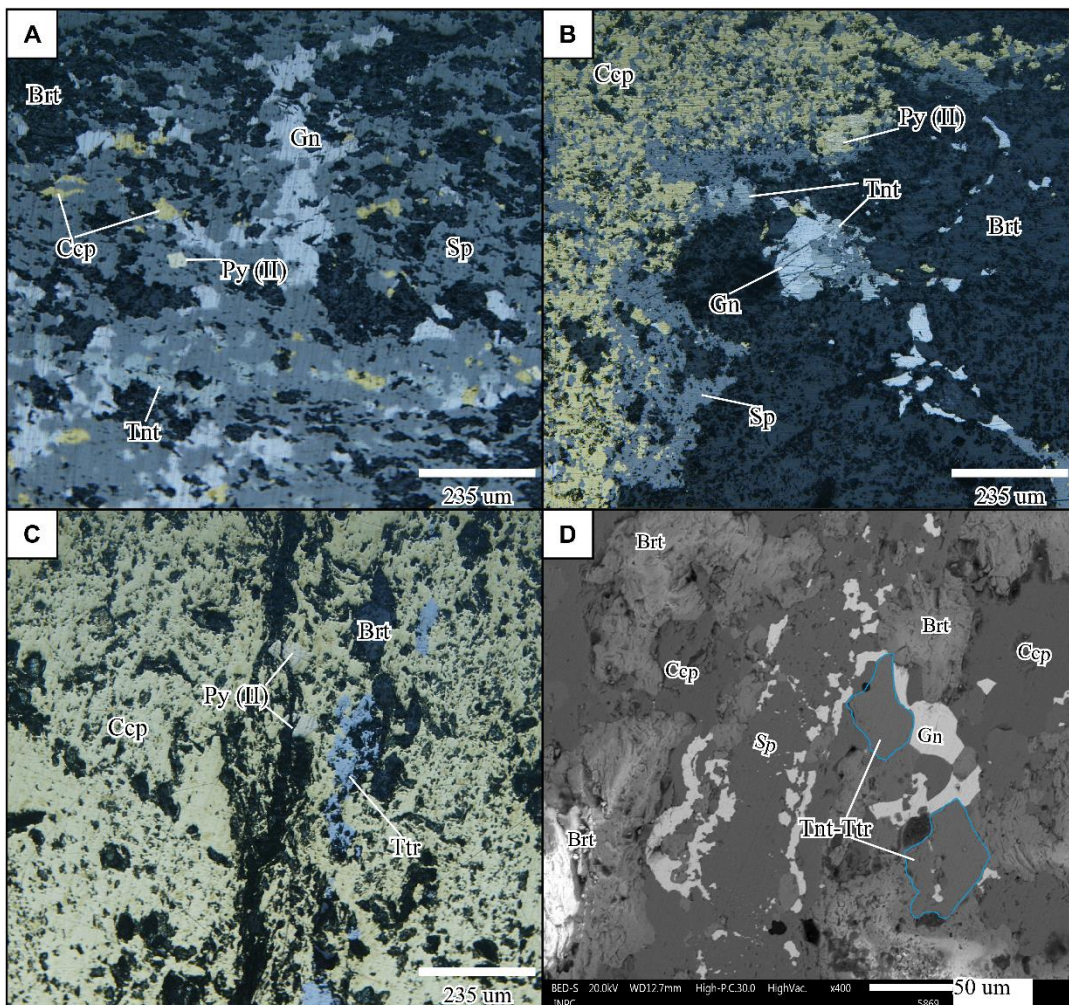


Figura 4.6. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) remplazo de tenantita en bordes de esfalerita, (B) galena, tenantita relleno de espacios de esfalerita y granos de barita, remplazamiento de calcopirita por esfalerita (textura de la enfermedad de la calcopirita), (C) masivo de calcopirita con tetraedrita en textura atolón, (D) granos de tenantita y tetraedrita euhedrales y asociados con esfalerita. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py II) pirita, (Tnt-Ttr) tenantita-tetraedrita.

- **Calcosina (Cu_2S) – Digenita (Cu_9S_5).**

Se encuentran en trazas, en luz reflejada se observa la calcosina de color gris plomo con tintes azulados y la digenita gris claro azulado (Figura 4.7). Se presentan como granos minerales anhedrales de tamaño menores a $100\ \mu\text{m}$ (Figura 4.3 C), en análisis puntuales semicuantitativo SEM-EDS indica una composición del 20-54% en peso de S y 46 al 80% en peso de Cu. Se encuentra remplazando a bornita (Figura 4.7. A), presenta remplazamiento bornita por digenita posteriormente por galena (Figura 4.7. B) (Anexos III, muestra: 20-96-05, 06-01-22).

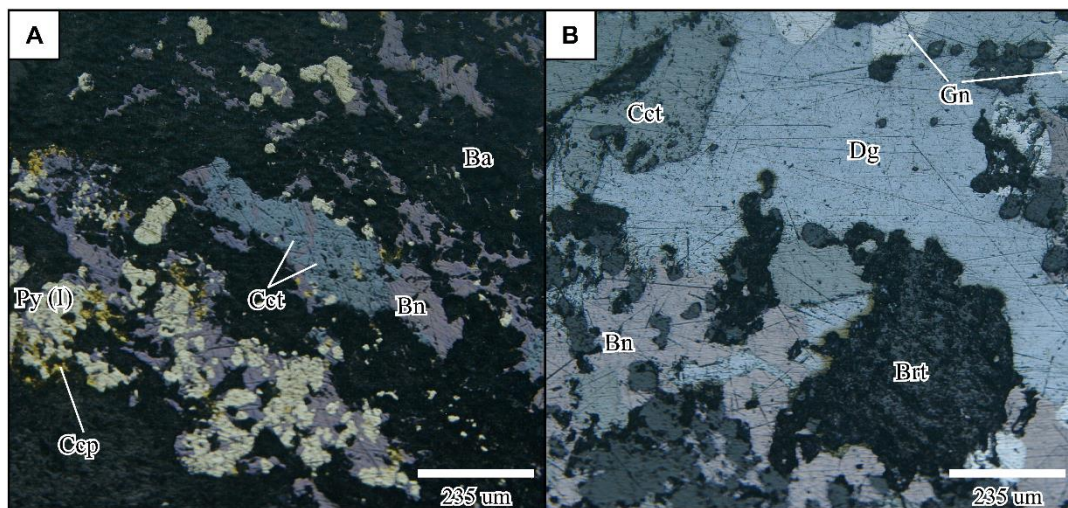


Figura 4.7. Imágenes con microscopio de luz reflejada. (A) se observa remplazamiento de bornita en pirita y calcosina, (B) se observa remplazamiento de bornita por calcosina y digenita por galena. (Sp) esfalerita, (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py II) pirita, (Tnt-Ttr) tenantita-tetraedrita, (Cct) calcosita, (Dg) digenita.

- **Covelita (CuS)**

En luz reflejada se observa de color índigo azul con tintes violeta, se encuentra en trazas, remplazando a la calcopirita, bornita (Figura 4.4. C) y galena, presentan un remplazamiento en los bordes de los granos minerales y en fracturas (Figura 4.8. A y B) (Anexos III, muestra: 06-

21-23, 06-01-22), en clastos de barita se encuentra reemplazando a calcosina (Anexos III, muestra: 20-96-05).

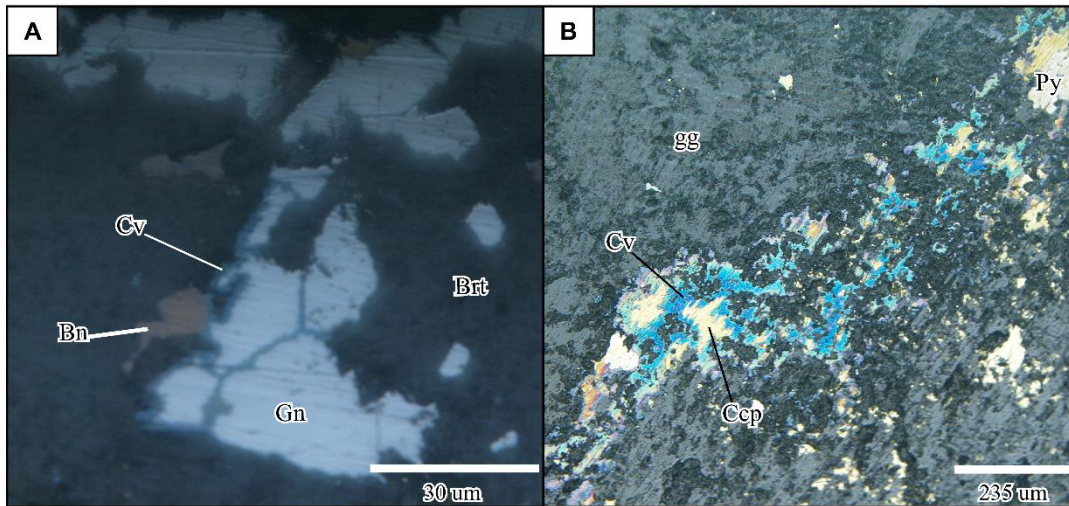


Figura 4.8. Imágenes de microscopio con luz reflejada. (A) se observa reemplazamiento de bornita en pirita y calcosina, (B) se observa reemplazamiento de bornita por calcosina, y galena por covelina. (Gn) galena, (Brt) barita, (Bn) bornita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita, (Cv) covellita.

- **Oro (Au)**

Se lo identifica por color amarillo latón brillante, se presenta como oro nativo, pequeños granos anhedrales de 50 μ m, asociado con calcopirita, barita y con inclusiones de esfalerita (Figura 4.9. A) y como granos en inclusiones en galena de tamaño 5 μ m (Figura 4.9. B), (Anexos III, muestra: 20-108-37).

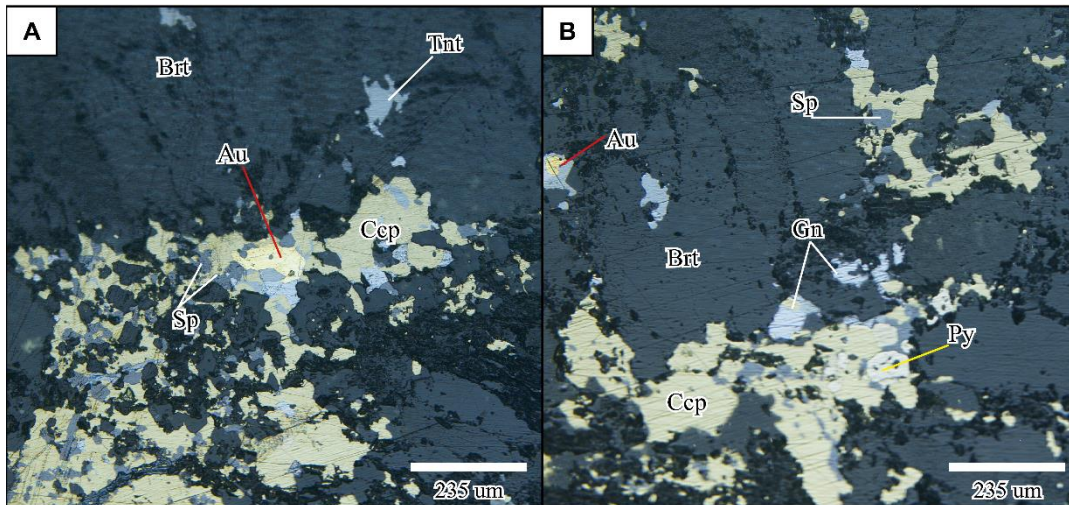


Figura 4.9. Imágenes de microscopio con luz reflejada. (A) oro libre asociado a calcopirita, esfalerita y barita, (B) oro libre como inclusión dentro de grano de galena. (Gn) galena, (Brt) barita, (Bn) bornita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita, (Cv) covellita, (Au) oro.

- **Barita (BaSO_4) y Cuarzo (SiO_2)**

Son los minerales de ganga que se encuentran asociados a la mineralización. Se encuentran en todas las muestras recolectadas. Los cristales de barita ocurren en proporciones $> 30\%$ en las muestras de sulfuros masivos, se presenta como granos minerales euhédricos, rellenando espacios de fases minerales posteriores, mientras que el cuarzo $< 5\%$, se presenta como granos anhedrales de $< 50 \mu\text{m}$ de tamaño, con inclusiones de esfalerita (Figura 4.10 A y B), en sulfuros masivos no deformados. Se observan clastos de cuarzo $> 600 \mu\text{m}$, en espacios abiertos se encuentra rellenos por galena, barita, calcopirita, esfalerita, y presentan se observan sombras de presión en masivos deformados (Figura 4.10. C y D).

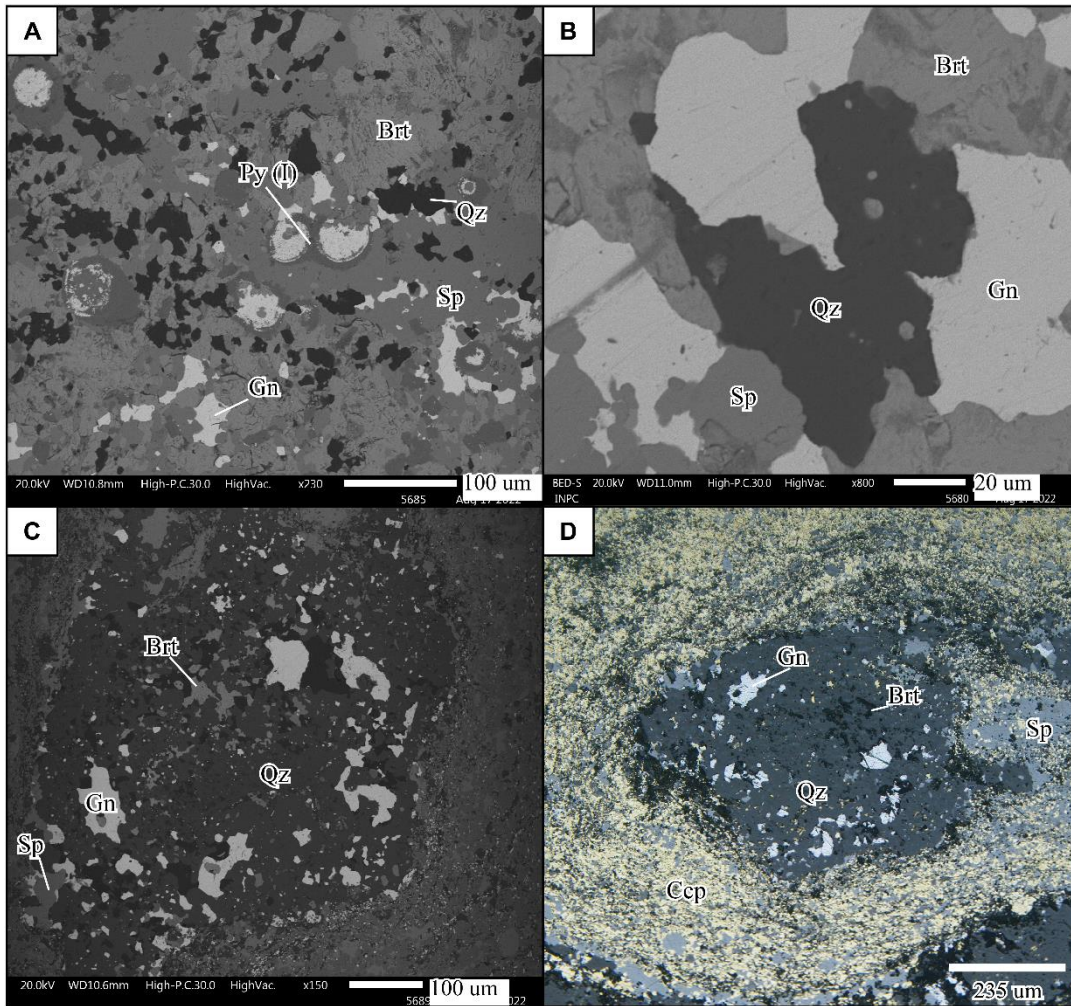


Figura 4.10. Imágenes de microscopio con luz reflejada y microscopio electrónico de barrido (SEM). (A) se observa pirita framboidal remplazada por barita, galena, esfalerita, y granos de cuarzo menores de $50\mu\text{m}$, (B) se observa un grano de cuarzo relleno de galena, esfalerita, (C) grano de cuarzo $670\mu\text{m}$ con espacios rellenos de galena, esfalerita, calcopirita, (D) grano de cuarzo bordeado por sulfuros. (Gn) galena, (Brt) barita, (Ccp) calcopirita, (Py) pirita, (Qz) cuarzo

4.2. MINERALIGÍA DE ROCA CAJA

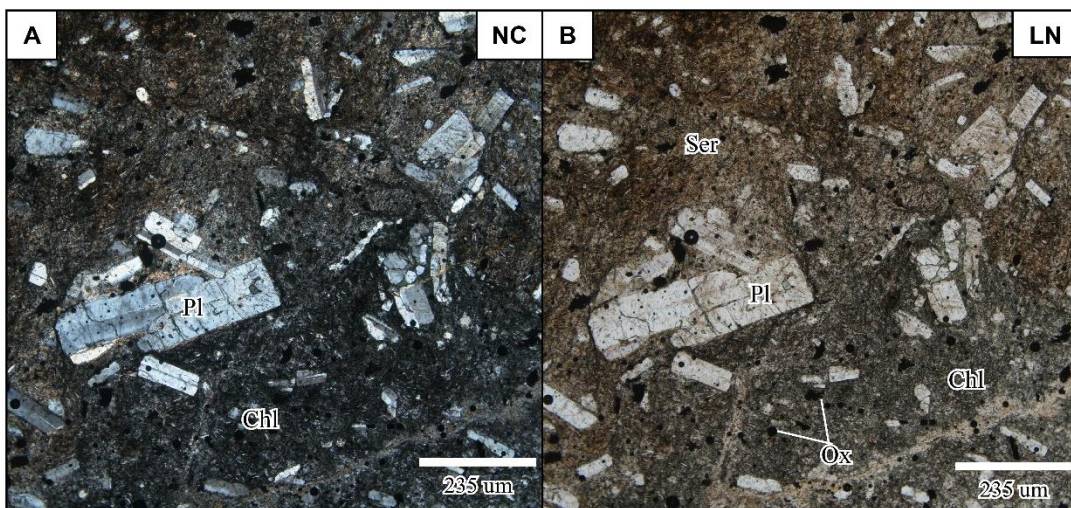
Foot Wall

Andesita-Basáltica a Andesita.

Color gris verdoso, de grano fino, hipocristalina, textura porfírica, matriz criptocristalina y estructura masiva. El Foot Wall consiste en rocas grises alteradas, donde atraviesan la zona de stockwork. (Figura 4.11. E). Presenta los siguientes componentes:

- **Fenocristales** (15%): microfenocristales de plagioclasas con maclas de Carlsbad, textura seriada baja, tamaño de cristales (<1mm), cristales euhedrales a subhedrales.
- **Matriz** (82%): criptocristalina, se compone de: vidrio volcánico, microlitos de plagioclasa y fragmentos de plagioclasa.
- **Minerales Opacos** (3%): pirita diseminada en la roca con forma pseudo cúbica, y esfalerita disemina con textura anhedral, se observan en los fenocristales y en matriz.

La alteración principal de la roca es, cuarzo y sericita diseminada, que aparece en la matriz de la lámina delgada. Presenta sulfuros diseminados en la roca, Probablemente el protolito de la roca es volcánico debido a la textura que se observa en la lámina. Presenta vetas de Jaspe las cuales producen halos de clorita (Figura 4.11 C y D). Se observan fracturas transversales rellenas de cuarzo dentro de las vetas de Jaspe alteradas por clorita.



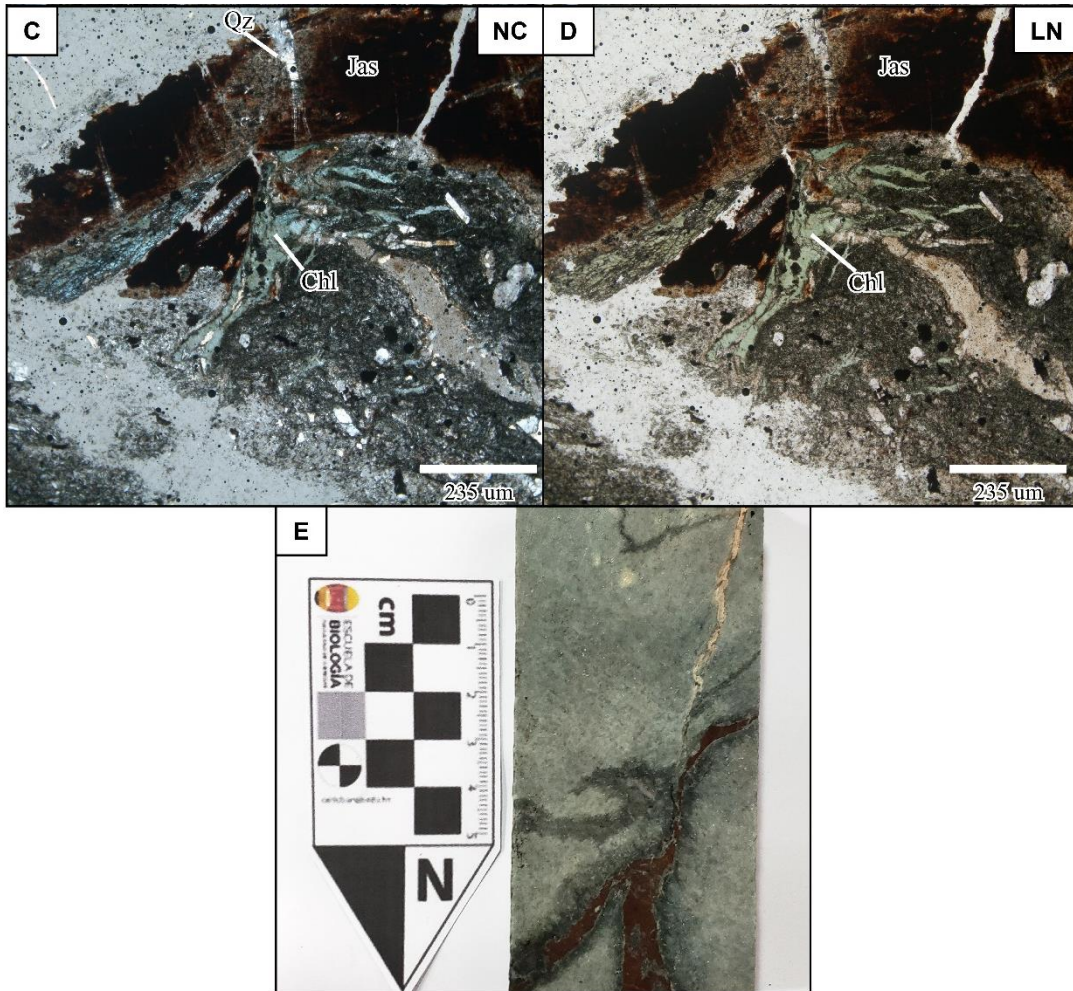


Figura 4.11. Muestra: 97_22_30., Foot wall, (A) nicoles cruzados, se observa las plagioclasas carlsbad seriada, (B) nicoles paralelos, se observan alteración sericitica en la matriz, (C, D) Nicles cruzados y nicoles paralelos, minerales de alteración clorita en veta de Jaspe. (E) muestra de mano, con halos de alteración de clorita. (Pl) plagioclasa, (Chl) clorita, (Ser) sericita, (Jas) Jaspe.

Hanging Wall

- **Andesita Basáltica**

Roca de grano fino, hipocristalina, textura microporfirítica, variablemente vesicular alineadas, y comúnmente con amígdalas rellenas de cuarzo y carbonato alineadas, compuesta por:

- **Fenocristales** (15%): compuesto de piroxeno (clinopiroxeno y ortopiroxeno) de 1 a 2 mm. (Figura 4.12 A y B) Los clinopiroxenos presentan: birrefringencia alta, relieve alto,

cristales euhedrales a subhedrales. Los ortopiroxenos presentan: birrefringencia moderada, relieve alto, cristales euhedrales a subhedrales. (Figura 4.12 A y B).

- **Matriz (75%):** microcristalina, compuesta por vidrio oxidado (color negro) y microlitos de plagioclasa, las plagioclasas se observan con baja orientación.

Alteración caracterizada por clorita-cuarzo-hematita+/-carbonato conserva la textura de la roca caja, y es poco pervasiva. Presenta vetillas rellenas de carbonato y cuarzo con minerales opacos dentro de las vetillas, en muestra de mano se observa pirita, esfalerita diseminada 3% (Figura 4.12 C y D).

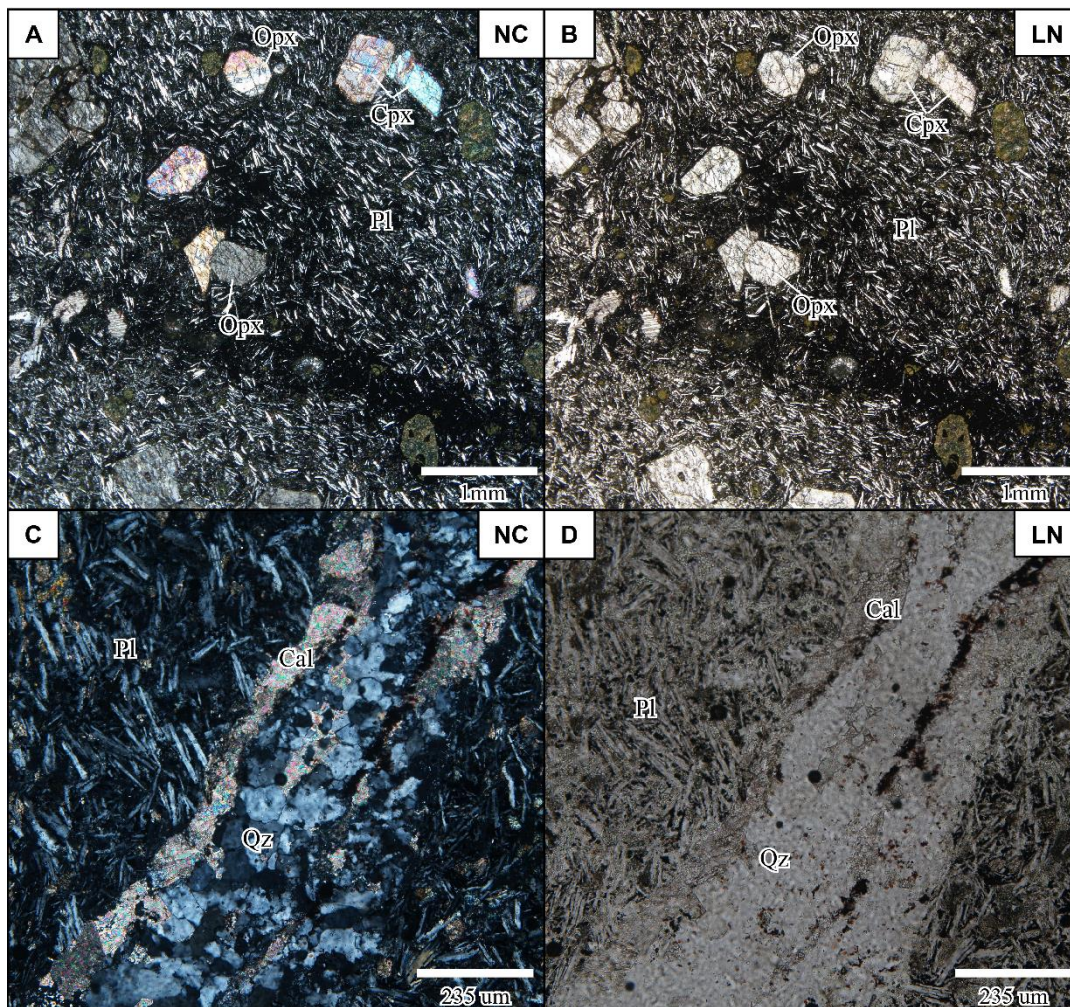


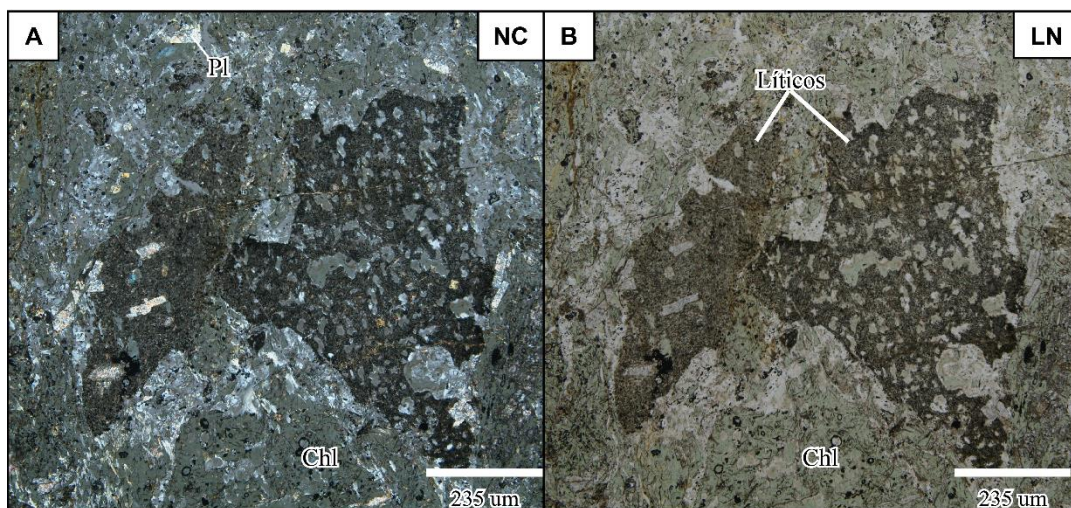
Figura 4.12. Imágenes de microscopio petrográfico con luz transmitida. (Muestra: 06_01_20., andesita basáltica) (A) nicoles cruzados, se observa textura microporfirica con orientación de los microlitos de plagioclasa. (B) nicoles paralelos, (C, D) Nicles cruzados y nicoles paralelos, vetilla de cuarzo y calcita. (Cpx) clinopiroxeno, (Opx) ortopiroxeno, (Pl) plagioclasa, (Cal) calcita, (Qz) cuarzo.

- **Toba**

Presenta color gris verdoso, textura clástica, tamaño lapilli, matriz soportada, mal sorteo, compuesto por:

- **Fragmentos** (25%): Se pueden observar fragmentos de fenocristales de plagioclasa de forma subhedrales a euhedrales, y fragmentos angulosos con baja esfericidad, tamaño lapilli. Los fragmentos presentan una textura porfírica, donde las plagioclasas han sido remplazadas, estas rocas presentan fenocristales de plagioclasa con forma subhedral.
- **Matriz** (72%): composición vítrea, se encuentra alterada por clorita (30%) y sericita (15%).
- **Opacos** (3%): sulfuros con textura subhedral y anhedrales. En muestra de mano se observa esfalerita y pirita, se observan en los fragmentos y en la matriz.

La alteración principal de la roca es cloritización del vidrio, también se observa sericita producto de la plagioclasa. La matriz y los clastos presentan minerales opacos que son asociados a sulfuros (Figura 4.13 A y B), en muestra de mano, se observa esfalerita diseminada. (Figura 4.13 C y D).



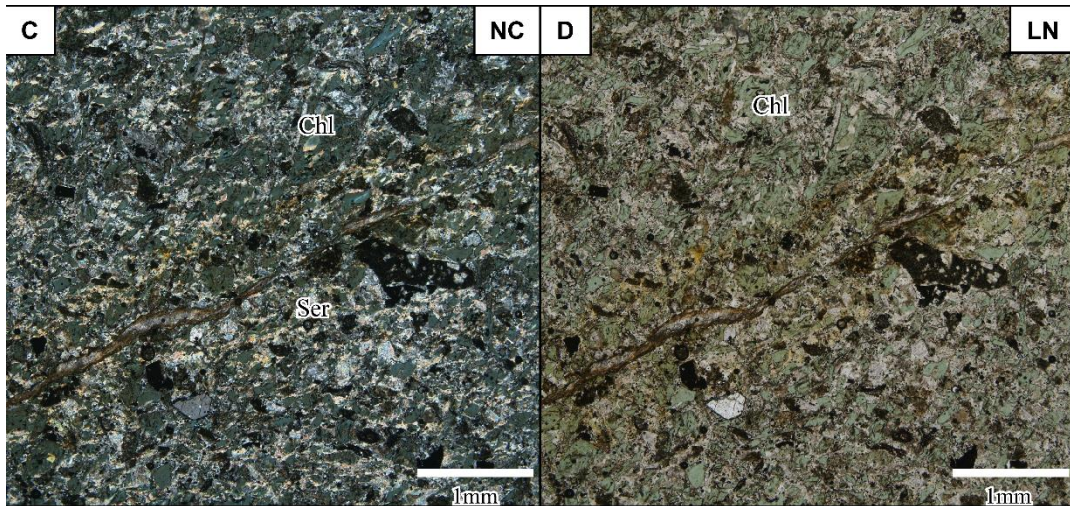


Figura 4.13. Imágen de microscopio petrográfico con luz transmitida. Muestra: 06_01_21., toba volcánica, (A) nicoles cruzados, se observa las plagioclasas que conservan poco de su textura original, (B) nicoles paralelos, se observan fragmentos de rocas volcánicas, (C, D) Nicles cruzados y nicoles paralelos, minerales de alteración clorita, sericita. (PI) plagioclase, (Chl) clorita, (Ser) sericita.

- **Lodolita silicificada**

Color gris oscura, textura laminada, espesor de hasta 10 metros, pero generalmente discontinua y repetitiva, presenta silicificación esporádicamente alterada por hematita, algunos intervalos son jaspílicos, se observa mineralización diseminada menor al 1% de esfalerita y pirita framboidal, por último, presenta vetas de cuarzo tardías (Figura 4.14. D).

- **Jaspe "horizonte marcador"**

La capa de sulfuro masivo está limitada por un intervalo delgado menor a 5 cm de jaspe que puede ser masivo, laminado o en matriz de brechas. El jaspe masivo es homogéneo, isotrópico y está interceptado por vetas de cuarzo con diseminado de pirita (Figura 4.14. E). Por el contrario, el jaspe laminado se caracteriza por capas de grano fino que alternan con capas de grano grueso con pirita diseminado.

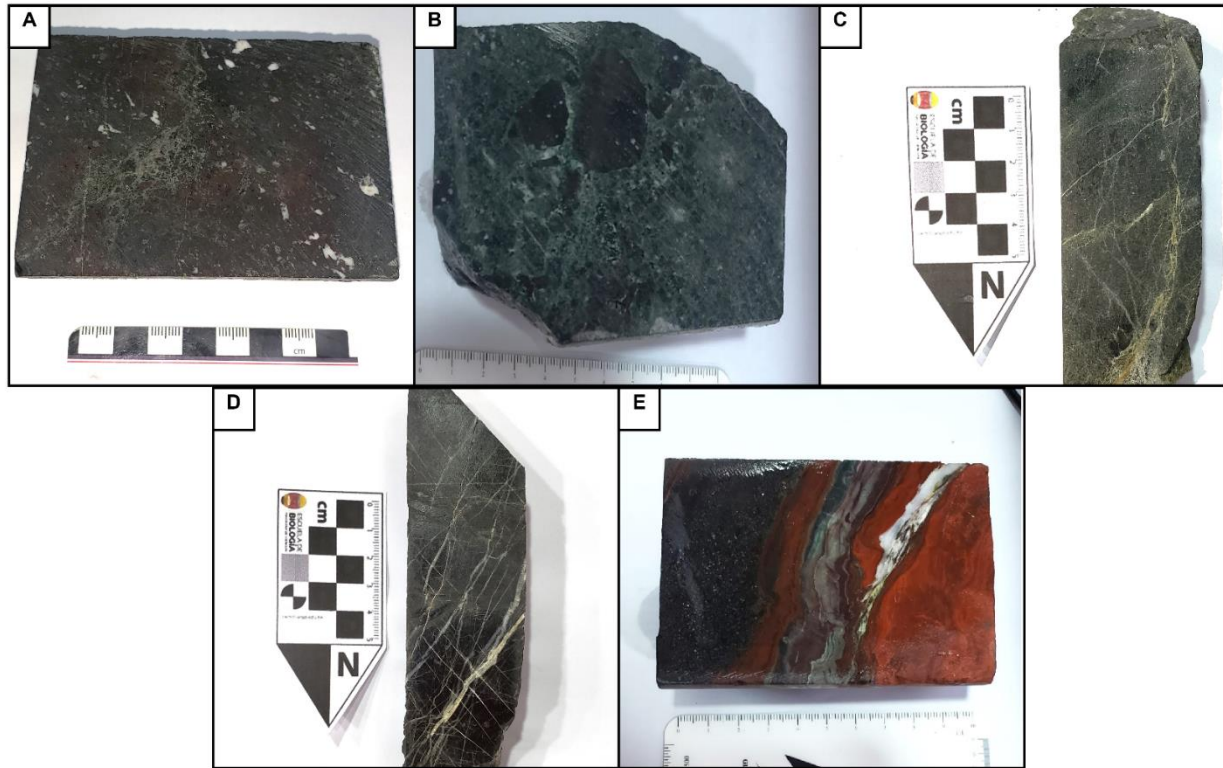


Figura 4.14. Muestras del Hanging wall: (A) basalto con vesículas rellenas de carbonato (muestra: 20_104_01), (B) brecha autoclástica (muestra: 20_96_04), (C) toba volcánica con vetillas rellenas de carbonato (muestra: 06_01_21), (D) Chert con vetillas de cuarzo presenta pirita diagenética (Muestra: 06_02_24), (E) colada de jaspe en contacto con sedimentos volcánicos (Muestras: 20_98_18).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN.

5.1. SECUENCIA PARAGENÉTICA DEL YACIMIENTO “LA PLATA-CUERPO SUR”

En la determinación de la paragénesis se analizó detalladamente láminas pulidas donde se determinó fases minerales mediante la caracterización de texturas de los minerales de mena. La interpretación de las paragénesis requiere muestras representativas del área de estudio y una buena preparación de las láminas pulidas. Aunque no existe un método estándar para el estudio paragenético, debido a que los depósitos minerales son únicos, en este trabajo se usaron criterios texturales para determinar la relación entre granos como la morfología, la relación entre el límite de granos (contactos), inclusiones e intercrecimientos.

Los sulfuros masivos observados en las muestras de láminas pulidas comprenden principalmente: pirita, calcopirita, esfalerita, galena, bornita, covelita, calcocita, digenita, sulfosales (tennantita, tetraedrita) y oro libre. Para la determinación de la secuencia paragenética se tomó en cuenta las relaciones texturales de los minerales las cuales permiten determinar las asociaciones de los minerales que se encuentran en equilibrio entre sí. En base al estudio anterior, el yacimiento mineral “La Plata-Cuerpo Sur”, se pueden clasificar en tres grupos principales de mineralización: 1) Mineralización temprana, 2) Mineralización principal y 3) Enriquecimiento Supergénico (Tabla 4.1.).

Tabla 4.1.
Paragénesis de la mineralización del depósito “La Plata-Cuerpo Sur”.

	Mineralización Temprana	Mineralización Principal				Enriquecimiento Supergénico
	Etapa 1 (Fe)	Etapa 2 (Zn-Pb)	Etapa 3 (Zn-Cu-Au)	Etapa 4 (Cu)	Etapa 5 (Ba)	Etapa 6
Pirita (I)	Abundante	Escaso	Escaso			
Pirita II			Moderado	Moderado		
Esfalerita		Abundante	Moderado			
Galena		Moderado	Escaso			
Tenantita-Tetrahedrita		Escaso	Escaso	Escaso		
Bornita			Moderado	Escaso		
Calcopirita			Escaso	Abundante	Abundante	
Digenita			Escaso			
Calcosita			Escaso			
Oro			Moderado			
Cuarzo		Abundante	Abundante			
Barita		Abundante	Abundante	Abundante	Abundante	
Covelita						Escaso

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Mineralización temprana

- **Etapas 1**

El sulfuro dominante se caracteriza por una pirita temprana (Py I), barita, y granos de cuarzo. La pirita framboidal (Py I) está representada por granos coloformes (<50 µm) (Figura 4.1 A y B), sufre remplazamiento de, galena y esfalerita, lo que indica que la pirita framboidal es una mineralización temprana (anterior a la mineralización principal) (Figura 4.1. B). Garuti et al., (2009) sugiere que la pirita framboidal se forma a partir de actividad bacteriana y típica de ambientes sedimentarios, en este estudio se ha encontrado Py framboidal en niveles de sedimentos en Chert y lodolitas, lo que indica que esta Pirita I es singenética de los sedimentos.

La barita se presenta como clastos subhedrales y euhedrales en muestra de mano, en láminas pulidas se observa que coexiste con pirita framboidal, por lo cual, se asocia a una etapa primaria de la mineralización (Figura 4.1 B). Los fluidos hidrotermales en esta etapa están enriquecidos en Fe.

Mineralización Principal

Se divide en cuatro etapas de ensamblaje mineral: 1) Etapa 2; fluidos con enriquecimiento de zinc y plomo (Zn-Pb), 2) Etapa 3; presenta un enriquecimiento polimetálico (Zn + Pb +Cu, -Au), 3) Etapa 4; fluidos enriquecidos en cobre (Cu), y 4) Etapa 5; fluidos enriquecidos en bario (Brt).

- **Etapas 2**

La asociación mineral en esta etapa corresponde a: esfalerita (40% a 45%), galena (15% a 20%), pirita framboidal (10% a 15%), y pirita euhedral (<5%). Los minerales en trazas corresponden a: tennantita, y calcopirita (<1%). La ganga corresponde a cristales de barita y cuarzo (20% a 10%).

La esfalerita en muestra de mano se observa color amarillo miel, sin deformación y masiva, en láminas pulida presenta color gris claro, granos anhedrales, la galena se encuentra rellenando

fracturas y espacios de esfalerita (Figura 4.4 A y B). En esta etapa la esfalerita presenta una composición mayor al 60 % en peso de Zn.

La pirita I con textura framboidal y esferulítica está siendo remplazada por galena, esfalerita, y calcopirita (Figura 4.1 A y B), la pirita framboidal sufre una evolución hacia una pirita de grano grueso (<1.5 mm) muy porosa y se puede interpretar como la maduración singenética de la pirita framboidal primaria de la etapa 1, conserva la textura framboidal (Anexos III; 20-98-17, 97-22-29, 16-01-38), como se interpreta en Calvo et al., (2014) para el depósito del Domo. La pirita II (<20 μm), presenta cristales euhedrales, se encuentra rellenando espacios y bordeados por galena masiva, tamaños de grano menores a 5 μm (Figura 4.4 B). La galena se encuentra remplazando a pirita framboidal y rellenando espacios dentro de barita (Figura 4.4 A). La calcopirita se encuentra remplazando a galena (Figura 4.4 B).

La etapa 2 se encuentra representada en (Anexos III, muestras: 06-02-25, 97-22-29, 20-114-32, 16-01-38, 20-100-41). No presenta deformación, por lo que conserva texturas primarias como pirita framboidal y la pirita II conserva sus caras euhedrales. En el análisis de profundidad de los pozos se encuentra sobre la etapa 1, la conservación de la pirita framboidal con remplazamiento de la etapa 2 indica que se depositó conjuntamente en las unidades sedimentarias. Esta etapa resulta de la rápida mezcla de agua de mar fría con los fluidos hidrotermales calientes enriquecidos en zinc y plomo, y empobrecidos en cobre.

- **Etapas 3**

La asociación mineral en esta etapa está compuesta principalmente por: esfalerita (30% a un 35%), calcopirita (35% a un 40%), pirita euhedral (15% a un 20%) y pirita framboidal (< 3%). Los minerales en trazas corresponden a: galena, tennantita, tetraedrita, calcosina, digenita, plomo libre y bornita (< 1%). La ganga corresponde a cristales de barita y cuarzo (10% a 20%).

La esfalerita se encuentra en granos (200 a 700 μm) y vetillas, presenta un empobrecimiento de hierro (< 12% en peso), asociada a galena y tennantita con granos menores a 50 μm y pirita framboidal con granos menores a 50 μm , presenta remplazamiento por calcopirita (textura enfermada de calcopirita), con sombras de presión, y bordeando clastos de barita (Figura 4.3 B), se observan texturas de corona donde la esfalerita bordea a clastos de calcopirita, producto de la removilización de la esfalerita (Figura 4.3. F). Existe un bandeamiento entre pirita I, esfalerita, calcopirita con pirita II, lo que sugiere que el sistema ha sufrido deformación. Esta

deformación se asocia con la falla Chimbo Toachi con un movimiento dextral según (Chiaradia et al., 2008) produciendo un plegamiento en el depósito.

La calcopirita reemplaza a pirita II, presenta un aumento de calcopirita que la etapa 2, presenta un aumento del tamaño de grano de pirita I con textura subhedral y fragmentados con calcopirita relleno de fracturas, se encuentran remanentes de esfalerita I, galena, tennantita, y bornita. La presencia de bornita con granos anhedrales en esta etapa representa el aumento de azufre (S_2) en los fluidos hidrotermales, lo que sugiere una etapa de alta sulfuración de la mineralización como lo describen (Chiaradia et al., 2008). En muestra de mano presenta estratificación entre esfalerita y calcopirita. Se observan inclusiones de Pb libre como granos menores a 20 μm en calcopirita.

Esta etapa se encuentra representada en las muestras: 16-09-09, 06-01-22, 06-21-23, 16-08-34, 16-01-39 (Anexos III), en la mayoría de las muestras se observan lentes de estratificación de los sulfuros. El aumento en el contenido de calcopirita, tamaño de granos en la esfalerita y la pirita II se da por el efecto de circulación de fluidos a mayor temperatura.

- **Etapas 4**

La asociación mineral está compuesta principalmente por: calcopirita masiva (75% a un 85%), y pirita II (20% a un 25%). Los minerales trazas corresponden a: galena, tetraedrita-tennantita, esfalerita, covelita y bornita (< 1%).

La concentración de calcopirita aumenta gradualmente en cada etapa, reemplazando a los minerales ricos en Zn, y Pb. La calcopirita se presenta como masiva reemplazando a granos de pirita II con cristales euhedrales y sin inclusiones, relleno de espacios entre la pirita II fracturada. Se observan reemplazamientos en granos de barita de calcopirita, en esta etapa existe un aumento del tamaño de grano de pirita II más que las etapas anteriores con granos euhedrales. Se observan inclusiones de esfalerita, tennantita, y bornita.

Esta etapa se encuentra representada en las muestras: 20-106-13, 98-23-26, 20-114-33, 17-92-36, 16-01-40 (Anexos III). Representa la circulación de fluidos calientes enriquecidos en Cu produciendo texturas de reemplazamiento de la etapa 3 por fluidos más calientes que depositan mena amarilla (calcopirita principalmente).

- **Etapas 5**

La asociación mineral está compuesta principalmente por: barita (20 a un 40%) y cuarzo (10% a 15%). Los minerales de trazas corresponden a: tennantita, digenita, calcosina, galena, y bornita (<1%).

La barita se presenta en todas las etapas minerales, y en vetillas como granos euhedrales, con agregados de galena, bornita, tennantita, digenita, y calcosina. Chiaradia et al., (2008) sugiere que la barita presenta un componente marino dominante de azufre en las últimas etapas de la mineralización. Esta etapa representa el cierre del sistema de mineralización evidenciando fluidos de baja temperatura. En este estudio se observa granos euhedrales de barita relleno de espacios, no se observa depósitos masivos de barita. Tripodi et al., (2003) sugiere que la barita rellena espacios entre los minerales preexistentes.

Enriquecimiento Supergénico

- **Etapas 6**

Está representada por el mineral covelita. La covelita se presenta con cristales anhédricos, es un mineral que reemplaza a todas las etapas anteriores, principalmente a la bornita, la calcopirita y galena (Figura 4.4. D). Se encuentra reemplazando a bornita en los bordes de los granos y en fracturas en galena y calcopirita, lo que indica que representa una mineralización posterior a la mineralización principal de los sulfuros masivos. Se encuentra representada en las muestras: 20-106-13, 98-23-26, 20-114-33, 17-92-36, 16-01-40, (Lehne, 1990) sugiere que representa un enriquecimiento supergénico, debido al reemplazamiento en calcopirita y bornita.

5.2. GÉNESIS DEL YACIMIENTO “LA PLATA-CUERPO SUR”

El depósito de VMS “La Plata” se encuentra alojado en secuencias volcánicas y volcanoclásticas de composición basáltica y andesítica, diques de riodacitas y dacitas. El ambiente de formación corresponde a volcanismo submarino del arco Macuchi. (Chiaradia et al., 2008; Hughes & Pilatasig, 2002; Vallejo, 2007). En este estudio, se describió la roca caja

como andesítica basáltica que se correlacionan con la Formación Macuchi, además los estudios en (Chiaradia, 2009; Lehne, 1990; Leroux, 2019; Tripodi et al., 2003) concuerdan que el depósito la “La Plata” se hospeda en la Unidad Macuchi.

Durante la subducción oblicua de la placa Farallón/Nazca bajo la placa Sudamericana en el Eoceno se produce un volcanismo submarino nombrado arco Macuchi sobre la corteza engrosada de Pallatanga y Piñón (Vallejo et al., 2019). Este proceso geodinámico de arcos submarinos es propicio para generar depósitos minerales tipo VMS, los cuales probablemente se emplazaron durante un régimen tectónico transpresivo dextral originado por la falla Pallatanga-Chimbo-Toachi (FPP) (R. Spikings et al., 2015; Vallejo et al., 2019). Al sur de “La Plata”, se encuentra el depósito de VMS “El Domo” que presenta una edad radiométrica de Ar/Ar de 41.5 ± 0.4 Ma datado en rocas del Hanging wall y U/Pb 42.13 ± 0.54 Ma en zircones del Foot wall (Vallejo et al., 2016). (Chiaradia et al., 2008) sugiere que la mineralización ocurre durante un periodo de inactividad volcánica debido a la presencia de capas de jaspe caracterizada por estructuras sedimentarias exhalativas y posterior se produce una deformación relacionada con el evento de cizallamiento dextral Chimbo Toachi del Eoceno tardío (Chiaradia et al., 2008; Leroux, 2019) .

Chiaradia et al., (2008); Lehne, (1990) definen al depósito de VMS “La Plata” de tipo bimodal máfico, la litoestratigrafía del depósito presenta Foot wall, cuerpos mineralizados, y Hanging wall. Chiaradia et al., (2008) determinó que el Foot wall corresponde a rocas de composición andesítica con alteración hidrotermal lo que dificulta la identificación de las rocas ya que suele estar obliterada. En este estudio, se analizó una muestra del Foot wall, de composición andesítica, con alteración clorita-sericita debido a fluidos hidrotermales donde se enriquece en sílice a medida que se acerca a los masivos de sulfuros. La mayor parte de la mineralización en “La Plata” se encuentra en rocas andesíticas de la zona del Foot wall como lentes semimasivos y masivos de sulfuros a diferencia de la mineralización de “El Domo” donde el estilo de la mineralización se formaron por remplazo de rocas volcanoclásticas principalmente brechas volcánicas polimícticas altamente permeable en el contacto del domo riodacítica (Calvo et al., 2014; Vallejo et al., 2016).

Chiaradia, (2009); Lehne, (1990); Leroux, (2019) describen múltiples intervalos de brechas basálticas mal clasificadas a bien clasificadas con una gradación que incluye hasta areniscas sedimentarias y lodolitas laminadas, las cuales presentan mineralización diseminada y niveles de jaspe, producto de la última etapa de mineralización. También se analizó una muestra de

andesita basáltica con alteración clorita, epidota, ± carbonato, que corresponde a la secuencia volcánica de composición basáltica del Hanging wall. No se encontró un contacto entre el Foot wall y el Hanging wall como se indica en estudios anteriores.

No existe una regla general que permita establecer la secuencia de la mineralización en los depósitos VMS debido a que cada depósito mineral presenta características específicas durante su formación, sin embargo, existen parámetros que ayudan a caracterizar dicha información. En este trabajo, para definir la historia de depositación de los fluidos de la mineralización del VMS “La Plata-Cuerpo Sur” se analizaron criterios mineralógicos, texturales, estructurales y de composición. Se determinó 6 etapas de mineralización:

- **Mineralización Temprana**

- **Etapas 1:** representada por pirita framboidal esferulítica (<50 µm). Garuti et al., (2009) sugiere que la pirita framboidal se forma a partir de actividad bacteriana y típica de ambientes sedimentarios en cuerpos estratiformes. En este estudio se encontró pirita framboidal en niveles de sedimentos en lodolitas, lo que sugiere que esta pirita I es singenética de los sedimentos.

- **Mineralización Principal**

- **Etapas 2:** está representada por los minerales: esfalerita, galena, pirita, tetraedrita, barita y en menor cantidad calcopirita y cuarzo, en esta etapa se produce una mezcla de fluidos hidrotermales calientes con agua de mar fría que son enriquecidos en Zn y Pb representados por la esfalerita y galena respectivamente, se observa remplazamiento de pirita framboidal por fluidos de esta etapa. La mineralización que se observa en esta etapa sugiere que se depositaron a partir de fluidos de baja temperatura (~150 – 250°C).
- **Etapas 3:** representada por los minerales de: pirita I, pirita II, esfalerita, galena, bornita, calcopirita, en trazas, calcosina, y tennantita. Presentan un aumento del tamaño de grano (recristalización) de pirita framboidal y pirita II subhedral (> 150 µm) con incremento del contenido de calcopirita. La recristalización con el aumento del tamaño de grano sugiere que un aumento de la temperatura (~250 - 300°C) y aumento de Cu en los fluidos hidrotermales.
- **Etapas 4:** en esta etapa los minerales dominantes son calcopirita y pirita II, la presencia de calcopirita mayor al 80% de los sulfuros es indicativo del aumento de temperatura en el sistema hidrotermal (~300 - 350°C). Se produce un remplazamiento de los sulfuros de las etapas 2 y 3; y una migración de las facies

anteriores hasta los límites más fríos donde se observan texturas inversas como coronas de esfalerita en granos de calcopirita.

- **Etapas 5:** en todas las etapas la barita y cuarzo se encuentra presente en concentraciones menores al 15%, sin embargo, en esta última etapa barita se sugiere como cierre del sistema hidrotermal por su estabilidad en temperaturas bajas (< 250°C). La deformación del Eoceno tardío da como resultado un enriquecimiento de Au en Barita y galena.

- **Enriquecimiento Supergénico**

- **Etapas 6:** se encuentra la covelita en fracturas y en bordes minerales en las etapas de bornita, digenita. Se asocia a una lixiviación de los minerales primarios en condiciones más reductoras donde el cobre reemplaza a los minerales preexistentes (es decir, pirita, bornita, y calcopirita) en forma de covelita.

5.3. CONCLUSIONES

- 1) Las rocas del Hanging wall corresponden a flujos volcánicos de composición basáltica-andesítica y secuencias de volcanosedimentos con presencia de sulfuros diseminados, chert con presencia de pirita framboidal, y jaspe como horizonte marcador. Las rocas del Foot wall corresponden a secuencias volcánicas alteradas por los fluidos hidrotermales que borran parte de la mineralización de la roca, presenta alteración clorita – sericita.
- 2) El análisis textural de los minerales de mena del depósito VMS “La Plata-Cuerpo Sur” mediante imágenes de SEM y luz reflejada permitieron determinar la secuencia paragenética del yacimiento, se complementó con mapas elementales semicuantitativos de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDS).
- 3) Se determinó la secuencia paragenética probable del depósito “La Plata-Cuerpo Sur” en base a las relaciones texturales de los minerales de mena. Se identificó 6 eventos de mineralización:

- Etapa 1, comprende pirita (I) framboidal. Esta etapa se interpreta como un evento de mineralización biogénica debido a las texturas características de este ambiente (pirita framboidal), la mineralización es singenética con los sedimentos (lodolitas), fluidos de baja temperatura (<150°C).
- Etapa 2, comprende pirita (I) recristalizada con un aumento del tamaño de grano, esfalerita masiva, galena, tennantita, y bajo contenido de calcopirita remplazando a esfalerita, se evidencia un enriquecimiento de Zn y Pb, fluidos de baja temperatura (~150 - 250°C).
- Etapa 3, comprende un evento de remplazamiento y aumento del tamaño de los granos de esfalerita y pirita producto del aumento de temperatura (recristalización), se observan los minerales calcopirita, esfalerita (I), galena, tennantita, y tetraedrita. Se tiene fluidos hidrotermales saturados principalmente en Zn, Pb y Cu, fluidos de alta temperatura (~250 - 300°C).
- Etapa 4, comprende un evento de enriquecimiento de cobre en los fluidos hidrotermales, se observa un mayor contenido de calcopirita, la mineralización principal corresponde a pirita y calcopirita, removilización de las etapas anteriores hacia los extremos del depósito, fluidos de alta temperatura (~300- 350°C).
- Etapa 5, comprende a un cierre del sistema de mineralización principal de barita en las partes superiores del depósito. Esta etapa barita se sugiere como cierre del sistema hidrotermal por su estabilidad en temperaturas bajas (< 250°C).
- Etapa 6, comprende un enriquecimiento supergénico se identifica la covelita que afecta a las etapas anteriores en fracturas y bordes minerales preexistentes (pirita, bornita, y calcopirita).

5.4. RECOMENDACIONES.

- 1) En la elaboración de láminas pulidas se debe considerar: mantener un constante lavado de las muestras, cambiar los pulimentos, evitar los rasguños, mantener limpios los equipos cuando se cambia de muestras, para realizar una buena caracterización de los minerales opacos.
- 2) Para los análisis microscópicos en (SEM-EDS) de láminas pulidas, mantener las secciones limpias, impedir el contacto con la mano para evitar contaminación de las muestras.
- 3) Realizar análisis geoquímicos de isótopos de azufre en la mineralización del depósito para determinar la fuente de los fluidos mineralizantes, además, realizar dataciones de rocas volcánicas del Hanging wall y Foot wall para determinar si existe o no correlación con el depósito de “El Domo”.
- 4) Realizar un análisis petrográficos y mineralógicos de los cuerpos mineralizados “Cuerpo Norte” y “Bloque Norte” para determinar la paragénesis y comparar la mineralogía del yacimiento “La Plata”.
- 5) Realizar una zonación de los minerales de mena para determinar zonas de deformación de los cuerpos minerales definiendo zonas deformadas y no deformadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, L., & Atherton, M. p. (1987). Low-grade metamorphism and geotectonic setting of the Macuchi Formation, Western Cordillera of Ecuador. *Journal of Metamorphic Geology*, 5(4), 473–494. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1987.tb00397.x>
- Almagor, E. S. (2019). *Identificación y caracterización de las facies sedimentarias de la formación silante en las secciones Nono-Tandayapa y Calacalí-Nanegalito*. [Trabajo previo a la obtención del título de ingeniero geólogo]. Escuela Politécnica Nacional.
- Aspden, J. A., Harrison, S. H., & Rundle, C. C. (1992). New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and El Oro Province of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(1), 77–96. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90019-U](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90019-U)
- Barrie, C. T., & Hannington, M. D. (1999). Volcanic-associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings. *Reviews in Economic Geology*, 8, 1–11.
- Barton, P. B., & Bethke, P. M. (1987). Chalcopyrite disease in sphalerite; pathology and epidemiology. *American Mineralogist*, 72(5–6), 451–467.
- Boland, M. P., Pilatasig, L. F., Ibandango, C. E., McCourt, W. J., Aspden, J. A., Hughes, R. A., & Beate, B. (2000). *Geology of the Western Cordillera between 0°-1°N*, (Programa de Información cartográfica y Geológica N° 10; p. 72). CODIGEM-BGS.
- Calvo, G., Geo, P., & Johnston, A. (2014). *Curipamba project-El Domo deposit preliminary economic assessment central Ecuador* (NI 43.101; pp. 39–104). Salazar resources Ltd. <https://www.salazarresources.com/investors/technical-reports/>
- Chiaradia, M. (2009). Adakite-like magmas from fractional crystallization and melting-assimilation of mafic lower crust (Eocene Macuchi arc, Western Cordillera, Ecuador). *Chemical Geology*, 265(3), 468–487. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.05.014>

- Chiaradia, M., & Fontboté, L. (2001). Radiogenic Lead Signatures in Au-Rich Volcanic-Hosted Massive Sulfide Ores and Associated Volcanic Rocks of the Early Tertiary Macuchi Island Arc(Western Cordillera of Ecuador). *Economic Geology*, 96(6), 1361–1378.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.6.1361>
- Chiaradia, M., Tripodi, D., Fontboté, L., & Reza, B. (2008). Geologic Setting, Mineralogy, and Geochemistry of the Early Tertiary Au-Rich Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposit of La Plata, Western Cordillera, Ecuador. *Economic Geology*, 103(1), 161–183.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.103.1.161>
- CODIGEM-BGS. (1993). *Mapa Geológico de la República del Ecuador* [Map].
- Craig, J. R., & Vaughan, D. J. (1994). *Ore Microscopy and Ore Petrography*. Wiley.
- Egüez, A. (1986). *Evolution cénozoïque de la cordillère occidentale septentrionale d'équateur (0°15's-1°10's): Les minéralisations associées* [Ph.D. thesis]. Pierre and Marie Curie.
- Feininger, T., & Bristow, C. R. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*, 69(3), 849–874. <https://doi.org/10.1007/BF02104650>
- Franklin, J. M., Gibson, H. L., Jonasson, I. R., & Galley, A. G. (2005a). *Volcanogenic Massive Sulfide Deposits*. <https://doi.org/10.5382/AV100.17>
- Franklin, J. M., Gibson, H. L., Jonasson, I. R., & Galley, A. G. (2005b). *Volcanogenic Massive Sulfide Deposits*. <https://doi.org/10.5382/AV100.17>
- Franklin, J. M., Lydon, J. W., & Sangster, D. F. (1981). *Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits*. <https://doi.org/10.5382/AV75.15>
- Galley, A. G., Hannington, M. D., & Jonasson, I. R. (2007). *Volcanogenic Massive Sulphide Deposits* (In: Goodfellow WD (ed) Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods.). 5, 141–161.
- Garuti, G., Alfonso, P., Proenza, J. A., & Zaccarini, F. (2009). SULFUR-ISOTOPE VARIATIONS IN SULFIDE MINERALS FROM MASSIVE SULFIDE DEPOSITS OF THE NORTHERN

- APENNINE OPHIOLITES: INORGANIC AND BIOGENIC CONSTRAINTS. *Ofioliti*, 34(1), Art. 1. <https://doi.org/10.4454/ofioliti.v34i1.377>
- Hughes, R. A., & Bermudez, R. (1997). *Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0°00' and 1° 00'S* (programa de información cartográfica y geológica N° 4; p. 75). CODIGEM- British Geological Survey.
- Hughes, R. A., & Pilatasig, L. F. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 345(1), 29–48. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00205-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00205-0)
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Suárez, J., Toro, J., Iza, D., & Lugo, W. (2004). Stratigraphy of the late Cretaceous–Paleogene deposits of the cordillera occidental of central Ecuador: Geodynamic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 17(1), 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.05.003>
- Kendrick, E., Bevis, M., Smalley, R., Brooks, B., Vargas, R. B., Lauría, E., & Fortes, L. P. S. (2003). The Nazca–South America Euler vector and its rate of change. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 125–131. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(03\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(03)00028-2)
- Kerr, A. C., Aspden, J. A., Tarney, J., & Pilatasig, L. F. (2002). The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: Geochemical and tectonic constraints. *Journal of the Geological Society*, 159(5), 577–594. <https://doi.org/10.1144/0016-764901-151>
- Koski, R. A., Mosier, D. L., Schulz, K. J., Morgan, L. A., Slack, J. F., Ridley, W. I., Dusel-Bacon, C., Seal II, R. R., & Piatak, N. M. (2012). Hypogene Ore Characteristics. En W. C. P. Shanks III, *Volcanogenic massive sulfide occurrence model* (Vols. 2010-5070–C). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/sir20105070C>

- Lehne, R. W. (1990). The Cu-Zn-Au-Ag Deposit of La Plata (Toachi), Ecuador. En L. Fontboté, G. C. Amstutz, M. Cardozo, E. Cedillo, & J. Frutos (Eds.), *Stratabound Ore Deposits in the Andes* (pp. 389–393). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-88282-1_29
- Leroux, D. (2019). *PRELIMINARY ECONOMIC ASSESSMENT OF THE LA MINA VMS PROJECT COTOPAXI PROVINCE ECUADOR* (NI43.101; pp. 40–188). Toachi Mining Inc. <http://aticominig.com/projects/la-plata/snapshot/>
- Luzieux, L. D. A., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C. F., & Winkler, W. (2006). Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3), 400–414. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.008>
- Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Jaillard, E., Ethien, R., Hernandez, J., & Polvé, M. (2003). Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean–Colombian Plateau in Ecuador. *Lithos*, 66(3), 173–199. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(02\)00218-9](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00218-9)
- Pirajno, F. (2009). Submarine Hydrothermal Mineral Systems. En F. Pirajno (Ed.), *Hydrothermal Processes and Mineral Systems* (pp. 581–726). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8613-7_7
- Prodeminca (Ed.). (2000). *Evaluación de distritos mineros del Ecuador: Sulfuros masivos alojados en volcanitas*. UPC Prodeminca.
- Robb, L. (2005). *Introduction to Ore-Forming Processes*. Blackwell Science Ltd.
- Shanks III, W. C. P., & Thurston, R. (2012). *Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model* (Nº 2010-5070–C; p. 345). U.S. Geological Survey Scientific Investigations. <https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5070/c/>
- Singer, D. A. (1995). World class base and precious metal deposits; a quantitative analysis. *Economic Geology*, 90(1), 88–104. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.1.88>

- Solomon, M. (1976). "Volcanic" massive sulphide deposits and their host rocks- a review and explanation. En *Handbook of Stratarbound and Stratiform Ore Deposits* (Vol. 6, pp. 21–50). Elsevier.
- Spikings, R. A., Winkler, W., Hughes, R. A., & Handler, R. (2005). Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes. *Tectonophysics*, 399(1), 195–220.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.023>
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: From Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95–139. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>
- Spry, P., & Gedlinske, B. (1987). Tables for the Determination of Common Opaque Minerals. *The Economic Geology*, 8.
- Tornos, F., Peter, J. M., Allen, R., & Conde, C. (2015). Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits. *Ore Geology Reviews*, 68, 142–163.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.01.003>
- Tripodi, D., Chiaradia, M., & Fontboté, L. (2003). *Geological setting, mineralogy, and geochemistry of the Early Tertiary Au-rich volcanic-hosted massive sulfide deposit of La Plata (Western Cordillera, Ecuador)*. 4.
- Vallejo, C. (2007). *Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene)* (p. 1 Band) [Ph.D. thesis, ETH Zurich; Application/pdf].
<https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-005416411>
- Vallejo, C., Soria, F., Tornos, F., Naranjo, G., Rosero, B., Salazar, F., & Cochrane, R. (2016). Geology of El Domo deposit in central Ecuador: A VMS formed on top of an accreted margin. *Mineralium Deposita*, 51(3), 389–409. <https://doi.org/10.1007/s00126-015-0616-x>

- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W., & Thomsen, T. B. (2019). Chapter 8 - Late cretaceous to miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment. En B. K. Horton & A. Folguera (Eds.), *Andean Tectonics* (pp. 209–236). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816009-1.00010-1>
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Luzieux, L., Winkler, W., Chew, D., & Page, L. (2006). The early interaction between the Caribbean Plateau and the NW South American Plate. *Terra Nova*, 18(4), 264–269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2006.00688.x>
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., Luzieux, L., Heller, F., & Bussy, F. (2009). Vallejo, C.F., Winkler, W., Spikings, R.A., Luzieux, L., Heller, F., Bussy, F. 2009. Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. Mahlburg Kay, S., Ramos, V.A., Dickinson, W.R. (Eds.) The Geol. Society of America Memoir 204, 197-216. *The Geol. Society Memoir*, 204, 197–216.
- Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1), 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., & Cotton, F. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment. *Tectonics*, 35(5), 1249–1279. <https://doi.org/10.1002/2015TC003941>

ANEXOS

**ANEXOS I
TABLA DE MUESTREO.**

Pozo	Código	from	To	Litología	# Muestras	DEEP (cm)	Diámetro
CMLP-20-104	20_104_01	412.32	412.42	HVOL	1	10	HTW 1/2
	20_104_02	419.79	419.92	SPA_VMS	1	13	HTW 1/4
	20_104_03	420.86	421	PY_VMS	1	14	HTW 1/4
CMLP-20-96	20_96_04	380.55	380.65	HSBX	1	10	HTW 1/2
	20_96_05	382.25	382.39	SPA_VMS	1	14	HTW 1/2
	20_96_06	384.78	384.88	BX_JAS	1	10	HTW 1/2
CMLP-16-09	16_09_07	372.46	372.56	HSBX	1	10	HTW 1/2
	16_09_08	374.21	374.29	HSED	1	8	HTW 1/1
	16_09_09	374.75	374.85	CPSP_VMS	1	10	HTW 1/2
	16_09_10	396.47	396.57	HSED	1	10	HTW 1/2
	16_09_11	397.5	397.6	PY_STW	1	10	HTW 1/2
CMLP-20-106	20_106_12	386.4	386.5	HVOL	1	10	HTW 1/2
	20_106_13	389	389.1	CPY_VMS	1	10	HTW 1/2
	20_106_14	396.25	396.35	CPY_VMS	1	10	HTW 1/2
	20_106_15	399.21	399.3	SPA_STW	1	9	HTW 1/2
CMLP-20-98	20_98_16	383.73	383.83	COL_JAS	1	10	HTW 1/2
	20_98_17	385.94	386.04	CPY_SVMS	1	10	HTW 1/2
	20_98_18	390.77	390.87	BA_STW	1	10	HTW 1/2
	20_98_19	400.6	400.7	HVOL	1	10	HTW 1/2
LP-06-01	06_01_20	452.3	452.42	HVOL	1	12	BTW 1/2
	06_01_21	453.22	453.33	HSED	1	11	BTW 1/2
	06_01_22	453.59	453.69	CPSP_VMS	1	10	BTW 1/2
	06_01_23	457.96	458.06	CPSP_VMS	1	10	BTW 1/2
LP-06-02	06_02_24	326.9	327	HSED	1	10	BTW 1/2
	06_02_25	331.45	331.58	SP_VMS	1	13	BTW 1/2
177-98-23	98_23_26	392.68	392.81	CPY_VMS	1	13	BTW 1/2
177-97-20	97_20_27	372.1	372.25	CPY_VMS	1	15	BTW 1/2

177-97-22	97_22_28	342.79	342.95	HSED	1	16	BTW 1/2
	97_22_29	344.2	344.3	SPGA_SVMS	1	10	BTW 1/2
	97_22_30	352.17	352.27	FVOL	1	10	BTW 1/2
177-98-24	98_24_31	436.2	436.32	SPA_SVMS	1	12	BTW 1/2
CMLP-20-114	20_114_32	331.4	331.5	SPA_VMS	1	10	NTW 1/4
	20_114_33	334.39	334.49	CPSP_VMS	1	10	NTW 1/4
CMLP-16-08	16_08_34	293.72	293.8	SPA_VMS	1	8	HTW 1/4
	16_08_35	294.6	294.73	SPGA_SVMS	1	13	HTW 1/4
CMLP-17-92	17_92_36	424.75	424.86	CPY_SVMS	1	11	HTW 1/2
CMLP-20-108	20_108_37	382.48	382.6	SPA_VMS	1	12	NTW 1/4
CMLP-16-01	16_01_38	455.9	456.04	SPA_SVMS	1	14	HTW 1/2
	16_01_39	458.64	458.74	CPSP_SVMS	1	10	HTW 1/4
	16_01_40	464.9	464.96	CPSP_VMS	1	6	HTW 1/4
CMLP-20-100	20_100_41	371.22	371.32	SPA_VMS	1	10	HTW 1/2
	20_100_42	376.04	376.14	BX_JAS	1	10	HTW 1/2
	20_100_43	376.43	376.53	SPA_VMS	1	10	HTW 1/2
Total Muestras:					43		

Volcánicos del Hanging wall (HVOL), masivo de esfalerita (SPA_VMS), masivo de pirita (PY_VMS), brecha de jaspe (BX_JAS), sedimentos del Hanging wall (HSED), stockwork de pirita (PY_STW), masivo de calcopirita (CPY_VMS), stockwork de esfalerita (SPA_STW), colada de jaspe (COL_JAS), stockwork de barita (BA_STW), volcánicos del footwall (FVOL), masivo de calcopirita y esfalerita (CPSP_VMS), semimasivos de esfalerita y galena (SPGA_SVMS), semimasivos de esfalerita (SPA_SVMS), semimasivos de calcopirita (CPY_SVMS), semimasivos de calcopirita y esfalerita (CPSP_SVMS).

ANEXOS II
TABLA DE DATOS PUNTUALES SEMICUANTITATIVOS SEM-EDS.

Muestra	Mineral	S	Zn	Pb	Fe	Ba	Cu	As	Sb
97_22_29	Esfalerita	34.04	65.96						
97_22_29	Plomo			100					
97_22_29	Pirita	53	17.24		29.76				
97_22_29	Pirita	53.34			46.66				
97_22_29	Pirita	49.61			50.39				
97_22_29	Pirita	50.2			49.8				
97_22_29	Galena	15.36		84.64					
97_22_29	Pirita	58.73			41.27				
97_22_29	Esfalerita	31.65	68.35						
97_22_29	Barita	30.13				69.87			
97_22_29	Galena	12.83		87.17					
97_22_29	Pirita	56.09			43.91				
06_01_22	Pirita	53.88			46.12				
06_01_22	Bornita	28.35			11.83		59.82		
06_01_22	Barita	22.66				77.34			
06_01_22	Pirita	51.16			48.84				
06_01_22	Bornita	27.92			13.23		58.85		
06_01_22	Esfalerita	34.34	60.07				5.59		
06_01_22	Tenantita	31.43	8.61				43.57	16.39	
06_01_22	Galena	16.89		83.11					
06_01_22	Pirita	53.43			44.75		1.82		
06_01_22	Bornita	29.37			13.9		56.73		
06_01_22	Bornita	31.18			14.68		54.13		
06_01_22	Barita	21.83				78.17			
06_01_22	Barita	26.48			11.99	2.02	59.51		
06_01_22	Bornita	28.04			10.2		61.77		
06_01_22	Galena	32.49	67.51						
06_01_22	Calcopirita	33.54			31.9		34.56		
06_01_22	Bornita	29.42			13.61		56.97		
20_114_33	Pirita	60			40				
20_114_33	Barita	25.34				74.66			
20_114_33	Calcopirita	40.87			30.06		29.07		
20_114_33	Galena	11.64		88.36					
20_114_33	Esfalerita	45.28	54.72						
20_114_33	Calcopirita	42.84			31.59		25.58		
20_114_33	Calcopirita	44.56			28.44		27		
20_114_33	Esfalerita	45.11	54.89						
20_114_33	Esfalerita	49.95	50.05						

20_114_33	Tenantita-Tetrahedrita	39.19					25.99	22.05	12.77
20_114_33	Plomo			100					
20_114_33	Tenantita-Tetrahedrita	29.31					33.09	19.97	17.63
20_114_33	Esfalerita	52.13	47.87						
20_114_33	Plomo			100					
20_114_33	Calcopirita	48.7			27.82		23.48		
20_114_33	Barita	27.04				72.96			
20_114_33	Barita	27.54				72.46			
20_114_33	Esfalerita	39.71	60.29						
20_114_33	Esfalerita	43.79	56.21						
20_114_33	Galena	12.26		87.74					
20_114_33	Calcocita	53.79					46.21		
20_114_33	Tenantita	40.01					40.61	19.38	
20_114_33	Calcopirita	39.96			24.08		35.96		
20_114_33	Calcopirita	41.75			32.05		26.2		
20_114_33	Pirita	60.52			39.48				
20_114_33	Pirita	55.13			44.87				
20_114_33	Calcopirita	41.8			31.18		27.02		
20_114_33	Barita	42.8				57.2			
20_114_33	Calcopirita	49.95			31.8		18.56		
20_114_33	Esfalerita	51.33	87.56		11.11				
20_114_33	Esfalerita	46.3	53.7						
16_01_39	Barita	22.28				77.72			
16_01_39	Calcopirita	33.97			25.06		40.97		
16_01_39	Plomo			100					
16_01_39	Esfalerita	37.72	62.28						
16_01_39	Barita	25.47				74.53			
16_01_39	Pirita	49.78			50.22				
16_01_39	Esfalerita	35.03	64.97						
16_01_39	Calcopirita	40.86			28.28		30.85		
16_01_39	Pirita	52.5			41.65	3.26	2.5		
16_01_39	Pirita	52.5			47.5				
16_01_39	Pirita	54.11			45.89				
16_01_39	Pirita	54.14			45.86				
16_01_39	Pirita	55.28			44.72				
16_01_39	Esfalerita	38.58	61.42						
16_01_39	Calcopirita	38.65			28.2		33.15		
16_01_39	Galena	11.88		88.12					
16_01_39	Pirita	55.06			44.94				
16_01_39	Esfalerita	37.19	62.81						
16_01_39	Galena	14.54		85.46					
16_01_39	Calcopirita	38.08			28.72		33.2		
16_01_39	Calcopirita	37.42			31.25		31.33		

16_01_39	Galena	13.2		86.8					
20_114_32	Esfalerita	34.52	65.48						
20_114_32	Galena	12.6		87.4					
20_114_32	Galena	16.36		83.64					
20_114_32	Esfalerita	33.91	66.09						
20_114_32	Pirita	57.49			42.51				
20_114_32	Galena	16.35		83.65					
20_114_32	Esfalerita	35.81	64.19						

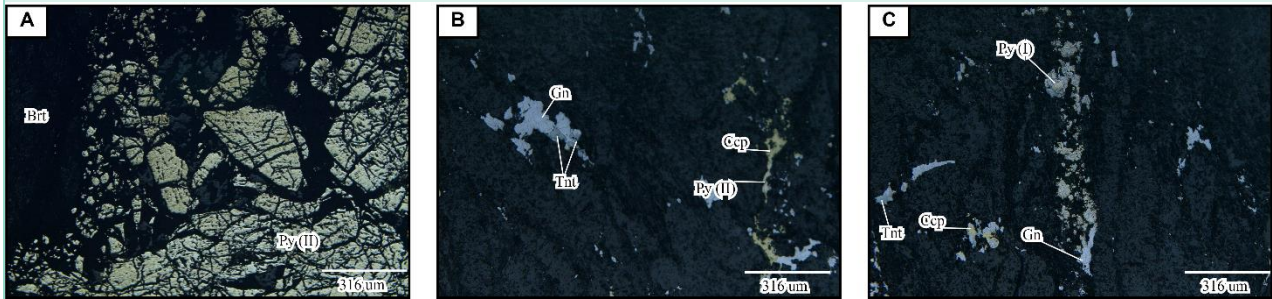
ANEXOS III FICHAS DE LÁMINA PULIDAS DE MENA.

Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-104-03		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, la mineralización corresponde a pirita (85%), en trazas presenta calcopirita y galena (< 1%). La galena se observar en clastos de Barita. Minerales de ganga clastos de barita y cuarzo en vetillas (15%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Galena (Gn)	PbS ₂	0.9%	
Color blanco, muy alta reflectividad, cristales anhédricos, (B) remplazamiento de Tntt. (C) se encuentra con Brt, Gn remplazando a Py.			
Pirita (Py)	FeS ₂	55%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A) Py (II) masivo subhedral, fracturas rellenas de Brt y Ccp. (C) Py (I) framboidal esferulítica remplazada por Gn, se encuentra en la barita.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	1.0%	
Color amarillo, moderada reflectividad, anhédrico, (A) remplazando a Py (II) cataclástica en fracturas, (B) remplazando a Gn.			
Tenantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.1%	
Color gris claro, tintes verdes, reflectividad moderada, cristales anhédrico. (B, C) remplazamiento de Gn y Ccp.			
Ganga			
Ganga		43%	
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO ₄) y Cuarzo (SiO ₂). Brt en muestra de mano presenta granos euhedrales.			
Paragénesis:			

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (I)	—————		
Galena		- - - - -	
tenantita		- - - - -	
Pirita (II)			—————
Calcopirita		- - - - -	- - - - -
Barita	—————	—————	—————


Abundante	—————
Moderado	—————
Escaso	- - - - -

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-96-05		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro masivo, la mineralización corresponde a esfalerita (55%) y galena (15%), se observa masivo y diseminado en las vetas de barita, en trazas presenta calcopirita y bornita (< 1%). Los minerales ganga clastos y vetillas de barita con caras euhedrales (30%).</p>

Descripción Microscópica:

Mena			
Galena (Gn)	PbS ₂	0.5%	
Color blanco, muy alta reflectividad, cristales anhédricos, (A) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), remplazado por Dg, (C) bordes remplazados por Cv.			
Tenantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	4%	
Color gris claro, tintes azulados, reflectividad moderada, cristales anhédrico. (B) Bn remplaza a Tntt, (C) remplazamiento de Cv en los bordes y en contactos de granos.			
Bornita (Bn)	Cu ₅ FeS ₄	2%	
Color café a rosado con tintes purpuras, reflectividad moderada, cristales anhédrico, (B) remplaza a Tntt, texturas atolón de Gn.			
Digenita (Dg)	Cu ₉ S ₅	1%	
Color azul, reflectividad moderada, cristales anhédrico. (A) islas (texturas atolón) en Gn, (B) remplaza a Bn y rellena espacios de Tntt.			
Covelita (Cv)	CuS	0.1%	
Color índigo azul con tintes violetas, reflectividad moderada, anisotropía muy fuerte, cristales anhédrico, (C) Remplazando a Tntt, y Gn.			
Calcocita (Cct)	Cu ₂ S	0.1%	
Color gris azulado, reflectividad moderada, cristales anhédrico, (B) Remplazando a Bn.			
Ganga			
Ganga		92.4%	

Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO_4) y cuarzo (SiO_2). Brt en muestra de mano presenta granos euhedrales.

Observaciones:

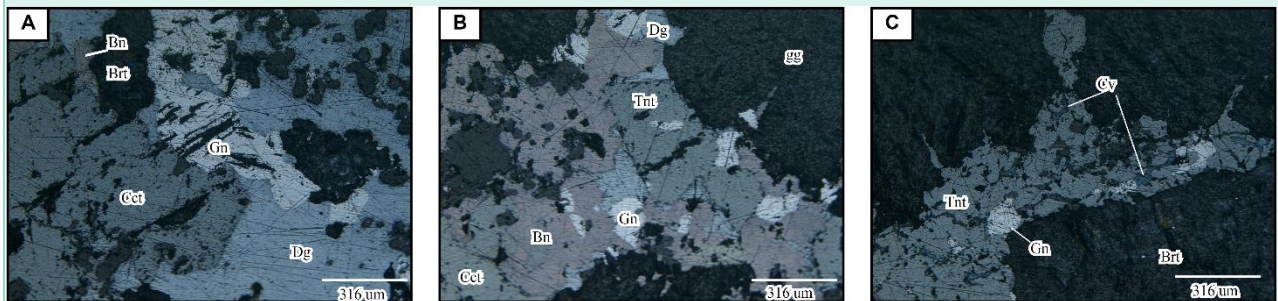
En muestra de mana la mineralización se encuentra diseminada y en vetillas de Barita.

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Galena	-----			
Tenantita	=====			
Bornita		-----		
Calcocita			-----	
Digenita			=====	
Covelita				-----
Barita	=====	=====	=====	

Abundante	=====
Moderado	-----
Escaso	-----

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	16-09-09		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro masivo, la mineralización corresponde a calcopirita (75%), pirita (5%), y esfalerita (15%), en trazas presenta galena (< 0.1%). Los minerales de ganga corresponden a clastos de barita (5%), menores a 1 cm.</p>

Descripción Microscópica:

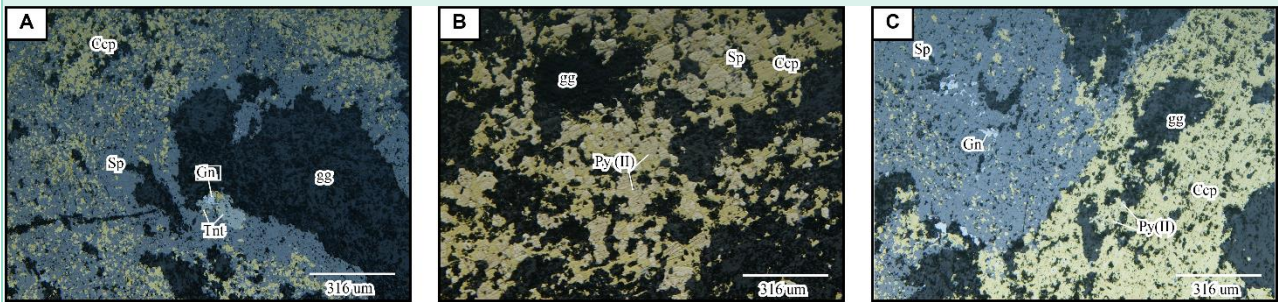
Mena			
Calcopirita (Ccp)	$CuFeS_2$	73%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédrico con textura masiva. (A, C) presenta superficies cóncavas hacia Sp y texturas atolón (islas) de Sp. (B) textura careada en clastos Py (II), con inclusiones de Gn, Tntt.			
Esfalerita (Sp)	ZnS	9%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédrico con textura bandeada. (A) Sp bordea clastos de Brt. (C) textura de remplaza de Ccp (enfermedad de la calcopirita), los bordes no coinciden debido a que han sido obliterados por el remplazo.			
Pirita (Py)	FeS_2	7.4%	
Color amarillo pálido, alta reflectividad, cristales subhédricos y subredondeados. (B) Py (II) textura careada y lamelar por Ccp, presenta inclusiones de Sp, Gn, Tntt.			
Galena (Gn)	PbS	0.5%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédrico, triángulos de arranque (pits), rellena espacios en Py (II), Ccp. (A, C) se asocia con Sp rellenando espacios.			
Tennantita (Tntt)	$Cu_{12}As_4S_{13}$	0.1%	
Color gris verdoso, moderada reflectividad, cristales anhédrico (A) textura de remplazamiento, se observa superficies cóncavas hacia Gn.			
Ganga			
Ganga (gg)		10%	
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita ($BaSO_4$) y cuarzo (SiO_2).			

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Esfalerita	—————		
Galena	- - - - -		
Tenantita	- - - - -		
Pirita (II)		—————	
Calcopirita			—————
Barita	- - - - -	- - - - -	- - - - -

Abundante	—————
Moderado	—————
Escaso	- - - - -

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-106-13		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro masivo, la mineralización corresponde a calcopirita (65%), pirita (10%), en trazas presenta esfalerita, y bornita (<1%). Los minerales de ganga corresponden a clastos de barita (25%). Se observan texturas de remplazamiento.</p>

Descripción Microscópica:

Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	5.0%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédrico, (A) Sp presenta bandeamiento, (B) s texturas en atolón en Ccp, (C) Sp bordeando a Ccp.			
Galena (Gn)	PbS ₂	0.9%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (B) rellena espacios de Sp, y Py (II), (C) remplazamiento por Bn.			
Pirita (Py)	FeS ₂	10.0%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A) Py II granos subhedrales a subredondeados, (B) porfiroblastos subhedrales de 50 μm, textura careada por Ccp, espacios rellenos por Gn y Sp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	36.0%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédrico, (A) textura de remplazamiento hacia Sp, (B) textura atolón (islas) de Sp, Gn, Bn, remplazando a Py II en fracturas.			
Bornita (Bn)	Cu ₅ FeS ₄	3.0%	
Color rosado con tintes purpuras a azul, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) presenta concavidad hacia Gn y en los límites de Gn. lo que indica remplazamiento en Gn.			
Tennantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.1%	
Color gris verdoso con tinte azulado, reflectividad baja, cristales anhédricos. (C) se encuentra en Sp.			
Ganga			

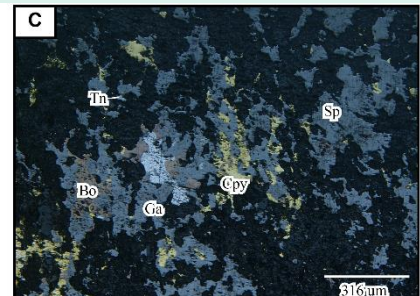
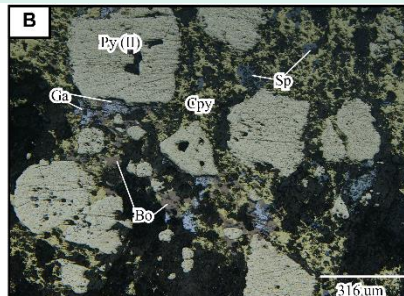
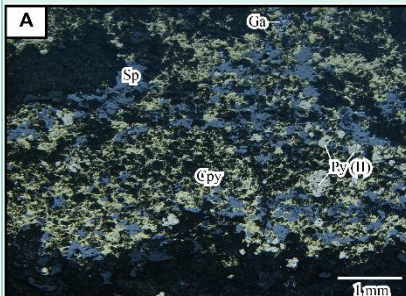
Ganga

45.0%

Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO_4) y cuarzo (SiO_2).**Paragénesis:**

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Esfalerita	————			
Galena	- - - -			
Tenantita	- - - -			
Pirita (II)		————		
Bornita			————	
Calcopirita			————	
Barita	————	————	————	————

Abundante	————
Moderado	————
Escaso	- - - -

Fotos:

Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-106-14		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro masivo, la mineralización corresponde a pirita (35%), calcopirita (65%). Se observan texturas de remplazamiento de calcopirita en pirita. Los minerales en trazas presentes son esfalerita y bornita (<1%).</p>

Descripción Microscópica:

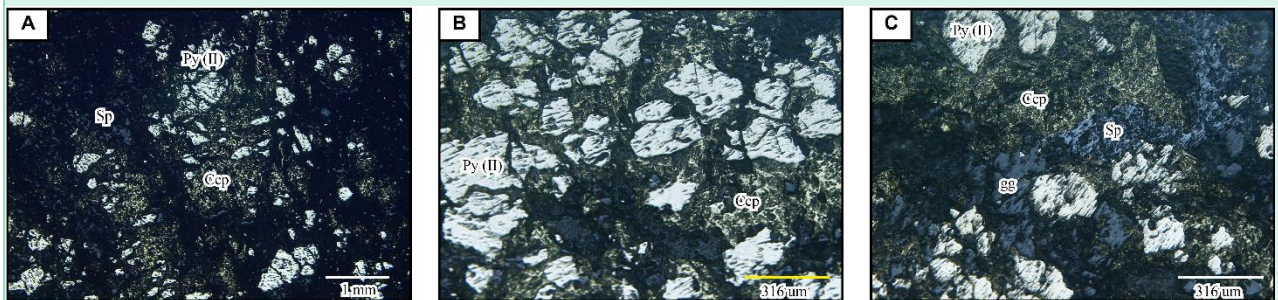
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	2%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédrico, (B) relleno de espacios en Py II, (C) se observan bandas de Sp.			
Pirita (Py)	FeS ₂	22%	
Color amarillo claro, baja reflectividad, alto relieve, (A) Py II granos subredondeados, (B) granos fragmentados subhedrales de 50 μm con bandeamiento, espacios rellenos por Ccp, y Sp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	25%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédrico, (A) relleno de clastos de Py II.			
Ganga			
Ganga		50%	
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO ₄) y cuarzo (SiO ₂).			

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Pirita (II)	—			
Esfalerita		- - -		
Calcopirita			—	
Barita		—	—	—

Abundante	—
Moderado	—
Escaso	- - -

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-98-17		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro semimasivos, remplazamiento de la mineralización en clastos volcánicos y diseminado en toda la roca. La mineralización corresponde a calcopirita (20%), pirita (10%), esfalerita (5%) y galena (3%). Los minerales de ganga son barita (10%) y se presenta como clastos deformados.</p>

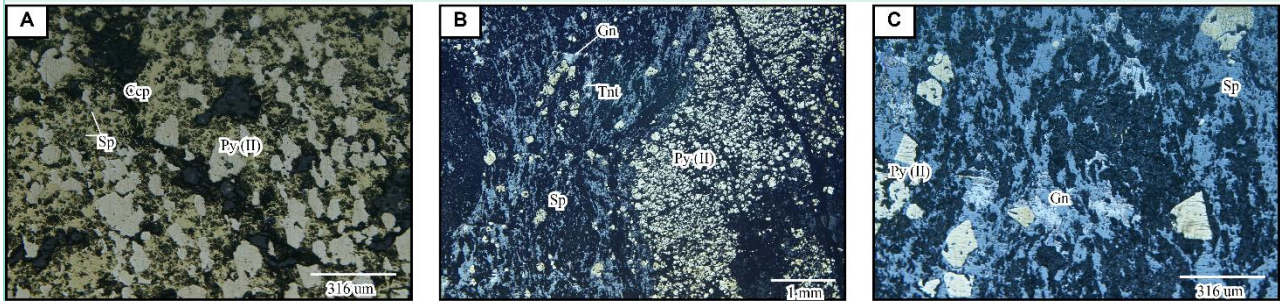
Descripción Microscópica:

Mena			
Calcopirita (Ccp)	$CuFeS_2$	15.4%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos con textura bandeada. (A) se presenta con textura masiva, presenta textura en atolón (islas) de Sp.			
Esfalerita (Sp)	ZnS	5%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédrico con textura bandeada. (B) Sp presenta un bandeamiento, (C) Remplazando a Py (II).			
Pirita (Py)	FeS_2	10.0%	
Color amarillo pálido, alta reflectividad, cristales subhédricos y subredondeados. (B) bandeamiento de Py (II) con Ccp en los bordes, (C) Py (II) con caras euhedrales.			
Galena (Gn)	PbS	0.5%	
Color blanco, muy alta reflectividad, cristales anhédrico, triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), (B, C) se asocia con Sp rellenando espacios.			
Tennantita (Tntt)	$Cu_{12}As_4S_{13}$	0.1%	
Color gris verdoso, moderada reflectividad, cristales anhédrico, (A) presenta remplazamiento por Gn.			
Ganga			
Ganga (gg)		69%	
Color gris oscuro, principalmente compuesta por porfiroblastos de: Barita ($BaSO_4$) y cuarzo (SiO_2).			
Paragénesis:			

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (II)	-----	=====	
Esfalerita	=====		
Tennantita	-----		
Galena	-----		
Calcopirita		-----	=====
Barita	=====	=====	=====

Abundante	=====
Moderado	=====
Escaso	-----

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
-----------------------	----------------	------------------	----------

Código:	06-01-22
----------------	----------

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
-------------------------	----------------------------------



Muestra de sulfuro masivo, corresponde a volcanosedimentos tipo lapilli. La mineralización corresponde a calcopirita (60%), pirita (20%), bornita (10%) y esfalerita (5%), en trazas presenta galena (< 1%). Los minerales de ganga son clastos de barita deformados y cuarzo (5%). Presenta una textura de remplazamiento.

Descripción Microscópica:

Mena			
Galena (Gn)	FeS ₂	0.3%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (B) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits). (C) presenta coronas de remplazamiento de Cv.			
Pirita (Py)	FeS ₂	36%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A) Py (II) fracturas con remplazamiento de Bn. (B) Py (I) framboidal con remplazamiento de Bn.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	3.0%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) rellenando fracturas de Py (II), remplazando a Bn, (B) exsolución de Ccp.			
Tennantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.4%	
Color gris claro, tintes verdes, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) presenta bordes cóncavos entre el contacto de Tntt y Bn lo que presenta remplazamiento de Bn en Tntt.			
Bornita (Bn)	Cu ₅ FeS ₄	5.0%	
Color café a rosado con tintes purpuras, baja reflectividad, cristales anhédricos. (A) presenta bordes rellenos por Ccp. (B) presenta coronas de remplazo de Cv, islas (texturas de atolón) de Dg, islas (Texturas de atolón) de Tntt, (C) remplaza a Gn.			
Calcosina (Cct)	Cu ₂ S	0.2%	
Color azul grisáceo, moderada reflectividad, cristales anhédricos. (B) Remplazando a Bn.			
Covelita (Cv)	CuS	0.1%	

Color índigo azul con tintes violetas, reflectividad moderada, anisotropía muy fuerte, cristales anhédricos, (B) Remplazando a Bn.

Ganga

Ganga

55%

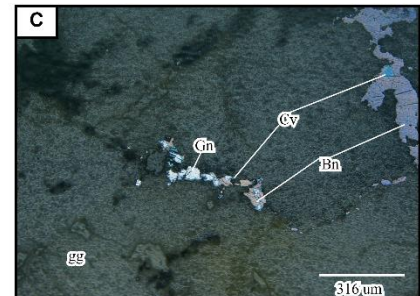
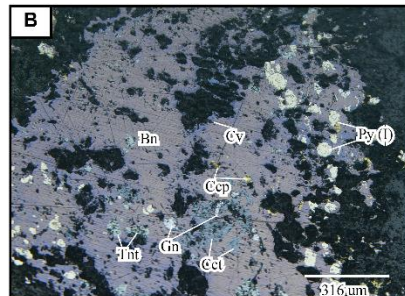
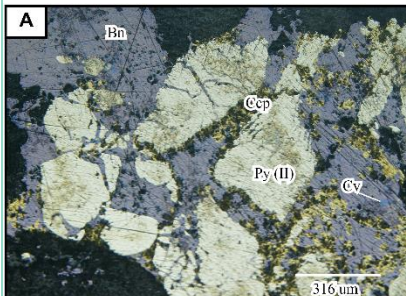
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO₄) y cuarzo (SiO₂).


Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5
Pirita (I)	Abundante				
Pirita (II)		Abundante	Abundante	Abundante	
Galena		Moderado			
Tennantita		Moderado			
Bornita			Abundante		
Calcosina			Moderado		
Calcopirita				Abundante	
Covelita					Moderado

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	06-21-23		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, se observan bandas de sulfuros ricos en esfalerita y ricos en calcopirita. La mineralización corresponde a unas bandas de calcopirita (65%), pirita (15%); la pirita se encuentra remplazada por la calcopirita, y esfalerita (15%). En trazas presenta galena (< 1%). Los minerales ganga clastos de barita deformados (5%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	13.0%	
Color gris medio, baja reflectividad, anhédrico, (A, C) remplazamiento de Py (II) subhedrales, inclusiones de Tntt y Ccp.			
Galena (Gn)	PbS ₂	8.8%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (B) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), remplazamiento de Tntt			
Pirita (Py)	FeS ₂	20.0%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A, B, C) Py (I) framboidal con remplazamiento de calcopirita, Py (II) con caras subhedrales a euhedrales, remplazamiento por Ccp y Sp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	10.0%	
Color amarillo, moderada reflectividad, anhédrico con textura masiva, (A, B) Ccp remplazando a Sp. (C) remplazando a Py (I), y Py (II).			
Tennantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.1%	
Color gris verdoso, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (A) texturas en atolón de Tntt en Sp, remplazamiento de Bn y Ccp. (B) Se observa bordes de Gn en Tntt, lo que indica remplazamiento de Gn.			
Bornita (Bn)		3.0%	
Color café rosado con tintes purpuras a azul, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) en bordes de clastos de Sp y Gn, remplazada por Ccp.			
Covelita (Cv)	Cu ₅ FeS ₄	0.1%	

Color violeta, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) Cv reemplaza a Bn, (C) Cv reemplaza a Sp y Ccp.

Ganga

Ganga

45.0%

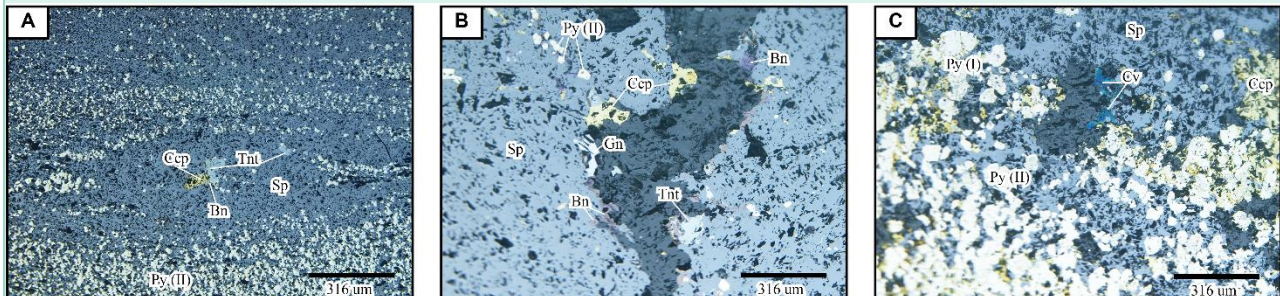
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO₄) y cuarzo (SiO₂). Brt en muestra de mano presenta granos euhedrales.


Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5
Pirita (II)	Abundante	Moderado	Moderado	Moderado	
Esfalerita		Abundante			
Galena		Escaso			
Tenantita		Escaso			
Bornita			Escaso		
Calcopirita			Escaso	Abundante	
Covelita					Escaso

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos:



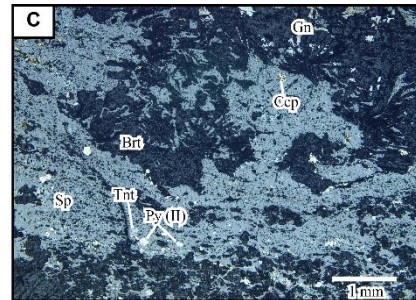
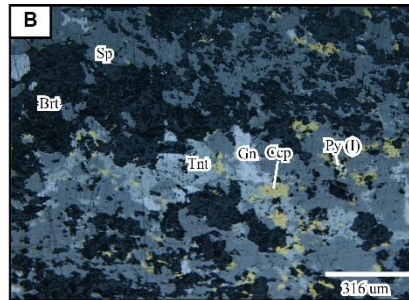
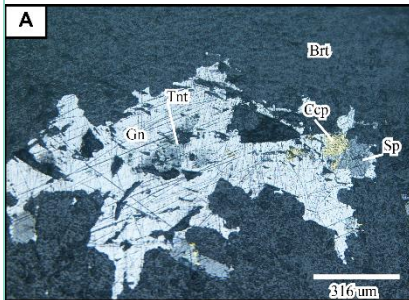
Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	06-02-25		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, presenta texturas de remplazamiento. La mineralización corresponde a esfalerita (85%) y galena (10%). Los minerales en trazas presentes son calcopirita y pirita (<1%). Los minerales de ganga son clastos de barita y cuarzo (5%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	40.0%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) asociado a Gn, y Tntt, (C) inclusiones de Tntt y Ccp, remplazamiento de Brt, bordeando cristales de Brt.			
Galena (Gn)	PbS ₂	9.0%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (A) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), se encuentra relleno de clastos de Brt, (B) remplazamiento por Tntt y Ccp.			
Pirita (Py)	FeS ₂	2.0%	
Color amarillo claro, alta reflectividad, alto relieve, (B) Py (I) framboidal remplazada por Ccp, (C) Py (II) con caras euédricas y fracturadas, remplazamiento por Sp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	3.0%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) Ccp remplazando a Gn, (B) remplazando a Py (I), texturas cóncavas hacia Sp lo que indica remplazamiento de Ccp en Sp.			
Tennantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	1.0%	
Color gris verdoso, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (A) se observa texturas en atolón en Gn, lo que representan remplazamiento de Gn en Tntt, (B) remplazando a Gn en los bordes, Ccp y Sp.			
Ganga			
Ganga		45.0%	
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO ₄) y cuarzo (SiO ₂).			


Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Barita	Abundante	Abundante	Abundante	Abundante
Pirita (I)		Abundante		
Pirita (II)			Abundante	
Esfalerita			Abundante	
Tenantita			Moderado	
Galena			Moderado	
Calcopirita			Abundante	

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos:



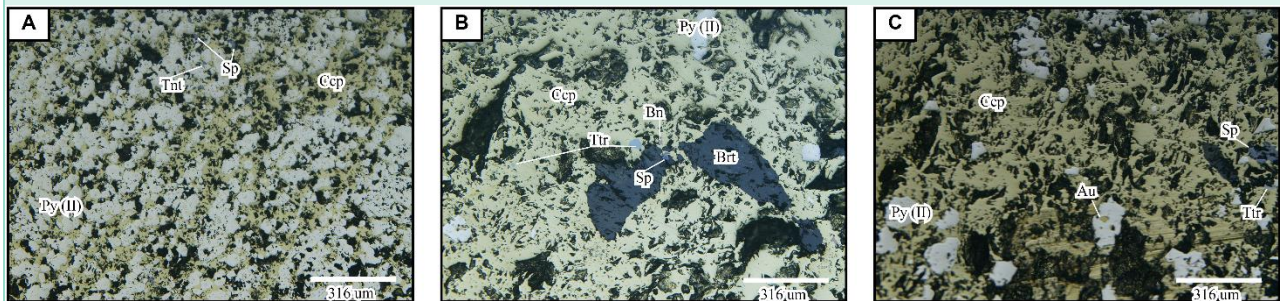
Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:		Joselyne Cueva	Proyecto:
Código:		98-23-26	La Plata
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, la mineralización corresponde a calcopirita (85%), y pirita (3%). Los minerales en trazas presentes son esfalerita, bornita (<0.1%). Los minerales ganga clastos de barita (<1 mm) (2%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)		ZnS	0.1%
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (A, B, C) inclusiones en Py y Ccp.			
Pirita (Py)		FeS ₂	44%
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A, B) Py (II) euhedral remplazamiento por Ccp en fracturas y texturas cóncavas hacia Py (II), (C) presenta inclusiones de Au.			
Calcopirita (Ccp)		CuFeS ₂	48%
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A, B) se observan texturas de atolón (islas) de Sp, Brt, Tntt, Bn, remplazando a Py (II).			
Tetrahedrita (Ttr)		Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	0.1%
Color gris claro, tintes azulados, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (A) texturas en atolón de Ccp.			
Tenantita (Tntt)		Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.1%
Color gris claro, tintes verdes, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (B, C) texturas de atolón en Ccp.			
Bornita (Bn)		Cu ₅ FeS ₄	0.1%
Color café rosado con tintes purpuras a azul, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) en bordes de clastos de Brt, remplazando a Ccp, texturas atolón (islas) de Ccp en Bn.			
Ganga			
Ganga			8%
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO ₄) y cuarzo (SiO ₂).			

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (II)	-----	=====	=====
Esfalerita	-----		
Tenantita	-----		
Tetrahedrita	-----		
Bornita		-----	
Calcopirita		-----	=====


Abundante	=====
Moderado	-----
Escaso	-----

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	97-22-29		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro masivo con fragmentos de rocas volcánicas. La mineralización corresponde a esfalerita (80%), calcopirita (5%), y galena (10%). Los minerales en trazas presentes son calcopirita y pirita (<1%). Los minerales ganga se observan en los bordes de los fragmentos como clastos de barita (5%).</p>

Descripción mineralógica:

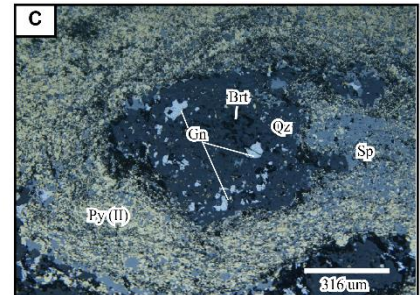
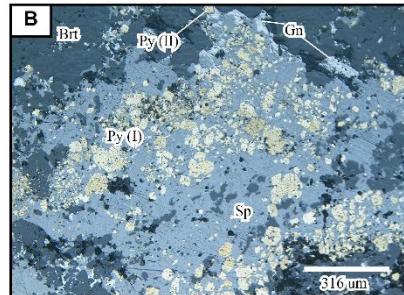
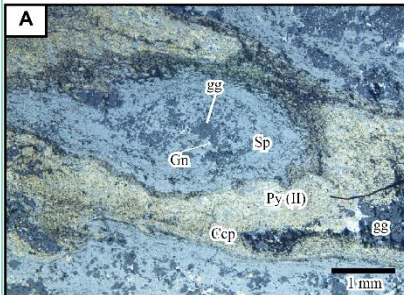
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	25.0%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (A) clastos de Sp remplazando a ganga, (B) remplazamiento en Py (I) framboidal, (C) remplazamiento en clastos de gg, forman sombras se presión.			
Galena (Gn)	PbS ₂	15.0%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (B) coetánea con Sp, rellenando espacios de ganga, (C) relleno de espacios en clastos de Brt.			
Pirita (Py)	FeS ₂	10.0%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A) Py (II) con cemento de Ccp bordea los clastos de Sp, (B) Py (I) framboidal fracturada con caras subhedrales a anhedrales, presenta remplazamiento por Sp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	5.0%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) bordeando clastos de Sp deformados, asociado a Py (II), texturas cóncavas hacia Sp y Gn lo que representa remplazamiento de Sp y Gn. (C) rellenando espacios en granos de cuarzo.			
Ganga			
Ganga		45.0%	
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO ₄) y cuarzo (SiO ₂). Presenta remplazamiento por minerales de mena			

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Pirita (I)	————	- - - -		
Pirita (II)		- - - -	————	
Esfalerita		————		
Galena			- - - -	
Calcopirita			————	
Cuarzo	- - - -			
Barita		- - - -	- - - -	————

Abundante	————
Moderado	————
Escaso	- - - -

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:		Joselyne Cueva	Proyecto:		La Plata
Código:	20-114-32				
Muestra de mano:			Descripción Macroscópica:		
			<p>Muestra de sulfuro masivo, la mineralización corresponde a bandas de esfalerita, color miel (80%) y galena en diseminado (15%). Los minerales en trazas corresponden a pirita y calcopirita (<1%). Los minerales ganga clastos barita (< 0.1 mm) y en vetillas (5%).</p>		
Descripción Microscópica:					
Mena					
Esfalerita (Sp)		ZnS	30.0%		
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B, C) granos de Sp con textura de enfermedad de Ccp, rellenando espacios de ganga.					
Galena (Gn)		PbS ₂	15.0%		
Color blanco, muy alta reflectividad, cristales anhédricos, (A) remplazando a Py (I) framboidal, (B) rellenando espacios de Sp y ganga.					
Pirita (Py)		FeS ₂	6.1%		
Color amarillo claro, alta reflectividad, alto relieve, (A) Py (I) framboidal con caras anhedrales y remplazamiento de Gn y Sp, (B) Py (II) con caras euhedrales y coetánea con Sp (I) y Gn.					
Calcopirita (Ccp)		CuFeS ₂	0.9%		
Color amarillo, moderada reflectividad, anhédricos con textura masiva, (A, B) inclusiones en Sp, remplazando a Py, texturas cóncavas hacia Sp y Gn, (C) se observa textura enfermedad de la calcopirita, representa una emulsión de Ccp en Sp.					
Ganga					
Ganga			48.0%		

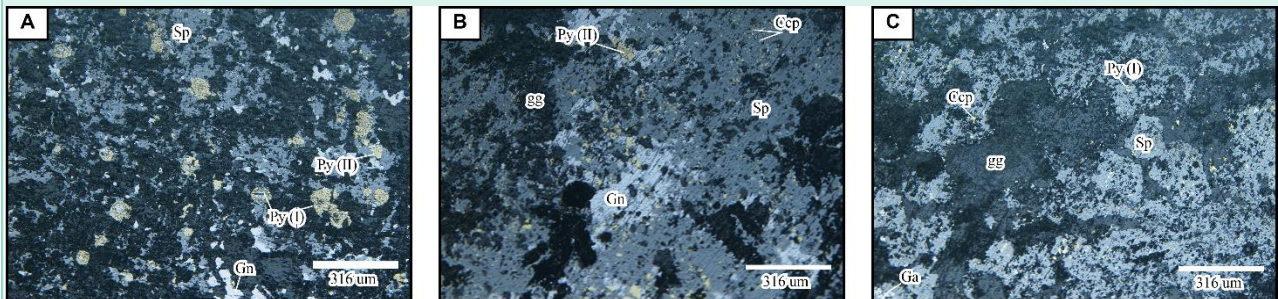
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO_4) y cuarzo (SiO_2).

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (I)	Abundante		
Esfalerita		Moderado	
Galena		Moderado	
Pirita (II)		Escaso	Abundante
Calcopirita		Escaso	Escaso

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-114-33		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro masivo. La mineralización corresponde a calcopirita (85%) y pirita (10%). Los minerales en trazas corresponden a esfalerita (<1%). Los minerales ganga son clastos de barita y cuarzo (5%). Se observa remplazamiento de calcopirita en pirita.</p>

Descripción Microscópica:

Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	2.0%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (A) bandeamiento de Sp en Ccp, (B) clastos de Sp con caras subhedrales, remplazado por Ccp. (C) coronas de Sp bordeando a granos de Ccp.			
Galena (Gn)	PbS ₂	0.3%	
Color blanco, muy alta reflectividad, cristales anhédricos, (B) asociada con clastos de Sp.			
Pirita (Py)	FeS ₂	26.0%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A, B, C) Py (II) fracturados con caras subhedrales a euhedrales, remplazamiento por Sp y Ccp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	56.0%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) textura caries en Py (II), (B) inclusiones en clastos de Sp, texturas cóncavas hacia Sp y Gn lo que presenta un remplazamiento de Sp y Gn por Ccp.			
Tenantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.4%	
Color gris claro, tintes azulados, alta reflectividad, cristales anhédrico. (A) se observan granos de Tntt en granos con Sp, (B) se observa textura de caries en Ccp y Gn.			

Calcocita (Cct)	Cu_2S	0.3%
------------------------	-----------------------	------

Color gris azulado, reflectividad moderada, cristales anhédricos, (B) remplazando a calcopirita.

Ganga

Ganga	15.0%
--------------	-------

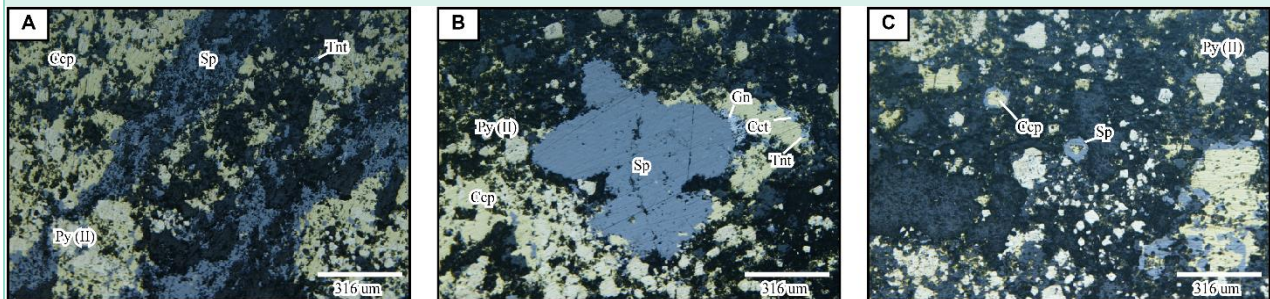
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO_4) y cuarzo (SiO_2).

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Esfalerita	Abundante			
Galena	Escaso			
Tenantita	Escaso			
Pirita (II)	Escaso	Abundante	Escaso	
Calcopirita			Abundante	
Calcosita			Escaso	
Barita			Escaso	Abundante

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	16-08-34		

Muestra de mano:	Descripción Macroscópica:
	<p>Muestra de sulfuro masivo, correspondiente a un remplazamiento de volcanosedimentos. La mineralización corresponde a calcopirita (55%), pirita (15%), y esfalerita (10%). El mineral en traza corresponde a galena (<1%). Los minerales ganga clastos de barita (20%) con cavidades rellenas de mineralización.</p>

Descripción Microscópica:

Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	10.5%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (A, C) rempaza a Py (II). (B) presenta enfermedad de calcopirita en granos de Sp con remanentes de Py.			
Galena (Gn)	PbS ₂	0.1%	
Color blanco, muy alta reflectividad, cristales anhédricos, (C) Gn relleno de espacios de Brt.			
Pirita (Py)	FeS ₂	26%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A) Py (II) con textura careada por Ccp, (C) Py (II) rempazada por Sp (II).			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	3.2%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) Ccp rempazando a Py (II), (B, C) inclusiones en Sp (II).			
Tenantita (Tntt)	Cu ₁₂ As ₄ S ₁₃	0.1%	

Color gris claro, tintes verdes, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (B) Reemplaza a Gn, Inclusiones en Sp (II).

Ganga

Ganga

60%

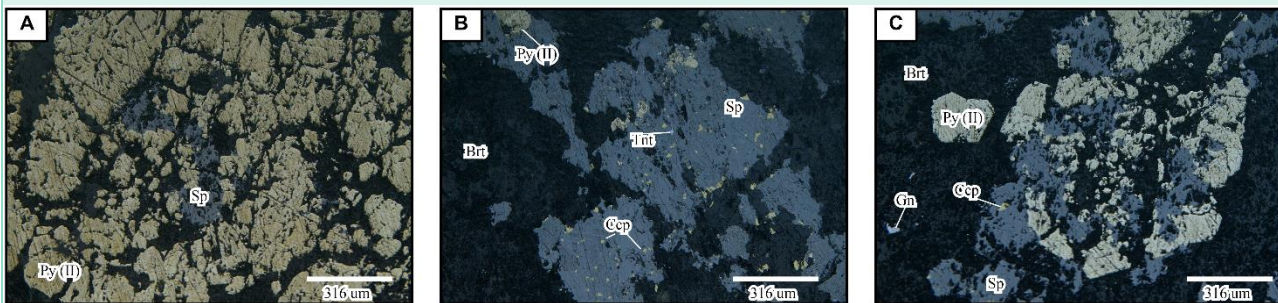
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO₄) y cuarzo (SiO₂).

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (II)	Abundante	Escaso	
Esfalerita		Abundante	Escaso
Tenantita		Escaso	
Galena		Escaso	
Calcopirita		Escaso	Abundante
Barita	Escaso	Escaso	Escaso

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos:

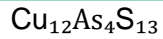


Escuela Politécnica Nacional

Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	17-92-36		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, corresponde a un remplazamiento de volcanosedimentos tipo lapilli. La mineralización corresponde a calcopirita (85%), y pirita (5%). Los minerales en trazas corresponden a esfalerita y galena (< 1%). Los minerales ganga corresponden a clastos de barita (10%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	0.5%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) Sp remplaza a Py (II) euهدral, (C) textura careada en Ccp.			
Galena (Gn)	PbS ₂	0.3%	
Color blanco con tinte azul, alta reflectividad, cristales anhédricos, (A) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), se observa que el contacto entre grano.			
Pirita (Py)	FeS ₂	20%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (B) Py (II) con fracturas rellenas de Ccp y Sp, (C) remplazamiento por Sp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	70.0%	

Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) inclusiones de Tntt, (B) remplazando a Py euهدral fracturada, textura de enfermedad de la calcopirita en Sp, (C) Ccp remplazando a Sp.

Tennantita (Tntt)



0.2%

Color gris, tintes azulados, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (A) Inclusiones en Ccp.

Ganga

Ganga

9%

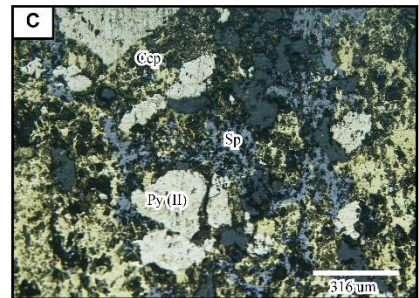
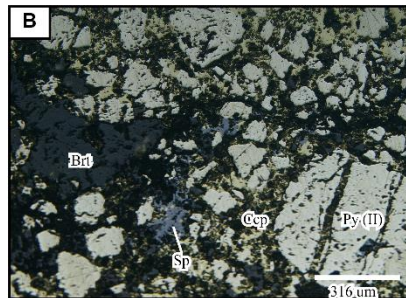
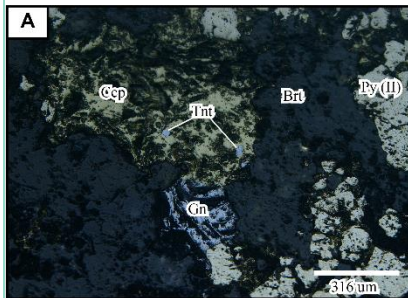
Color gris oscuro, compuesta por clastos de: Barita ($BaSO_4$) y cuarzo (SiO_2).


Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (II)	—		
Esfalerita		- - - - -	
Tenantita		- - - - -	
Galena		- - - - -	
Calcopirita		- - - - -	—

Abundante	—
Moderado	- - - - -
Escaso	- - - - -

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-108-37		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro semi masivo, la mineralización corresponde a esfalerita remplazando a clastos volcánicos (65 %), calcopirita (3%), en trazas presenta galena, bornita (<1%). Los minerales ganga clastos de barita (32%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	14%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (B) texturas en atolón (islas) de Sp en Ccp, (C) textura de enfermedad de Ccp, donde Ccp remplaza a Sp, Tntt remplaza a Sp.			
Galena (Gn)	FeS ₂	0.3%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (B) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), Tntt remplaza a Gn.			
Pirita (Py)	FeS ₂	1.0%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A) Py (II) fracturados con caras subhedrales, remplazamiento por Ccp.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	4.0%	

Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) remplazamiento de Cv y Bn, (B)remplazando a Py, inclusiones de Au, (C) Ccp remplazando a Tnt.

Tenantita (Tent) $Cu_{12}As_4S_{13}$ 0.5%

Color gris claro, tintes verdes, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (C) Reemplaza a Gn, Sp, Ccp.

Oro (Au) Au 0.1%

Color amarillo dorado brillante, alta reflectividad, cristales anhédricos. (B) se observa Au rellenando espacios y en asociación con Ccp, Tnt, Gn.

Covelita (Cv) CuS 0.1%

Color índigo azul con tintes violetas, reflectividad moderada, cristales anhédricos, (A) Remplazando a Ccp, Tnt.

Ganga

Ganga 80%

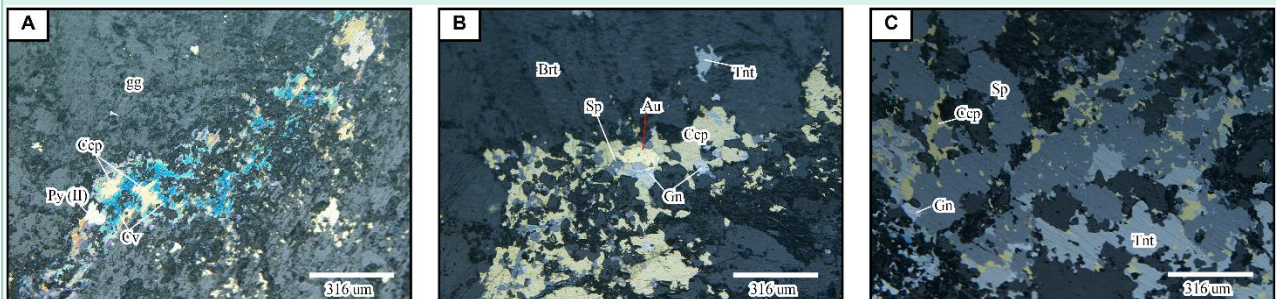
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita ($BaSO_4$) y cuarzo (SiO_2).

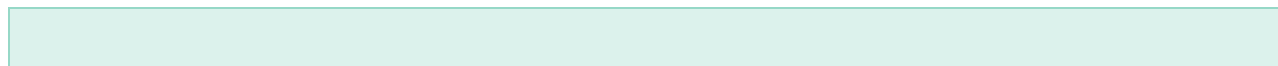
Paragénesis:


	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Pirita (II)	-----	=====		
Esfalerita		=====	-----	
Galena		-----		
Tenantita		-----		
Calcopirita			-----	
Oro			-----	
Covelita				-----

Abundante	=====
Moderado	-----
Escaso	-----

Fotos:





Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	16-01-38		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, remplazamiento de volcanosedimentos. La mineralización corresponde a esfalerita (85%) y galena (10%), en trazas presenta calcopirita y pirita (<1%). Los minerales ganga clastos de barita (5%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	50.0%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (A, B) bandeamiento entre Py (I) framboidal, clastos de Sp, rodeando clastos de Ganga.			
Galena (Gn)	PbS ₂	10.0%	
color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (A, B) relleno de espacios de Sp y Brt, y remplazando a Py (I), (C) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), Ccp remplaza a Gn.			
Pirita (Py)	FeS ₂	4.0%	
Color amarillo claro, moderada reflectividad, alto relieve, (A, B) Py (I) framboidal fracturados con caras subhedrales, remplazamiento por Sp y Gn, espacios rellenos por Gn y Sp, (C) Py (II) con caras euhedrales, se encuentra en bordes de Gn y Ccp.			

Calcopirita (Ccp)	$CuFeS_2$	0.9%
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A, B) remplazando a Py (I), texturas cóncavas hacia Sp y Gn.		

Tennantita (Tntt)	$Cu_{12}As_4S_{13}$	0.1%
Color gris verdoso, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (C) Inclusiones en Sp, Ccp y Py (I).		

Ganga

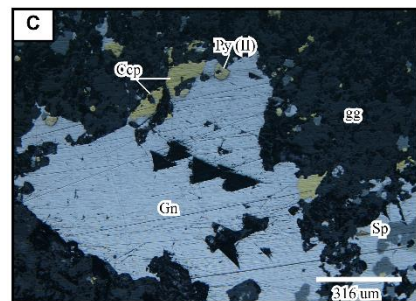
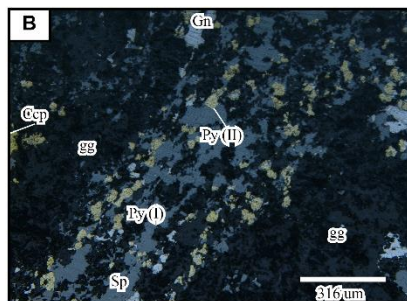
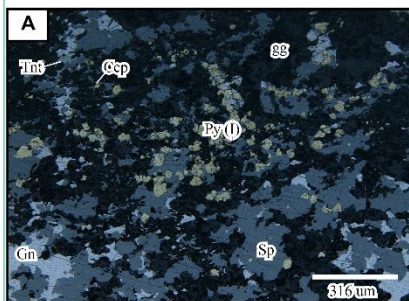
Ganga	35.0%
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita ($BaSO_4$) y cuarzo (SiO_2).	

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (I)	Abundante		
Pirita (II)		Escaso	
Esfalerita (I)		Abundante	
Galena		Moderado	
Tenantita		Escaso	
Calcopirita			Escaso

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos



Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	16-01-39		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, corresponde a remplazamiento de volcanosedimentos. La mineralización corresponde a granos y diseminado de esfalerita (45%), calcopirita diseminada (15%), y pirita diseminada (10%). En minerales traza corresponde a galena (30%). Los minerales ganga clastos de barita y cuarzo.</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	32.0%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (A) presentan orientación y remplazamiento en granos de Py (I) framboidal, rodeando clastos de Brt y formando, (B, C) clastos de Sp (I) con textura de enfermedad de Ccp.			
Pirita (Py)	FeS ₂	16.0%	
Color amarillo pálido, moderada reflectividad, alto relieve, (A) granos subhedrales fracturados, Py (I) framboidal, con remplazamiento de Gn y Sp, y Ccp, (B) textura careada por Ccp lo que muestra remplazamiento de Ccp en Py (I).			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	7.3%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos, (A) textura careada en Py, Ccp remplaza a Py (I), (C) presenta textura de enfermedad de la calcopirita en Sp, remplazamiento			

de Sp.

Galena (Gn)

PbS₂

0.6%

Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos (A) textura careada en Py, remplazamiento de Gn en Py, (B) relleno de espacios en Sp

Tennantita (Tntt)

Cu₁₂As₄S₁₃

0.1%

Color gris verdoso, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (C) Inclusiones en Sp, Ccp y Py.

Ganga

Ganga

44.0%

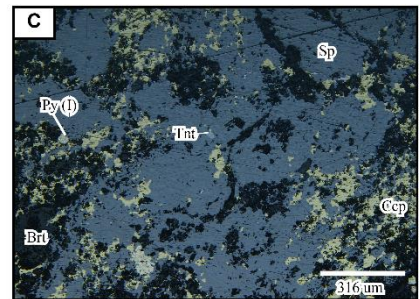
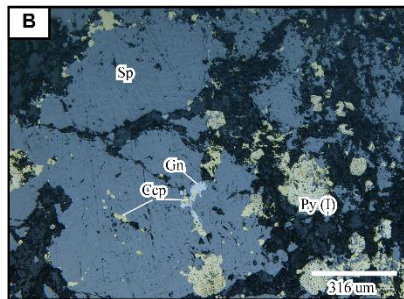
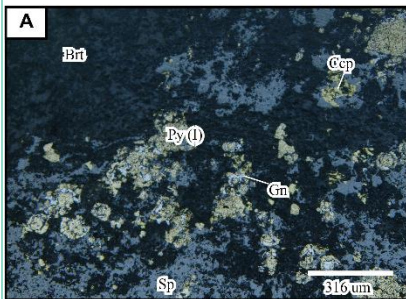
Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita (BaSO₄) y cuarzo (SiO₂).


Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Pirita (I)	Abundante	Moderado		
Esfalerita		Abundante		
Galena		Escaso		
Tenantita		Escaso		
Calcopirita		Escaso	Abundante	
Barita		Escaso	Escaso	Abundante

Abundante	Abundante
Moderado	Moderado
Escaso	Escaso

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	16-01-40		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo. La mineralización corresponde a calcopirita (75%), pirita (15%). Los minerales en trazas corresponden a esfalerita y galena (<1%). Los minerales ganga clastos de barita y cuarzo (10%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS_2	84%	
Color amarillo, moderada reflectividad, anhédrico con textura masiva, (A, B) rellenando fracturas de granos de Py (II), (C) vetillas de gg con Gn.			
Pirita (Py)	FeS_2	10.0%	
Color amarillo pálido, moderada reflectividad, alto relieve, (A) Py (II) granos subhédricos con fracturamiento relleno por Ccp.			
Tetrahedrita (Ttr)	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	0.1%	

Color blanco con tinte azulado, alta reflectividad, anhédrico, (C) inclusiones en Ccp.

Ganga

Ganga

5.9%

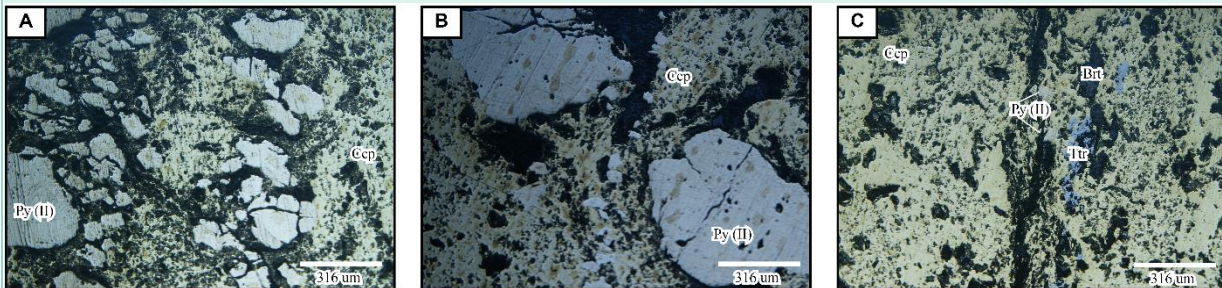
Color gris oscuro, subhédricos y anhédricos, principalmente compuesta por granos de: Barita (BaSO_4) y cuarzo (SiO_2).

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Pirita (II)	—		
Tetrahedrita		- - - - -	
Calcopirita			—

Abundante	—
Moderado	—
Escaso	- - - - -

Fotos:



Escuela Politécnica Nacional			
Elaborado por:	Joselyne Cueva	Proyecto:	La Plata
Código:	20-100-41		
Muestra de mano:		Descripción Macroscópica:	
		<p>Muestra de sulfuro masivo, corresponde a un remplazamiento de volcanosedimentos. La mineralización corresponde a esfalerita (85%) y galena (10%). Los minerales en trazas corresponden a presenta calcopirita y pirita (<1%). Los minerales ganga clastos de barita y cuarzo (5%).</p>	
Descripción Microscópica:			
Mena			
Esfalerita (Sp)	ZnS	35%	
Color gris medio, baja reflectividad, cristales anhédricos, (A) Sp asociado con Gn, Tntt y remplazado por Ccp.			
Galena (Gn)	PbS ₂	10%	
Color blanco, alta reflectividad, cristales anhédricos, (A) relleno de fracturas de Sp, (B) triángulos de arranque debido a su baja dureza (pits), remplazando a Tntt, (C) galena en vetillas.			
Calcopirita (Ccp)	CuFeS ₂	0.9%	
Color amarillo, moderada reflectividad, cristales anhédricos (A, C) inclusiones en Sp, remplazando a Gn. Ccp remplazando a Sp.			

Tenantita (Tntt)	$Cu_{12}As_4S_{13}$	0.1%
-------------------------	---------------------	------

Color gris claro, tintes verdes, reflectividad moderada, cristales anhédricos. (B, C) textura en atolón en Gn, Gn remplazando a Tntt.

Ganga

Ganga	54%
--------------	-----

Color gris oscuro, principalmente compuesta por clastos de: Barita ($BaSO_4$) y cuarzo (SiO_2).

Paragénesis:

	Etapa 1	Etapa 2
Esfalerita	—————	
Tenantita	- - - - -	
Galena	—————	
Calcopirita		- - - - -

Abundante	—————
Moderado	—————
Escaso	- - - - -

Fotos:

