

Universidad Nacional del Comahue
Facultad de Ingeniería
Departamento de Geología y Petróleo



TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

**GEOLOGÍA, ALTERACIONES HIDROTERMALES Y MINERALOGÍA DE
LAS VETAS DE Au-Ag,(Zn, Pb, Cu) DEL SISTEMA
SOFÍA-JULIA-VALENCIA,
DISTRITO MINERO ANDACOLLO, NEUQUÉN**



Autor: Mendiberri Juan

Directora: Dra. Pons Maria Josefina

Neuquén

2018



Universidad Nacional del Comahue - Facultad de Ingeniería

Lic. en Ciencias Geológicas - Depto. de Geología y Petróleo

**GEOLOGÍA, ALTERACIONES HIDROTERMALES Y
MINERALOGÍA DE LAS VETAS Au-Ag (Zn, Cu, Pb),
SISTEMA SOFÍA-JULIA, DISTRITO MINERO
ANDACOLLO, NEUQUÉN**

Trabajo Final de Licenciatura presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad
Nacional del Comahue como parte de los requisitos para obtener el título de:

LICENCIADO EN CIENCIAS GEOLOGICAS

Autor: Mendiberri Juan - Legajo ING-2385

Directora: Dra. Josefina Pons - Investigadora CONICET y docente de la Facultad de
Ingeniería.

Jurado 1: Dr. Luis Carlos, Mas.

Jurado 2: Geólogo Juan, Danieli.

Jurado 3: Dr. Jorge, Vallés.

Neuquén Capital, Argentina

Año 2018

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pública por darme la posibilidad de estudiar en forma gratuita.

A la Dra. Pons Josefina por haber aceptado ser mi directora, por la enseñanza académica y la guía en este camino para poder realizar este trabajo final.

A Valeria Castillo por haber compartido las dos primeras campañas de campo.

Al CPEM y CIMAR por brindar el espacio físico y equipamiento necesario para el estudio de las secciones delgadas y muestras de mano.

A los proyectos del CPEM que permitieron financiar las campañas de campo y cortes delgados.

A Raúl Giacosa por facilitar bibliografía de la zona de estudio y por responder las consultas sobre temas de la geología estructural del área.

A CORMINE por ceder los datos geoquímicos, informes de pozo y permiso de ingreso al distrito minero Andacollo en la primera campaña por aquel 2015.

A Trident Southern Explorations SPA y a los ayudantes mineros que nos guiaron y colaboraron en la extracción de muestras durante las visitas de las galerías subterráneas.

A la Geóloga M. Tamborindeguy por el grato recibimiento en la primera campaña y la ayuda en el conocimiento del área.

Al Dr. Carlos Mas, Dr. Jorge Vallés y Lic. Juan Carlos Danieli por sus valiosas sugerencias, correcciones y pronta evaluación.

A la Asociación Geológica Argentina por otorgarme una beca de ayuda económica que permitió financiar algunos de los análisis realizados en el presente trabajo final.

A la Cátedra de mineralogía de la Universidad Nacional del Comahue que durante 4 años me permitió participar de forma activa y perfeccionarme más en este área.

A la Dra. G. Pettinari, Dra. T. Musso y Dra. A. Impiccini por sus valiosas ayudas en la metodología e interpretación de los resultados de Difracción de rayos X.

A la Universidad Nacional de Rio Negro por el financiamiento en los análisis SEM-EDS y cortes delgados.

A todos los profesores de la carrera por su aporte en mi formación profesional.

A mi mamá que es mi sostén en la vida. Por ser una leona, apoyarme en todo, y guiarme.

A mi viejo, mi guía e inspiración.

RESUMEN.

En este trabajo se brindan nuevas descripciones litológicas, mineralógicas y texturales de las rocas, alteraciones y estructuras mineralizadas del sistema de vetas E-O Sofía-Julia-Valencia localizadas en el sector suroeste de la Cordillera del Viento ($70^{\circ}32' - 70^{\circ}43'O/37^{\circ}06'8'' - 38^{\circ}56'S$) que permitieron caracterizar el sistema hidrotermal que las generó.

En el área de estudio afloran tobas de cristales y líticas de la Formación Arroyo del Torreón y las sedimentitas marinas de la Formación Huaraco (Grupo Andacollo; Cb-inferior a medio) ambas están sobreyacidas en discordancia por mantos de ignimbritas y rocas volcánicas correspondientes a la Formación La Premio e intruídas por granodioritas y granitos pertenecientes al denominado Complejo volcánico-plutónico-Huingancó (Pérmico-Triásico inferior). Numerosos pórfidos riolíticos y dacíticos, y diques basáltico-andesíticos intruyen a las unidades previas. Las vetas E-O se emplazan en estructuras de cizalla dextrales y las relaciones de corte indicarían que son más jóvenes que las vetas del sistema NE-SO a las cuales cortan y desplazan.

El estudio de la mineralogía de las alteraciones permitió definir 4 tipos de alteraciones: 1) relictos de una alteración potásica temprana; 2) una alteración propilítica ampliamente distribuida con mineralización diseminada de pirrotina, calcopirita y pirita; 3) una alteración fílica superpuesta a las previas, esta última se concentra en los principales conductos de circulación de fluidos asociados a las estructuras mineralizadas; y por último 4) una alteración supergénica sobreimpuesta. Se definieron 10 tipos de estructuras (vetas, venas, venillas y brechas) de las cuales las más importantes portadoras de mineralización de Au, Ag y metales base son las: venas A: Cuarzo+Molibdenita+Esfalerita±Pirita, venas B: Cuarzo±Epidoto±Biotita, Clorita+Calcita, Pirita+Arsenopirita+Pirrotina±Calcopirita (Esfalerita), vetas C1: Cuarzo±Clorita±Calcita+Pirita, Pirita arsenical, venas C2: Cuarzo+Sericita±Siderita (Clorita), Pirita, Pirita arsenical, Esfalerita+Galena+Calcopirita(Argetita, Pirrotina), y venas y vetas C3-D: Cuarzo+Sericita, Clorita, Calcita, (Esfalerita, Galena, Calcopirita, Argetita).

De acuerdo a las paragénesis de minerales de alteración y de las estructuras mineralizadas identificadas se concluye que la mineralización se ha formado en un ambiente que evolucionó de mesotermal a epitermal caracterizados: en el primer caso por

fluidos tempranos con temperaturas mayores a 350°C y pH alcalinos en condiciones de fugacidad de azufre y oxígeno relativamente altas (venas A) y en el segundo caso por fluidos de menores temperaturas (250°C), pH (5-6) y fugacidades de azufre y oxígeno (venas B-C-D). En estas últimas condiciones la Ag y metales base muy probablemente fueron transportados como complejos clorurados, mientras que el Au como complejo bisulfurado, y precipitados por ebullición y/o mezcla con aguas meteóricas.

Palabras claves: *sistema Sofía-Julia-Valencia, Formación Huaraco, epitermal, Cordillera del Viento, fallas transcurrentes dextrales.*

Abstract.

This work presents new lithological, mineralogical and textural descriptions of the rocks, alterations, and mineralized structures of the E-O Sofía-Julia-Valencia vein system located in the southwest sector of the Cordillera del Viento (70 ° 32'-70 ° 43 ' O / 37 ° 06'8 " - 38 ° 56'S) that allowed to characterized the hydrothermal system.

In the study area, outcrop, crystal and lithic tuffs of the Arroyo del Torreón and marine sediments of the Huaraco Formation (Andacollo Group; Cb-inferior to medium) both are unconformity overlain by ignimbrite and volcanoclastic rocks mantles corresponding to the La Premio Formation. They were intruded by granodiorites and granites of the Complejo Volcánico Plutónico Huingancó (Permian-Lower Triassic). Numerous rhyolitic and dacitic porphyries and andesitic-basaltic dikes cut the previous units. The E-O veins systems are located in dextral shear structures and the cutting relationships indicate they are younger than the veins of the NE-SO system to which they cut and move.

The study of the mineralogy associations of alterations allowed to define 4 types of alterations: 1) relicts of an early potassium alteration; 2) widely distributed propylitic alteration with disseminated pyrrhotine chalcopyrite and pyrite 3) superimposed on the previous ones and concentrated in the main fluid circulation conduits a phyllic alteration; and 4) a later supergenic alteration. Ten types of structures have been identified (veinlets) 4 of which were the most important due their Au, Ag and base metals contents: A veins: Quartz + Molybdenite + Sphalerite ± Pyrite, B veins: Quartz ± Epidote ± Biotite, Chlorite +

Calcite, Pyrite + Arsenopyrite + Pirrotine ± Chalcopyrite (Sphalerite), C1 veins: Quartz ± Chlorite ± Calcite + Pyrite, Arsenical Pyrite, C2 veins: Quartz + Sericite ± Siderite (Chlorite), Pyrite, ArsenicalPyrite, Sphalerite + Galena + Chalcopyrite (Argentite, Pirrotite) and C3-D veins: Quartz + Sericite, Chlorite, Calcite, (Sphalerite, Galena, Chalcopyrite, Argentite).

According to the paragenesis of observed alterations and the mineralogy of the mineralized structures, it is concluded that this vein system has formed in an environment that evolved from mesothermal to epithermal. In the first case, it is characterized: by early fluids with temperatures greater than 350°C and pH under conditions of relatively high sulfur and oxygen fugacity (veins A) and in the second case by fluids of lower temperatures (250 ° C), pH (5-6) and lower sulfur and oxygen fugacities (B-C-D veins). In these latter conditions the silver and base metals were probable transported as chloride complexes, while the gold was transported as bi-sulfurized complex, and all of them precipitated by boiling and / or mixing with meteoric waters.

Key words: Sofía-Julia-Valencia Vein system, Huaraco Formation, epithermal, Cordillera del Viento, dextral shear faults.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Objetivos del trabajo final de licenciatura.....	4
1.4. Metodología.....	4
1.4.1 Recopilación de antecedentes.....	4
1.4.2 Trabajos de campo.....	4
1.4.3 Trabajos de gabinete y laboratorio.....	6
1.4.4 Definiciones de términos y símbolos usados en el texto.....	7
1.4.5 Análisis mineralógico por difracción de rayos X y Microscopio electrónico de barrido.....	9
CAPÍTULO II: GEOLOGÍA.....	11
2.1 Ubicación.....	11
2.2 Geología regional.....	13
2.3 Geología local.....	17
2.3.1 Descripción de las unidades aflorantes en el área de estudio.....	17
2.3.2 Descripción de las unidades en sondeos y galería.....	34
2.3.3 Estructura local.....	39
CAPÍTULO III: ALTERACIONES.....	44
3.1 Alteraciones en afloramientos.....	44
3.2 Alteraciones observadas en subsuelo (sondeos y galerías).....	47
3.3 Minerales de mena diseminados.....	55
CAPÍTULO IV: DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y TEXTURAL DE LAS VETAS, VENAS, VENILLAS Y BRECHAS.....	57
4.1 Descripción de afloramiento.....	57
4.1.1 Vetas Julia y Fortuna.....	57
4.1.2 Veta Don Fernando.....	59
4.1.3 Vetas San Pedro Norte.....	59
4.1.4 Brechas.....	61



4.2 Descripción de sondeos y galerías.....	62
4.2.1 Mineralización en las vetas Julia y Valencia.....	62
4.2.2 Veta Sofía	88
CAPÍTULO V: GEOQUÍMICA.....	91
5.1 Análisis estadístico.....	91
CAPÍTULO VI: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.....	96
6.1 Control litológico y estructural y edad de las vetas.....	96
6.2 Alteraciones hidrotermales.....	98
6.3 Mineralización.....	100
6.3.1 Mecanismos de precipitación de metales.....	104
6.4 Comparación con el sistema San Pedro (Karina) - Don Fernando.....	106
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....	108
7.1 Conclusiones.....	108
TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.....	109
ANEXOS A.....	117
ANEXO B.....	121

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El distrito minero Andacollo-Au-Ag (Cu, Pb, Zn)- ($37^{\circ}2'S$ $-70^{\circ}32'O$) localizado al sur de la Cordillera del Viento y con una superficie de 220 km^2 , constituye el yacimiento más importante de Au-Ag y polimetálicos de Cu, Pb, Zn de la provincia de Neuquén. Se localiza entre dos morfoestructuras de la cuenca Neuquina, Fosa de Loncopué y la Precordillera Neuquina Norte (Ramos A. V. et al., 2011). La corporación Minera del Neuquén, Sociedad del Estado Provincial (CORMINE-SEP), se funda en el año 1975, con el objeto de promover el desarrollo sustentable de las actividades mineras en la provincia de Neuquén. Entre los años 2001 a 2014 se adjudica la concesión y contrato a Minera Andacollo Gold S.A (MAGSA) para la explotación de las minas Erika, San Pedro Norte, San Pedro Sur, Buena Vista, Don Fernando y La Primavera, con la opción de continuar la explotación de las vetas y realizar exploración en el distrito. En el caso del sistema Sofía-Julia, la campaña involucro un total de 10 perforaciones totalizando 2955.20m totales. A fines del año 2014, Magsa presenta la quiebra y abandona el proyecto, en los años posteriores hasta el 2016, CORMINE-SEP absorbe al personal minero con el fin de mantener las condiciones laborales. Desde el 2016 hasta la actualidad la empresa Trident Southern Explorations ha realizado una campaña de exploración con más de 12000 m de sondajes (Tamborindeguy, pers. comun).

El distrito minero Andacollo posee 3 sistemas de vetas mineralizadas dispuestos a lo largo de tres corredores estructurales (E-O, $N30^{\circ}$ y $N60^{\circ}$) hospedados principalmente en rocas carboníferas volcánicas y sedimentarias de las Formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y La Premia. El sistema Sofía-Julia-Valencia (Fig. 1.1), uno de los 3 sistemas de mayor relevancia se localiza en el Cerro Minas a 3 km al sureste de la localidad de Andacollo. De estos sistemas los cálculos de recursos para la vetas Sofía-Julia-Valencia dieron 8,506 t, con leyes promedio de 14,24 g/t de Au para la veta Julia y 19,794 g/t de Au para la veta Valencia (Magsa, 2008).

En el presente Trabajo Final de Licenciatura (TFL) se da a conocer el estudio litológico, mineralógico-geoquímico y de la alteración, de superficie, de 3 sondeos y de 2 laboreos subterráneos del sistema de veta Sofía-Julia-Valencia, con el objetivo de

comprender qué tipo de sistema hidrotermal lo formó para establecer futuras estrategias de exploración en zonas no expuestas.

1.2 ANTECEDENTES

La mineralización de Au-Ag y metales base en el distrito minero Andacollo está compuesta por vetas de cuarzo + pirita aurífera+Au⁰- Ag⁰ y polimetálicas ricas en sulfuros y sulfosales de Pb, Zn y Ag, Cu, As, Sb, (Giacosa, 2011 y ref. allí citadas) alojadas en las formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco. En el sector del Cerro Minas y en Mina Erika la roca de caja presenta alteración argílica, fílica y grafito en los espejos de fricción de algunas estructuras (Danieli y Casé, 1975). Al sur del Cerro Minas en el sector de la Primavera, las Formaciones Cordillera del Viento y La Primavera son la roca de caja de las vetas y presentan alteración hidrotermal potásica, sericítica y propilítica asociada a intrusivos dioríticos de edades acotadas entre el Triásico-Cretácico Superior (Danieli et al., 1999; Domínguez y Garrido, 1982; Strazzere et al., 2017), típica de sistemas de vetas hidrotermales relacionadas a mineralización diseminada de tipo pórfido (Seedorff et al., 2005). Las vetas de ambos sectores evidencian fracturamientos sucesivos, microbrechas y rellenos y se formaron a partir de fluidos hidrotermales calientes (370°C), con temperaturas y salinidades menores hacia los niveles más superficiales (190°C-230°C; Domínguez y Garrido, 1982; Domínguez y Gómez, 1988). La mayoría se alojan en vetas asociadas a estructuras de cizalla transtensivas dextrales desarrolladas en fallas normales previas (Danieli et al., 1999) y en mantos asociadas a estructuras de corrimientos y de tipo dúplex (Giacosa, 2011).

Giacosa (2011) distingue dos estilos estructurales en las vetas: NE-SO más antiguo y E-O más moderno que se relacionan con diferentes proporciones en los contenidos de Ag/Au y con las unidades estratigráficas donde se alojan las vetas (D'annunzio et al., 2016). Las vetas con mayores relaciones Ag/Au están alojadas en estructuras más antiguas NE-SO y se hospedan en las rocas de la Formación Arroyo del Torreón (Carbonífero inferior; sistema Buena Vista-San Pedro). Las vetas con menores relaciones Ag/Au y polimetálica de Cu, Pb, Zn están hospedadas en las Formaciones Huaraco (Carbonífero superior), La Premio (Carbonífero superior-Pérmico inferior) y Complejo Volcánico Huingancó (Pérmico inferior-superior,) y se alojan en las estructuras E-O (sistema Erika-Julia-Sofía

entre otras) que produjeron las sucesivas reaperturas y brechamientos de las vetas previas (Giacosa, 2011; Strazzere et al., 2017). Hay fallas N-S que desplazan a las estructuras mineralizadas NE-SO.

Llambías et al., (2007), describen clastos de cuarzo hidrotermal y pirita en la base de la Formación Cordillera del Viento (Triásico Medio-Superior). Dataciones realizadas en la granodiorita Cerro Coló, que aflora al Sur del Cerro Minas y en la alteración hidrotermal de la roca hospedante de las vetas auríferas de La Primavera dieron edades K/Ar de 71 ± 2 Ma y 67-73 Ma respectivamente (Suarez y Echart, 2008), similares a la obtenida por Domínguez et al., 1984; 67 ± 3 Ma, K/Ar en roca total para la granodiorita Los Maitenes-El Salvaje. Estas edades se correlacionan con las dataciones de otros cuerpos subvolcánicos que afloran al norte de Cerro Mina e intruyen a la Formación Cordillera del Viento que dieron $64,7 \pm 3,2$ Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$; Franchini et al., 2003) y $69,9 \pm 13$ Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$; Kay y Ramos, 2006) están relacionados a brechas hidrotermales con mineralización de Au, Cu y Mo (Casé et al., 2008).

Rovere et al., (2004); Suarez, (2007), observaron la ausencia de vetas y zonas de alteración en rocas andesíticas de la Formación Cayanta que cubren vetas mineralizadas, indica que los pulsos de mineralización son pre-Oligoceno. El reconocimiento de vetillas de cuarzo y sulfuros diseminados en las lutitas de la Formación Los Molles y en las areniscas de la Formación Lajas, denota un pulso hidrotermal asociado a mineralización posterior al Jurásico (Strazzere et al., 2017; Rovere et al., 2004).

Los modelos genéticos planteados para las mineralizaciones de Au y polimetálica de Ag, Pb, Zn y Cu en las vetas son de tipo epitermal-mesotermal (Danieli et al., 1999 y referencias allí citadas) de baja sulfuración para el sector del Cerro Minas y alta sulfuración para la región de la Primavera donde también se han registrado anomalías de Mo relacionadas al magmatismo cretácico superior (Aguiles Alegría O., 2010).

Si bien desde el año 1957 hasta la actualidad se han llevado a cabo trabajos de exploración con informes geológicos y geoquímicos en la región del distrito minero, siempre han sido enfocados a la actividad extractiva y por lo tanto no se han realizado estudios de detalle que permitan dilucidar el modelo genético de las vetas a escala de distrito.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO FINAL DE LICENCIATURA

Objetivo principal

El objetivo de trabajo es caracterizar las unidades litológicas, alteraciones hidrotermales y mineralogía de mena del Sistema de vetas E-O (Sofía-Julia-Valencia) ubicado en el distrito minero Andacollo Provincia de Neuquén, para definir a qué tipo de modelo hidrotermal pertenece, ya que aún no está claro si mesotermal, epitermal de baja sulfuración rico en sulfuros o de sulfuración intermedia, lo cual es clave para las estrategias de exploración en zonas no expuestas.

Objetivos específicos.

1. Realizar un relevamiento de la geología de superficie: mapeando contactos litológicos, estructuras, vetas mineralizadas y alteraciones del área de estudio.
2. Caracterizar en superficie, en tres sondeos y en dos laboreos subterráneos las unidades litológicas hospedantes de la mineralización, las variaciones de las paragénesis de alteración en el espacio y en el tiempo y definir la mineralogía de ganga y de mena.
3. Establecer si hay variación en la composición, morfología y texturas de las vetas longitudinal y verticalmente.
4. Identificar los pulsos de mineralización y correlacionarlos con los análisis geoquímicos de subsuelo provistos por CORMINE SEP (2015).
5. Comparar las características del sistema de Vetas Sofía, Julia y Valencia con el sistema de vetas San Pedro y Don Fernando.

1.4 METODOLOGÍA

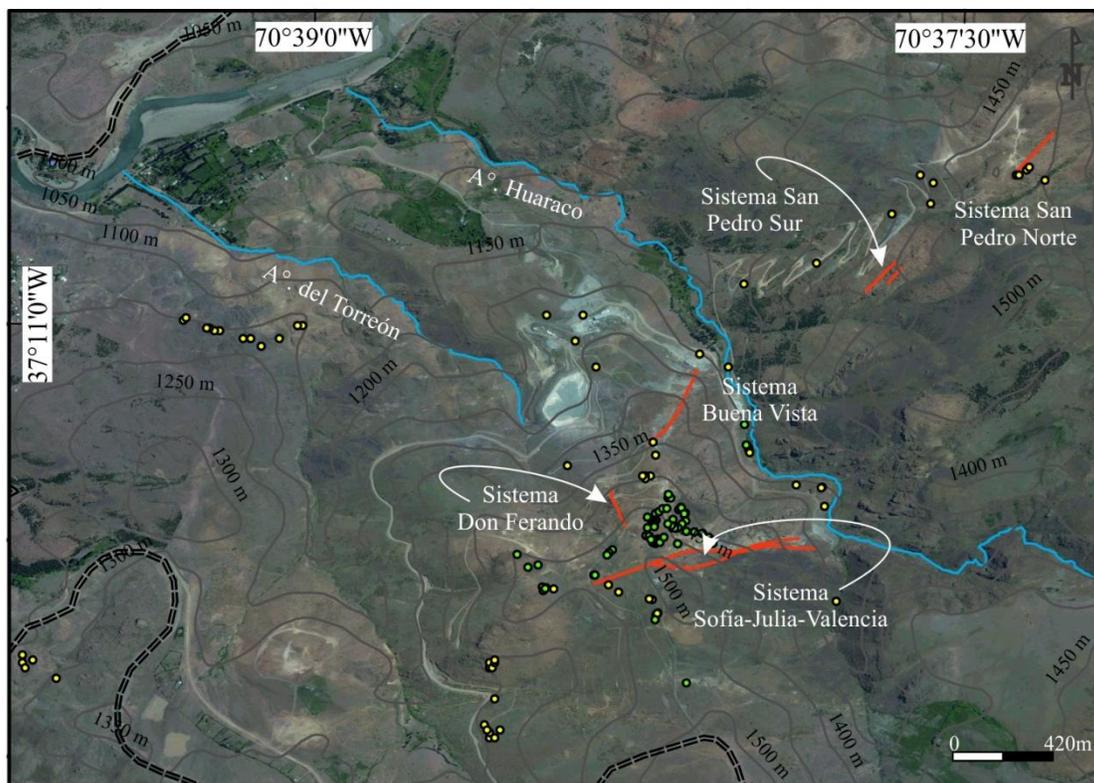
1.4.1 Recopilación de antecedentes

Se realizó un análisis de la bibliografía de estudios, informes, mapas y publicaciones previas de la zona.

1.4.2 Trabajos de campo

Se llevaron a cabo tres campañas (1 al 6 de Noviembre de 2015; 7 al 14 de Enero de 2016 y 29 de Noviembre al 5 de Diciembre de 2017, Fig. 1.1). El objetivo principal de la primera campaña fue el reconocimiento y muestreo (55 muestras) de la geología general de superficie del sector del Cerro Minas y Cerro San Pedro. Posteriormente se realizó un

mapeo de detalle (utilizando GPS y Brújula Brunton) del sector del sistema Sofía-Julia-Valencia donde se extrajeron muestras 25 de la veta y de la roca de caja fresca y alterada. Finalmente se estudiaron las vetas en subsuelo en dos galerías subterráneas, Sofía nivel-1 y Sofía nivel-4. Se realizó el logueo/muestreo de tres sondajes de la campaña de exploración realizados por la compañía MAGSA en el periodo 2007 a 2008 (Fig. 1.2). La selección de los sondajes a muestrear se basó en el análisis de los informes geológicos, geoquímicos y mapeos previos. Se dibujaron las columnas litológicas de alteración y vetas mineralizadas de dos secciones que atraviesan el sistema Sofía-Julia, el DHA-41 (47 muestras) y DHA-40 (25 muestras) y una sección que intercepta al sistema Valencia, el DHA-34 (21 muestras).



Referencias

-  vetas mineralizadas
-  puntos tomados en campaña 2015
-  ruta provincial N°43
-  puntos tomados en campaña 2017

Figura 1.1. Ubicación de los puntos GPS tomados en el campo en las campañas realizadas en Noviembre de 2015 y enero de 2017.



Figura 1.2. Trabajos de logueo y muestreo en testigoteca durante la primera campaña correspondiente al año 2015 (muestras seleccionadas, ver anexo A).

1.4.3 Trabajos de gabinete y laboratorio

Se digitalizó la información de campo georeferenciada con GPS (WGS 84) utilizando el software ArcGis® 10.1 para la confección del mapa geológico.

En el laboratorio CIMAR de la Universidad Nacional del Comahue, se describieron 55 muestras de afloramientos y 95 muestras representativas de los tres sondeos (ver anexo A) y de las galerías subterráneas se describieron con lupa binocular NIKON SMZ 745T. Luego se analizaron secciones petrocalcográficas seleccionadas de las muestras más representativas de los tipos litológicos (10 muestras de afloramiento) y de las alteraciones, vetas y brechas mineralizadas (15 de subsuelo).

Las secciones delgadas fueron estudiadas con luz transmitida y reflejada mediante el uso de un microscopio trinocular petrográfico NIKON-Eclipse LV100POL (Fig. 1.3), que cuenta con objetivos de 2.5x, 10x, 20x, 50x y 100x de marca CFI LI Plan Flúor perteneciente al CPEM (Centro Patagónico de Estudios Metalogenéticos). Se obtuvieron microfotografías con un equipo de cámara a color DS-Fi1 adosado al tubo central del microscopio. Su digitalización se llevó a cabo mediante el software NIS-Elements® asociado al equipo.

De cada muestra se describió la composición mineralógica, texturas y minerales de alteración y de mena de las rocas.



Figura 1.3. Microscopio utilizado para el estudio de las secciones delgadas del presente trabajo final de Licenciatura.

1.4.4 Definiciones de términos y símbolos usados en el texto

La descripción de los minerales de alteración y minerales de las venas y venillas se realizó siguiendo la metodología de [Seedorff y Einaudi \(2004\)](#) y las abreviaturas de [Whitney y Bernard \(2010\)](#) (Tabla 1.1). Los minerales se colocan en orden de abundancia decreciente. La paragénesis mineral se simboliza con el símbolo (+) y el símbolo (±) precede a los minerales que no están presentes en todos los lugares. Los minerales poco que solo aparecen como trazas en la paragénesis se incluyen entre paréntesis ().

El término veta se usa para las estructuras con espesores mayores de 1m (*lode* en inglés), vena para las que tienen un espesor entre 1m a 1cm y venillas para las menores de 1cm de espesor. La salbanda se define como los halos que rodean las vetas, venas y venillas que presentan desequilibrio con la roca de caja.

Los estilos de mineralización descriptos son: 1) en *stockwork* utilizando la definición de [Keary, \(1996\)](#), 2) diseminada, en el cual la mineralización se encuentra en toda la roca pero interconectada a través de venillas muy finas, 3) en vetas (*lode*, [Einaudi et al., 1981](#)), venas, venillas (*veins*, [Keary, 1996](#)), y 4) en brechas ([Sillitoe, 1985](#)).

Se analizó la geoquímica de subsuelo de 13 sondeos aplicando el coeficiente de correlación de Pearson para conocer el grado de correlación entre los metales en profundidad de los sondeos disponibles que atraviesan el sistema de vetas Sofía-Julia-Valencia. Se establecieron rangos y se definieron correlaciones bajas ($r=0.1-0.4$), moderadas ($r = 0.4-0.6$), altas ($r= 0.6-0.9$) y perfectas ($r=0.9-1$). En el análisis de los datos se descartaron los valores que superan la media+2DS (media sumada a dos veces el desvío estándar).

Minerales	Abreviatura
Anfíbol	Anf
Argentita	Arg
Arsenopirita	Apy
Biotita	Bt
Calcita	Cal
Calcopirita	Cpy
Clorita	Chl
Cuarzo	Qz
Esfalerita	Sph
Esmectia	Sm
Galena	Gn
Grupo del Feldespato	Fds
Leucoxeno	Lcx
Magnetita	Mg
Monacita	Mon
Pirita	Py
Pirita Arsenical	PyAs
Pirrotina	Po
Plagioclasa	Plg
Prehnita	Prh
Sericita	Ser
Siderita	Sd
Titanita	Ti
Zircón	Zrc

Tabla 1.1. Abreviaturas utilizadas en el presente Trabajo Final de Licenciatura basado en [Whitney y Bernard \(2010\)](#).

1.4.5 Análisis mineralógico por difracción de rayos x y Microscopio electrónico de barrido

Para el estudio de la alteración hidrotermal, se identificó la mineralogía de los filosilicatos y la fracción arcilla empleando un difractómetro Rigaku, modelo SmarLab 3 situado en el laboratorio Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG) de la Universidad Nacional de Río Negro. Las determinaciones se realizaron sobre muestra total (8 muestras) y en la fracción arcilla (4 muestras). Se analizaron las difracciones entre 3° a $65^\circ 2\theta$, a $3^\circ 2\theta$ /min y desde 2° a 40° a $2^\circ 2\theta$ /min respectivamente, con radiación Cu-K y corridas a 40 kV y 20 mA. Las muestras para análisis de roca total fueron desagregadas, molidas hasta el pasante tamiz 200, posteriormente se cuartearon y se separaron 2g de material para su análisis.

Luego de interpretar los difractogramas de roca total mediante el software X'Pert HighScore® y se seleccionaron 4 muestras para realizar el análisis de la fracción menor a 2 micrones. Las muestras seleccionadas para analizar la fracción $<2\mu\text{m}$ fueron desagregadas, agitadas mecánicamente y con ultrasonido. La separación de la fracción $<2\mu\text{m}$ se realizó de acuerdo a tiempos estandarizados de centrifugado y depositados como una delgada película sobre un portaobjeto de vidrio. Finalmente se dejaron secar al aire (muestra seca al aire) y posteriormente se sometieron a vapores de etilenglicol durante 72 horas a 60°C . Esta etapa de separación se realizó en los laboratorios del CIMAR.

Por otra parte, se han seleccionado 2 muestras (41-137 y 41-247.54) con el fin de estudiar las relaciones texturales y composición de la esfalerita, pirita, monacita, apatito, molibdenita, galena, clorita y sericita a través de un microscopio electrónico, SEM, de marca Zeiss y modelo EVO 15 con detector de rayos X característicos (EDS). Este equipo se encuentra situado en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG) de la Universidad Nacional de Río Negro (UNRN) dependiente del CONICET. El equipo se utiliza para la caracterización de materiales y está provisto con patrones para cuantificar los análisis químicos obtenidos.



Figura 1.4. Laboratorio de microscopia electrónica del IIPG de la Universidad Nacional de Río Negro, donde se realizaron los análisis de las muestras seleccionadas.

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA

2.1 Ubicación

El área de estudio (Fig. 2.1a) se ubica en la región noroeste de la Provincia de Neuquén, entre los $37^{\circ}10'10''$ y $37^{\circ}12'10''$ de latitud sur y los $70^{\circ}36'57''$ y $70^{\circ}39'44''$ de longitud oeste dentro del Departamento Minas donde se halla el distrito minero Andacollo (DMA). Este distrito minero es el más importante de la provincia de Neuquén y está limitado al O-NO por la localidad de Andacollo y se halla a 60 km al noroeste de Chos Malal. El DMA abarca una superficie de 220 Km^2 comprendida entre los meridianos $70^{\circ}32'$ y $70^{\circ}43'$ de longitud oeste y los paralelos $37^{\circ}06'8''$ y $38^{\circ}59'$ de latitud sur (Danieli et. al., 1999). Desde el punto de vista de las morfoestructuras que conforman la Cuenca Neuquina se halla limitada al oeste por la fosa de Loncopué, hacia el este por el gran anticlinal Cordillera del Viento (CDV) y la Faja plegada y corrida de Chos Malal (FPCC), y hacia el sur por el lineamiento Cortaderas (LC).

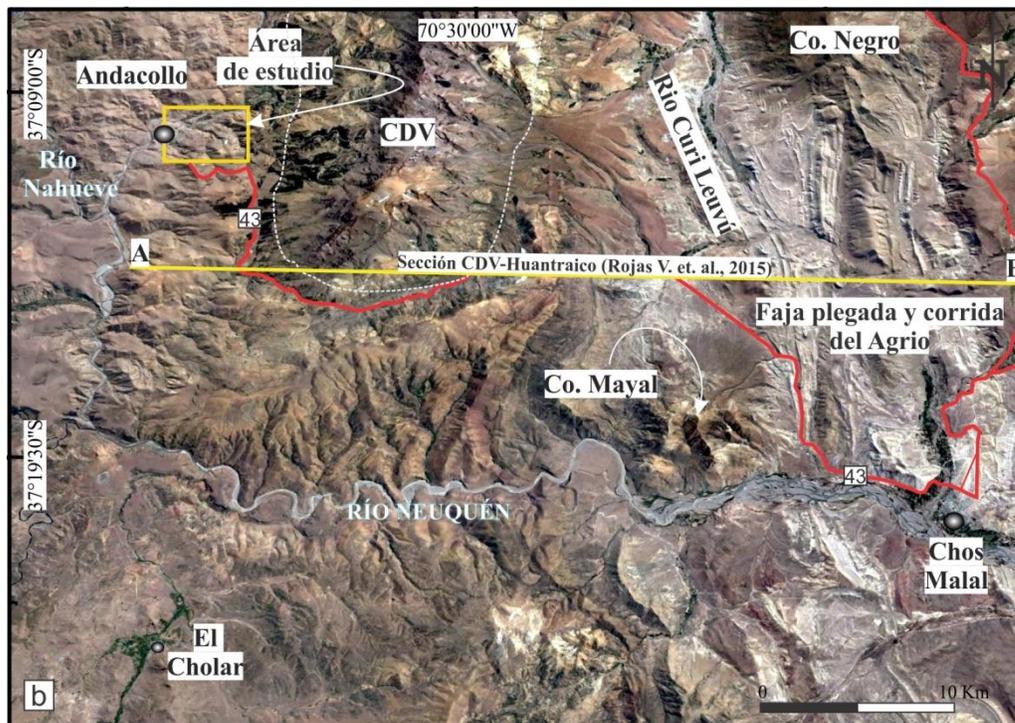
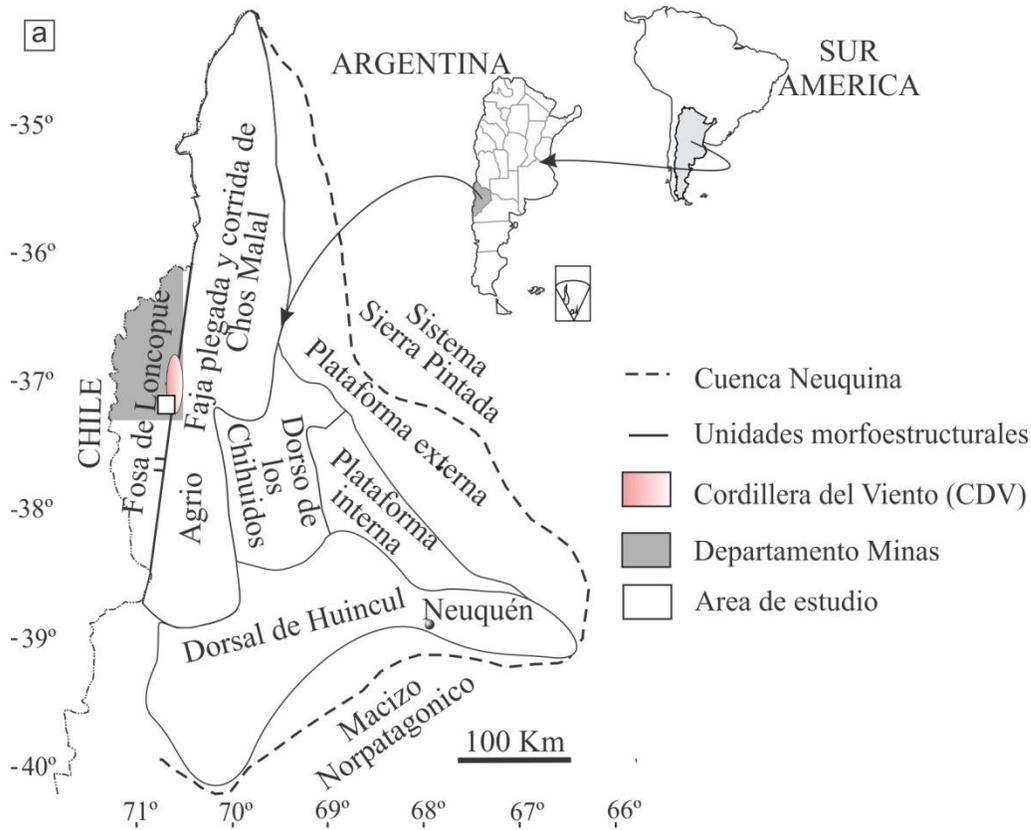


Figura 2.1. a) Ubicación de la zona de estudio en el contexto de la Provincia de Neuquén. CDV. b) Localización del sector de estudio en el recuadro amarillo al este el principal rasgo

geomorfológico denominado Cordillera del Viento. En líneas rojas se marcan las rutas de acceso a la zona de estudio.

2.2 Geología regional

Bracaccini, (1964), definió al Alto de la Cordillera del Viento (CDV) como una entidad orográficamente dispuesta de sur a norte, delimitada al sur y al norte por los lineamientos Cortaderas y Barrancas respectivamente, al oeste por la falla de cordillera del viento (Giacosa, 2011) y al este por la Faja Plegada y Corrida de Chos Malal (FPCC; Kozłowski et al., 1996) que deforma la secuencia sedimentaria mesozoica de la Cuenca Neuquina. La CDV se presenta como un gran braquianticlinal asimétrico (Zollner y Amos, 1973) cuyo núcleo y flanco occidental exponen las rocas del basamento Devónico-Triásico (Rovere et al., 2004). La estratigrafía de la CDV se resume en la Fig. 2.2.

La Cordillera del Viento está constituida por: 1) un basamento Chánico altamente deformado constituido por la Formación Guaraco Norte (Silúrico?-Devónico; Zappettini et al., 1987), 2) un basamento Gondwánico representado por rocas volcánicas y volcanoclásticas y sedimentitas marinas de edad carbonífera inferior a medio, afectadas por un metamorfismo de bajo grado que conforman el Grupo Andacollo con las formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco (Digregorio, 1972), 3) un basamento permo-triásico constituido por las rocas volcanoclásticas e intrusivos graníticos a granodioríticos del Complejo volcánico-plutónico Huigancó (Llambías et al., 2007) y 4) rocas volcánicas del Triásico Tardío Jurásico inferior representadas por las Formaciones Cordillera del Viento y Milla Michicó (Llambías et al., 2007; Leanza et al., 2005).

La unidad litoestratigráfica más antigua de la CDV es la Formación metasedimentaria Guaraco Norte (Zappettini et al., 1987, Giacosa et al., 2014) que está expuesta en el flanco noroeste de la Cordillera del Viento, fuera del área de estudio (Giacosa et al., 2014) cerca de la localidad de Varvarco. La Formación Guaraco Norte está compuesta de metareniscas ricas en cuarzo y pizarras finamente laminadas, cortadas por numerosas vetas de cuarzo y diques graníticos cerca de la localidad de Varvarco. La datación U-Pb SHRIMP confirma parcialmente una edad del Devónico superior, arrojando una edad de depositación máxima de 374 Ma y 389 Ma (Zappettini et al., 2014).

Cubriendo discordantemente a la Formación Guaraco Norte, yacen 2.100 m de espesor de rocas sedimentarias y volcánicas del Grupo Andacollo, que se desarrolla

principalmente al sudoeste del anticlinal de la Cordillera del Viento (formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco; Fig. 2.3).

La Formación Arroyo del Torreón está formada por tobas de composición andesítica y lavas riolíticas en la parte inferior que gradan hacia arriba a areniscas cuarzo feldespáticas y lutitas (Stoll, 1957; Zöllner y Amos, 1973; Digregorio y Uliana, 1980; Llambías et al., 2007). Los zircones ígneos en la cúpula de un domo riodacítico que intruye a estas rocas volcánicas dieron edades de $327,9 \pm 2,0$ Ma (U-Pb SHRIMP; Suárez et al., 2008), lo que permite asignar una edad Carbonífera temprana para la parte basal del Grupo Andacollo. La Formación Huaraco se apoya discordantemente sobre las unidades previas, y está formada principalmente por lutitas y areniscas marinas y niveles de conglomerados subordinados. Los invertebrados marinos (braquiópodos) y las plantas fósiles de *Rhacopteris* identificadas en la parte superior de este grupo permiten asignarle una edad Carbonífero tardío (Amos, 1972; Zöllner y Amos, 1973).

El Grupo Andacollo durante el Pérmico Temprano fue afectado por la fase orogénica de San Rafael, la cual generó el plegamiento y deformación en pliegues de orientación NO-SE y estructuras distensivas perpendiculares a las charnelas (Fig. 2.4).

La etapa de relajación tectónica post-orogénica durante el permo-triásico posibilitó la generación de estructuras extensionales de orientación E-O (Fig. 2.5) y el ascenso de magmas que dieron lugar a las rocas intrusivas y extrusivas del Complejo Volcánico Plutónico Huíngancó (CVPH), Formación La Premio y Granito Huíngancó, respectivamente, equivalentes al Grupo Choiyoi, con edades K / Ar de 260 ± 10 , 287 ± 9 Ma (Llambías, 1986) y 259 ± 18 Ma (De la Cruz y Suárez, 1997) y U-Pb edades de $283,4 \pm 1$ Ma (Sato et al., 2008).

En el triásico medio, se produce la discordancia Huárpica (Azcuy y Caminos, 1987) por un ascenso generalizado de la corteza seguido de una erosión y exhumación de las rocas del CVPH. Regionalmente, la discordancia Huárpica marca la transición entre la etapa post-orogénica cuando se formó el complejo volcánico-plutónico del Pérmico, y la etapa de rifting triásico producto de una extensión generalizada de orientación E-O, que permitió el ascenso rápido de magmas desde los niveles corticales a sublitosféricos.

Este nuevo evento magmático de tipo bimodal cubre las rocas del CVPH y está representado por la Formación Cordillera del Viento (FCD) del Triásico medio a superior,

que ocupa el núcleo del braquianticlinal (Figs. 2.1,2.2). Esta unidad fue considerada originalmente como parte del Grupo Choiyoi por [Rolleri y Criado Roque, \(1970\)](#), sin embargo [Llambías et al. \(2007\)](#) a través de descripciones detalladas lo correlacionó con el Ciclo Precuyano. La FCD está formada por conglomerados en la parte inferior, que gradan a areniscas, y finalmente flujos de lavas y diques andesíticos intercalados con ignimbritas riolíticas ([Leanza et al., 2005](#); [Llambías et al., 2007](#)). Esta formación tiene al menos 2.000m de espesor. El enfriamiento de las cámaras magmáticas superficiales, que dio lugar al magmatismo de la FCD, produjo el ascenso de magmas basálticos andesíticos de cámaras más profundas y originaron los 200m de espesor de coladas básicas que cubren rocas volcánicas y que fueron agrupados como Formación Milla Michicó de edad Triásico Superior a Jurásico inferior ([Llambías et al., 2007](#); [Leanza et al. , 2005](#); [Leanza et al., 2013](#)). Los afloramientos de la Formación Milla Michicó bordean el flanco oriental y sur del braquianticlinal de la CDV (Fig. 2.2b).

La fase diastrófica Río Atuel, marca el inicio de la ingresión marina del pacífico que acaeció durante el Jurásico inferior, y está representada en esta área por las Formaciones La Primavera y Los Molles pertenecientes al Grupo Cuyo ([Groeber 1946 nom. subst. Digregorio y Uliana 1975](#)). Ambas formaciones afloran delineando el flanco oriental y nariz sur del braquianticlinal de la CDV (Fig. 2.2b) ([Llambías et al., 2007](#)). La Formación la Primavera de 400m de espesor, está constituida por una sucesión volcanoclástica con niveles silicoclásticos con fósiles marinos y lavas basálticas. La Formación Los Molles está compuesta por más de 800m de lutitas negras anóxicas depositadas mayormente bajo un mecanismo de acumulación turbidítico. En forma subordinada se intercalan niveles conglomerádicos, calizas micríticas y nódulos calcáreos ([Llambías et al., 2005](#)).

La subsidencia regional y evolución tectónica de la cuenca Neuquina desde el Jurásico al Neógeno generó sucesiones de secuencias sedimentarias que totalizan más de 6000m de varios ciclos sedimentarios transgresivos y regresivos (Grupos Lotena, Mendoza, Bajada del Agrio, Neuquén y Malargüe) que se resumen en la columna estratigráfica de la (Fig. 2.2).

Durante el Cretácico superior y Paleógeno (100 y 40 Ma, [Rojas Vera et. al., 2015](#)) comienza la orogenia andina y la estructuración de la CVD y FPCC, con la consecuente

migración del arco magmático hacia el antepaís y la generación de las estructuras contraccionales N-S. Este magmatismo está bien representado al oeste de la falla regional Cordillera del Viento, constituido por flujos y rocas volcánoclasticas de la Formación Cayanta (Fig. 2.2b). Un segundo evento de deformación fue definido en el Mioceno tardío (15-10 Ma; Rojas Vera et al., 2015, y referencias allí citadas), lo que totaliza un acortamiento cortical de 9.5Km y la erosión de la secuencia sedimentaria mesozoica (Fig. 2.3). Sagripanti et al. (2014), basados en el mapeo de nuevas estructuras y su correlación con los datos geofísicos, al norte del área de estudio, establecieron que las estructuras contractivas andinas de orientación N-S no estaban claramente relacionadas con la reactivación de fallas normales previas.

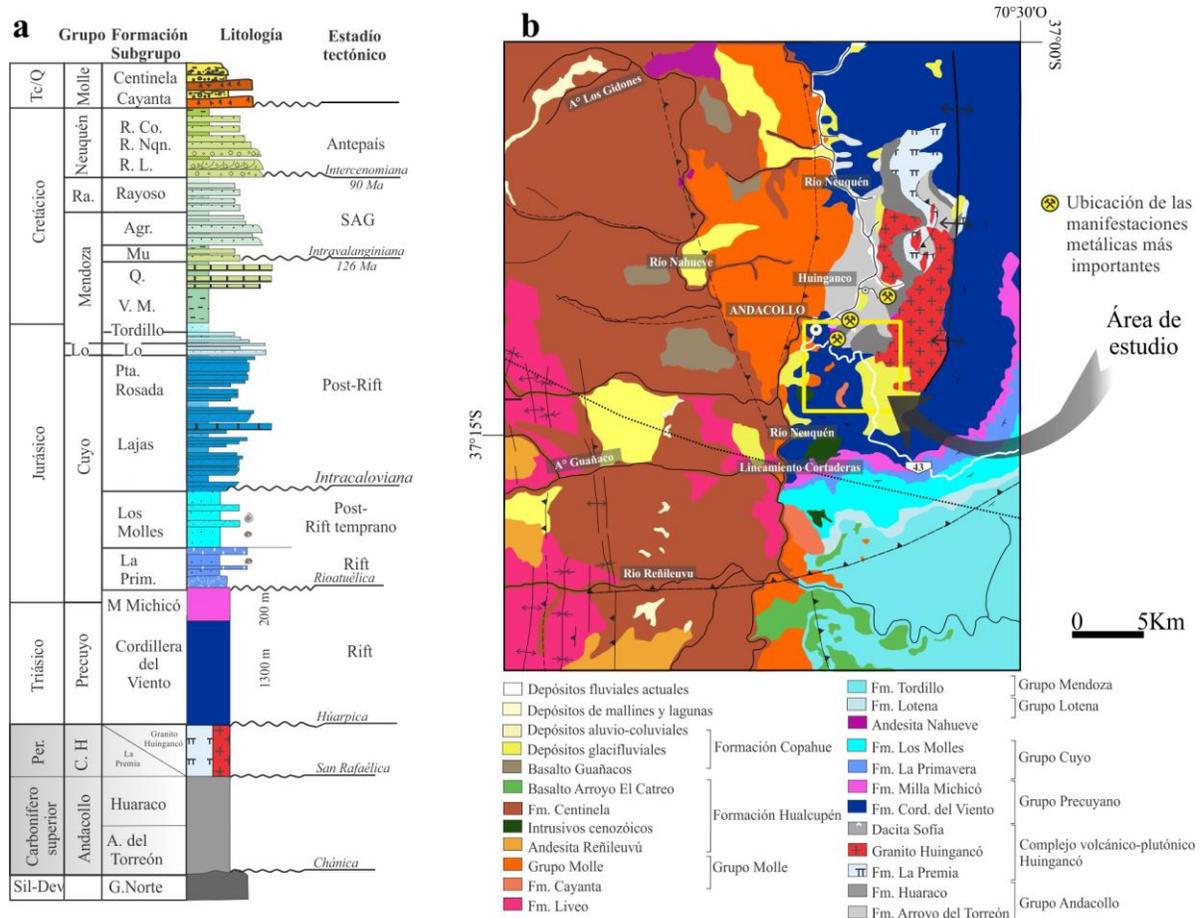


Figura 2.2. a) Columna cronoestratigráfica de la Faja plegada y corrida de Chos Malal (Cordillera del Viento). **b)** Mapa geológico regional (modificado de Rovere et al., 2004; Llambías et al., 2007) con la ubicación del área de estudio (recuadro amarillo) y las manifestaciones metálicas más importantes de la zona, indicadas con una estrella.

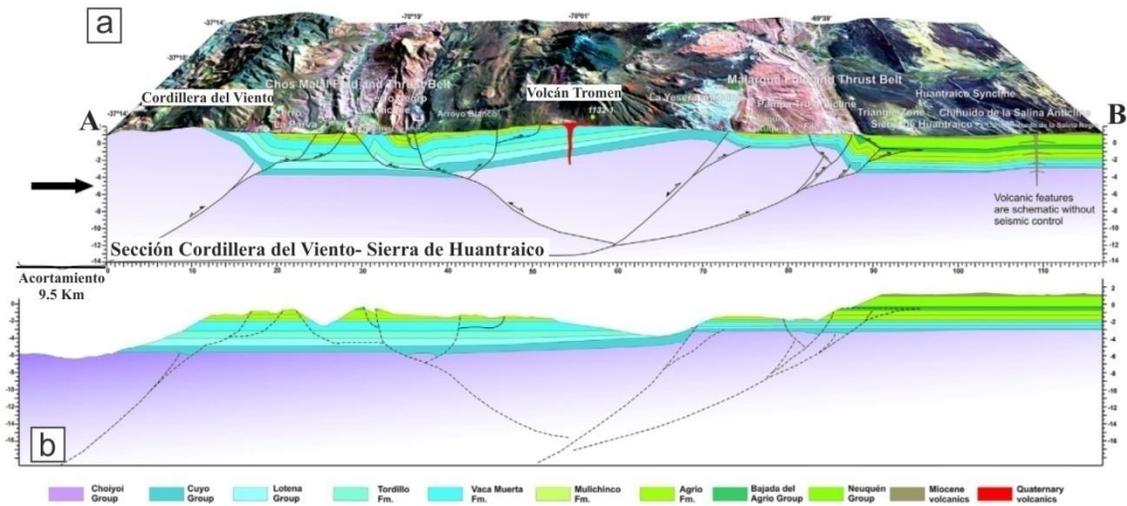


Figura 2.3. a, b) Sección estructural O-E con el cálculo del acortamiento total de 9.5km y balanceada, Cordillera del Viento - Sierra de Huantraico respectivamente (modificado de Rojas Vera et al., 2015).

2.3 Geología local

2.3.1 Descripción de las unidades litológicas aflorantes en el área de estudio

El área de estudio se emplaza en el flanco sudoeste de la CDV abarcando -10km^2 limitada entre los $37^{\circ}11'19.85''\text{S}$ y $70^{\circ}38'16.74''$, donde las máximas alturas 1504 y 1420msnm están dadas por los cerros Minas y San Pedro, y está atravesada por dos arroyos subparalelos de orientación NO-SE, Arroyo Del Torreón localizado hacia el oeste y Arroyo Huaraco hacia el este, que desembocan en el Río Neuquén al noroeste del área de estudio. En el área afloran la formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y unidades pertenecientes al Complejo Volcánico-Plutónico Huigancó, además de diques andesíticos basálticos y la Formación Cayanta.

Como parte del trabajo de campo se realizó el reconocimiento de las unidades geológicas del área de estudio y recolectado muestras, con el objetivo de determinar las relaciones de corte entre las unidades litológicas y estructuras, y su vinculación con la mineralización.

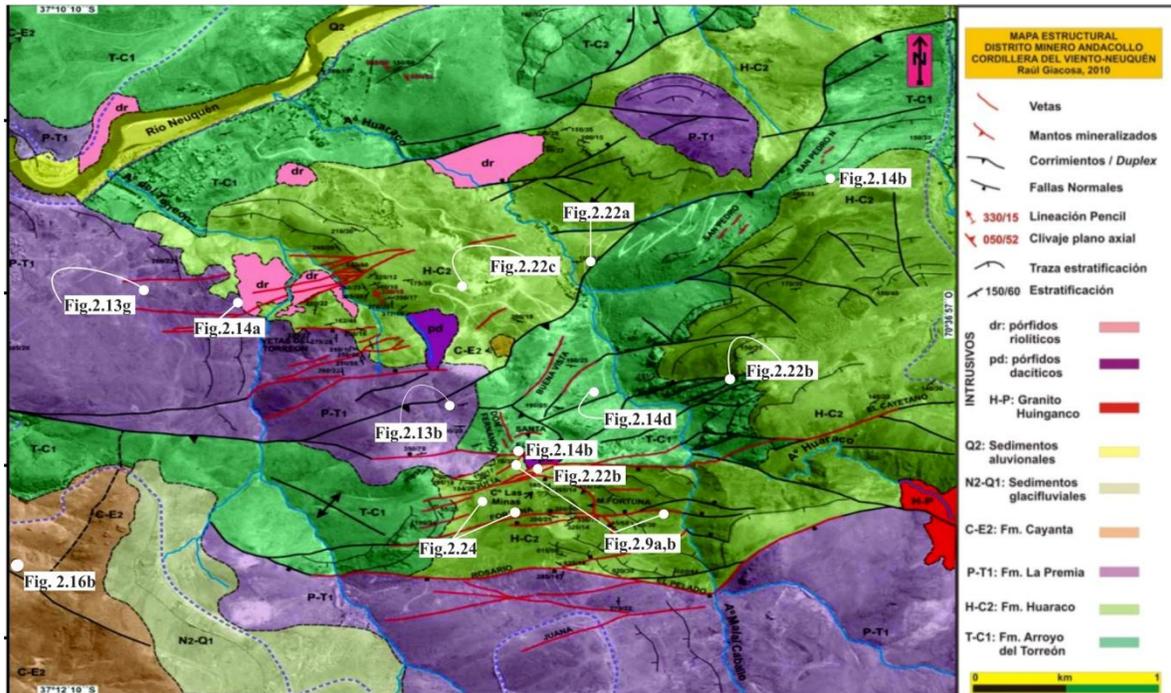


Figura 2.4. Geología del área de estudio. Se indican los puntos más relevantes de las fotografías de campo (modificado de Giacosa, 2011).

Formación Arroyo del Torreón

Esta formación aflora en dos fajas subparalelas con orientación NE-SO separadas por afloramientos de las unidades más nuevas (Formación Huaraco y unidades del CVPH, Fig. 2.4). Está representada por niveles de tobas cristalinas y líticas intercaladas con lapillitas y brechas volcánicas subordinadas con matriz muy fina indiferenciada de color gris verdoso (Fig. 2.5). En el sector occidental de la faja norte la Formación Arroyo del Torreón presenta intercalaciones de lutitas negras y areniscas. Todas las rocas están intensamente alteradas lo que dificulta muchas veces el reconocimiento de sus componentes primarios.



Figura 2.5. a) Contacto tectónico entre la Formación Arroyo del Torreón a la izquierda y la Formación Huaraco hacia la derecha. En líneas blancas las fallas que afectan a ambas unidades.

Formación Huaraco

Hacia la margen sur del río Neuquén y el sector central del área, se apoya en discordancia angular, y por sectores en contacto por fallas, las facies de conglomerados y areniscas que gradan hacia arriba a niveles de arcilitas y limolitas correspondientes a la Formación Huaraco (Fig. 2.4).

La base de la Formación Huaraco se distingue en el campo por su tonalidad pardo amarillento, y se han reconocido en la margen suroeste del Cerro Minas y margen este del arroyo Huaraco. Consiste en un conglomerado polimíctico que varía de matriz sostén a clasto sostén, compuesto por clastos redondeados a subredondeados con texturas porfídicas de composición dacíticas, riolíticas, clastos de cuarzo blanco policristalinos, areniscas y de lutitas negras angulosos, de tamaños variables entre 1 a 20cm. La matriz es de tamaño sábulo a arenisca media a gruesa, de similar composición con clastos de moderada a buena redondez de alrededor de 1 a 3cm con buena a muy buena selección.

Afloramientos de niveles psamíticos se reconocieron en la ladera sur del Cerro San Pedro (Fig. 2.6) y hacia el sur y este del Cerro Minas, y en la margen sur del Arroyo Huaraco. Su color está dado por la presencia de abundantes pátinas de óxido de hierro tapizando las fracturas. La roca está constituida por 75 a 85% de fracción clástica, 14 a 20% de matriz (material arcilloso), 1 a 4% de cemento y 0.5 a 1% de minerales accesorios. La fracción clástica está integrada por granos subangulosos a subredondeados de tamaño arena fina a mediana 0.25 a 0.50mm, con predominio de la fracción media.

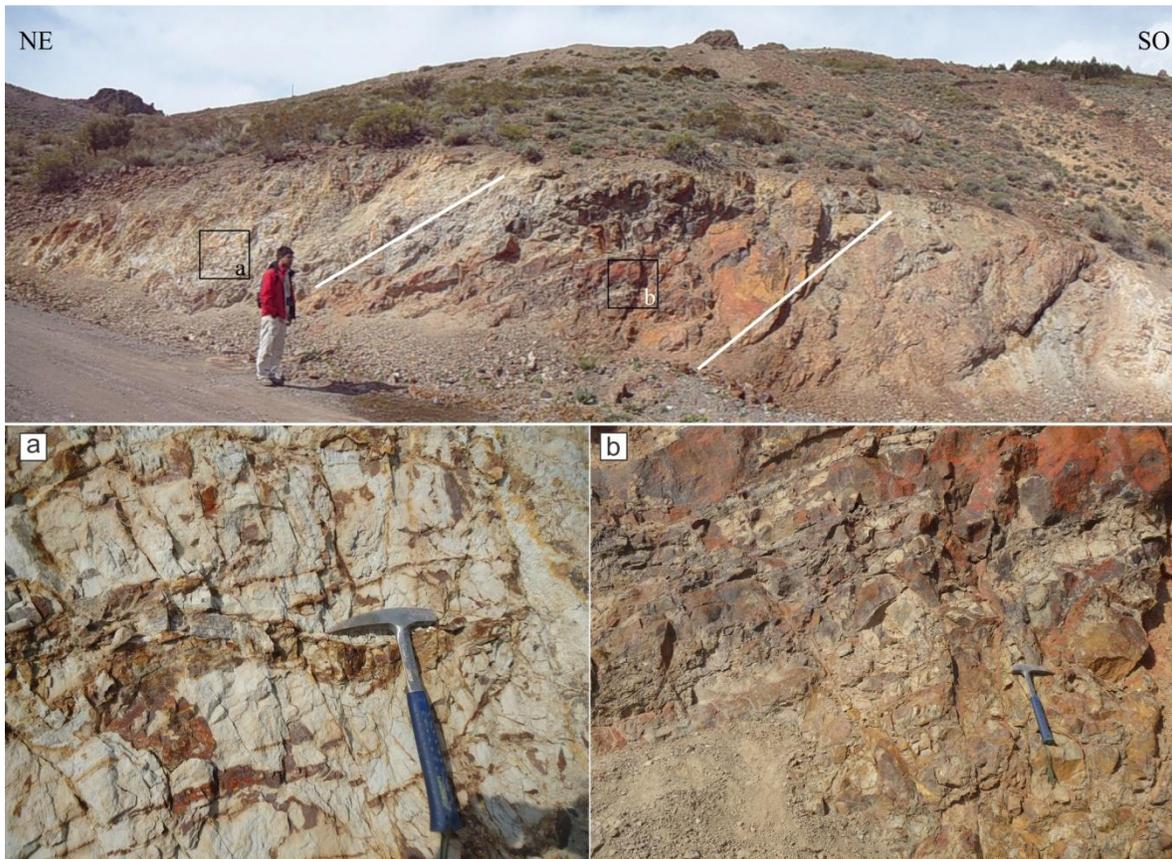


Figura 2.6. Fotografía de campo. Afloramiento de la facies de areniscas de la Formación Huaraco en la ladera sur del Cerro San Pedro. En líneas blancas las fallas que afectan a esta unidad.

Mineralógicamente, la fracción clástica está conformada por cuarzo (30 a 70%), feldespato (10 a 15%) y fragmentos líticos (25 a 55%) por lo que caen en el campo de areniscas cuarzo-feldespáticas a areniscas líticas (Folk et al., 1970). Los líticos identificados son metacuarcitas de grano fino, lutitas, esquistos micáceos (Fig. 2.7). Entre los tipos de cuarzo se identificaron cuarzo policristalino, cuarzo monocristalino, y cuarzo con extinción ondulante. Entre los clastos de feldespatos predominan las plagioclasas con maclas polisintéticas parcialmente alteradas, feldespatos potásicos y microclino subordinados. Como accesorios hay micas, circones y monacitas?. La matriz es arcillosa, de color castaño y conformada por illita-illita/smectita y caolinita.

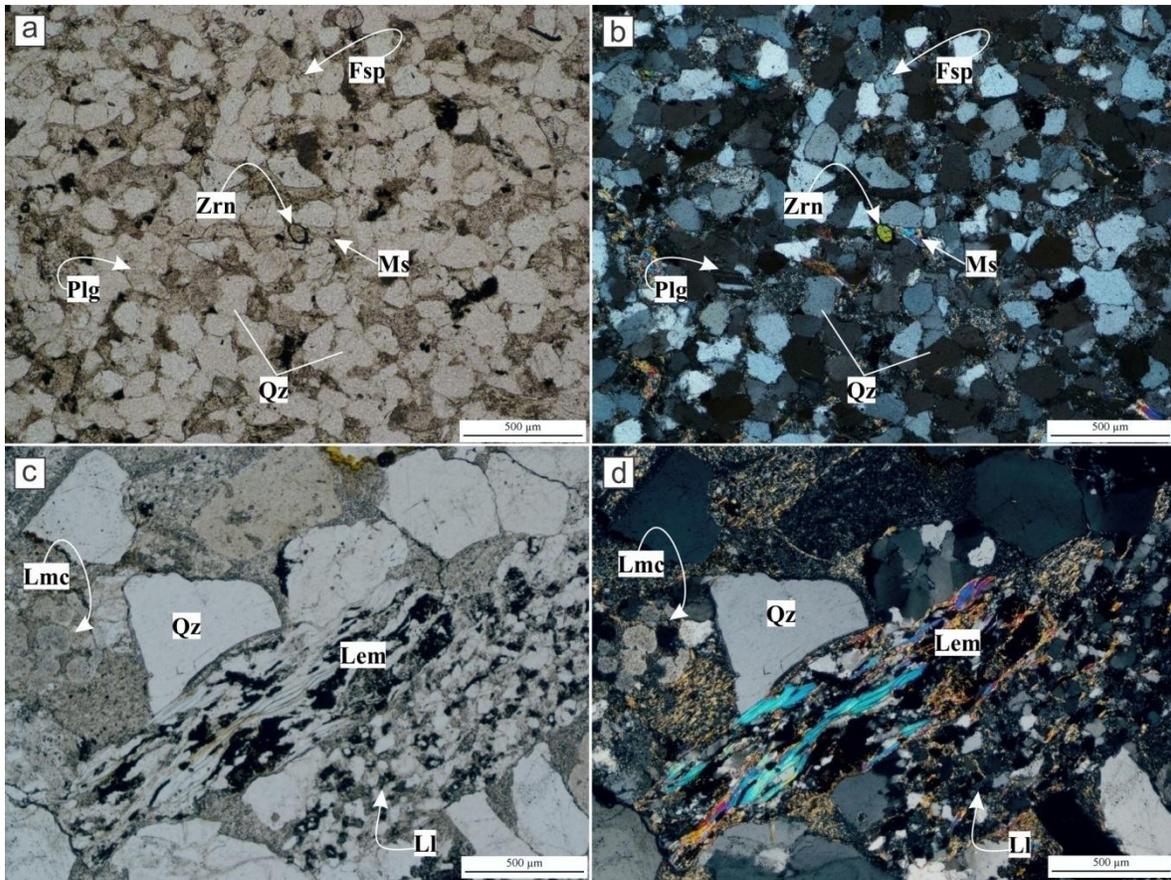


Figura 2.7. Microfotografías con luz transmitida, que muestran los dos tipos de areniscas. **a, b)** Arenisca cuarzo-feldespática, donde se observan finos cristales de muscovita y circones como accesorios. **c, d)** Arenisca lítica conformada por fragmentos de metacuarcitas (Lmc), fragmentos de esquistos micáceos (Lem) y fragmentos de lutita (Ll).

Las facies más finas tienen una mayor distribución areal y presentan los mayores espesores dentro de la Formación Huaraco. La roca es una lutita negra (Fig. 2.8) con estratificación paralela, que en los sectores donde grada a facies más gruesas presentan estructuras tractivas ondulitas (Fig. 2.9). Al microscopio petrográfico presenta escasos fragmentos clásticos de cuarzo y feldespatos que constituyen entre un 2 a 3% del volumen total de la roca en una matriz fina rica en minerales arcillosos (Fig. 2.10).



Figura 2.8. Muestra de mano representativa de la lutita de la F. Huaraco extraída de interior de galería Nivel 4. Se observan las venillas de Cal+Qz+Chl±Py y venillas de Py.



Figura 2.9. Fotográficas de campo. **a)** Estructura tractiva representada por ondulitas en ladera este del Cerro Minas. **b)** Estratificación paralela en ladera sur del Cerro Minas.

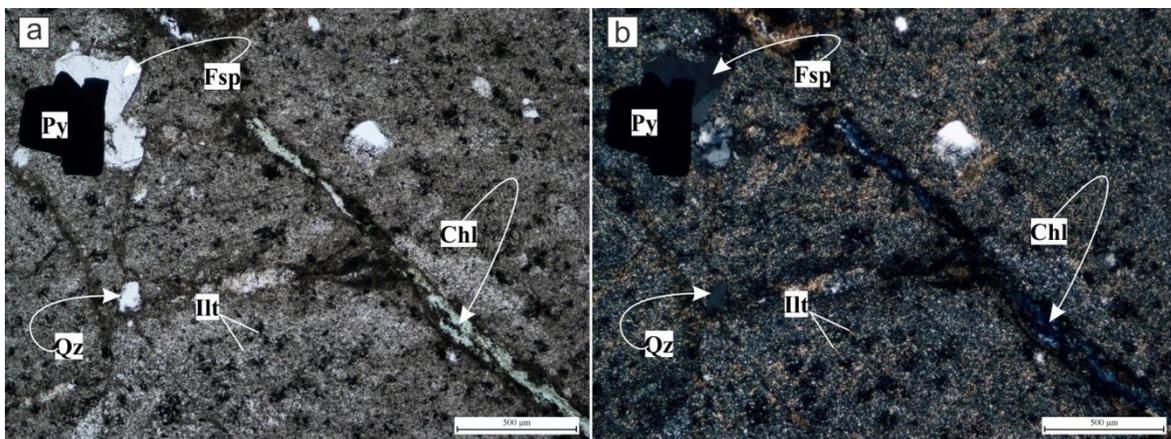


Figura 2.10. Microfotografías con nicols paralelos y cruzados de la lutita. Se indican los escasos fragmentos de cuarzo y feldespato en una matriz conformada por minerales arcillosos. La venilla de clorita corta la roca.

Los análisis de difracción de rayos X permitieron identificar que la matriz de esta roca está compuesta principalmente por illita y escasa esmectita (Fig. 2.11a, b). A partir de la interpretación de las reflexiones donde la esmectita presenta reflexión a $14,43\text{\AA}$ en la muestra seca al aire con desplazamiento en su reflexión a $17,14\text{\AA}$ en la muestra glicolada. La illita se identificó por sus picos característicos en $10,04\text{\AA}$ y $4,996\text{\AA}$. Los picos en $14,47\text{\AA}$ y $7,087\text{\AA}$ en muestra seca al aire y en muestra glicolada corresponden a clorita (Fig. 2.11a, b). Si bien se identificó clorita, está no se encuentra como componente primario de la roca, sino en venillas distales que cortan la roca (ver cap. III).

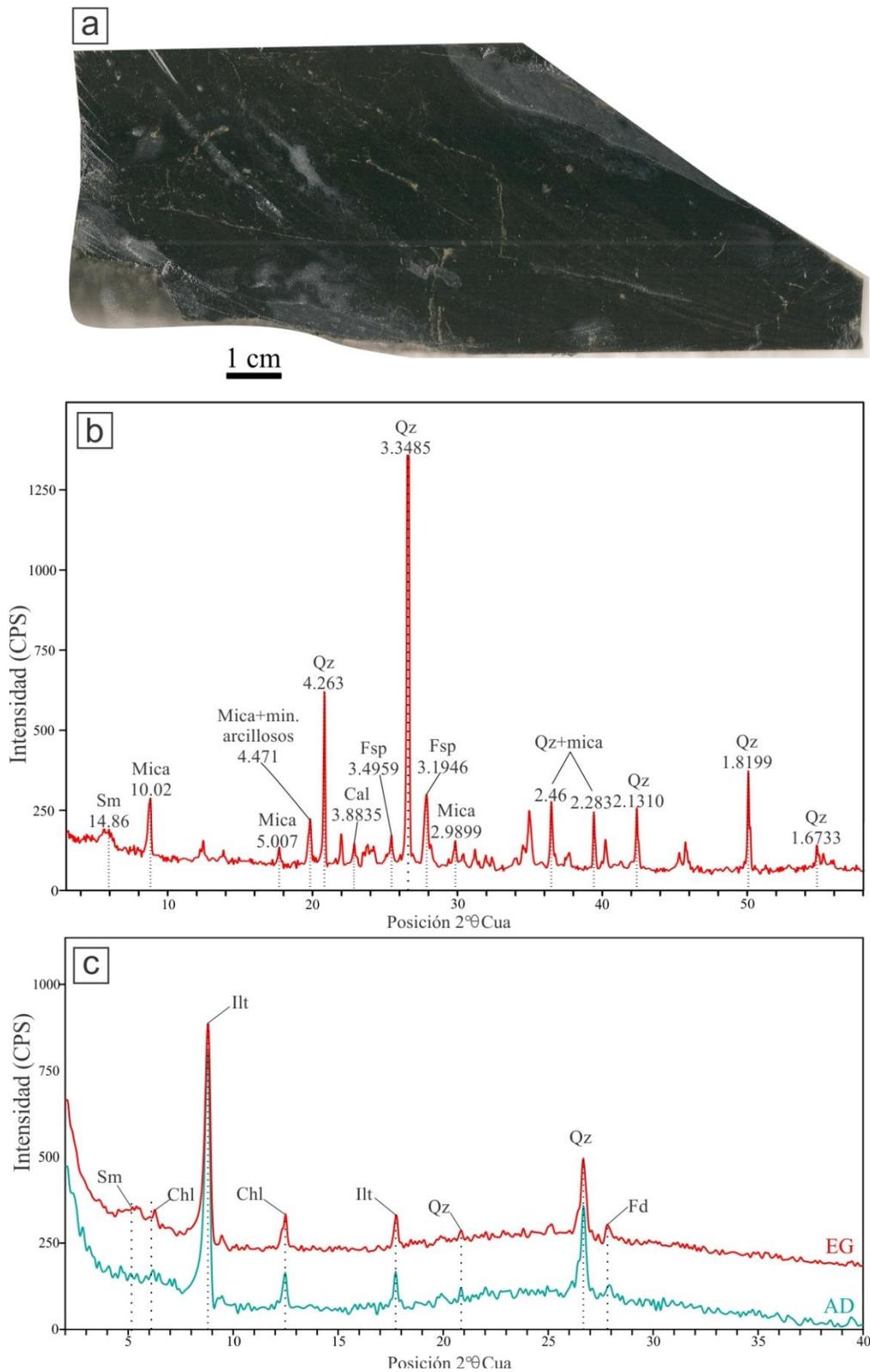


Figura 2.11. a) Muestra representativa de la lutita de la Formación Huaraco en sondeos. **b)** Difractograma de rayos X de roca total (RT). **c)** Difractograma de muestra orientada

glicolada (EG) y muestra seca al aire (AD).

Formación La Premia

Esta unidad aflora en el sector sur, en el centro-este con orientación Este-Oeste y en un afloramiento menor al sudoeste del Cerro San Pedro (Fig. 2.4). Se apoya sobre la Formación Arroyo del Torreón en contacto tectónico y discordante con la Formación Huaraco (Fig. 2.13a). Está compuesta por intercalaciones de facies de conglomerados y brechas volcánicas, tobas cristalinas, líticas y tobas vítreas de colores morados a grises. Este último color está dado por la oxidación. En sectores grada a facies de ignimbritas silíceas moderadamente soldadas. Las facies de tobas cristalinas se reconocieron en el noroeste del área, y están compuestas por cristales y cristaloclastos de plagioclasas y litoclastos mesosilíceos en una matriz desvitrificada $<100\mu\text{m}$. El espesor medio de los bancos de tobas cristalinas es de 500m (Zollner y Amos, 1955; 1973). Los niveles de tobas cristalinas compuestas principalmente por 50 a 60% de cristales euhedrales de plagioclasas (0.5 a 1.5cm) y 5% cuarzo anhedral (Fig. 2.12).

Los afloramientos de las tobas líticas (Fig. 2.12) de color morado estratificadas están compuestas principalmente por líticos andesíticos y pómez de tamaños variables en una matriz fina compuesta por cristales y fragmentos de plagioclasas y biotita. Los cristaloclastos (70%) predominantes son de plagioclasas euhedrales tabulares con tamaño 0.5 a 2cm, muscovita euhedrales de 0.5mm, biotita fina y escasos cuarzos ($<0.5\%$). Los fragmentos líticos (30%) son volcánicos porfíricos de composición andesítica, y fragmentos de pómez deformadas (fiames) de tonalidad oscuros que rondan los 1 a 5cm (Fig. 2.13d).

Los niveles de tobas líticas gradan hacia arriba a niveles de tobas vítreas formadas principalmente por fragmentos de pómez, cristaloclastos y líticos en una matriz rica en trizas vítreas (Fig. 2.12). Los fragmentos de pómez están moderadamente deformados constituyendo una textura eutaxítica.

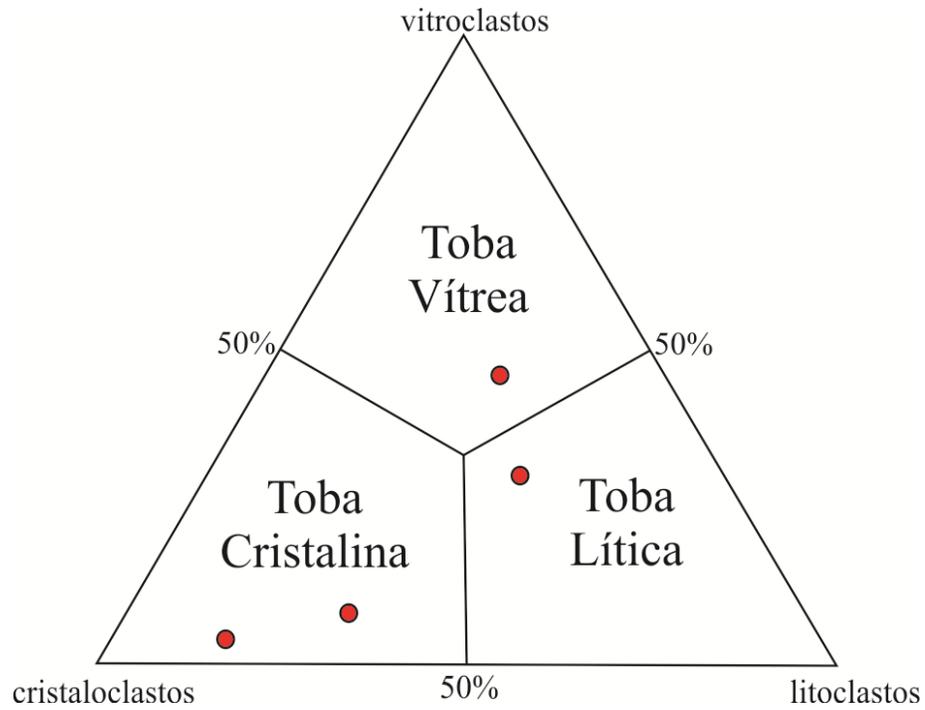


Figura 2.12. Ploteo de las muestras de afloramientos y de sondeos estudiadas. (basado en IUGS, 1980)

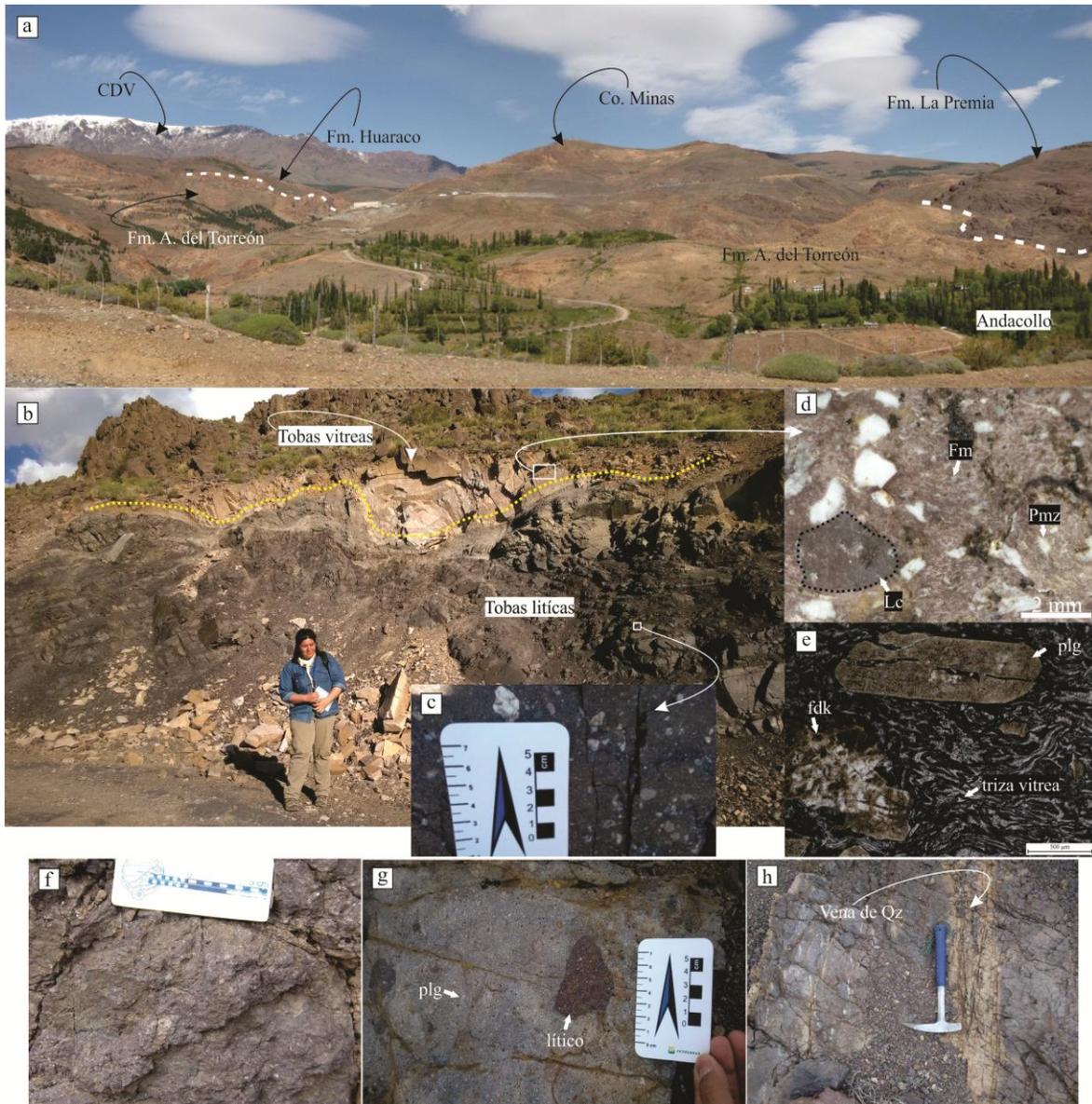


Figura 2.13. Fotografías de campo y gabinete. **a)** Fotografía panorámica donde se observa el contacto discordante erosivo entre la formaciones La Premia, Arroyo del Torreón y Huaraco. **b)** Afloramiento de dos facies de tobas camino de ascenso a mina Don Fernando. La base conformada por tobas cristalinas estratificadas de grano fino gris morada, por encima apoyan tobas vítreas con cristaloclastos de plagioclasas, feldspatos potásicos, cuarzo y líticos volcánicos. Hay abundancia de pómez deformados. **c)** y **d)** Detalle de ambas facies piroclásticas (toba lítica AND-39 que grada a toba vítrea). **e)** Microfotografía de la toba con matriz rica en trizas vítreas. **f)** Afloramiento de toba lítica en inmediaciones del Cerro Minas. **g)** Afloramiento de toba lítica al noroeste del área de estudio. **h)** Venas de cuarzo sin mineralización cortan a la formación La Premia. **Referencias: fm: fiames, pmz: pómez, lc: líticos.**

INTRUSIVOS

En relación de intrusividad con las unidades anteriores se identificaron: domos riolíticos, intrusivos dacíticos, y diques y filones capa andesíticos basálticos (Fig. 2.4).

Domo Riolítico

Conforma un afloramiento con una superficie de 140m^2 . Fue identificado por [Stoll \(1957\)](#), [Llambías et al., \(2007\)](#) y [Giacosa \(2010\)](#) en el Arroyo del Torreón donde intruye a la Formación La Premia (Fig. 2.4) generando una aureola térmica de 1 a 2.5m de ancho. En el arroyo Huaraco están en contacto discordante con la homónima y en sus bordes se identificaron xenolitos angulosos de lutitas negras ([Pons pers. comun.](#)). El cuerpo presenta una textura porfírica compuesta por cristales de cuarzo euhedrales a subhedrales con engolfamientos, plagioclasas euhedrales, sanidina y muscovita (0.25 a 1.5cm) en una pasta afanítica con texturas de desvitrificación. El borde del domo presenta bandas de flujo paralelas al contacto. Las texturas de desvitrificación que predomina son las esferulitas de 0.8 a 0.25mm de diámetro, estas engloban microfenocristales de feldespatos alcalinos y cuarzo. Se presentan simples y en racimos o anidadas (varias esferulitas coalescentes lateralmente; Fig. 2.15a, b). La roca presenta una alteración intensa (ver cap. III: sección 3.3).

Intrusivos dacíticos

Otras facies subvolcánicas afloran en la sección media norte del Cerro Minas y en el Cerro San Pedro. Este intrusivo generalmente está cerca de los contactos tectónicos entre las formaciones Huaraco y Arroyo del Torreón con rumbos predominantes E-O y en el Cerro San Pedro N-S ([Pons pers. comun.](#)) donde se destacan rocas de textura porfírica de tonalidad grisáceas (Fig. 15a). La roca está conformada por fenocristales de plagioclasas <2mm (30%), anfíboles, cuarzo euhedral 1 a 5mm (1-3%) y muscovitas? de 0.5 a 1cm (10%) en una pasta afanítica microcristalina gris verdosa (55 a 60%). La roca presenta alteración clorítica intensa (ver cap. III, 3.3).

También se reconoció un cuerpo dacítico en la margen sur del río Neuquén hacia el NO de Andacollo, donde intruye a la Formación La Premia, y en el faldeo norte. En ambos sectores presenta un color verde grisáceo claro y textura porfírica, y los componentes principales son fenocristales de plagioclasas (35 a 39%), de cuarzo (1 a 5%), anfíbol (1 a 4%), muscovita (1%) y feldespatos potásicos (<1%), en una pasta (60%) de grano muy fino <0.125mm gris verdosa. Se observa magnetita como mineral accesorio y trazas de apatito. Posee boxwork de sulfuros y calcita asociada a piritas oxidadas (Fig. 2.15c, d).

Diques y filones capa andesíticos basálticos

Diques subverticales de rumbo E-O (N270°) y filones capas de composición andesítico-basálticos, se reconocieron en la margen norte del Cerro Minas y en la vertiente oeste del arroyo Huaraco (Fig. 2.14d). Son de color verde-grisáceo oscuro e intruyen a todas las unidades anteriormente descriptas. Sus espesores varían de 0.5 a 2m, y comúnmente presentan vesículas en sus bordes.

Estos cuerpos subvolcánicos poseen textura inequigranular amigdaloides compuesta por fenocristales de plagioclasas y máficos (100 a 220 μm) en una matriz intersertal granular donde los clinopiroxenos y opacos ocupan los intersticios entre los microlitos de plagioclasa (Fig. 2.15e, f). Por sectores presenta amígdalas 200 a 300 μm , las mismas están rellenas por prehnita (10 a 30 μm) de hábito fibroradial a tipo corbata de pajarito. Este mineral está parcial a totalmente reemplazado por minerales de alteración (clorita, cuarzo, calcita).

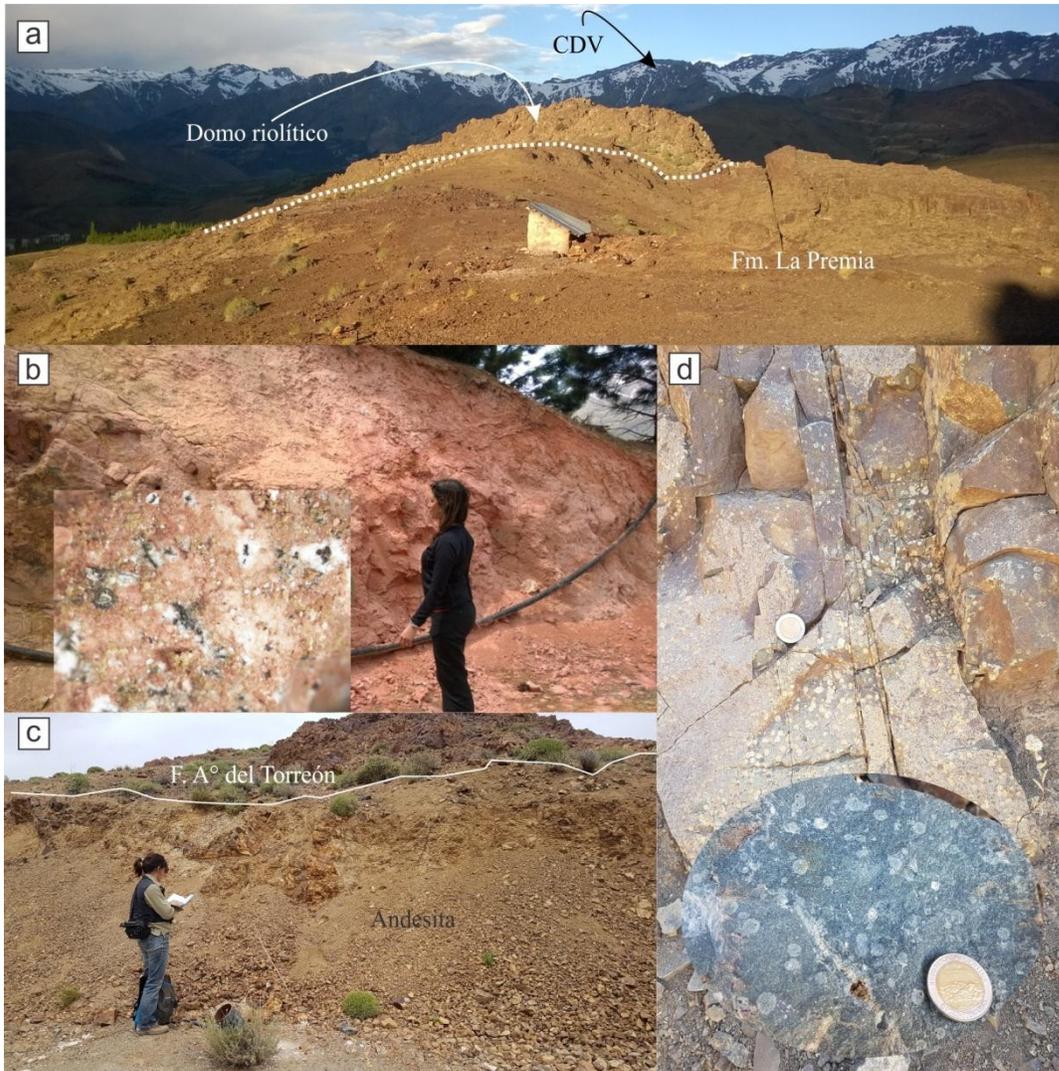


Figura 2.14. Fotografías de campo. **a)** Pórfido riolítico que intruye la formación La Premio en la margen oeste del arroyo del Torreón. **b)** Intrusivo dacítico aflorante en Cerro San Pedro intensamente alterado. **c)** Afloramiento de la andesita en margen norte del Cerro Minas. **d)** Dique amigdalóide.

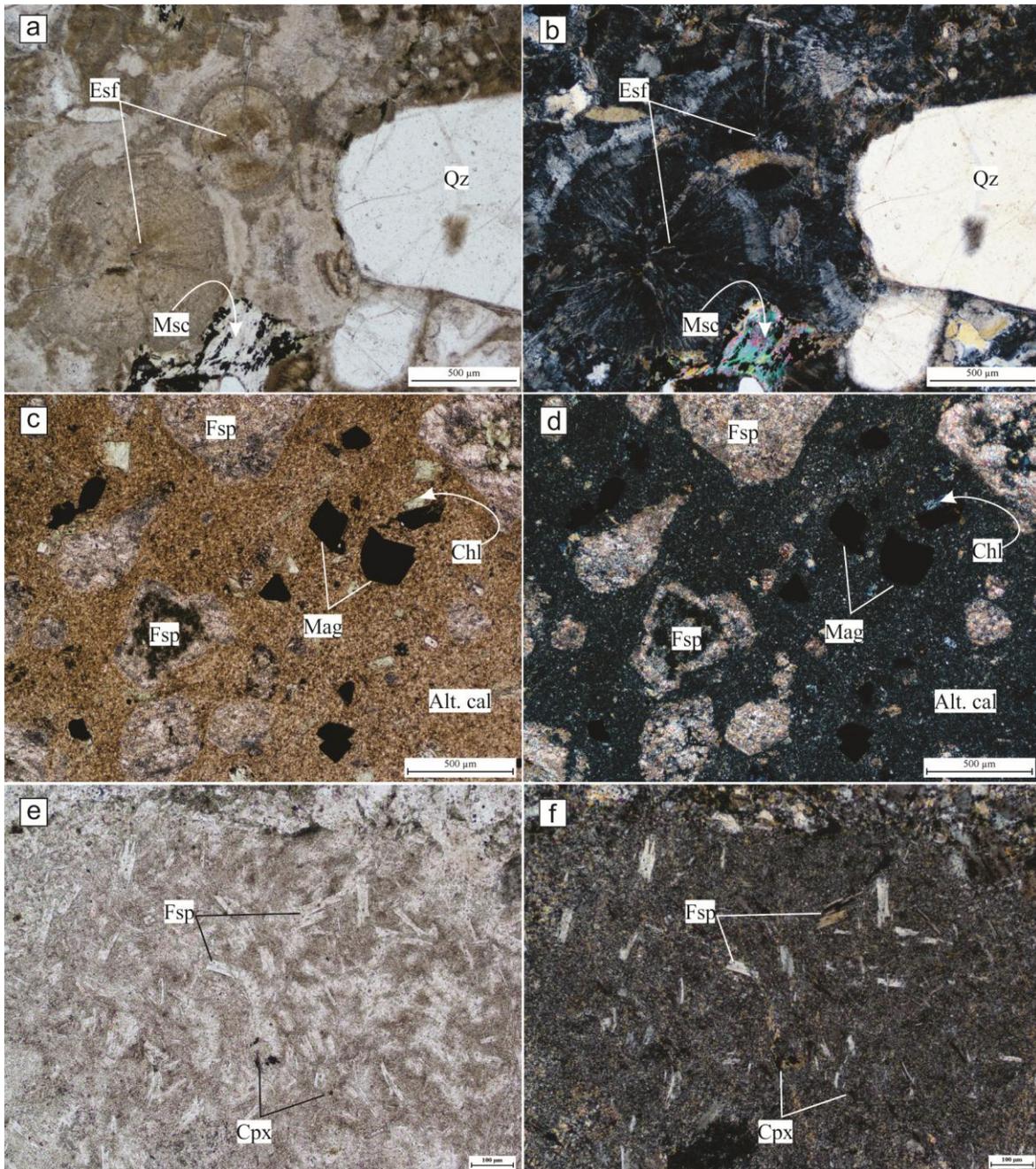


Figura 2.15. Microfotografía con nicóles paralelos y cruzados de las unidades intrusivas. **a, b)** Texturas de desvitrificación en la pasta de la riolita con cristales cuarzo y escasos y finos cristales de muscovita. **c, d)** Textura microporfírica de los diques andesíticos. **e, f)** Detalle de la composición de la pasta del dique andesítico amigdalóide que intruye las vulcanitas de la formación Arroyo del Torreón.

Formación Cayanta

En el campo se reconoce hacia el suroeste de la zona de estudio y cubre en discordancia angular a las formaciones previas adyacente a la ruta provincial N°43 (Fig. 2.16a). La base de los afloramientos corresponde a una autobrecha monomíctica de

fragmentos de andesita en una matriz ígnea de grano muy fino (Fig. 2.16b), que grada hacia arriba a una roca coherente. Macroscópicamente, la roca (Fig. 2.16c) presenta textura porfídica de grano medio a grueso compuesta por fenocristales de anfíboles prismáticos grandes (0.5 a 2cm) de plagioclasas de (3 a 5mm) inmersos en una matriz afánítica fina (350 a 500 μ m) de color gris claro. De acuerdo a esto se puede clasificar como una andesita porfídica anfibólica coincidiendo con las descritas por [Llambías y Rapela, \(1987\)](#). La roca presenta alteración débil a moderada (ver cap. III, sección 3.3).

En este sector, la andesita está afectada por una falla que genera un diaclasamiento subparalelo intenso generando una brecha de falla, cementada luego por minerales de alteración hidrotermal (ver cap. IV).

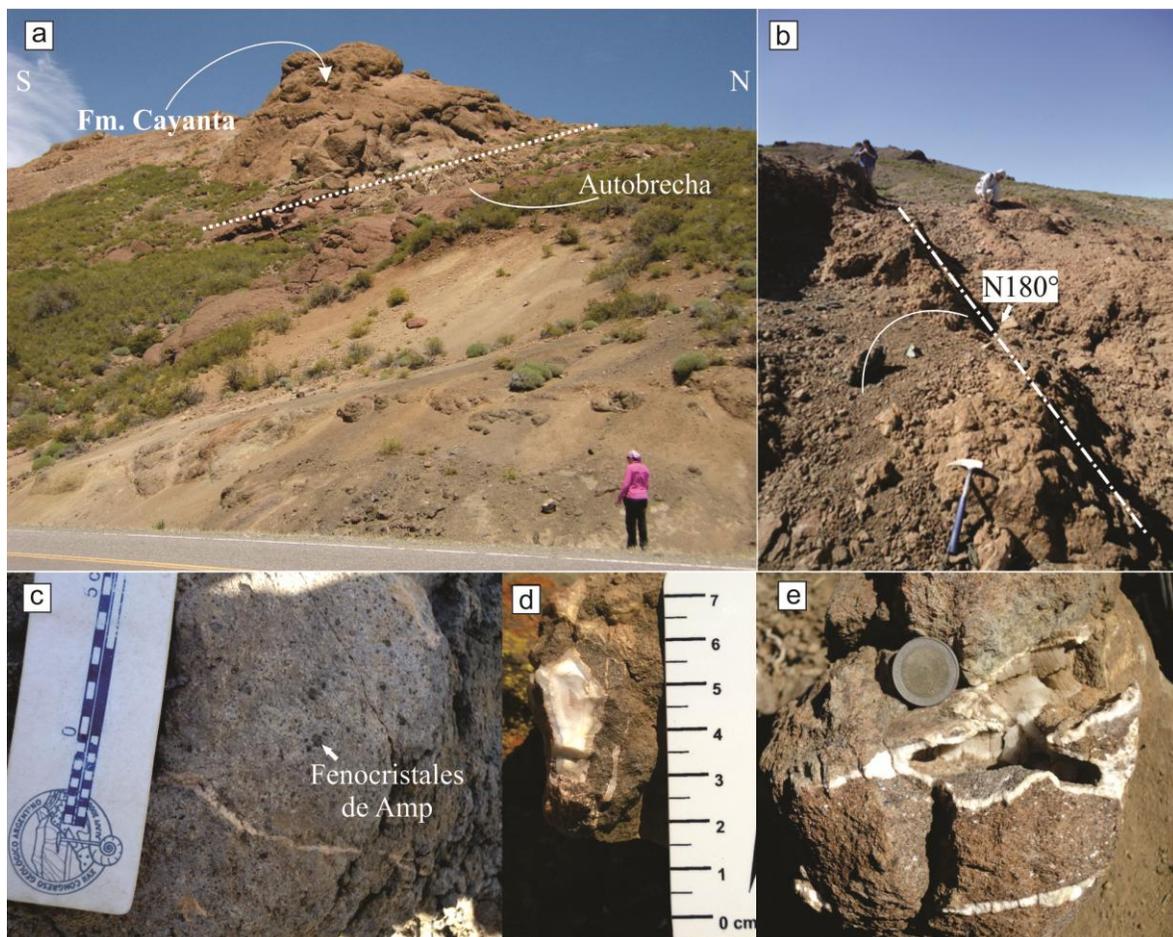


Figura 2.16. Fotografías de campo de las unidades correspondientes a Fm. Cayanta. **a)** Afloramiento de andesita porfídica anfibolita en el tope que grada a brecha volcánica en la base (foto extraída de Pons, 2016). **b)** Autobrecha con rumbo N180°. **c)** Roca volcánica conformada por fenocristales de anfíboles inmersos en matriz fina grisácea. **d)** Venillas y espacios abiertos rellenos de calcita euhedral a subhedral en andesita anfibólica. **e)** Detalle de vena de calcedonia bandeada concéntrica.

A partir de las observaciones de campo y de los estudios previos se confeccionó la columna litológica de la zona de estudio y un mapa geológico/estructural de detalle del Cerro Minas donde aflora el sistema de vetas Sofía-Julia-Valencia.

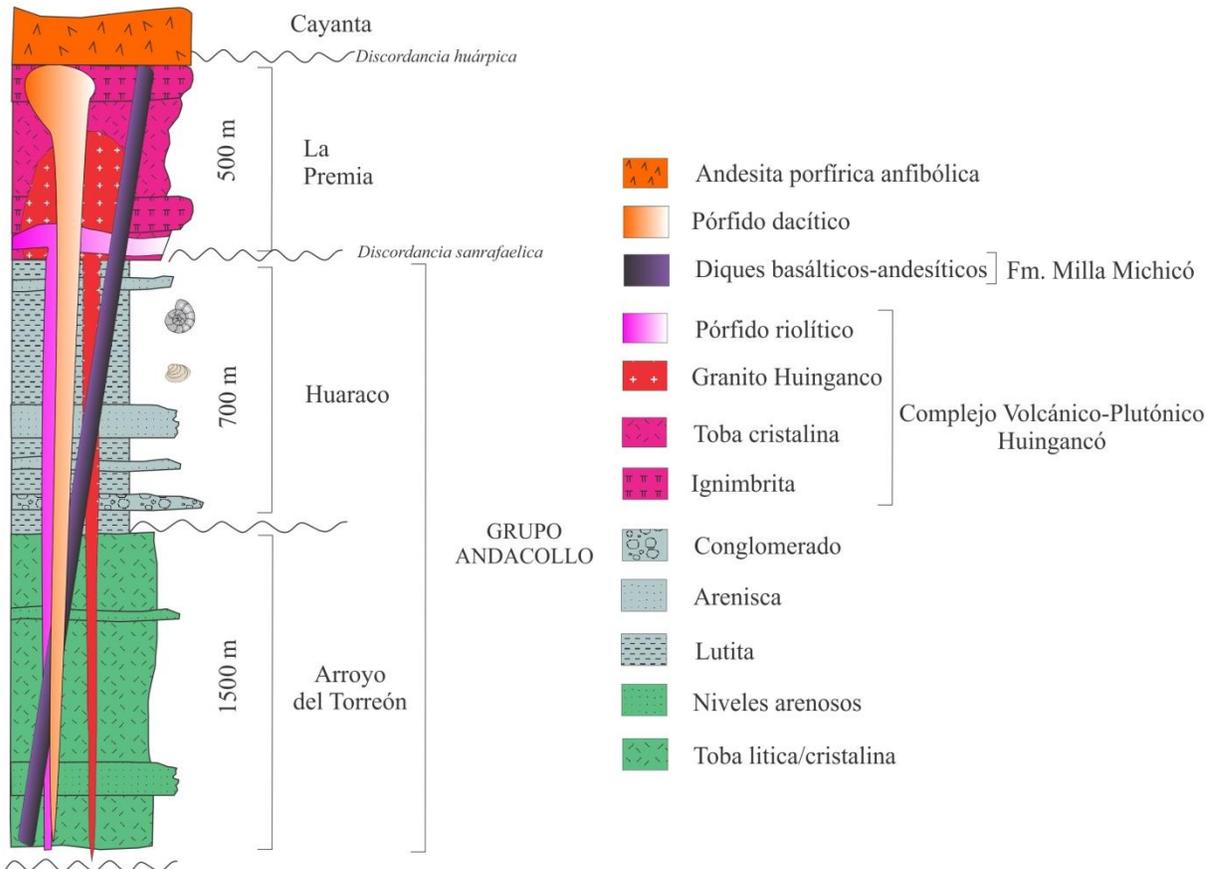


Figura 2.17. Columna litológica de detalle del área de estudio (modificada de [Llambías et al., 2007](#)).

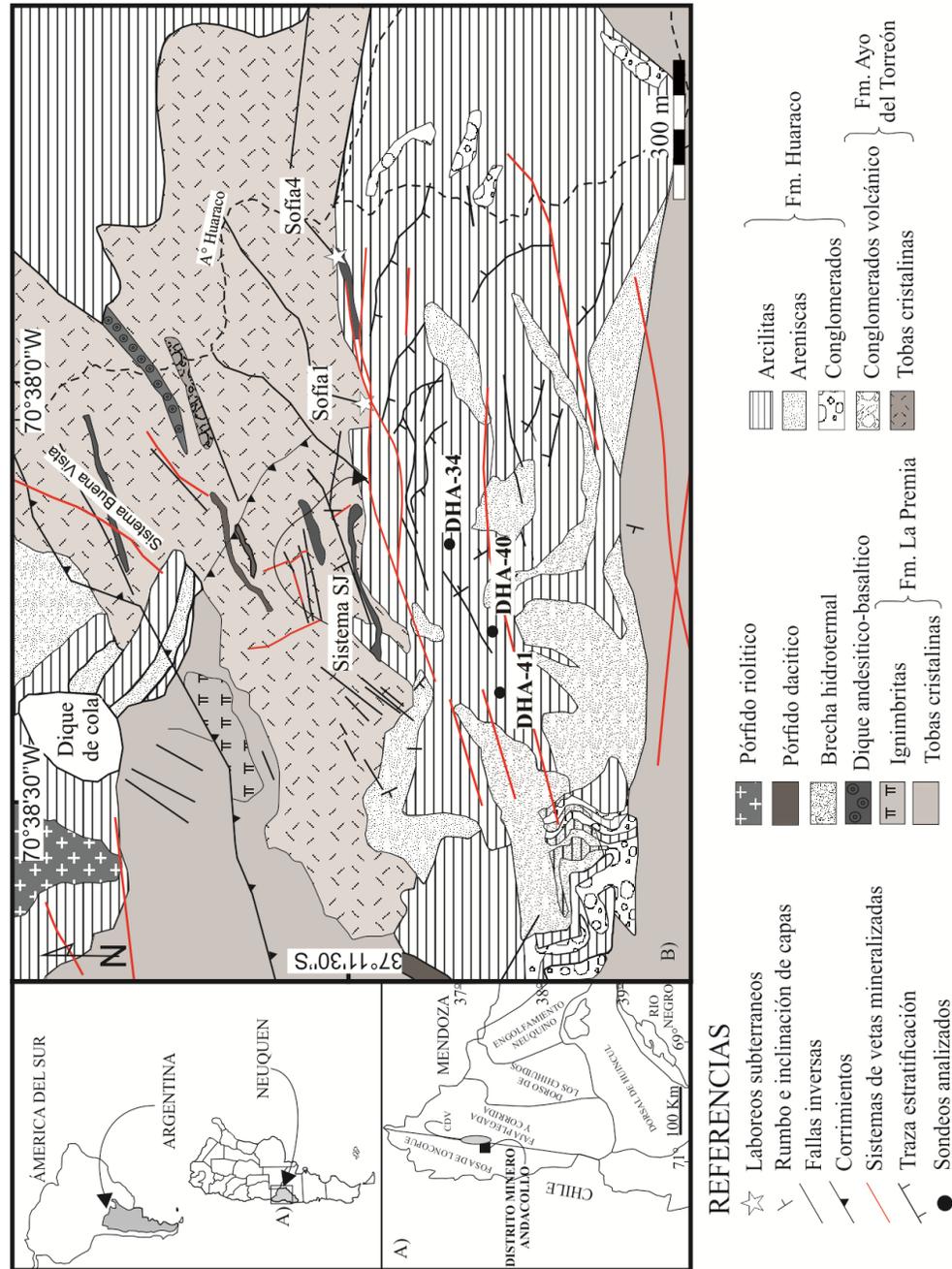


Figura 2.18. Mapa geológico de detalle del sector del cerro Minas (modificado de Giacosa 2011 y Magsa 2008).

2.3.2 Descripción de las unidades litológicas en sondeos y galería

Se logearon tres sondeos disponibles a lo largo del sistema Sofía-Julia-Valencia (Figs. 2.19a ,b).

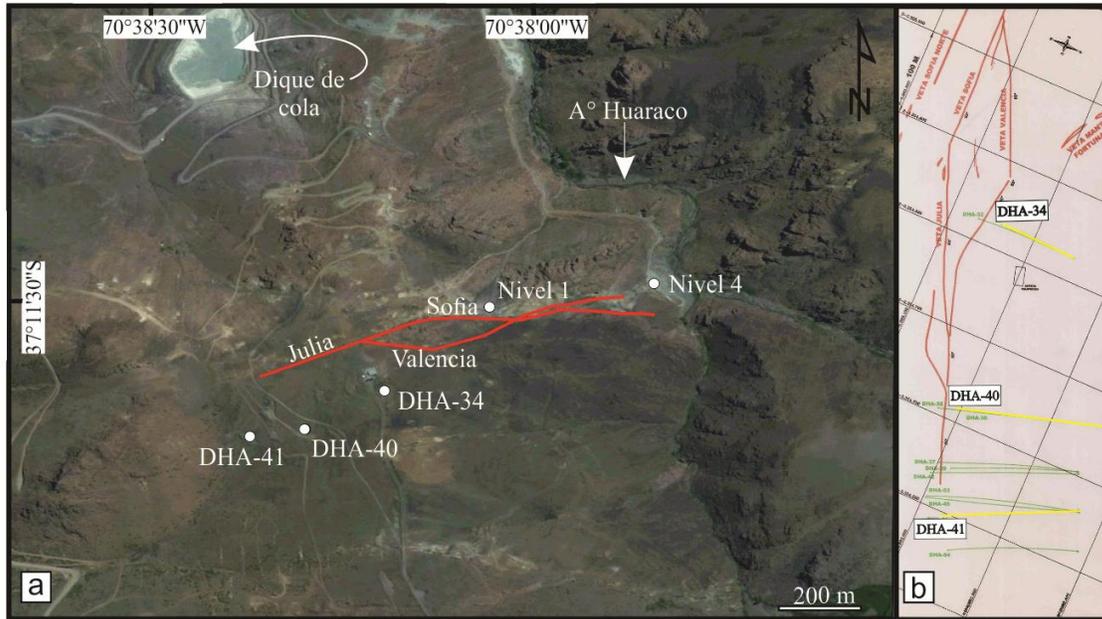


Figura 2.19. a) Ubicación geográfica de los sondeos seleccionados para su estudio y boca mina de los niveles 1 y 4 que interceptan la veta Sofía. **b).** Mapa con la ubicación de todos los sondeos que atraviesan al sistema Sofía-Julia-Valencia realizados por Magsa (Magsa 2008).

Los tramos estudiados de los sondeos DHA-41 (47 testigos), DHA-40 (25 testigos) y DHA-34 (21 testigos) permiten definir a la litología hospedante de la mineralización como perteneciente a la Formación Huaraco (Carbonífero superior; Rovere et al., 2004 y referencias allí citadas), que aloja la mineralización del sistema Sofía-Julia-Valencia con orientación predominante E-O y N60°. Los sondeos atraviesan diferentes litologías siendo la más abundante las lutitas negras con finas intercalaciones de 1 a 30cm de areniscas cuarzo-feldespáticas y niveles de conglomerados subordinados (Fig. 2.20; 2.21). El sondeo más occidental (DHA-41) presenta niveles de tobas subordinadas en la sección media e inferior que ronda los 12m de espesor. Hacia el pozo más oriental (DHA-34) los niveles de areniscas se espesan en la columna (Fig. 2.21).

Las facies de lutitas negras superficiales (Fig. 2.20) presentan ondulitas simétricas, estratificación fina horizontal, estratificación tipo flasher. Presentan valvas de braquiópodos. Esta unidad es cortada por diques amigdaloides a 58.51 y 121.10mbbp en el sondeo DHA-41 y a 205mbbp en sondeo DHA-40 (Fig. 2.20). En sección delgada, estos diques presentan textura traquítica a microlítica (Mackenzie y Guilford, 1980) con fenocristales (300 a 350µm) y amígdalas redondeadas. Los cristales de plagioclasas (300 a

350 μ m) están reemplazados por calcita, cuarzo y clorita. Los minerales máficos (piroxenos) son de tamaño 1 a 2mm y están alterados a clorita. La matriz es muy fina de color amarilla.

Los niveles tobáceos (Fig. 2.20), presentan textura fragmentaria. Están compuestas por cristales de plagioclasas (60%) de 0.5cm, microfenocristales de cuarzo 10%, feldespato (1 a 5%) en matriz microgranular fina 30%.

Los niveles de areniscas (Fig. 2.20) están conformados por cristales 30% de cuarzo y 75% de feldespatos. La matriz es arcillosa conformada por illita-esmectita. Se han descripto niveles lenticulares de alternancia de areniscas y lutitas con predominio de psamitas, de tipo flasher (Fig. 2.20). En tramos (135 a 138mbbp, DHA-41 y 40) evidencian microfallamiento normal invertido.

Las facies de brechas dominan en los metros finales de los sondeos DHA-41 y DHA-40 entre los 248 a 258mbbp y 233 a 243.60mbbp de profundidad respectivamente. Tienen contactos netos con las lutitas negras y tobas. Son brechas polimícticas volcaniclásticas con fragmentos de toba cristalina y fragmentos de roca volcánica porfídica de 5 a 8mm, matriz sostén (50 a 60 % en vol.) de tipo jigsaw a monomícticas. Gradan hacia abajo a brechas polimícticas (sondeo DHA-41) con cristaloclastos de feldespatos zonados, fragmentos de veta de cuarzo blanco redondeados y de líticos indiferenciados, silicificados, en una matriz de similar composición. El cemento está compuesto por Qz, Py de grano muy fino. En el sondeo DHA-40 estas brechas son monomícticas compuesta por clastos de lutita decolorada cementada por varias generaciones de carbonato.

En los testigos también se identificaron estructuras tipo micrograbenes invertidos y fallas que afectan a las sedimentitas y rocas volcaniclásticas.

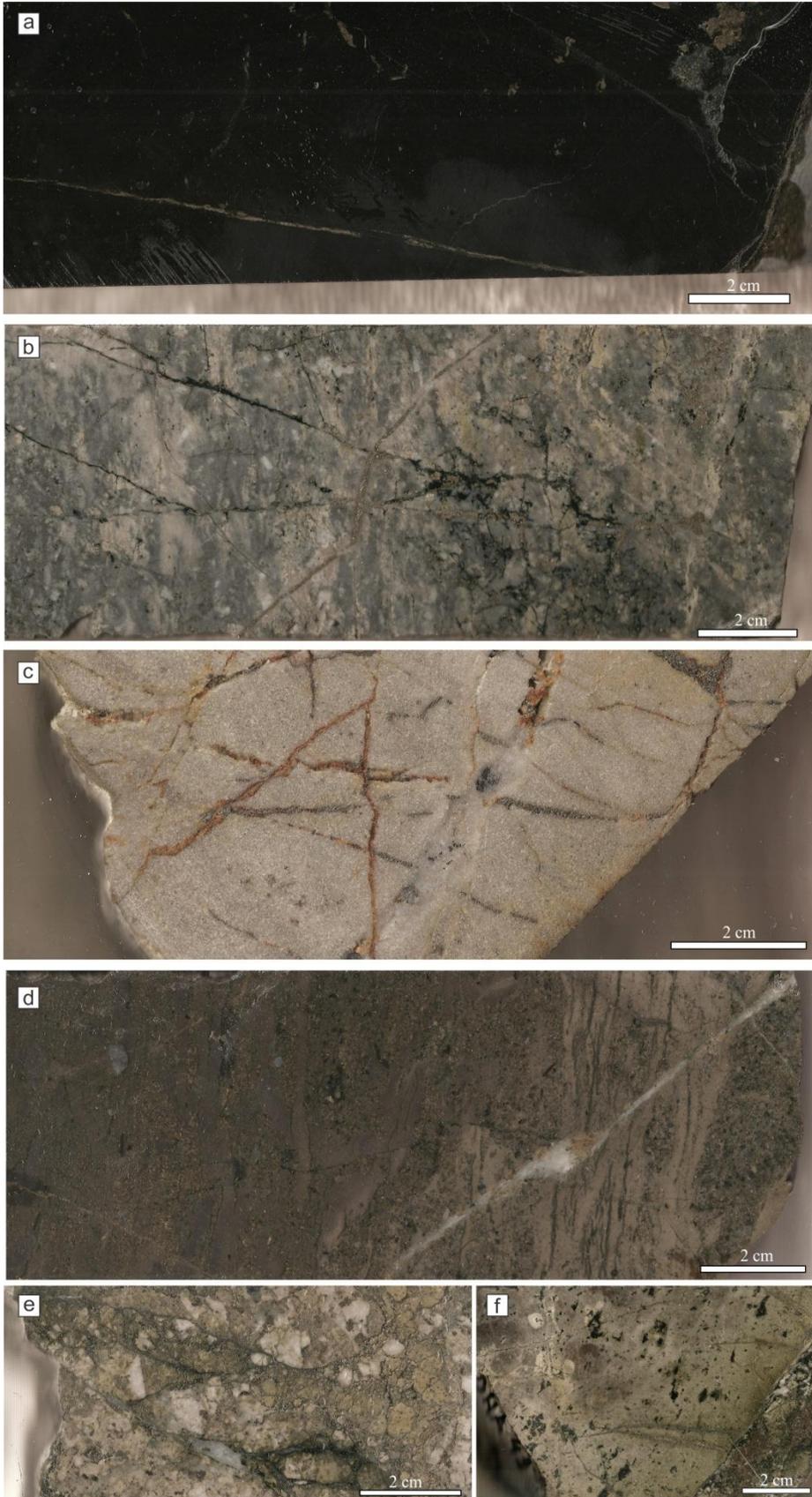


Figura 2.20. Fotografías de las litologías atravesadas por los sondeos estudiados. **a)** Testigo de la facies de lutitas negras, 41-164. **b)** Facies de tobas, 41-236. **c)** Facies de areniscas, 41-52.50. **d)** Intercalaciones de lutita y areniscas, 40-201. **e)** Brecha monomítica compuesta por clastos de toba lítica. **f)** Dique amigdaloides, 41-54.

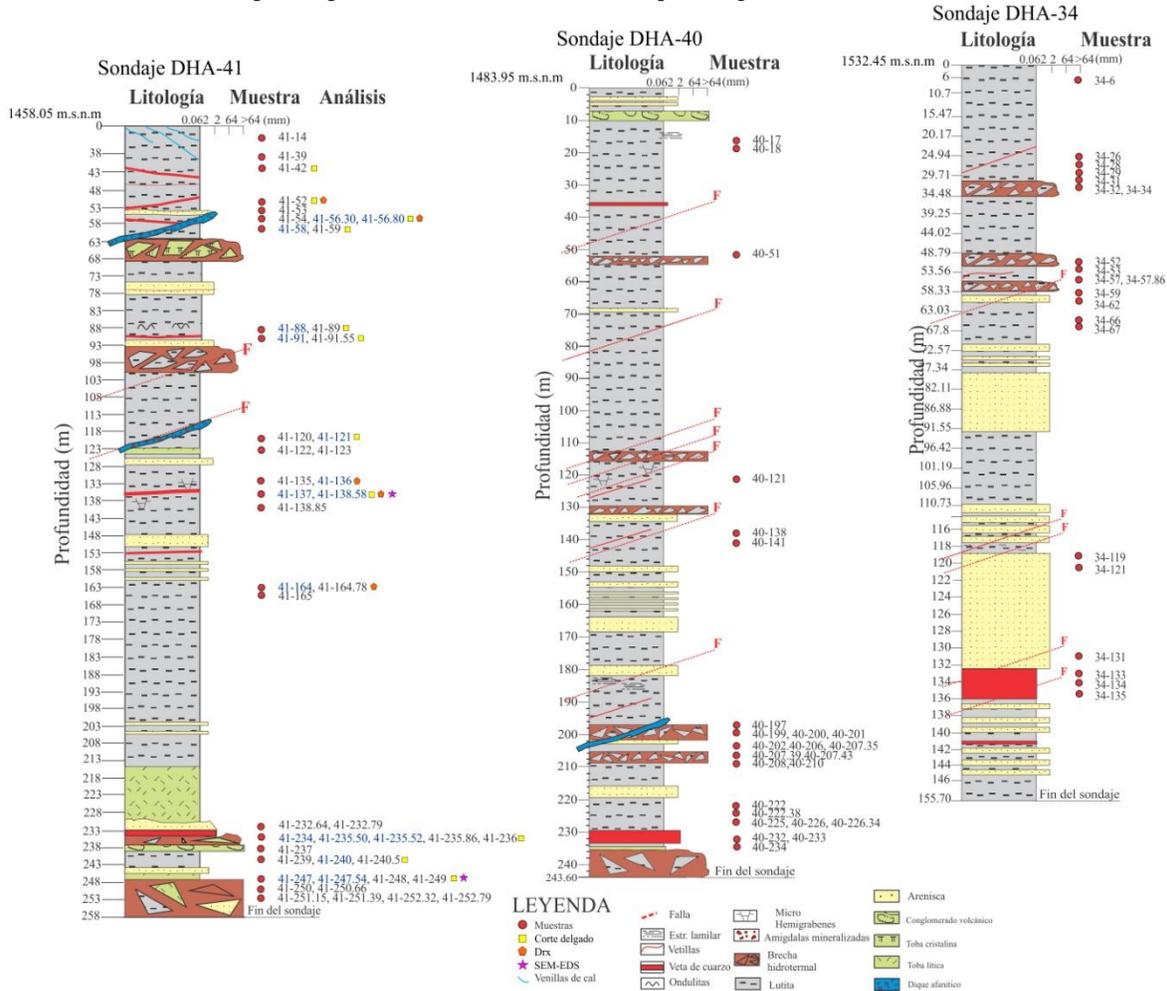


Figura 2.21. Columnas litológicas confeccionadas para los tres sondeos estudiados con la ubicación de las muestras y análisis realizados.

La boca mina del nivel 4 se localiza a una cota de 1375 msnm y del nivel 1 a 1415msnm. En el ingreso a Sofía nivel 4 afloran lutitas negras de la Formación Huaraco, en contacto con el pórfido dacítico hacia el sur y brechas tectónicas de la Formación Arroyo del Torreón hacia el norte. En la boca mina de Sofía nivel 1 aflora la facies de lutitas negras de la Formación Huaraco que grada hacia la derecha a una zona de falla (ver sección 2.4.3; Fig. 2.22). Ambas galerías atraviesan los niveles lutíticos con intercalaciones de areniscas de la Formación Huaraco localmente cortados por diques basálticos andesíticos afaníticos (ver anexo B, mapa Sofía N4).



Figura 2.22. a, b) Fotografías de ingreso en boca mina Sofía nivel 4 y 1 respectivamente.

2.3.3 Estructura local

En el área de estudio existen distintos sistemas estructurales con orientación predominante E-O y SO-NE que afectan a las rocas del Carbonífero al Jurásico y que alojan las vetas mineralizadas en las sedimentitas de la Formación Huaraco (Giacosa, 2011) (Fig. 2.4).

Un ejemplo de las estructuras principales SO-NE reconocidas por Giacosa, (2011), es el cabalgamiento de la Formación Huaraco sobre las Tobas de la Formación Arroyo del Torreón, al sur del Cerro San Pedro (Figs. 2.22a). En esta exposición se ve la superposición de fallas inversas a los sistemas previos de fallas normales. También se observa la presencia de vetillas de cuarzo sigmoidales sin deformacionales desarrollados sobre la

Formación Huaraco. En estos contactos se emplazan los cuerpos dacíticos ([Pons pers. Común.](#)).

En la margen este del arroyo Huaraco, en discordancia angular y en contacto por fallas se exponen las sedimentitas y vulcanitas de las unidades de las formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco (Fig. 2.22b). Mostrando la morfología de fallas normales en dominó que afectan a ambas formaciones ([Giacosa, 2011](#)).

Las sedimentitas de la Formación Huaraco (FH) presentan intenso diaclasamiento en toda el área, y están afectadas por fallas E-O de alto ángulo (RBZ 153-180/58-70°) y corrimientos de similar orientación. Las fallas de alto ángulo ponen en contacto las formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco, y más hacia el sudeste con la Formación La Premia. En estos contactos se emplazan los cuerpos dacíticos. Un corrimiento menor localizado en el sector sur de Buena Vista con un RBZ 270°/16° generó un despegue en las lutitas de la Formación Huaraco, donde se montan sobre facies gruesas de la misma formación (Fig. 2.22c). Este corrimiento podría interpretarse como la continuidad hacia el norte del corrimiento definido por [Giacosa \(2011\)](#) (Fig. 2.4) que es transversal a las principales estructuras E-O.

También se observaron corrimientos menores y falla normales mesoscópicas desarrollados sobre las piroclastitas de la Formación La Premia con rumbo N190°/35°SO (Fig. 2.22f).

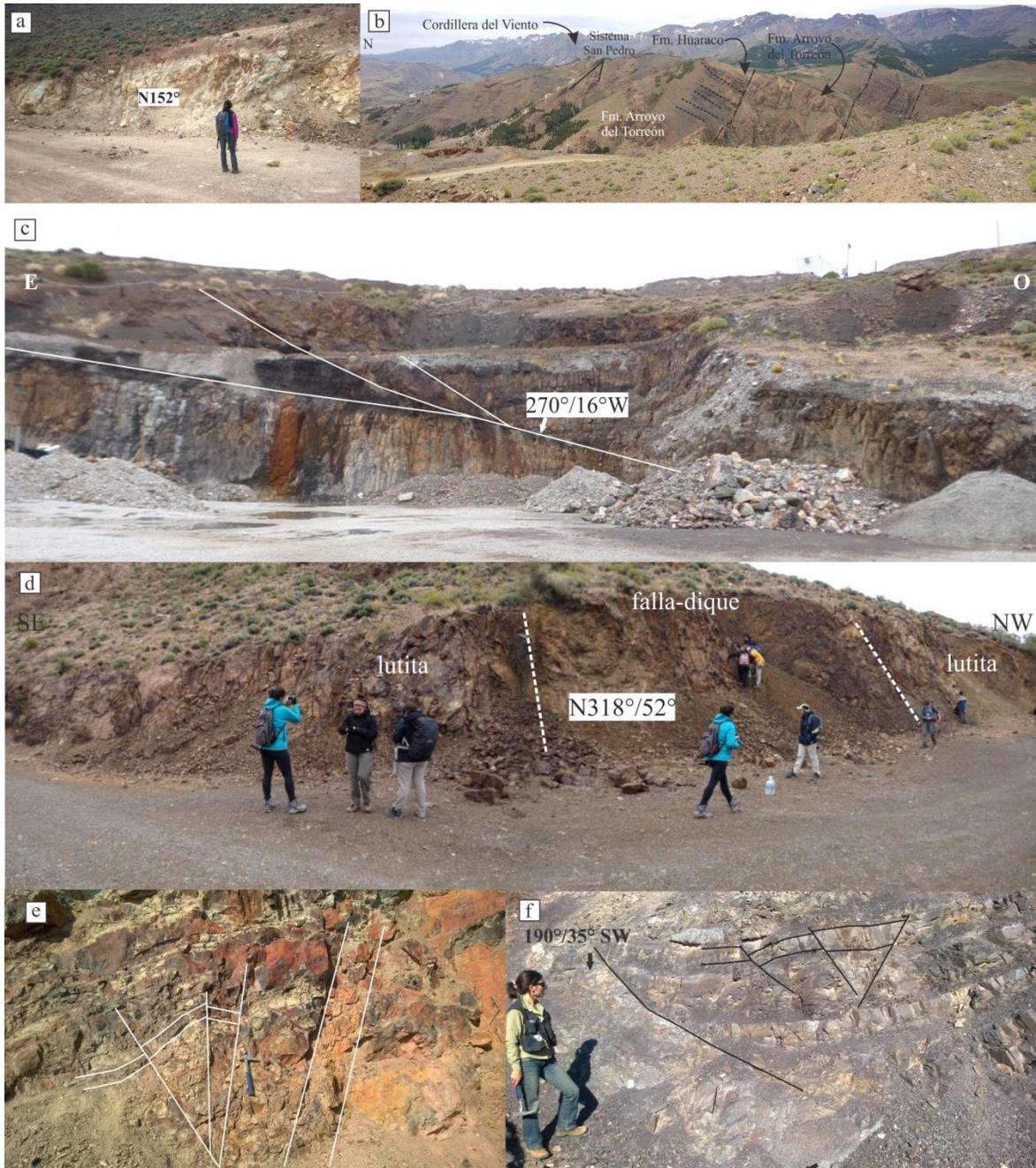


Figura 2.22. Fotografías de campo de las estructuras reconocidas en la zona de estudio. **a)** Corrimiento de primer orden en dirección SO-NE mapeado por Giacosa 2011, que pone en contacto F. Arroyo del Torreón con F. Huaraco (ubicación en Fig. 2.4). **b)** Contacto tectónico entre formación Huaraco y Arroyo del Torreón. Se marca la estratificación paralela de gran escala en lutitas negras. **c)** Corrimiento en lutitas en zona aledaña a boca mina sistema Buena Vista, base margen norte del Cerro Minas. **d)** Falla-dique en lutitas de Fm. Huaraco. **e)** Estructura de flor positiva en tobas silicificadas. **f)** Fallas normales mesoscópicas de geometría planar con despegue de bajo ángulo en piroclásticas de La Premia.

En el faldeo norte del Cerro Minas (Fig. 2.23), se identificó una falla principal que pone en contacto las formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco de orientación $N0^{\circ}/66^{\circ}$; $N20^{\circ}/65^{\circ}$ (Fig. 2.4).

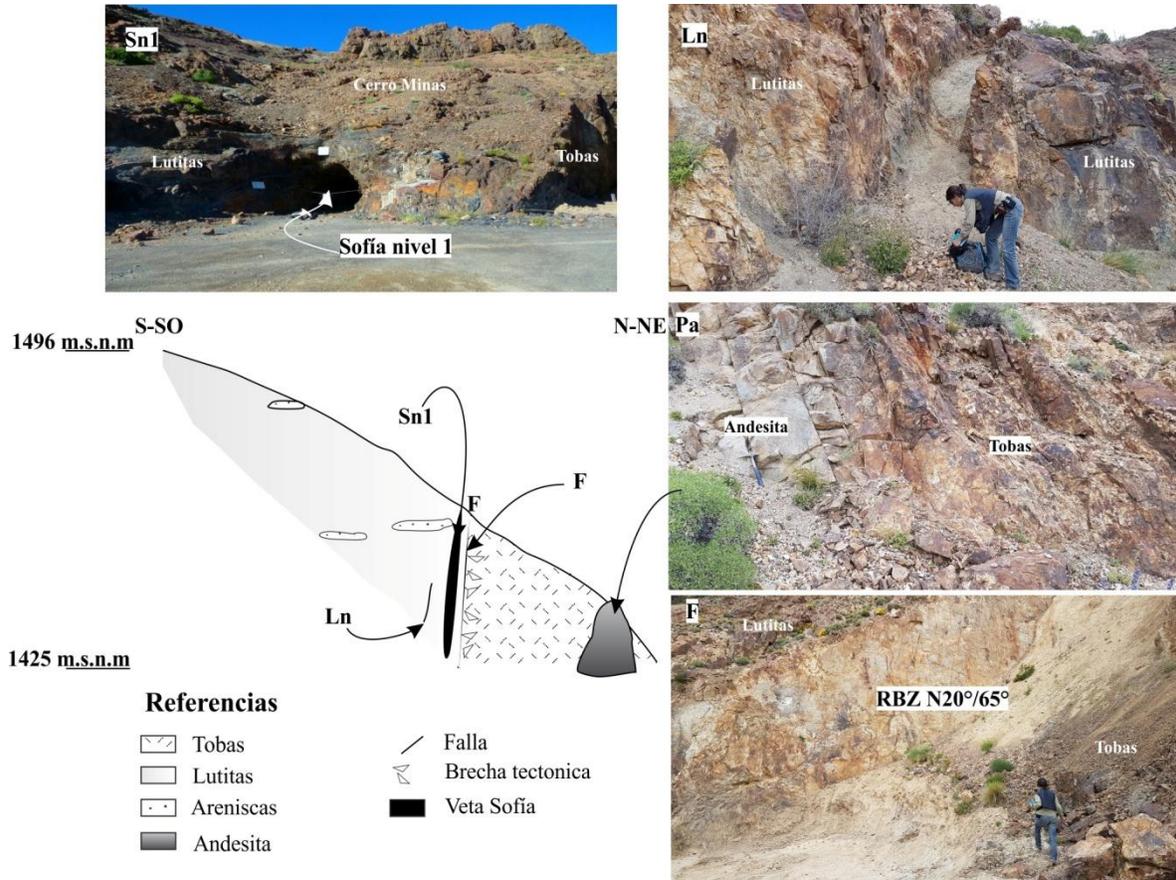


Figura 2.23. Perfil esquemático realizado en el faldeo norte del Cerro Minas. **Sn1**=Sofía nivel 1, fotografía de ingreso a laboreo subterráneo de la veta Sofía nivel 1. **Ln**=lutita negra: fotografía de campo de lutitas negras cortadas por zona de cizalla. **Pa**=Pórfido andesítico, contacto entre pórfido andesítico y tobas de la Formación Arroyo del Torreón. **F**=Falla, fotografía del faldeo norte del Cerro Minas donde aflora falla que pone en contacto las lutitas y tobas).

Entre las estructuras menores se han medido datos de familias de diaclasas en la Formación Huaraco cercana a las vetas Sofía-Julia-Valencia y Don Fernando destacándose 2 sistemas principales de diaclasas conjugadas con RBZ 300° a 330° e inclinación entre 20° a 65° , y otros juegos de RBZ 60° a 75° e inclinación 10° a 25° (Fig. 2.24).

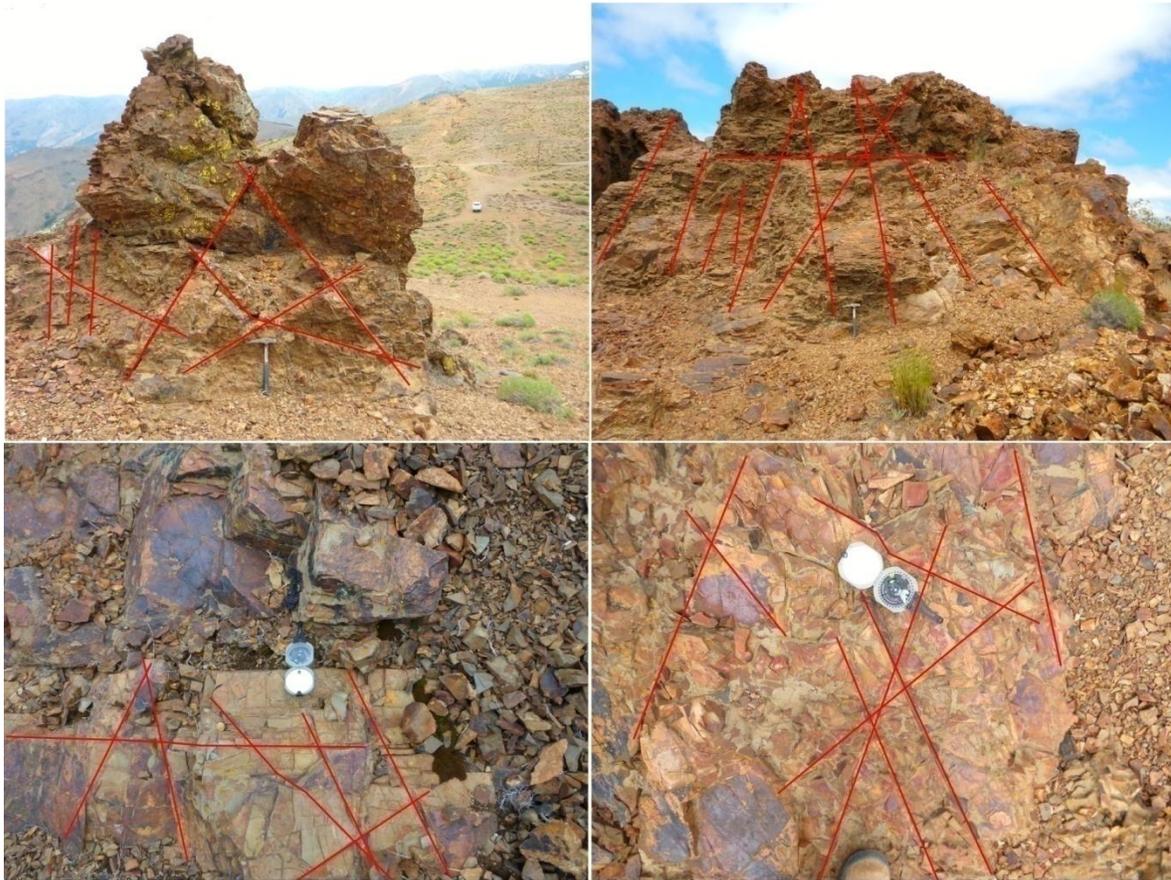


Figura 2.24. Fotografías de campo en la margen oeste del cerro Minas. Se marca con líneas rojas los sets de diaclasas con relaciones de corte entrecruzadas.

CAPÍTULO III

ALTERACIONES

En los siguientes párrafos se describirán las alteraciones identificadas en las litologías aflorantes, en los sondeos y en los laboreos subterráneos.

3.1. Alteraciones en afloramientos

El trabajo de campo permitió identificar alteraciones en las unidades del Grupo Andacollo, intrusivos y en la Formación Cayanta.

Alteración de las sedimentitas de la formación Arroyo del Torreón

Los afloramientos de la Formación Arroyo del Torreón están afectados por una alteración $\text{Chl} \pm \text{Qz} + \text{Cal}$ intensa que le confieren en general una coloración verde que grada a alteración sericítica y silicificación moderada a intensa, en contacto con las vetas donde localmente están cortadas por venillas (1 a 2cm) de cuarzo blanco. Por sectores está decolorada producto de la alteración de la roca a argilominerales. Hacia el contacto con los diques andesítico-basálticos la roca presenta alteración clorítica fina diseminada y venillas de calcita y pirita diseminada.

Alteración de las sedimentitas de la formación Huaraco

Los afloramientos estudiados de los niveles de lutitas negras y areniscas de la Formación Huaraco en el contacto con las vetas presentan una silicificación intensa acompañada de pirita diseminada que grada a una alteración sericítica de grano grueso. También están afectadas por alteración supergénica, la cual le imprime pátinas rojizas de hematita y goethita debido a la oxidación pirita.

Alteración Formación La Premia

Los afloramientos de la Formación La Premia cerca del contacto con la veta Rosario presenta una alteración en motas por $\text{Epd} + \text{Chl} + \text{Cal}$ y Qz calcedónico tardío.

Alteración de los cuerpos ígneos

El pórfido riolítico (Fig. 2.5) presenta una alteración intensa compuesta por $\text{Ser} + \text{Py}$ diseminada, y parches de Cal y Chl alterando la pasta y a los fenocristales de plagioclasas y feldespatos potásicos.

Los cuerpos dacíticos, ubicados en el Cerro San Pedro, están intensamente afectados por alteración argílica asociada a pirita diseminada. Superpuesta hay una alteración

supergénica que oblitera la textura original de la roca y le imprime tonalidad pardo rojizo. Los cristales relícticos de plagioclasas (1 a 2cm) están reemplazados pseudomórficamente por argilominerales, la pirita está diseminada en la pasta y reemplazada por hematita y goethita (Fig. 2-15b).

Una alteración propilítica diseminada moderada a fuerte afectó los diques andesíticos-basálticos en proporciones variables (5 a 25% vol.) compuesta por 1) Chl+Cal±Epd±Qz, y arcillas blancas, asociada a una mineralización diseminada de Po+Py+Cpy+Sph cerca del contacto con la vetas mineralizadas. La alteración Chl+Cal±Epd está diseminada en forma de motas y parches en toda la roca (Fig. 3.1) donde el epidoto y la clorita reemplazan selectivamente los máficos y la calcita los fenocristales de plagioclasas. Las arcillas blancas se observan como halos concéntricos a las amígdalas y reemplazan a los cristales de plagioclasa y a la pasta. Las amígdalas están tapizadas por clorita en agregados laminar radiados que reemplazan localmente a las prehnitas previas junto a calcita y/o cuarzo intersticial.

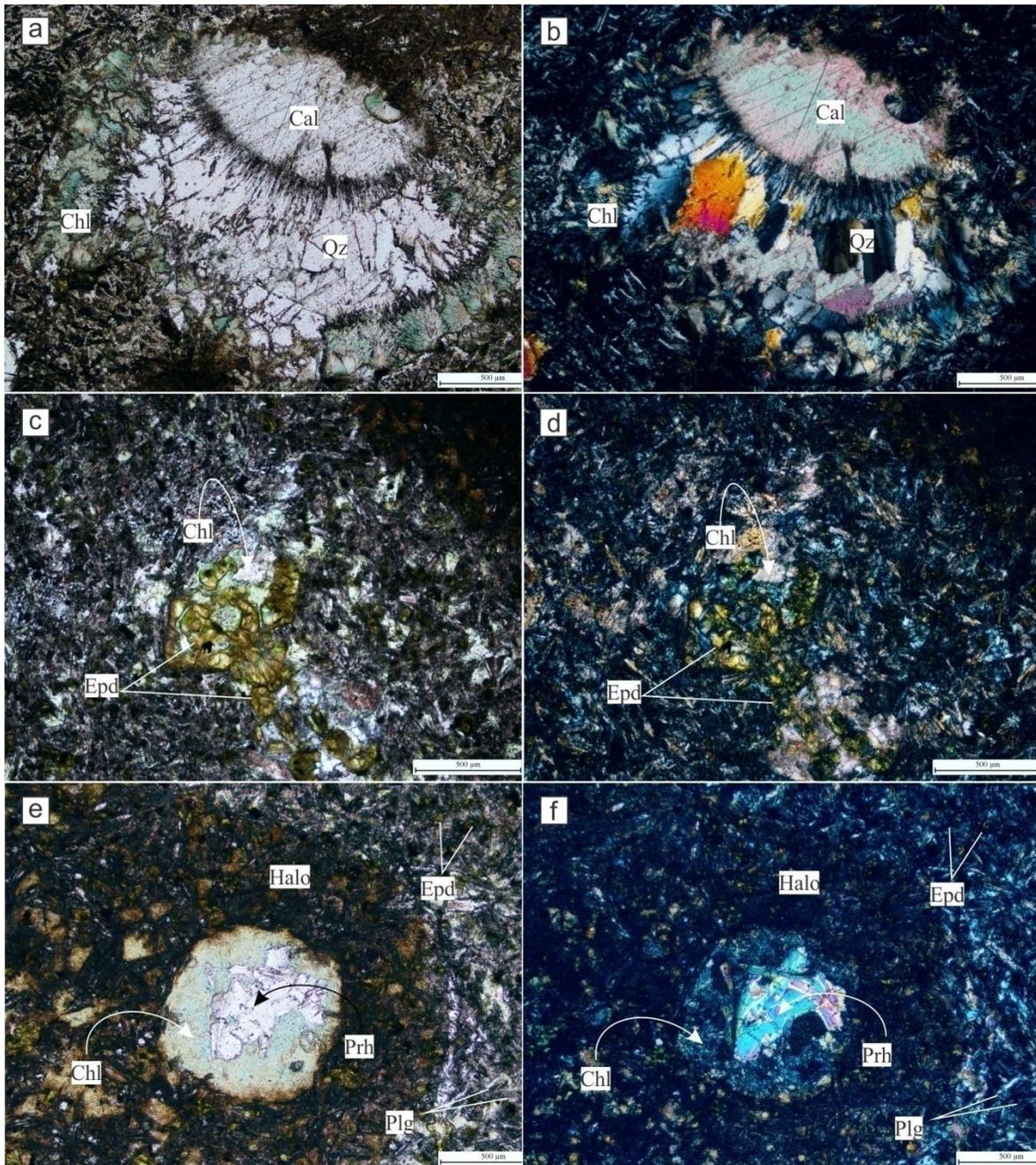


Figura 3.1. Microfotografías de la vulcanita con luz transmitida. **a, b)** Amígdalas de 200 a 300µm tapizadas por clorita en agregados fibroradiados. **c, d)** Amígdala epidotización. **e, f)** Motas oscuras circulares, cuyos núcleos están tapizados por clorita que rodea a la prehnita previa y a los finos cristales (10 a 30µm) de epidoto diseminados.

La Formación Cayanta se ve afectada por alteración débil a moderada de clorita (1 a 2%) en el volumen total de la roca.

3.2 Alteraciones observadas en subsuelo (sondeos y galerías)

Los minerales hidrotermales fueron estudiados mediante observaciones macroscópicas, microscopía óptica y difracción de rayos X.

Del análisis de las muestras representativas extraídas de tres sondeos y galería nivel 1 y 4 de Sofía, se diferenciaron las asociaciones de minerales de alteración que afectan las rocas hospedantes de la mineralización en la veta Julia-Valencia. Las muestras de rocas de caja analizadas permitieron diferenciar 4 asociaciones de minerales de alteración de la roca de caja 1) Alteración potásica representada por Bt+Chl, 2) una alteración propilítica formada por Chl+Qz±Epd±Cal±Ser 3) Alteración sericitica compuesta por Qz+Ser+Chl±(Lcx+Ti) y 4) Alteración supergénica evidenciada por la presencia de Hem+Gth±Kao.

Se determinaron relictos de alteración biotítica en la sección media de los sondeos occidentales y halos de alteración intensa compuesta por silicificación y alteración propilítica con superposición de alteración sericitica entre los 6 y 10m del contacto con las vetas, venas y brechas mineralizadas. La clorita se encuentra en las salbandas de las venillas y venillas brechadas.

1) Bt+ Chl

Esta alteración constituye entre un 5 y un 8% del volumen total de la roca, y se restringe a los sondeos occidentales (DHA-41 y DHA-40). Se encuentra como parches relictos en las lutitas, areniscas de grano fino y tobas cristalinas que le imprime una tonalidad castaña a las rocas entre los 88 y 130m de profundidad respectivamente (Fig. 3.2). La biotita y clorita subordinada se encuentran en cristales anhedrales aleatoriamente orientados, intersticiales con respecto a los granos clásticos de las sedimentitas.



Figura 3.2. Testigo 41-88.70m. Se observa las motas y parches relictos de alteración Bt+Chl en la roca.

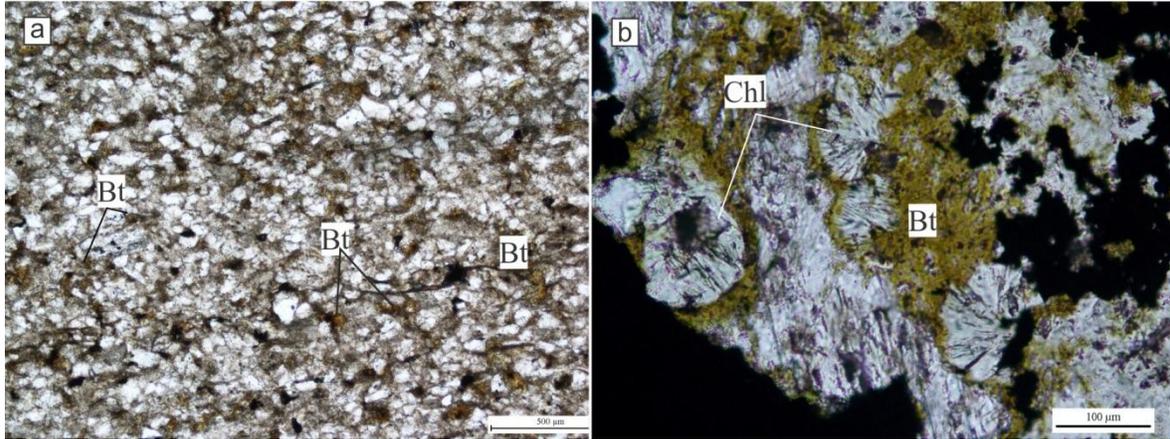


Figura 3.3. Microfotografías con luz transmitida a nicols paralelos de la alteración compuesta por Bt+Chl intersticial, 41-11, 41-88.70m.

2) Chl+Qz±Epd±Cal

Esta alteración esta sobreimpuesta a la alteración potásica temprana, varía de débil a fuerte hacia los sectores proximales a las brechas y venas mineralizadas. Se encuentra en forma de venillas, motas, parches y diseminada (Fig. 3.4). Por sectores esta alteración se hace penetrativa en las facies de areniscas y tobas. En general se reconoce como zonas verdosas que rodean a los parches de alteración biotítica temprana.

En las facies silicoclástica la clorita reemplaza parcial a totalmente a los cristales anhedrales de biotita previa, se encuentra intersticial junto al epidoto cuando este está presente. El cuarzo es granular fino intersticial. El epidoto se encuentra diseminado en cristales finos (40 a 50 µm) prismáticos.

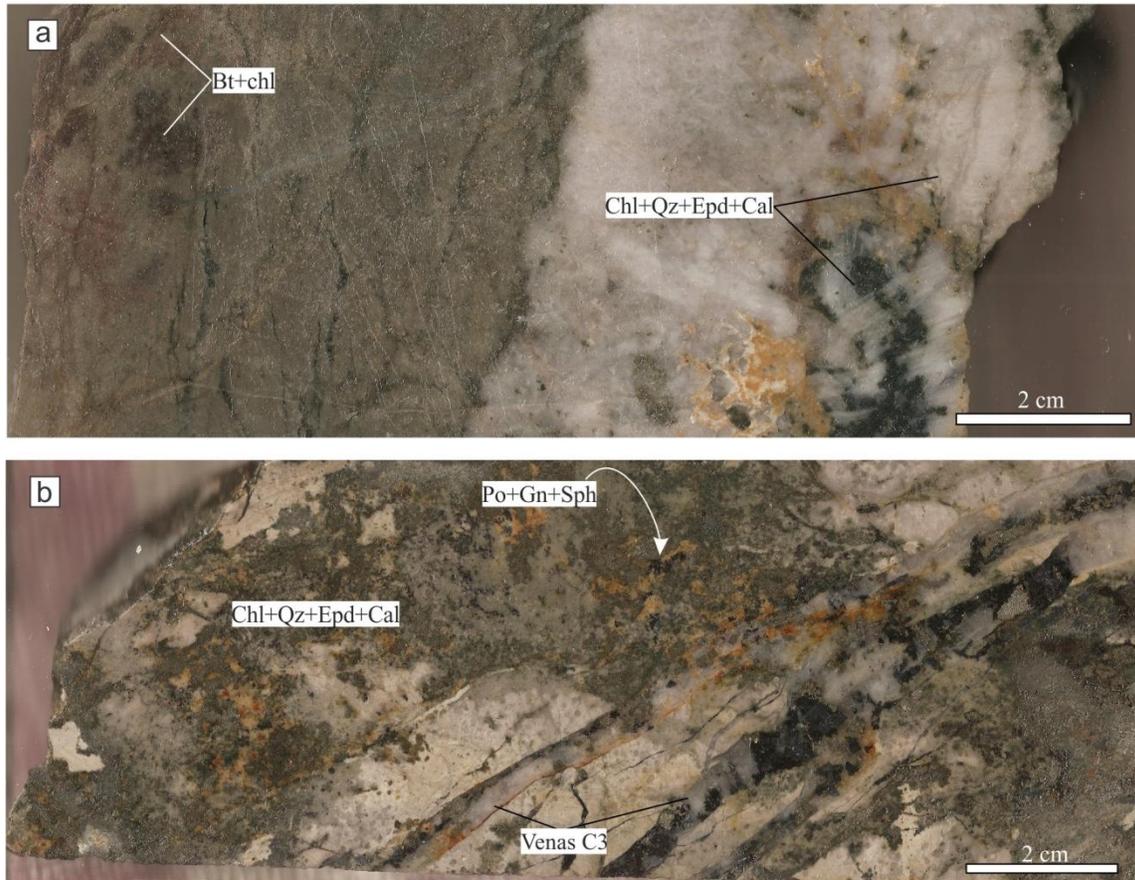


Figura 3.4. a) Fotografía alteración Chl+Qz+Epd+Cal+Py y relictos de la alteración Bt+Chl, muestra 41-42. b) Fotografía alteración superpuesta a los dique basáltico andesítico Chl+Qz+Epd+Cal con mineralización diseminada de Po+Gn+Sph y los halos de Qz+Ser+(Chl) \pm (Lx+Ti) en las vena tipo C3 (ver cap. IV, muestra 41-56.81).

En los diques afaníticos amigdaloides y tobas, esta alteración, está representada por clorita que junto a cuarzo y calcita intersticial se encuentra relleno las amígdalas en los primeros. También está reemplazando la matriz fina de las tobas y pasta de los diques y selectivamente a los fenocristales de plagioclasas. Esta clorita presenta color verde pálido con color interferencia azul de Berlín y desarrolla hábito laminar. La clorita desarrolla un hábito laminar radiado, donde tapiza o rellena las amígdalas o donde reemplaza pseudomórficamente a las prehnitas previas. Los fenocristales, microcristales y/o fragmentos de cristales máficos están principalmente reemplazados por una clorita de color de interferencia castaño grisáceo posiblemente rica en hierro (Fig. 3.5).

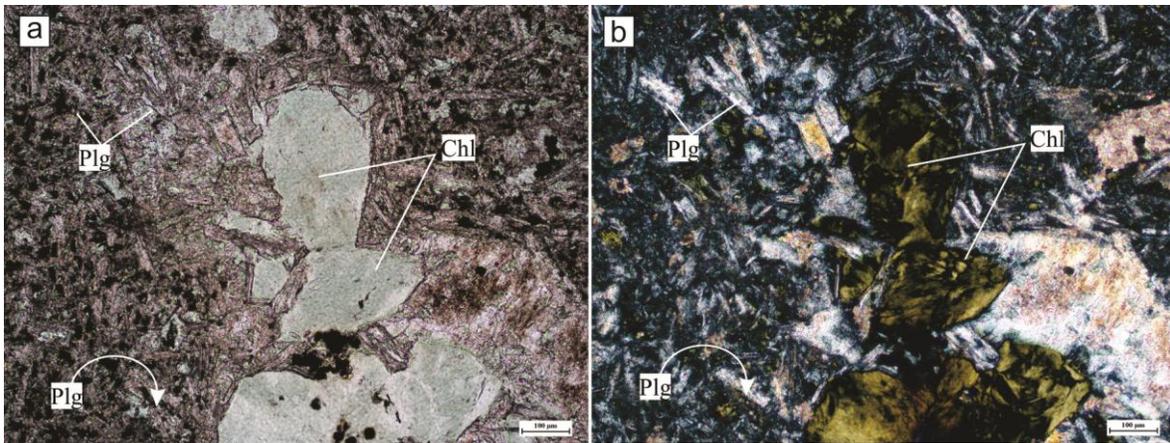


Figura 3.5. Microfotografía con luz transmitida en niclos paralelos de muestra SJ-N4-A correspondiente al dique amigdaloides en interior mina. Se observa el remplazo de los máficos por clorita de color de interferencia castaña grisáceo en la amígdala de la vulcanita.

Los análisis de difracción de rayos X corroboraron la presencia de clorita en todas las rocas con coloración verdosa, a partir de las reflexiones características de $d(001)$ en 14.11\AA , $d(002)$ en 7.05\AA , $d(003)$ en 4.71\AA y $d(004)$ en 3.57\AA en la muestra seca al aire que se mantienen luego de la saturación con etilenglicol (Fig.3.6). Se observaron las mismas reflexiones en las cloritas que alteran al diques basálticos-andesíticos amigdaloides con valores ligeramente diferentes de $d(001)$ en 14.33\AA , $d(002)$ en 7.11\AA , $d(003)$ en 4.73\AA y $d(004)$ en 3.55\AA , que seguramente respondan a diferencias composicionales.

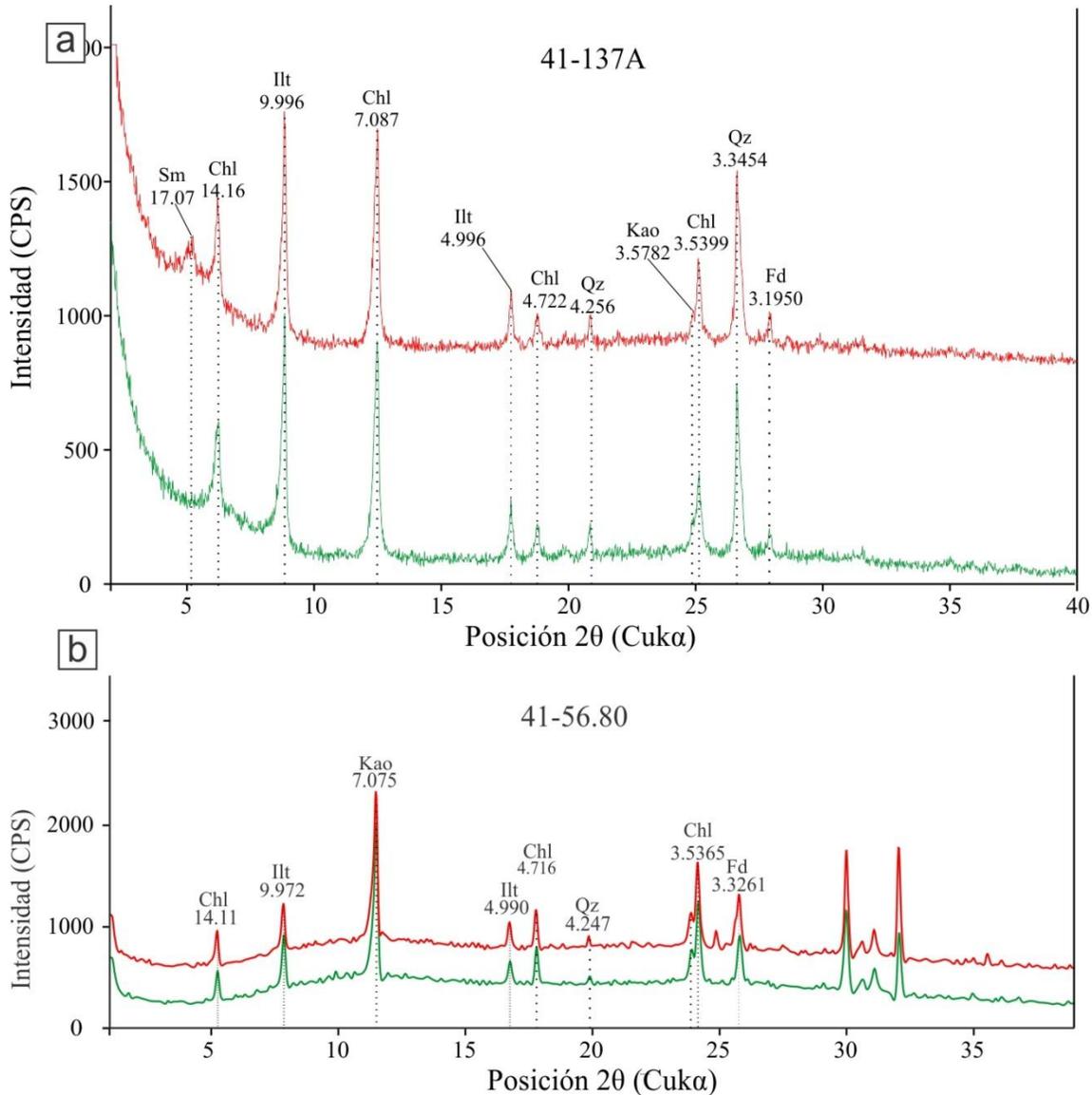


Figura 3.6. Patrones de difracción de rayos X, muestras glicoladas (curva roja) y muestras seca al aire (curva verde) donde se indican las reflexiones características de los filosilicatos identificados y silicatos. **a)** Muestra 41-137A. **b)** Muestra dique amigdaloides 41-56.80.

En la facies silicoclástica se identificó la presencia de Sm posiblemente heredada de la roca no alterada. Este mineral se identificó a través de la reflexión en $d(001)$ en 14.16Å en la muestra seca al aire, que cambia a 16.93Å en la muestra glicolada. Este mineral no había sido identificado en sección delgada por su escasa proporción. La esmectita también se identificó en una muestra del dique andesítico donde las relaciones texturales indicarían que es previa a esta alteración (Fig. 3.7). La calcita se identificó en difracción de rayos X de la fracción arcilla ($<2\mu\text{m}$) con las reflexiones en $3,75\text{Å}$ y $3,02\text{Å}$.

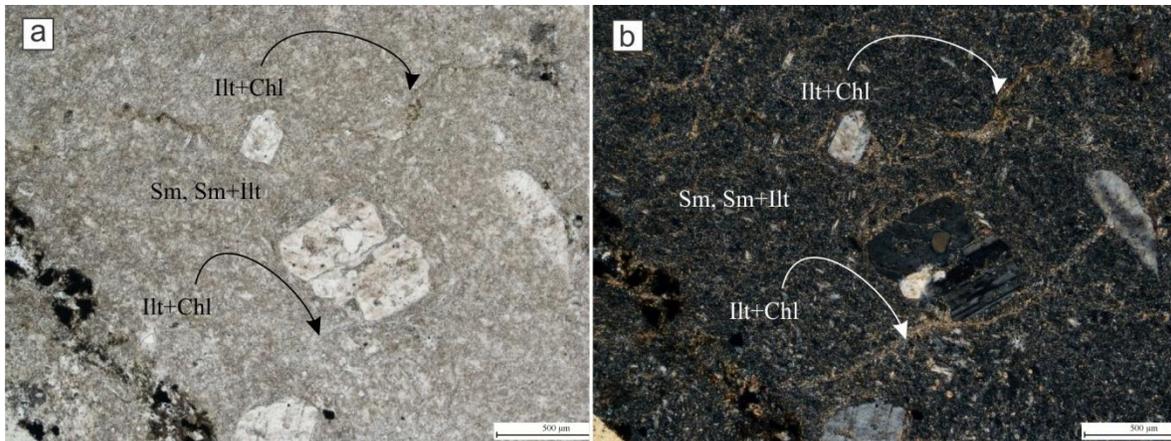


Figura 3.7. La esmectita también se identificó en una muestra del dique andesítico donde las relaciones texturales indicarían que es previa a la Chl y Ser.

3) $Qz+Ser+(Chl)\pm(Lcx+Ti)$

Esta alteración se encuentra diseminada en forma de halos de las venillas y brechas mineralizadas superpuestas a la alteración propilítica. Varía de débil (2 a 5% en vol. total de la roca) a intensa, donde constituye el 25 a 30% del volumen total de la roca y su tamaño de grano alcanza el de una mica fina hacia el contacto con las estructuras mineralizadas (Fig. 3.8). Está representada en las facies de arcosas, lutitas, diques andesíticos y niveles tobáceos aunque está más ampliamente distribuida en las primeras. Esta alteración le confiere tonalidades blanquecinas a la roca. Se ha identificado en muestras de afloramiento, sondeos y de laboreos subterráneos (niveles 1 y 4 de laboreos subterráneos). La sericita es intersticial y está aleatoriamente orientada entre los granos silicoclásticos de las sedimentitas y en los diques y tobas, se encuentra diseminada en la pasta o matriz y reemplazando selectivamente los fenocristales o cristaloclastos de la roca. La silicificación está representada por un cuarzo microcristalino intersticial asociado a la sericita junto a clorita subordinada donde la sericita localmente reemplaza a la clorita asociada a leucoxeno. El leucoxeno se presenta en forma de ramilletes finos (Fig. 3.9).

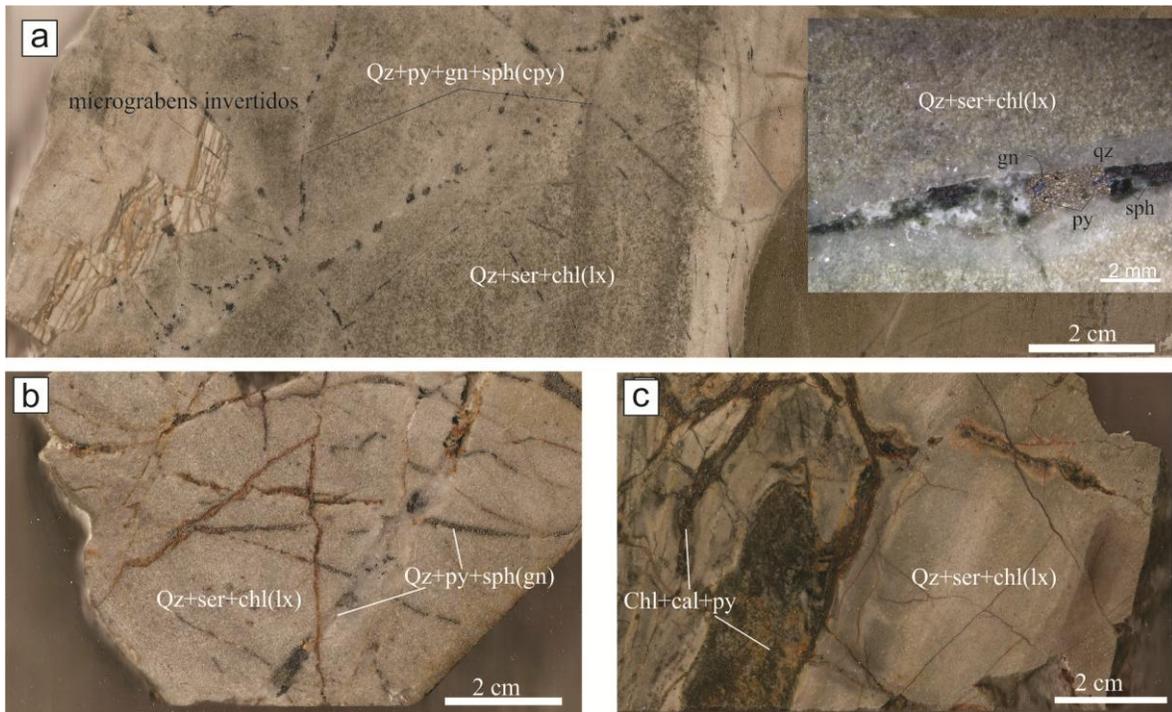


Figura 3.8. a) Fotografía de la muestra 41-138.58 y detalles de las venillas mineralizadas. b) Fotografía de la muestra 41-52, facies de arenisca. c) Muestra 41-39 donde se observa la alteración (2) y superpuesta la alteración compuesta por Qz+Ser+Chl(Lcx).

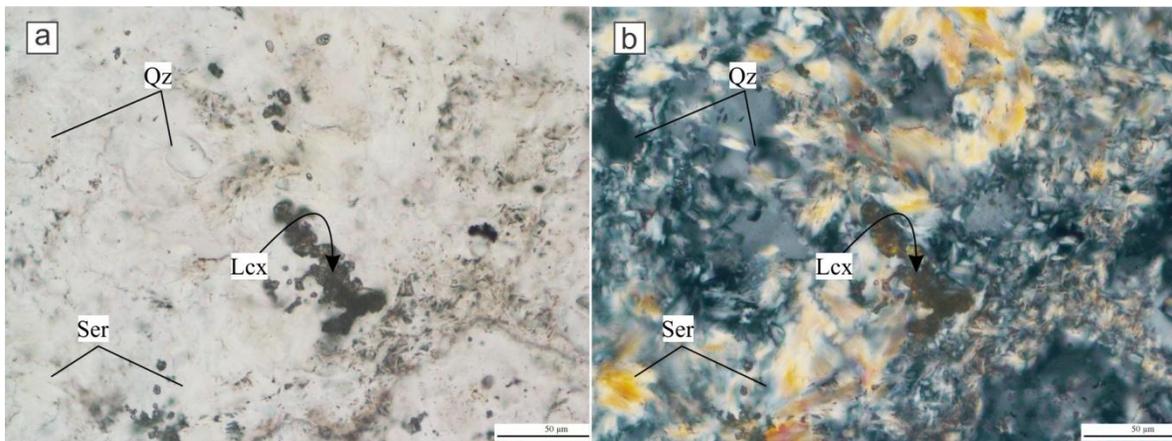


Figura 3.9. Microfotografía con luz transmitida donde se observa cristales de leucoxeno que se desarrollan en ramilletes, el cuarzo y sericita.

La sericita se identificó en los difractogramas de todas las muestras que presentan alteración clorítica temprana través de la identificación de las reflexiones $d(001)$ en $9.9972-9.9975\text{Å}$, y $d(002)$ en $4.990-5\text{Å}$.

4) Alteración supergénica

Se caracteriza por la asociación mineral $\text{Hem}+\text{Gth}\pm\text{Kao}$. La zona de alteración

supergénica no supera los 45 a 50m de espesor en los sondeos analizados. Se han identificado niveles de oxidación más profundos en los sondeos DHA-41 y DHA-34 (119m y 137m respectivamente) asociado a fallas que funcionaron como canales de circulación descendente de aguas meteóricas a profundidad (Fig.3.10). Está compuesta por stockwork de óxidos e hidróxidos de Fe compuestos por venillas (1 a 2mm) que le confieren a la roca una coloración rojiza a anaranjada.



Figura 3.10. a) Fotografía y detalle de la muestra 34-119. Se observa la coloración pardo rojiza y anaranjada producto de la alteración supergénica a partir de la circulación de fluidos que penetraron en profundidad por consecuencia de la existencia de fallas. b) Detalle de la muestra muestra 41-52.5.

La presencia de caolinita se identificó en una muestra que presenta alteración propilítica y superpuesta alteración supergénica a partir de la reflexión intensa de d(001) en 7.075 Å junto y d(002) en 3.5728 Å (Fig. 3.11).

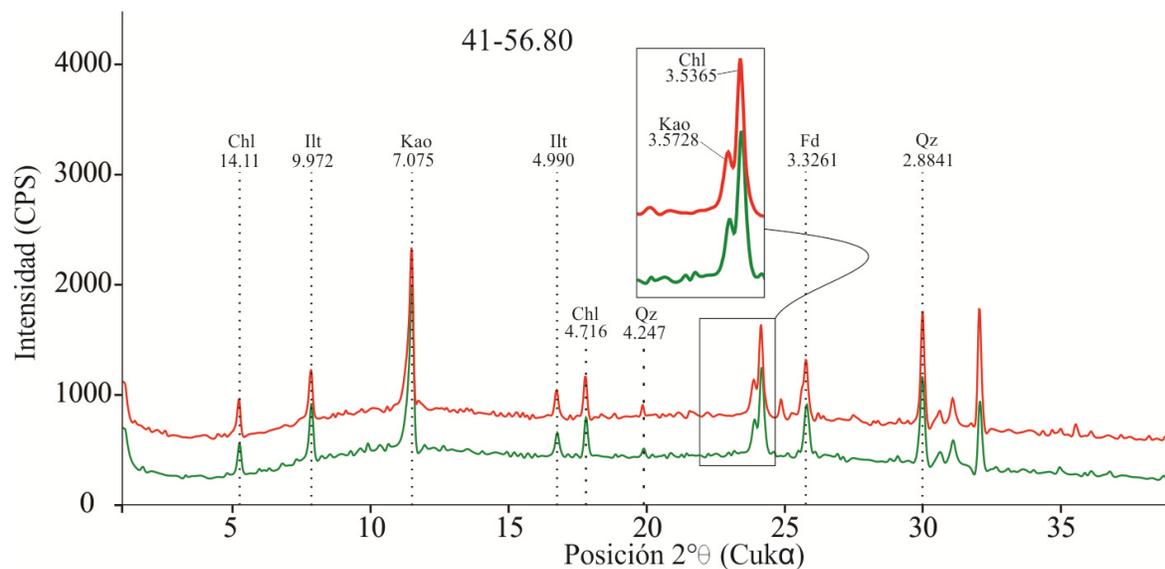


Figura 3.11. Patrón de difracción de rayos X, muestra glicolada (curva roja) y muestra seca al aire (curva verde) donde se indican las reflexiones características de los filosilicatos identificados: 41-56.80.

3.3 Minerales de mena diseminados

Se han reconocido pirita, arsenopirita, pirrotina, esfalerita, galena, calcopirita, y trazas de sulfuros y argentita. Estos minerales de mena están asociados a las alteraciones $\text{Chl}+\text{Qz}\pm\text{Epd}\pm\text{Cal}$ y $\text{Qz}+\text{Ser}+(\text{Chl})\pm(\text{Lcx}+\text{Ti})$ definidas anteriormente.

La zona donde una alteración moderada de $\text{Qz}+\text{Ser}+(\text{Chl})\pm(\text{Lcx}+\text{Ti})$ se superpone a la alteración temprana de $\text{Chl}+\text{Qz}\pm\text{Epd}\pm\text{Cal}$ hay mineralización diseminada de pirita, calcopirita y pirrotina en cristales finos (Fig. 3.12a, b, c). En los sectores donde la alteración $\text{Qz}+\text{Ser}+\text{Chl}\pm(\text{Lcx}+\text{Ti})$ es penetrativa e intensa hay mayor porcentaje de sulfuros (15%) reconociéndose $\text{Py}+\text{Apy}+\text{Sph}+\text{Cpy}\pm\text{Gn}(\text{Po})$. La calcopirita se encuentra a veces intersticial y como inclusiones globulares (tipo *Deseases*) submicroscópicas dentro de la esfalerita. Py y Po desarrollan cristales anhedrales a subhedrales de tamaño 230 μm y está rodeada y cortada por arsenopirita. La Cpy, Sph y Gn se encuentran en cristales más finos (20 a 30 μm) intersticiales (Figs. 3.12d, e, f). La esfalerita es castaño rojiza. En contacto con los sulfuros anteriores y en cantidades trazas hay calcopirita.

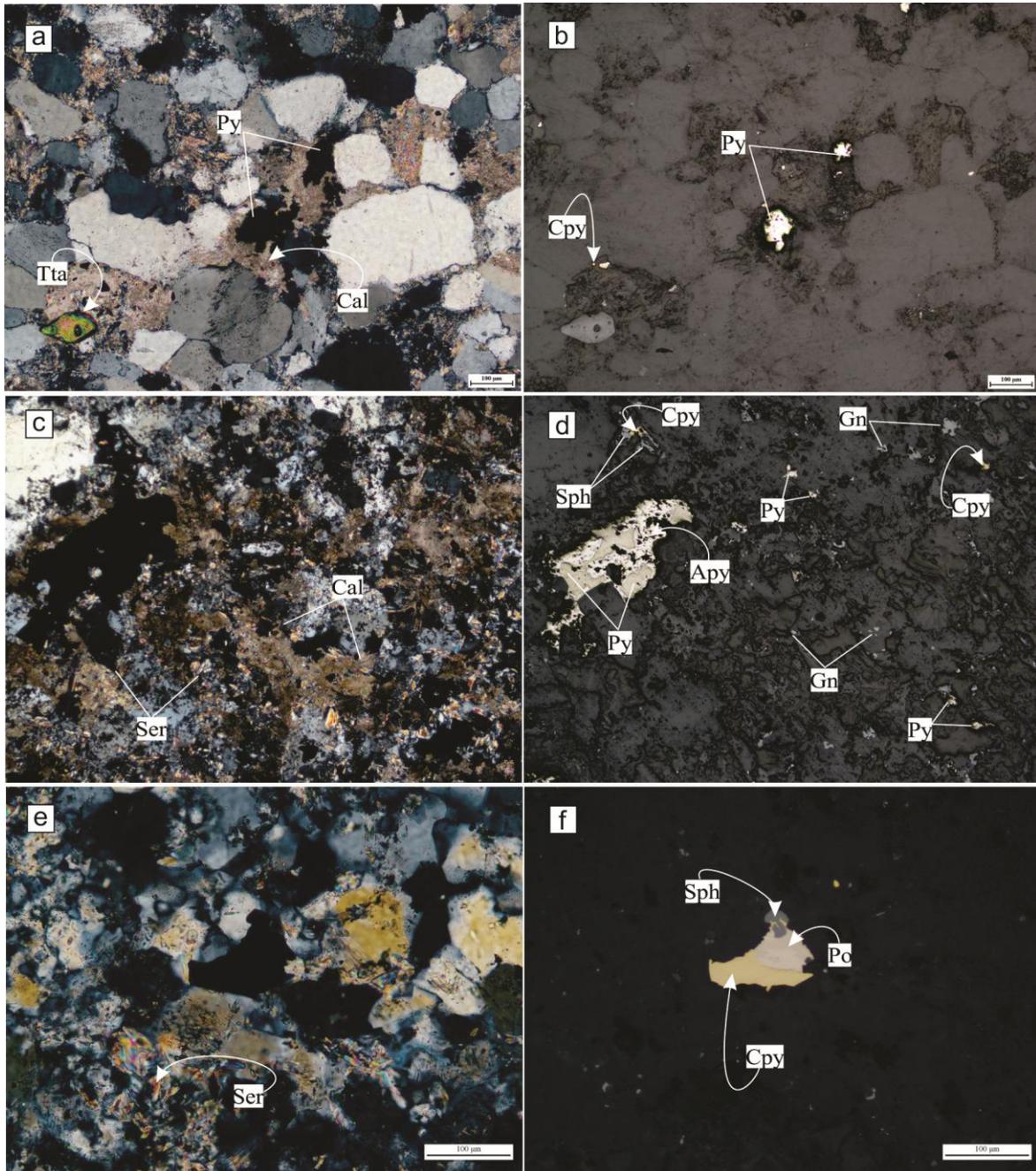


Figura 3.12. Microfotografías con luz transmitida a nicoles cruzados y con luz reflejada (ver texto para explicación).

CAPÍTULO IV

DISTRIBUCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y TEXTURAL DE LAS VETAS, VENAS, VENILLAS Y BRECHAS

4.1. DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

El trabajo de campo permitió el reconocimiento de algunas vetas en superficie pertenecientes a los sistemas de vetas E-O, Sofía Julia y Fortuna, NE-SO veta Karina y NNO-SSE veta Don Fernando, y de brechas hidrotermales al norte de la veta Sofía (Fig. 2.4).

4.1.1 Vetas Julia y Fortuna

En afloramiento las vetas Sofía y Fortuna han sido totalmente explotadas (Fig. 4.1a-b) por lo que sus características texturales y mineralógicas no se han podido realizar, sin embargo los rajos en superficie exponen la morfología tabular de las vetas y las características de la roca de caja.

Las vetas Julia y Sofía se emplazan en las estructuras de vetas de cizalla transcurrentes desarrollados sobre fallas normales previas (Giacosa, 2011) que afectan a las facies de lutitas de la Formación Huaraco. La veta Julia conforma el extremo occidental de este sistema con un rumbo N60/60SE y se conecta con la veta Sofía a través de una estructura tipo en itálica dextral. El sistema hacia el este del jog cambia a un rumbo general E-O que es el rumbo general de la veta Sofía (Fig. 2.4). El afloramiento observado está justo en la veta Julia, en contacto con el codo dilatacional (*jog*) y presenta en este sector un RBZ N153°/78°.

La veta presenta un halo de silicificación intensa de 13 a 15cm de espesor y en contacto con la roca silicificada hay un halo de alteración argílica intensa de 30cm de espesor (Fig. 4.1b). Toda la roca presenta pátinas de óxidos e hidróxidos de hierro y evidencias de reactivación posterior.

El afloramiento de la veta Fortuna (Fig. 4.1a) se emplaza como relleno de una falla normal previa de orientación E-O. Al igual que la veta Sofía esta estructura ha sido totalmente explotada en superficie. De acuerdo a la morfología del rajo la veta Fortuna tenía un espesor variable entre 1.5 y 2 m y un RBZ N335°/73°. La veta está emplazada en las facies de arenisca sabulítica de la Formación Huaraco, con alteración sericítica intensa y

boxwork de pirita, los óxidos e hidróxidos de hierro le confieren un color castaño rojizo al afloramiento (Fig. 4.1c).

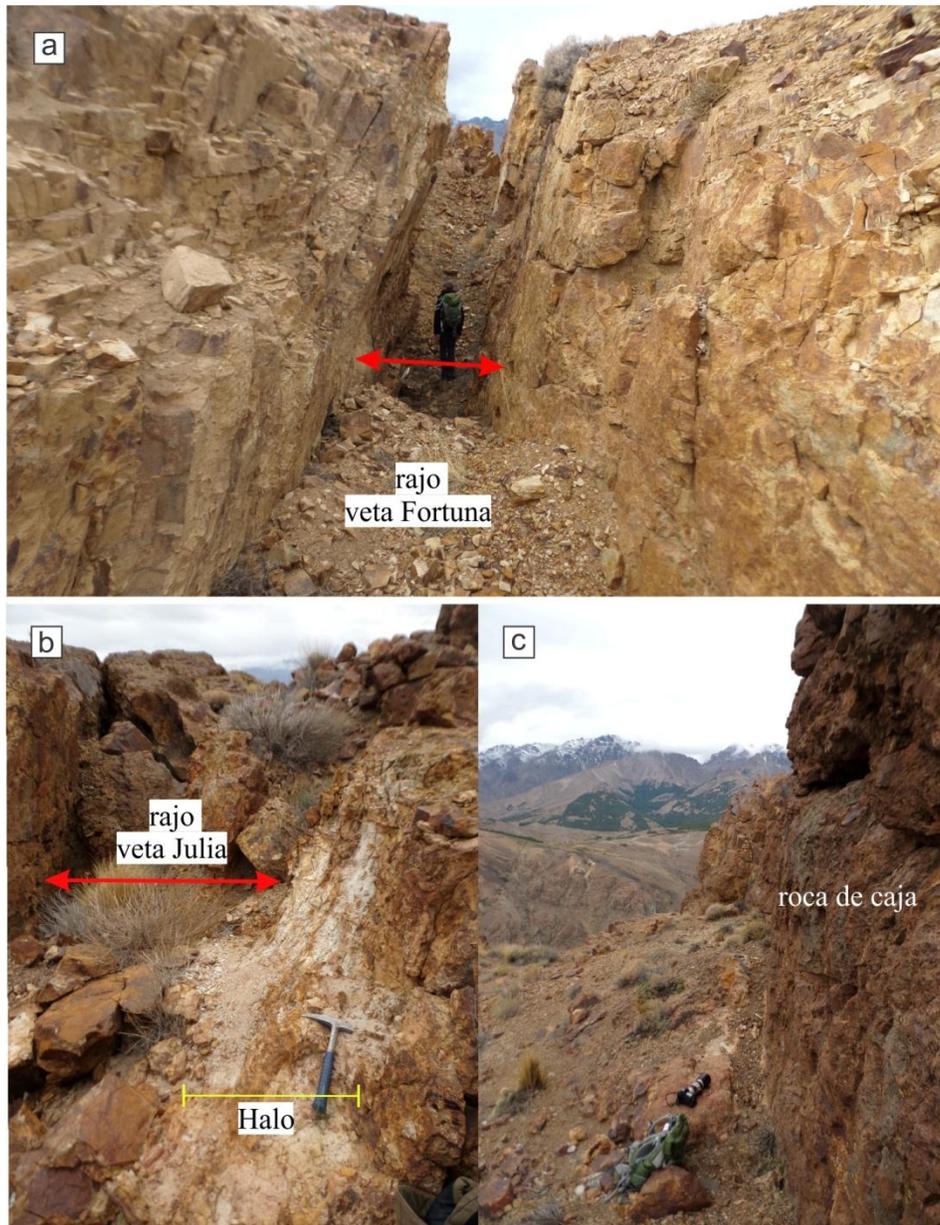


Figura 4.1. Fotografías de campo veta Julia y Fortuna. **a)** Afloramiento de rajo de veta Fortuna en ladera oeste del cerro Minas. **b)** Afloramiento de rajo de veta Julia y halo arcilloso de 30 cm de espesor. **c)** Las facies de arenisca sabulítica de la Formación Huaraco que hospedan a la veta Julia, con alteración sericítica intensa y boxwork de pirita, los óxidos e hidróxidos de hierro le confieren un color castaño rojizo al afloramiento (fotos Pons, 2017).

4.1.2 Veta Don Fernando

La veta Don Fernando se aloja en las tobas de la Formación Arroyo del Torreón con un RBZ $N205^{\circ}/70^{\circ}$. Constituye un afloramiento de 28m de largo con un espesor promedio de 1.24m (Fig. 4.2a). Se han reconocido texturas masivas en el centro de la veta (Fig.4.2b), textura bandeada y textura brechosa en los bordes. La textura bandeada está dada por la alternancia de bandas grises de 1.5cm y blancas de 3cm (Fig. 4.2d). La textura brechosa está formada por fragmentos de cuarzo masivo cementados por varios pulsos de cuarzo con desarrollo de texturas en cocarda y bandeado caótico (Fig. 4.2c). La veta presenta boxwork de pirita diseminados. La veta desarrolla un halo de silicificación intensa con pirita fina (1 a 2mm) diseminada de 0.80m de espesor en la roca de caja, que gradúa a alteración clorítica en motas y parches más distales.

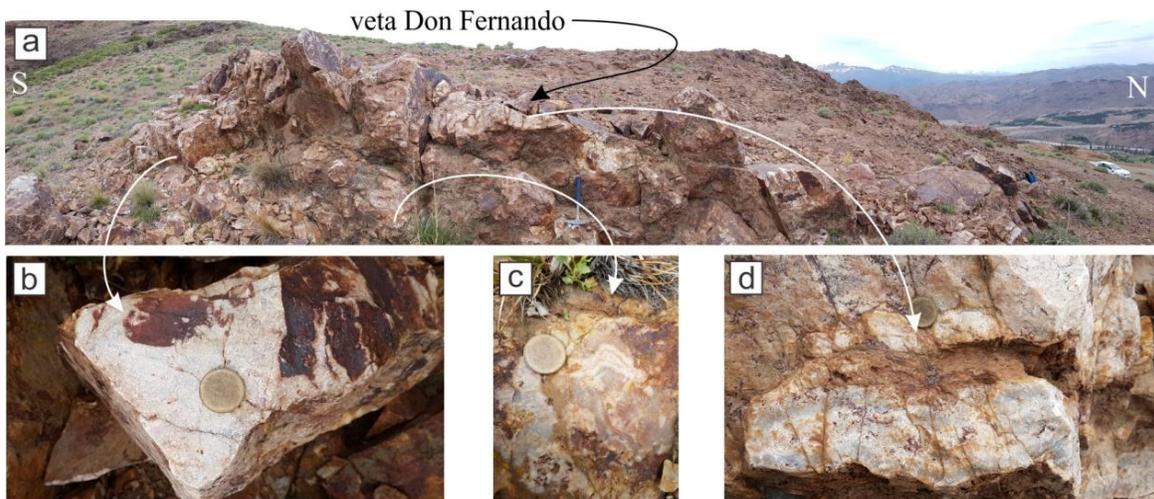


Figura 4.2. Fotografías de campo veta Don Fernando. **a)** Afloramiento de la veta Don Fernando en la margen norte del cerro Minas. **b)** Textura masiva en el centro de la veta. **c)** Textura brechosa con desarrollo de textura cocarda en el centro de la veta. **d)** Textura bandeada en el centro de la veta.

4.1.3 Vetas San Pedro Norte

En el Cerro San Pedro aflora un campo de vetas verticales subparalelas alojadas en las tobas de la Formación Arroyo del Torreón y limitadas por dos estructuras de cizalla, todos con un rumbo NE-SO. El campo de vetas abarca una superficie de 450m x 100m en un corredor NE-SO. Estas vetas están cortadas y desplazadas por estructuras ONO-ESE (Magsa, 2008). Al Sur están limitados por el contacto tectónico con un pórfido dacítico elongado a lo largo del contacto con la Formación Huaraco. Estas vetas en superficie están

mineralizadas y presentan anomalías de Ag (250 a 2600 ppm) y de Au (1 a 5 ppm), (Magsa 2008).

En general la roca de caja presenta silicificación intensa hasta unos 20 a 35cm del contacto con las vetas que grada a una alteración arcillosa blanca intensa hasta unos 65cm.

La veta Karina que se describe a continuación forma parte de este campo de vetas, se halla en la cúspide del cerro San Pedro. La veta aflora a lo largo de 25m con un rumbo N40° es subvertical y tiene un espesor variable entre 1.9 y 0.6m. Está compuesta por multipulsos de cuarzo bandeado crustiforme dado por la alternancia de cuarzo blanco, grisáceo (Fig.4.3). Localmente hay cuarzo rosado. El cuarzo grisáceo presenta cristales finos de sulfuros y sulfosales de plata, trazas de calcopirita, galena y esfalerita verde clara además de pirita fina diseminada. El cuarzo blanco es estéril y el cuarzo rosado responde a la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro por la oxidación de la pirita.

La estructura está delimitada a ambos lados por una brecha formada por clastos de vetas de cuarzo blanco y gris anguloso y subredondeado de tamaños variables entre 0,5 y 6cm de diámetro y una matriz fina menor a 1mm cementado por cuarzo. El cemento de cuarzo presenta texturas variables desde cocarda en los clastos mayores de la brecha a bandeada.

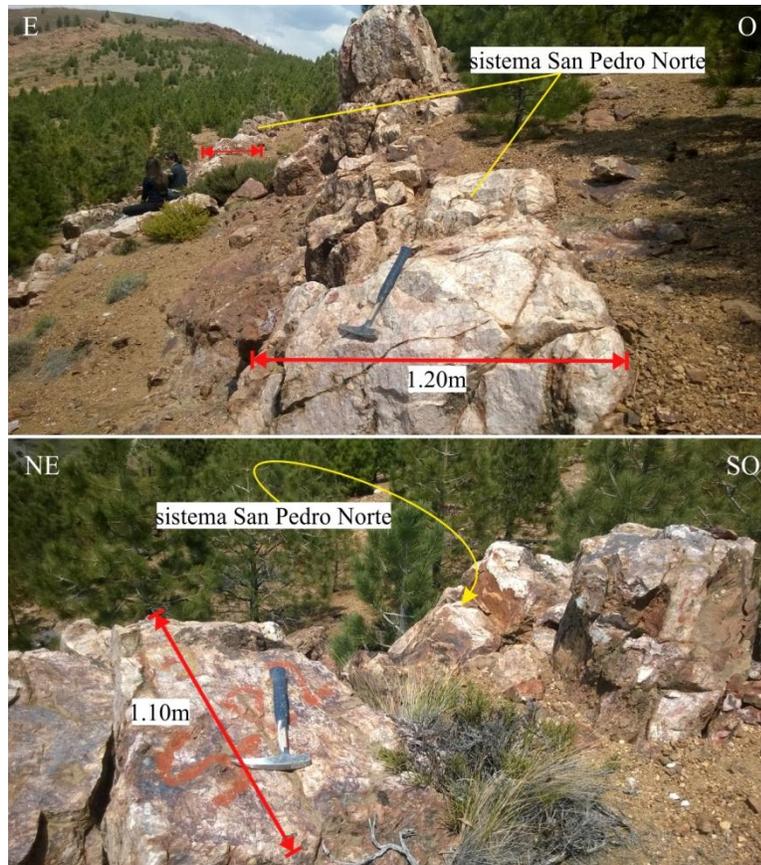


Figura 4.3. Fotografías de campo. Afloramientos de la vetas donde se indica el espesor de tres vetas que componen la veta Karina del sistema San Pedro Norte.

4.1.4 Brechas

En el flanco norte del Cerro Minas, se observaron estructuras subparalelas verticales transcurrentes de orientación ENE-OSO que segmentan y desplazan la veta Don Fernando en cuatro secciones principales. En éstas estructuras se alojan brechas tectono-hidrotemales RBZ $355^{\circ}/65^{\circ}$ a 70° compuestas por clastos de veta de cuarzo y fragmentos de toba intensamente silicificados (50 a 70%) de 1 a 3cm de diámetro en matriz fina (20 a 25%) de similar composición, cementada y cortada por vetillas (1cm) rectas de cuarzo blanco lechoso (1%) (Fig. 4.4a). El afloramiento presenta alteración argílica diseminada y gran cantidad de boxwork de pirita compuestos por Hem+Gth.

Al sur de la ruta provincial N°43, los afloramientos de la Formación Cayanta están atravesados por una zona de falla vertical que genera una brecha monomítica cementada por calcedonia bandeada y calcita tardía estériles (Fig. 4.4b)

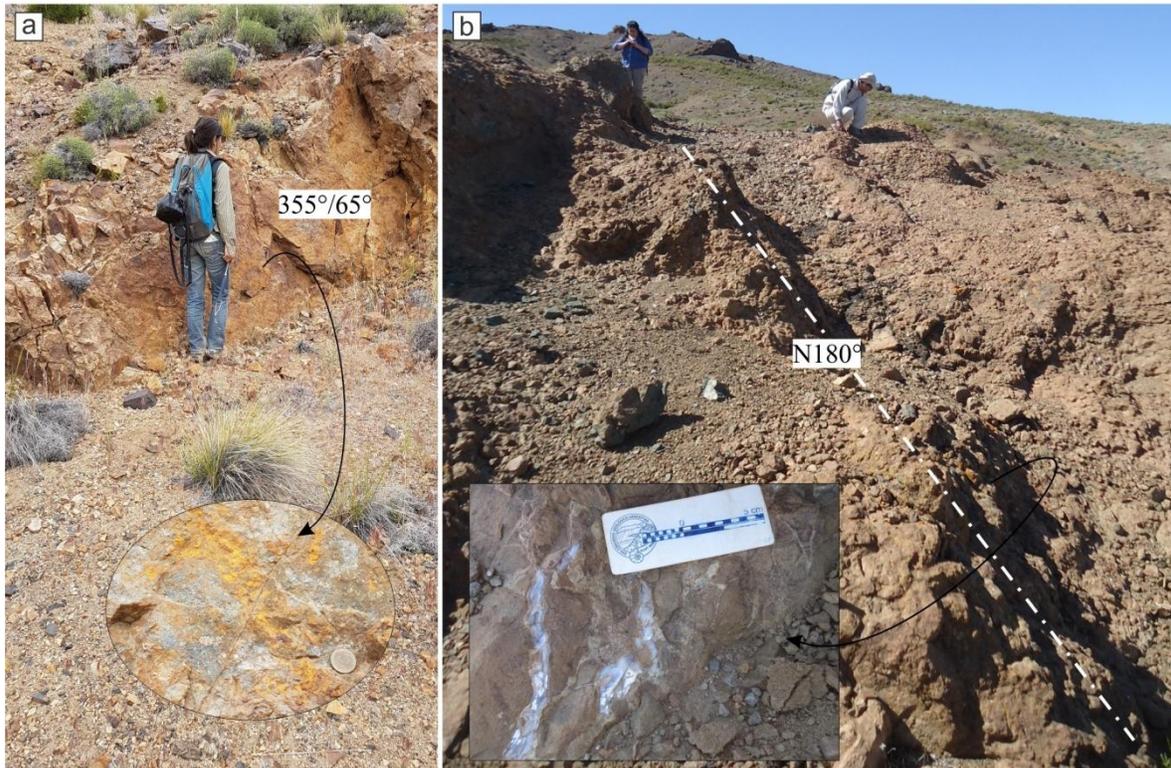


Figura 4.4. Fotografías de campo. **a)** Afloramiento de brecha tectono-hidrotermal que segmenta y desplaza la veta Don Fernando en la ladera norte del cerro Minas. **b)** Brecha monomictica cementada por calcedonia bandeada y calcita tardía estériles en Formación Cayanta.

4.2 DESCRIPCIÓN DE SONDEOS Y GALERÍA

El estudio de detalle de la mineralización en 3 sondeos que atraviesan las vetas Julia (DHA-41 y DHA-40) y Valencia (DHA-34) y en 2 galerías subterráneas realizadas sobre la veta Sofía permitieron identificar las características de las venas y venillas, y de las estructuras mineralizadas. La mineralización se encuentra en forma de venillas, venas, y vetas polimetálicas principalmente en las facies de lutitas y areniscas, o como matriz de las brechas hidrotermales en el contacto entre niveles tobáceos y lutitas.

4.2.1 Mineralización en las vetas Julia y Valencia

El estudio de detalle de los tres sondeos permitió identificar 10 tipos de vetas, venas, venillas y brechas, en base a la morfología, textura, y composición de los minerales de mena y de ganga. Se han denominado: A, B, C1, C2, C3, D, E, F, G y H. En los siguientes párrafos se describirán en orden cronológico. Se muestra la localización de las estructuras mineralizadas y de las muestras estudiadas (Fig. 4.5).

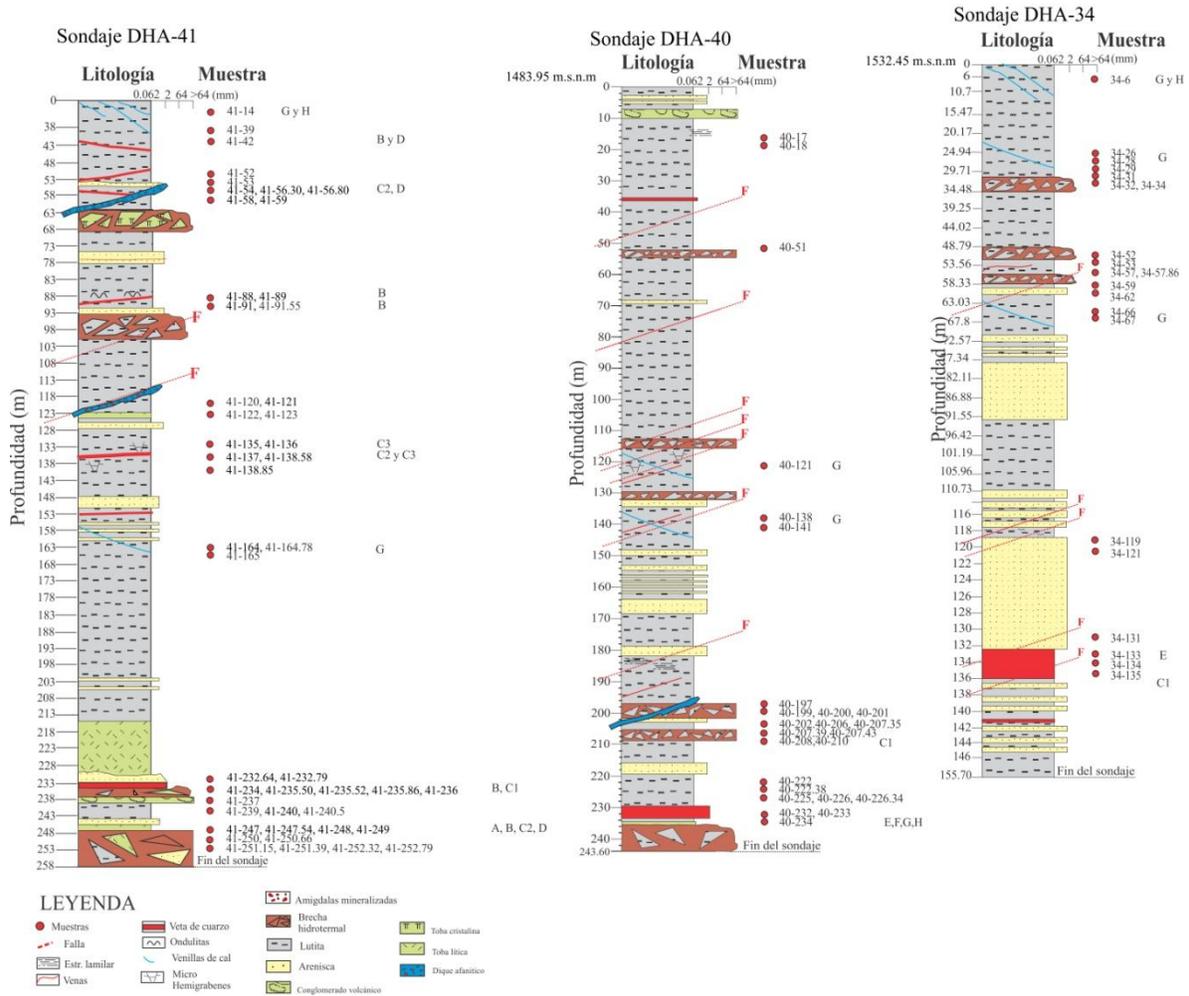


Figura 4.5. Secciones de los sondeos DHA-41, DHA-40 y DHA-34 con la ubicación de las muestras y de los tipos de estructuras identificadas.

Venillas tipo A: $Qz+Mo+Sph_1±Py$.

Las venillas A compuestas por $Qz+Mo+Sph+Py$ se identificaron sólo en el sondeo más occidental de la sección estudiada, a 247.54mbbp donde dominan los niveles tobáceos. Se reconocieron en muestra de mano por la presencia de una banda gris a ambos costados de las venas A y C3 que las reabre (Fig. 4.6, 4.7). Tienen paredes irregulares y un espesor variable entre 0.8 y 1mm. El cuarzo que rellena esta venilla es microgranular de tamaños variables (entre 40 y 72 μ m) asociado a lamelas finas de Mo menores a 20 μ m intersticiales. La Mo (Tabla 2.1) está en contacto con una Sph incolora anhedral y Py (Fig. 4.8). Los análisis de SEM-EDS (Fig. 4.9) permitieron determinar la composición química de la esfalerita ($S_{1.01}Zn_{0.98}Fe_{0.01}$) y reconocer la presencia de molibdenita. Como se desprende de

los análisis químicos la esfalerita es pobre en hierro (<0.60% Fe) y uno de los análisis dio anomalías de Cd (0.53%; Tabla2.2).

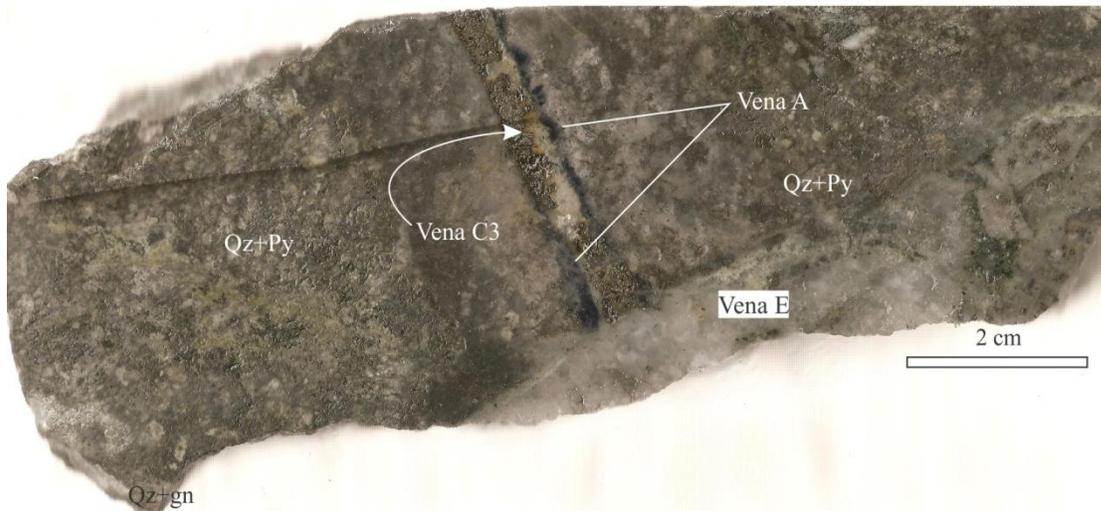


Figura 4.6. Fotografía de la muestra 41-247.54 que ejemplifica las relaciones de corte de las venas .

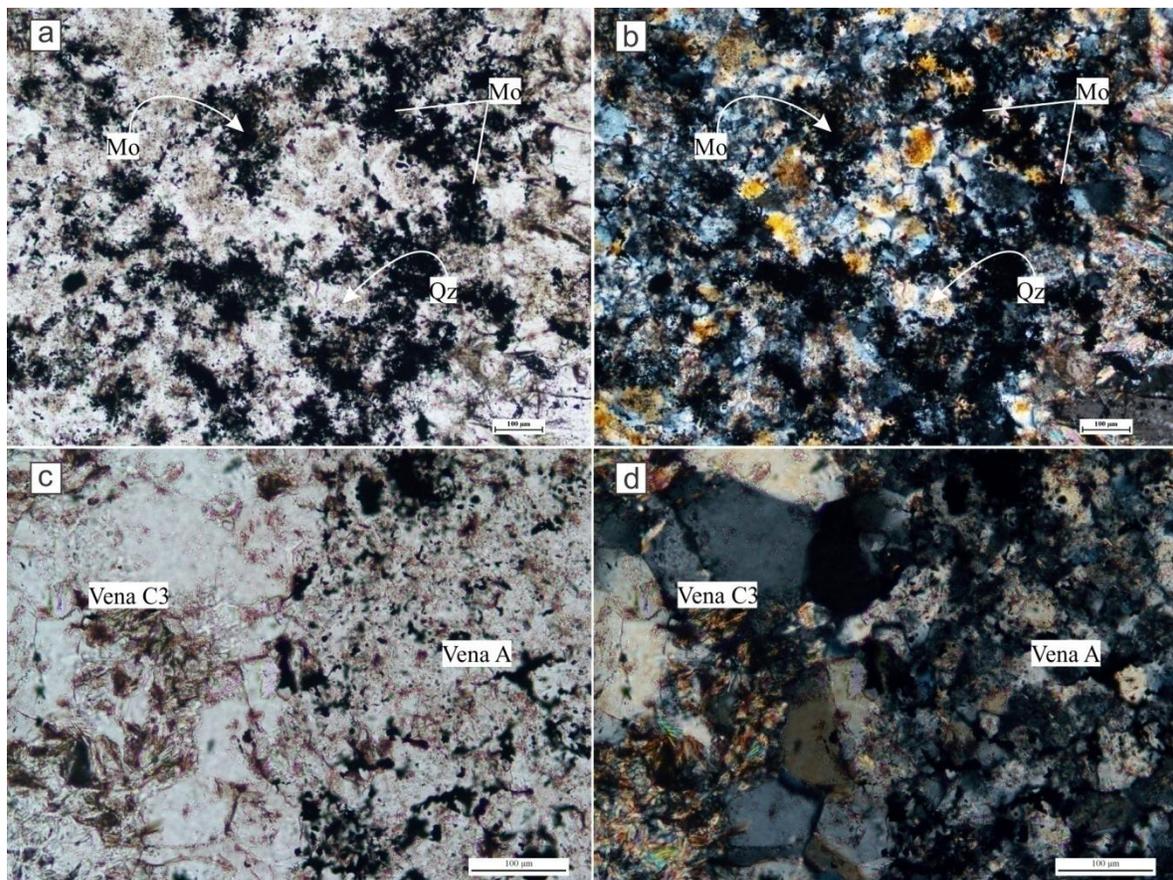


Figura 4.7. Microfotografías con luz transmitida a nicóles paralelos y cruzados. **a, b)** Se observan los finos cristales de molibdenita y el cuarzo intersticial de la vena A: 41-247.54m. **c, d)** Contacto entre vena A y vena C3.

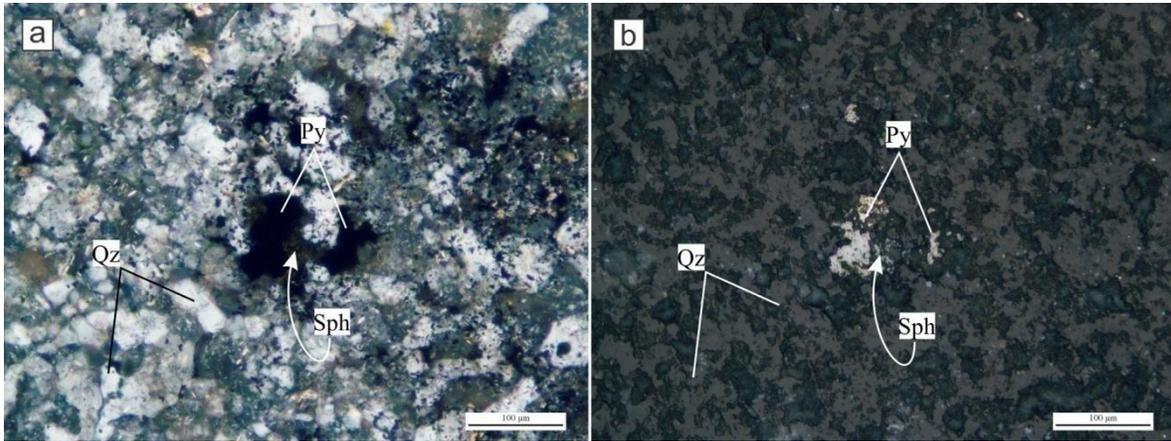


Figura 4.8. Microfotografías con luz transmitida y luz reflejada. a, b) Py rodea a Sph incolora.

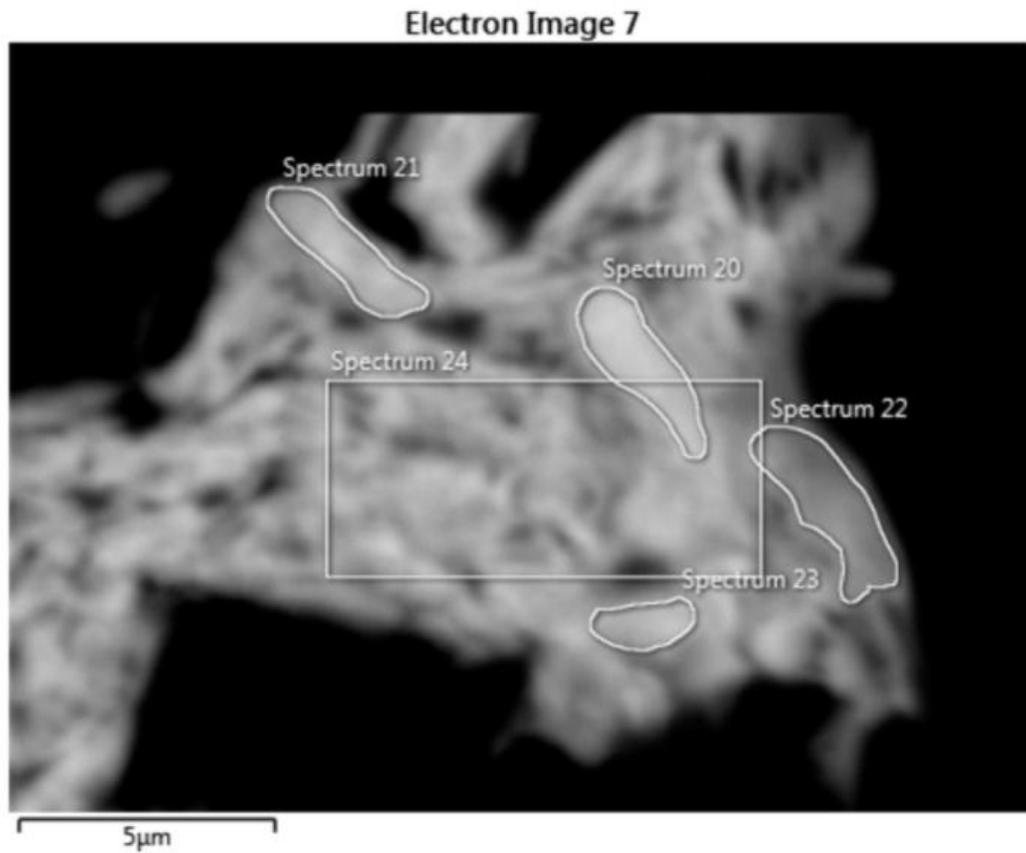


Figura 4.9. a) Imagen MEB donde se observa la Mo y los sectores donde se realizaron análisis composicionales que se muestran en la tabla 2.1.

Elemento	Espectro 20	Espectro 21	Espectro 22	Espectro 23	Espectro 24
	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%
S	33.1	33.08	30.88	31.06	33.16
Mo	52.38	54.07	47.83	47.36	48.71
Total:	85.48	87.15	78.71	78.42	81.87

Tabla 2.1. Composición química de las venas tipo A, por EDS de los espectros 20 a 24 en la muestra 41-247.54.

MUESTRA 41-247.54

Elemento	Site 12- Esp. 14	Site 12-Esp. 41	Site 12-Esp.42
S	30.57	30.04	29.56
Fe	0.60	0.41	0.52
Zn	59.23	58.12	57.84
Cd	0	0	0.54
Total:	97.61	95.63	95.50
Número de átomos por porcentaje			
S at%	0.94	0.92	0.90
Fe at%	0.01	0.01	0.01
Zn at%	0.91	0.89	0.88
Cd at%	0	0	0.05
Suma at. total:	1.85	1.82	1.80
Cálculo en base a 2 átomos			
S W%	1.01	1.01	1.00
Fe W%	0.01	0.01	0.01
Zn W%	0.98	0.98	0.98
Cd W%	0	0	0.005

Tabla 2.2. Composición química de las esfaleritas a partir de los análisis EDS de la muestra 41-247.54.

Venas tipo B: Qz±Epd±Bt, Chl+Cal, Py+Apy+Po±Cpy(Sph).

Las venas B están compuestas por la Qz±Epd±Bt y Chl+Cal intersticial se concentran en la zona central, presentan escasa mineralización compuesta por Py+Po+Apy±Cpy(Sph). Tienen un espesor de escasos milímetros a 2cm. Desarrollan estructuras lenticulares, en echelon a rectas y localmente forman brechas tipo jigsaw (Fig. 4.10). Cortan a los niveles de areniscas, lutitas, diques basálticos-andesíticos y tobas, y por sectores reabren a las venillas más tempranas del tipo A. Estas venas son las estructuras más ampliamente distribuidas en las secciones estudiadas. Se identificaron en el sondeo DHA-41 desde los 42.90 a los 88.7 mbbp y en los sectores más profundos sufrieron sucesivas reaperturas que dificultan su reconocimiento a los 121.62 mbbp. Los cristales de

cuarzo (10 a 20µm) son granulares finos con morfología subhedral e intersticial con respecto a la biotita (20 a 40µm) y epidoto (40 a 50µm). La clorita junto a calcita reemplazan a los cristales de epidoto previos y la clorita reemplaza selectivamente la biotita (Fig. 4.11).

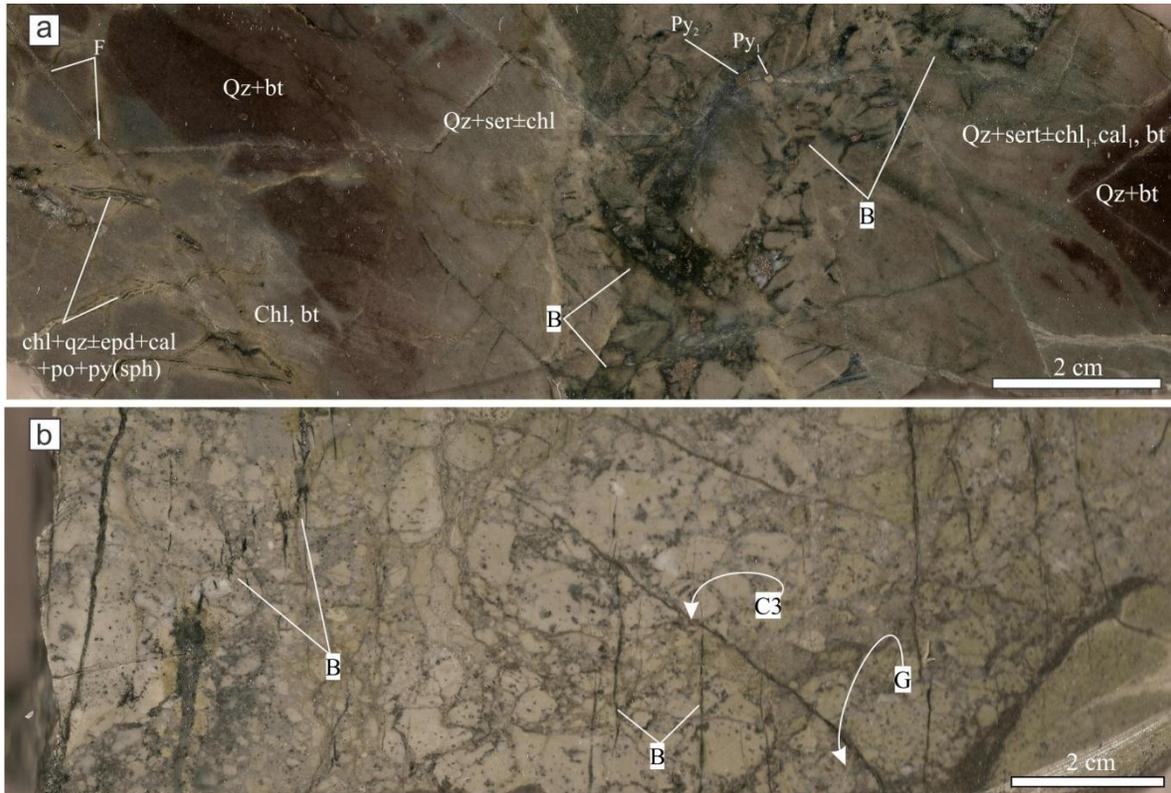


Figura 4.10. Fotografías de testigos coronas analizados. **a)** Lutita con relictos de alteración Bt+Chl cortada por venas de tipo B, 41-88.7 **b)** La roca es una brecha volcanoclástica monomíctica de clastos subredondeados del dique basáltico andesítico cementado por qz y py diseminada y arcilla cortada por venilla sigmoidal B, venas C3, 41-235.52.

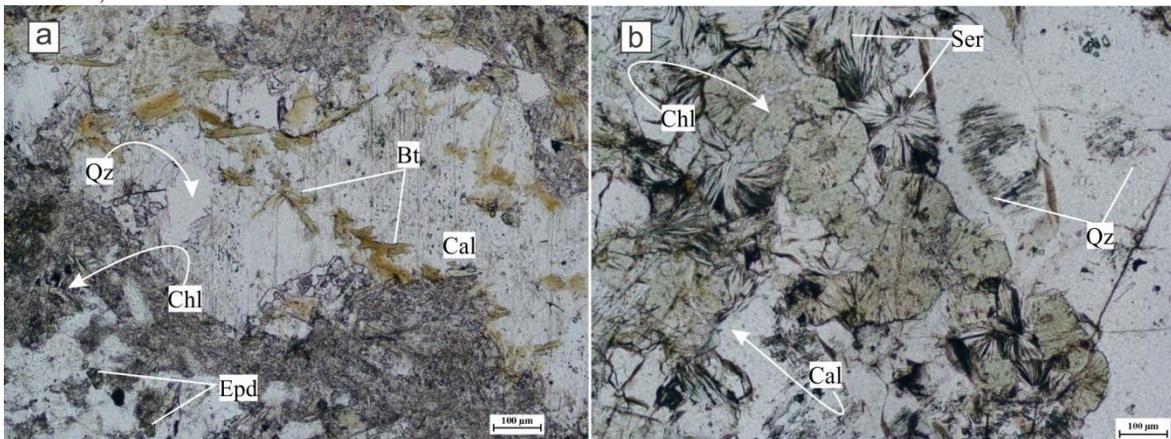


Figura 4.11. Microfotografías con luz transmitida a nicoles paralelos de la vena tipo B; 41-11, 88.7m.

Los sulfuros reconocidos son Py, Apy, Po, Cpy y Sph. Se han reconocido dos generaciones de Py, una Py temprana que presenta evidencias de una fuerte disolución (Fig.4.12) rodeada y cortada por Apy. La Apy está rodeada de una nueva generación de Py anisótropa (PyAs) y también está en contacto con Po e incluye trazas de Sph, y localmente está cortada por Cpy. Estas dos generaciones de pirita se observaron en muestra de mano (Fig. 4.13). La Po y Cpy están rellendo los espacios abiertos y se encuentran en contacto y equilibrio con la clorita y calcita, localmente estos sulfuros están alineados en las zonas de clivaje de la calcita (150 a 350 μm) (Fig. 4.14).

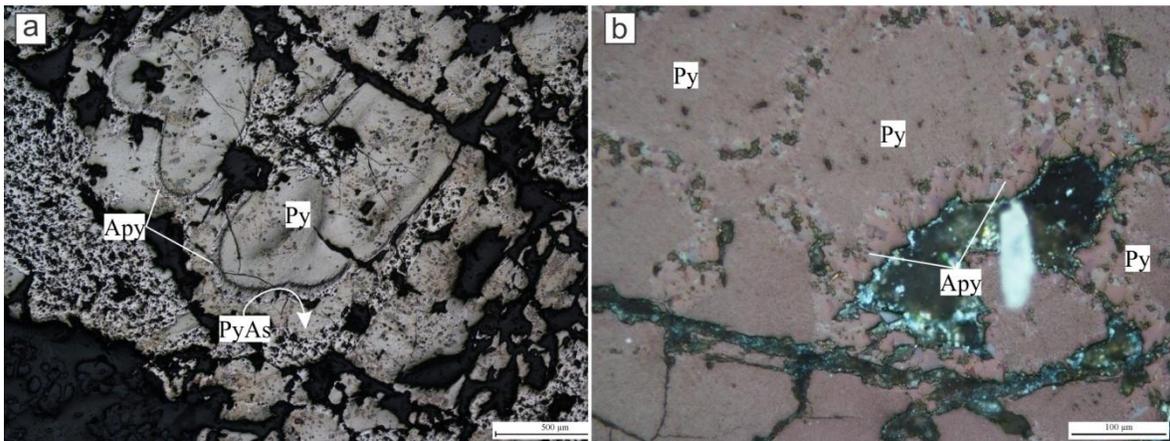


Figura 4.12. Microfotografía de la muestra 41-121, donde se observan las dos generaciones de pirita identificadas.

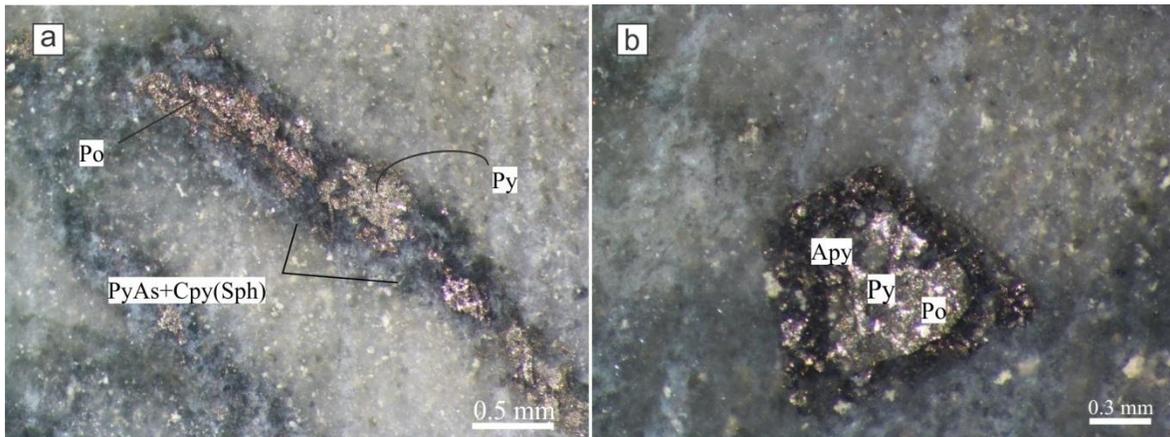


Figura 4.13. Fotografías de venillas B donde se observa una generación de pirita temprana rodeada por pirrotina. Una pirita de grano fino tardía rodea a la pirita con pirrotina (41-88.7).

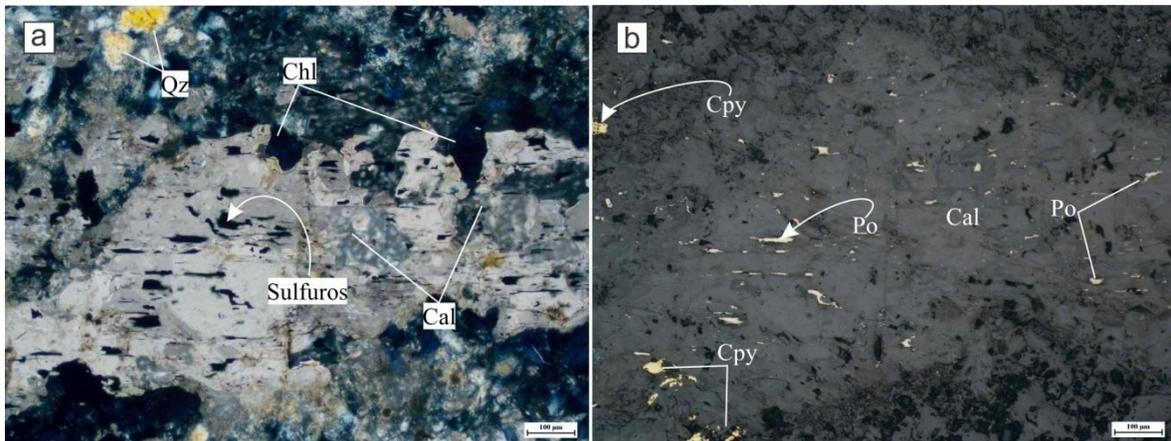


Figura 4.14. Microfotografías de la muestra 88.70m con vena tipo B de $Qz \pm Epd \pm Bt$, $Chl + Cal$ con luz transmitida y reflejada a) y b) respectivamente.

Estas venas presentan un halo de alteración compuesto por Chl de coloración castaña $\pm Epd$ con Py diseminada que gradan lateralmente a $Chl \pm Ser$ de grano fino y escasos cristales de Lcx (Fig. 4.15). La Chl de color anómalo castaño del halo difiere de la clorita verde presente en la vena y podría deberse a la presencia de Fe (chamosita?).

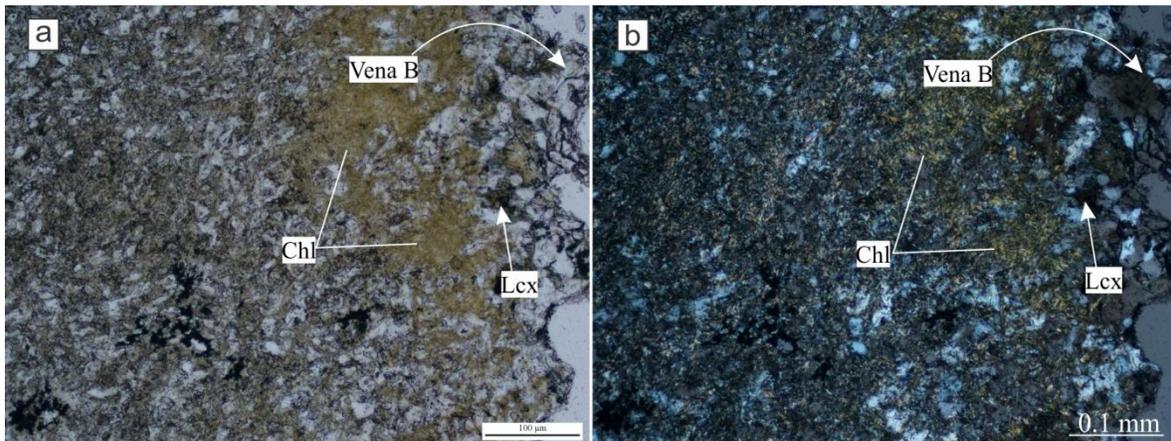


Figura 4.15. a, b) Microfotografías con luz transmitida a nicols paralelos y cruzados del halo de alteración de la vena de tipo B compuesto por Chl de coloración castaña y escasos cristales de Lcx .

Veta Tipo C1: $Qz \pm Chl \pm Cal + Py$, $PyAs$

Las vetas C1 se emplazan en los niveles tobáceos y en la interfase areniscas - lutitas. Estas vetas se identificaron en dos sondeos DHA-41y DHA-34 a 234.10, 210 y 136mbbp, tienen un espesor de 0.75, 0.80 y 1.3m respectivamente (Fig. 4.16). Son estructuras compuestas por cuarzo con textura brechosa multipulsos, poseen 10 a 20% de sulfuros de Fe y As . Fragmentos de cuarzo blanco masivo de aspecto lechoso están cementados y

cortados por vetillas multidireccionales de cuarzo translúcido±Chl±Cal+Py+PyAs. Al microscopio, el cuarzo lechoso desarrolla una textura granular gruesa (300 a 350 μm) en mosaico que intersticialmente grada a un cuarzo de textura granular más fina (20 a 30 μm). Ambas variedades de cuarzo presentan un aspecto turbio debido a la alta concentración de inclusiones fluidas. Se identificaron inclusiones fluidas ricas en vapor, bifásicas con burbuja móvil y trifásicas o multisólidas con cristales hijos de halita y un mineral anisótropo (sulfato?) asociadas a inclusiones sólidas de opacos (Fig. 4.17). La mineralización consiste en piritas arsenicales (PyAs) que rodea y corta a los cristales de Py (Fig.4.18, 4.19a) asociada a un cuarzo translúcido+Chl+Cal. La PyAs en sus bordes cerca del contacto con la Py presenta microinclusiones de Po, Sph y Cpy (Fig. 4.19b).

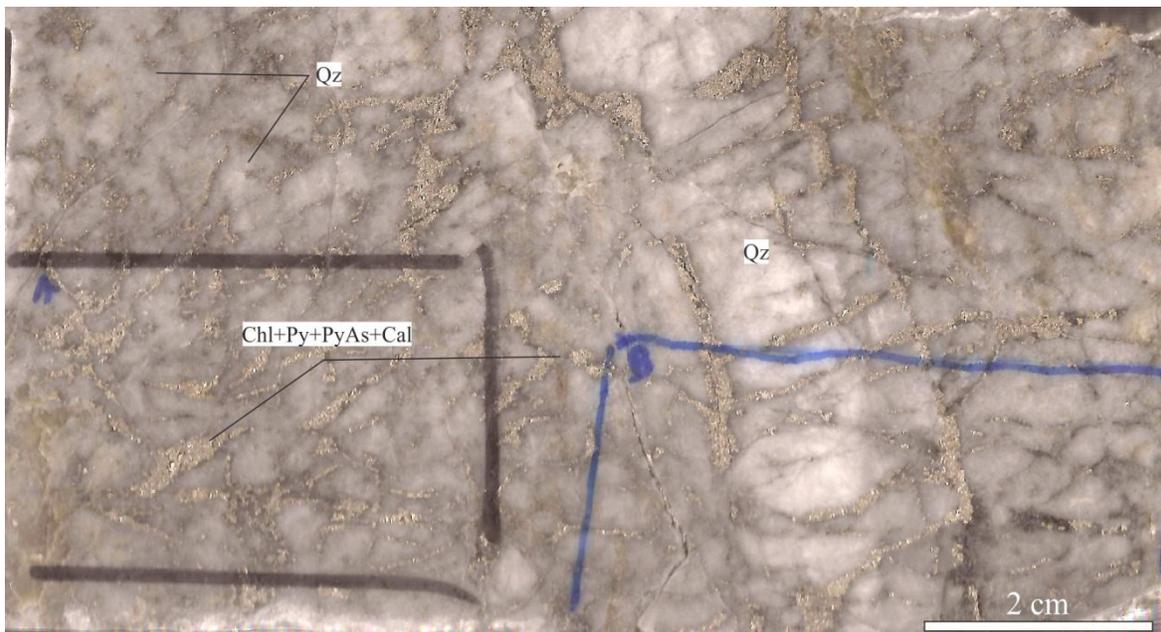


Figura 4.16. Fotografía del testigo corona estudiado, 41-234.10.

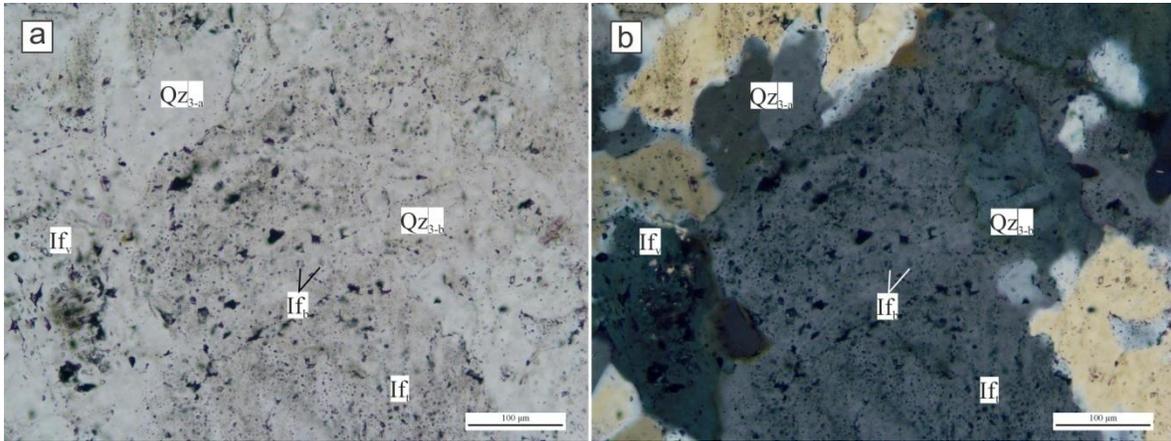


Figura 4.17. Microfotografía de veta tipo C1, compuestas por cuarzo turbio QZ_{3-a} y cuarzo translúcido QZ_{3-b}, **a)** con luz transmitida nicoles paralelos. **b)** con nicoles cruzados. Se identificaron inclusiones fluidas (If) ricas en vapor, bifásicas con burbuja móvil y trifásicas o multisólidas con cristales hijos de halita y un mineral anisótropo (sulfato?) asociadas a inclusiones sólidas de opacos en el cuarzo turbio.

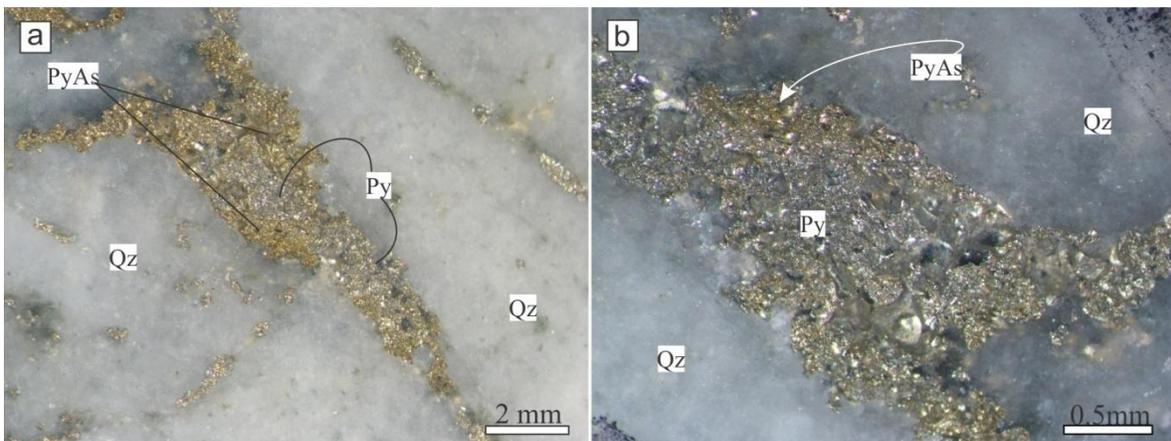


Figura 4.18. a, b) Fotografías con lupa binocular de la veta tipo C1, donde se observa que la PyAs rodea a la Py, 41-234.10.

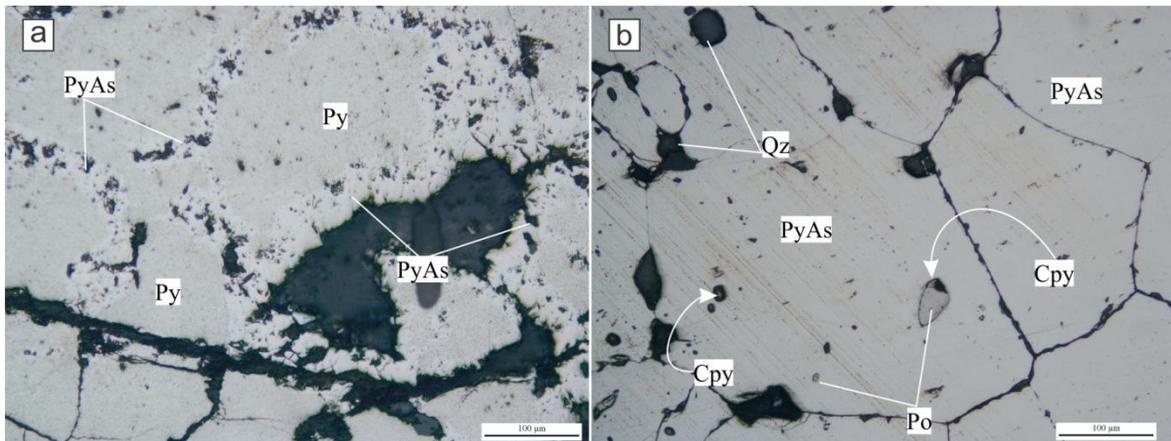


Figura 4.19. a) Microfotografía de detalle de la zonación de Py y AsPy, 41-121.61. **b)** Microfotografía de Py con inclusión de Cpy y Po: 41-121.61.

Estas estructuras presentan un halo de alteración compuesta por silicificación penetrativa de la roca y Chl+Py+Qz en venillas que se extienden por 70 a 80cm.

Venas tipo C2: Qz+Ser±Sid (Chl), Py, PyAs, (Sph+Gn+Cpy) (Arg, Po)

Las venas tipo C2 están compuesta por Qz±Ser±Sid (Chl) y Py+PyAs+Sph+Gn±Cpy (Arg, Po), estas venas cortan a las venillas B. Son de paredes rectas, de 1 a 10 cm son simétricas presentan halos de alteración y están restringidas a la facies de lutitas y areniscas finas, y a algunos niveles subordinados de las vulcanitas (tobas) (Fig. 4.20).

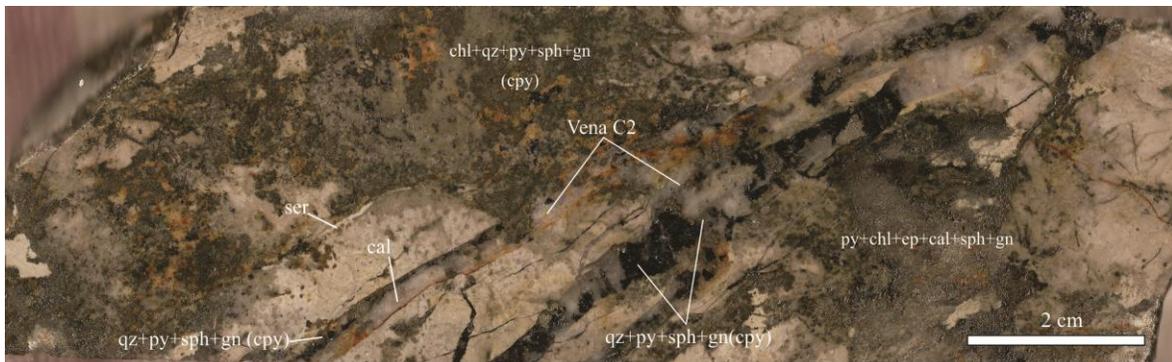


Figura 4.20. Venas de tipo C2 con sulfuros que corta a brecha polimictica de toba con mineralización diseminada, 41-56.81m.

Hacia los bordes de las venas el cuarzo desarrolla cristales (0.5 a 1mm) *feathery* (plumosa) a *comb* (en peine) (Fig. 4.21a) que gradúa al núcleo de la vena a granular medio. El cuarzo *comb* (en peine) presenta hacia los bordes microinclusiones sólidas primarias de sulfuros (Gn+Py+Cpy) asociadas a inclusiones fluidas primarias bifásicas acuosas y monofásicas ricas en vapor (Fig. 4.23). Parches de clinocloro y cristales de epidoto quedan incluidos en el cuarzo y también están parcialmente o totalmente reemplazados por sericita. Dentro de los cristales de cuarzo se preservan fantasmas radiales de la clorita previa. La sericita (30 a 50µm, tabla 2.3) y la siderita (450 a 500µm) están dispuestos intersticiales a los granos de cuarzo (Fig. 4.21b) y parcialmente reemplazadas por calcita tardía.

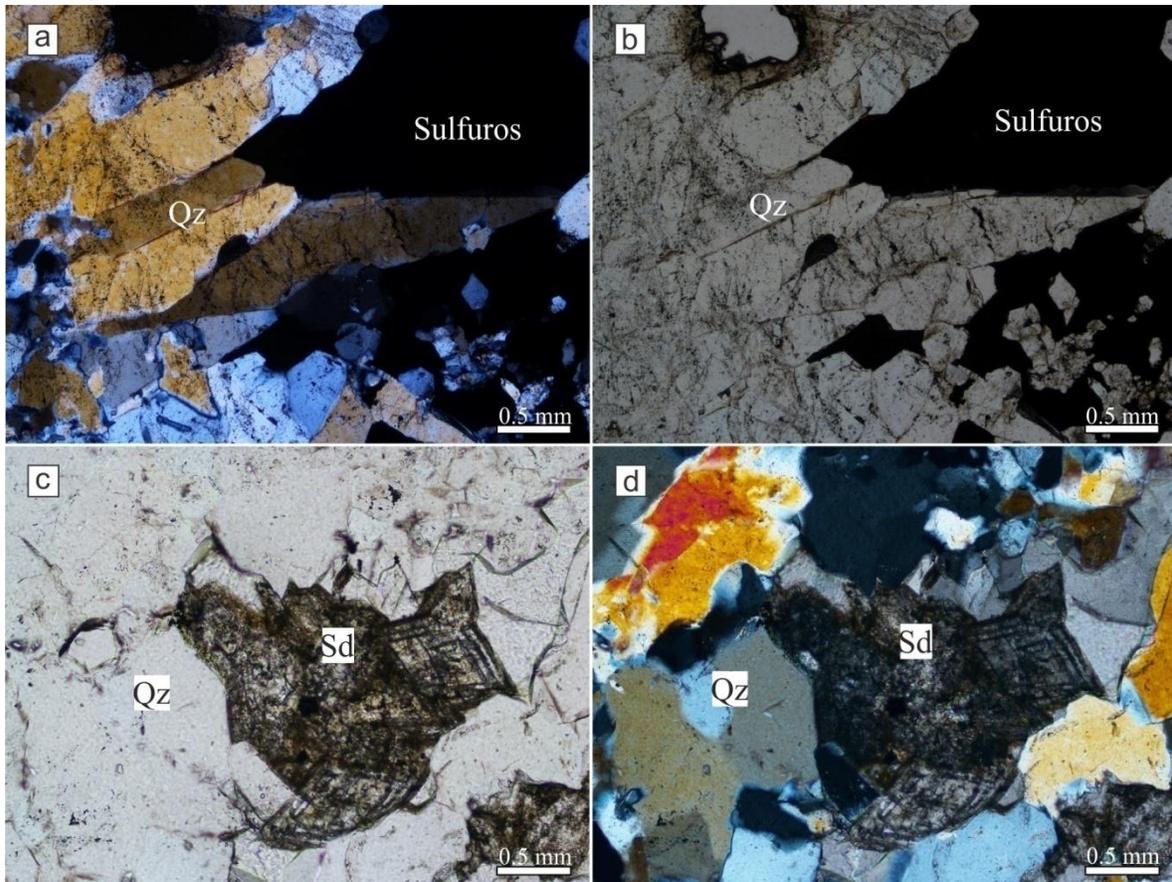


Figura 4.21. Microfotografía con luz transmitida a nicols paralelos y cruzados. **a, b)** Venas de rellenas con cuarzo *comb* y localmente textura *feathery*, 41-56.81. **c, d)** Vena con cristales de cuarzo y siderita intersticial: 41-56.81.

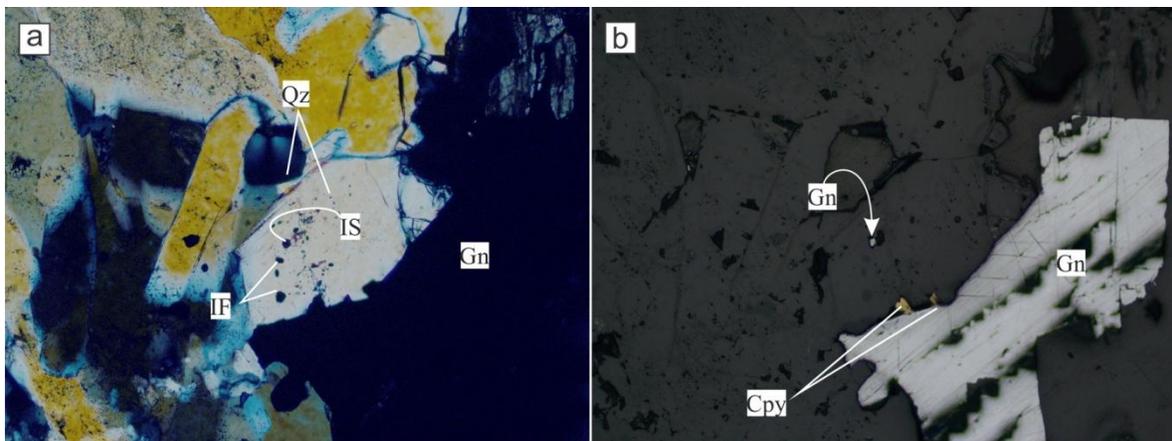


Figura 4.22. a, b) Microfotografías de la vena C2 compuesta por cuarzo *comb* con inclusión sólida de sulfuro (galena) e inclusiones fluidas con luz transmitida nicols cruzados, y con luz reflejada con nicols paralelos respectivamente, 41-56.81.

La mineralización consiste en Py+PyAs+Gn+Sph (Po, Cpy) constituye un total de 5 a 20% del volumen total de las venas. La Gn forma granos anhedral de 100 a 500 μm están en contacto con la Py, Sph (Fig. 23a). Localmente la galena anhedral se encuentra tapizando los cristales de sericita en contacto con la calcita tardía (Fig. 24). La PyAs se encuentra rodeando a los cristales corroídos de Py e incluye cristales finos de Po, junto a Sph y Cpy (Fig. 23b). Los cristales de Sph son euhedrales castaño rojizos (80 a 100 μm) y presentan inclusiones ordenadas de Cpy. Los análisis de SEM-EDS permitieron determinar la composición química de la esfalerita $\text{S}_{1.02}\text{Zn}_{0.76}\text{Fe}_{0.19}$ (tabla 2.4).

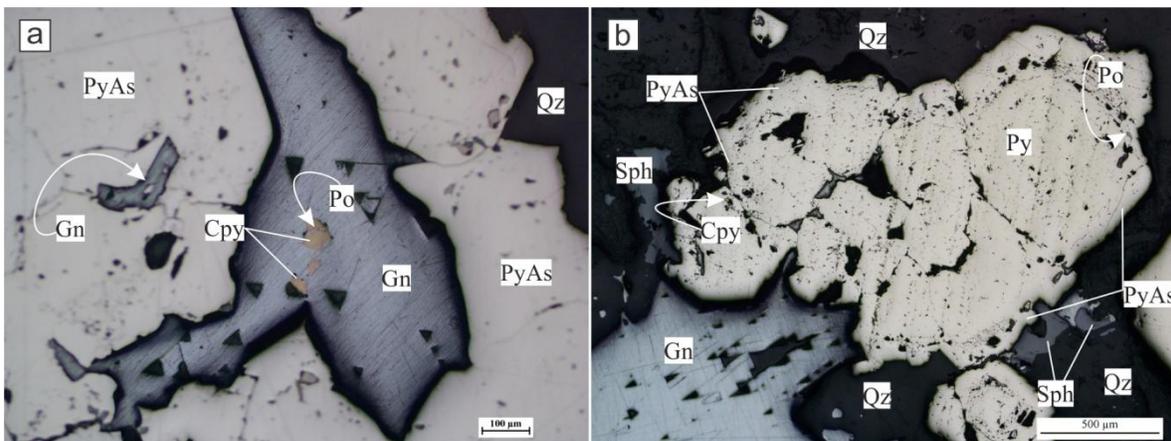


Figura 4.23. Microfotografías con luz reflejada. **a)** Cristal de galena con morfología anhedral con inclusiones de Po y Cpy. **b)** PyAs se encuentra rodeando a los cristales corroídos de Py e incluye cristales finos de Po, junto a Sph y Cpy

Estas venas presentan un halo de alteración formado por Ser+Qz±Py±Po fina, de 200 μm des espesor que le da a la roca una coloración blanquecina.

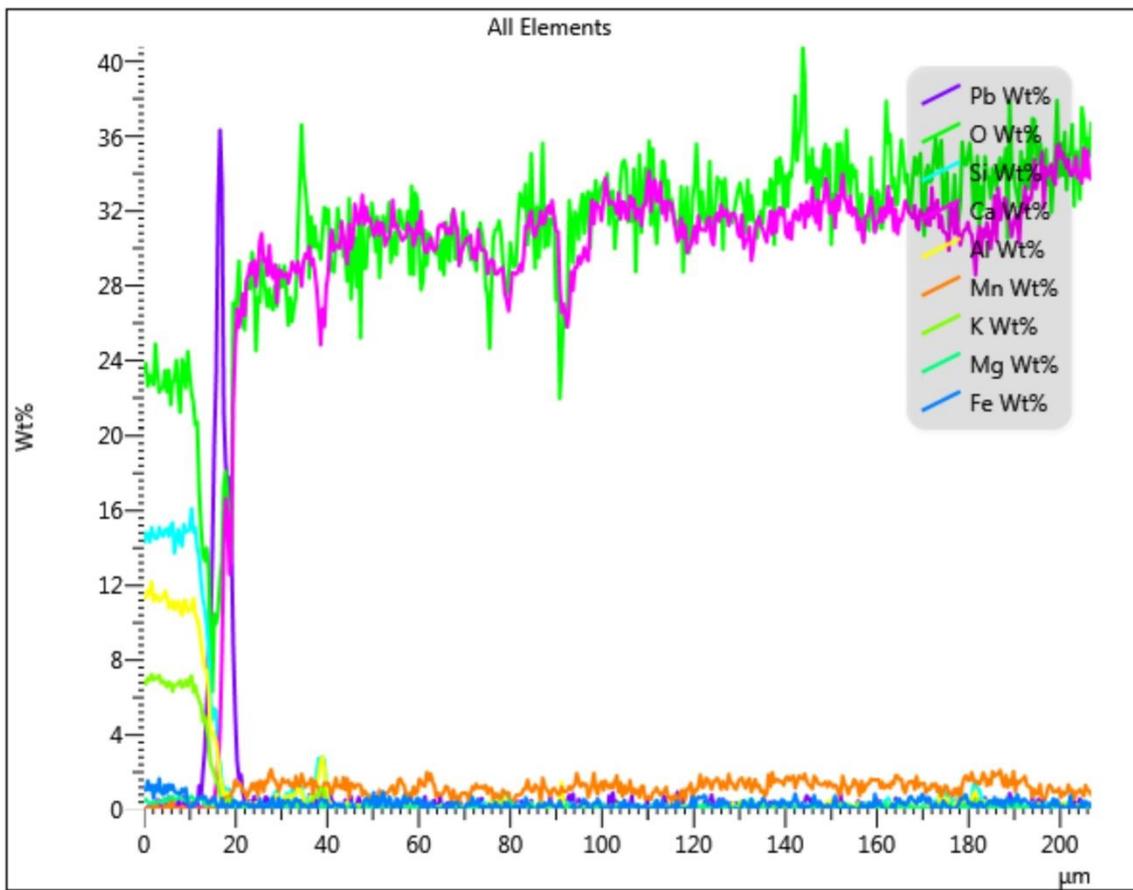
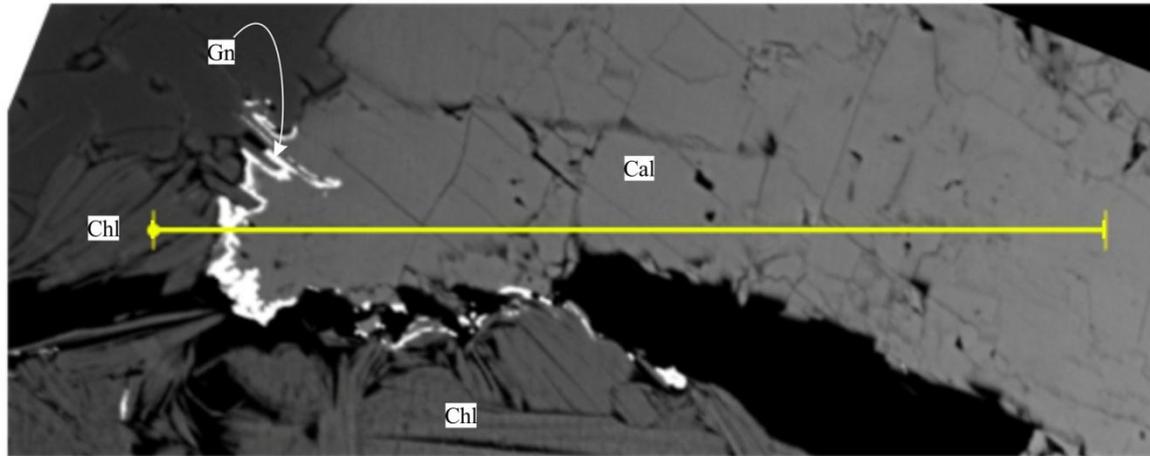


Figura 4.24. Perfil composicional realizado desde la sericita pseudomorfa según clorita pasando por la galena a la calcita intersticial. (41-247.54, SITE 4).

MUESTRA 41-137

Elemento	S _{1.01} Fe _{0.19} Zn _{0.76}	S _{0.98} Fe _{0.17} Zn _{0.82}
S	33.58	33.14
Fe	11.20	9.92
Zn	50.42	55.47
Mn	1.38	0.70
Total:	96.58	99.23
Número de átomos por porcentaje		
S at%	1.03	1.01
Fe at%	0.20	0.17
Zn at%	0.77	0.84
Mn at%	0.02	0.01
Total:	2.02	2.05
Cálculo en base a 2 átomos		
S W%	1.01	0.98
Fe W%	0.19	0.17
Zn W%	0.76	0.82
Mn W%	0.02	0.01

Tabla 2.3. Detalle del cálculo composicional de las esfaleritas: muestra 41-137.

Elemento	Espectro 9	Espectro 18	Espectro 23	Espectro 24	Espectro 26
	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%	Wt%
O	41.47	36.81	37.54	42.69	43.82
Mg	11.84	8.30	8.71	9.15	9.14
Al	10.30	9.83	9.98	10.61	10.77
Si	11.91	12.27	12.33	12.73	13.28
Mn	1.68	2.17	2.08	1.97	2.39
Fe	10.60	18.61	18.11	17.82	18.94
Total:	87.81	88.00	88.75	94.97	98.34

Tabla 2.4. Detalle de la composición de las cloritas analizadas correspondientes a los espectros 9, 18, 23, 24 y 26 en la muestra 41-137.

Vena tipo C3: Qz+Ser, Chl, Cal, (Sph, Gn, Cpy, Arg)

Las venas C3 están formadas por Qz+Ser, Chl, Cal tienen de 2 a 10 cm de espesor son rectas y simétricas cortan y reabren localmente a las vetillas A y B (Fig. 4.2a), presentan salbandas de clorita en los bordes y un núcleo rico en cuarzo y calcita y sericita. Están alojados en los niveles de areniscas finas, lutitas y tobas. En las facies de lutitas y areniscas finas las venas evidencian un fuerte control estructural ya que sigue planos de debilidad de las microestructuras de grabens invertidos (Fig. 4.25b).

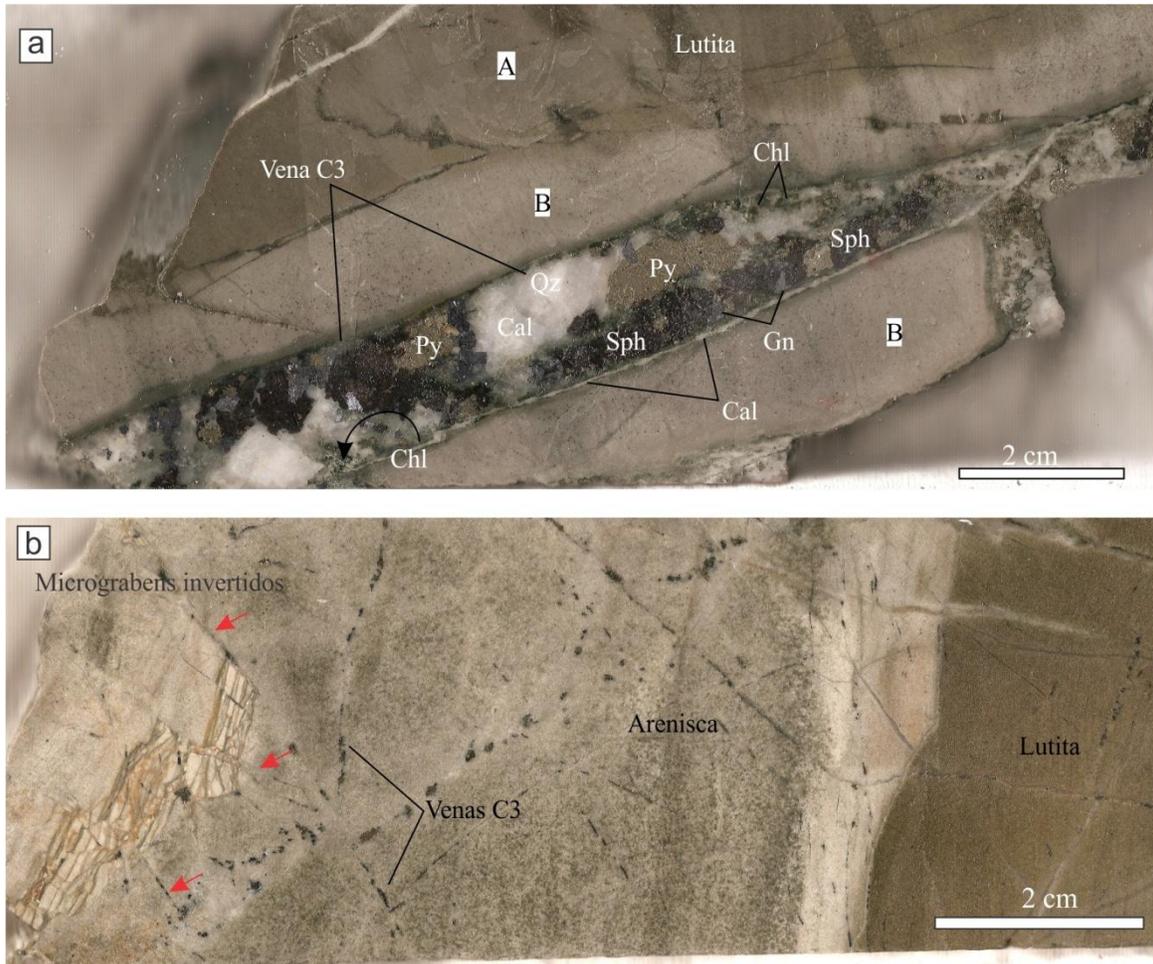


Figura 4.25. Fotografías de los testigos estudiados. **a)** Muestra 41-137, Vena de tipo C3 donde A es la lutita decolorada y B el halo de alteración de dicha vena. **b)** Micrograbens donde la venas de tipo C3 se alojan en las areniscas con intercalaciones de lutita, 41-138.58m.

El cuarzo que rellena las venas desarrolla variaciones texturales desde cuarzo tipo *comb* (en peine) que hacia el borde de la vena tiene una textura de grano más fino (50 a 100 μ m) con respecto al centro de la vena (150 a 250 mbbp) a cuarzo tipo *parallel-bladed* (reemplazo paralelo) (Dong, 1995). Esta textura de cuarzo se observó a 42.50 mbbp en el DHA-41 (Fig. 4.26) y 207.43 mbbp en el DHA-40. También se distinguió en una de las venas cuarzo con textura *feathery* (plumosa).

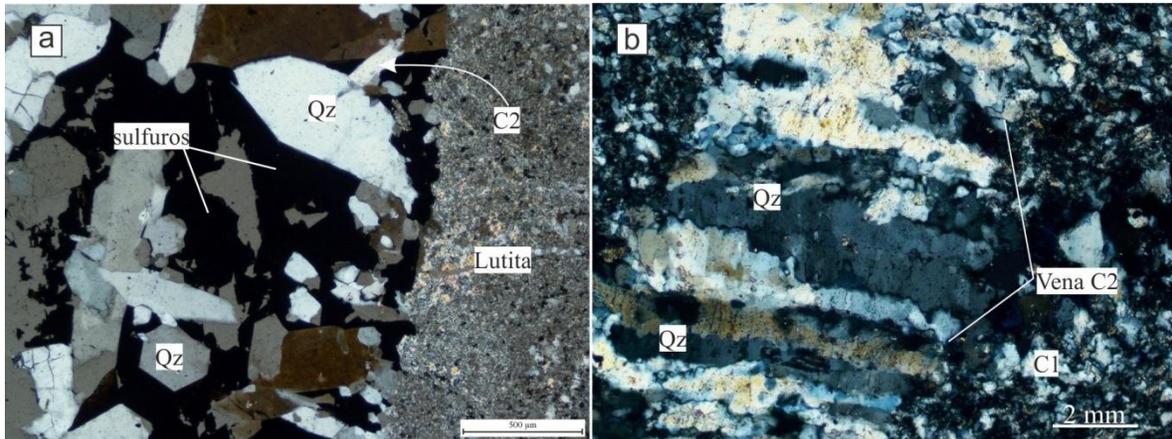


Figura 4.26. Texturas de cuarzo en las venas de tipo C2. **a)** Cuarzo *Comb*, 41-56. **b)** Cuarzo *parallel-bladed*, 41-42.94m.

Los núcleos de los cristales individuales de Qz euhedral a subhedral incluyen cristales de epidoto y clorita de la alteración previa (Fig. 4.27) y presentan hacia los bordes inclusiones sólidas primarias de sulfuros (Gn, Sph, Py) alineadas con inclusiones fluidas bifásicas y ricas en vapor.

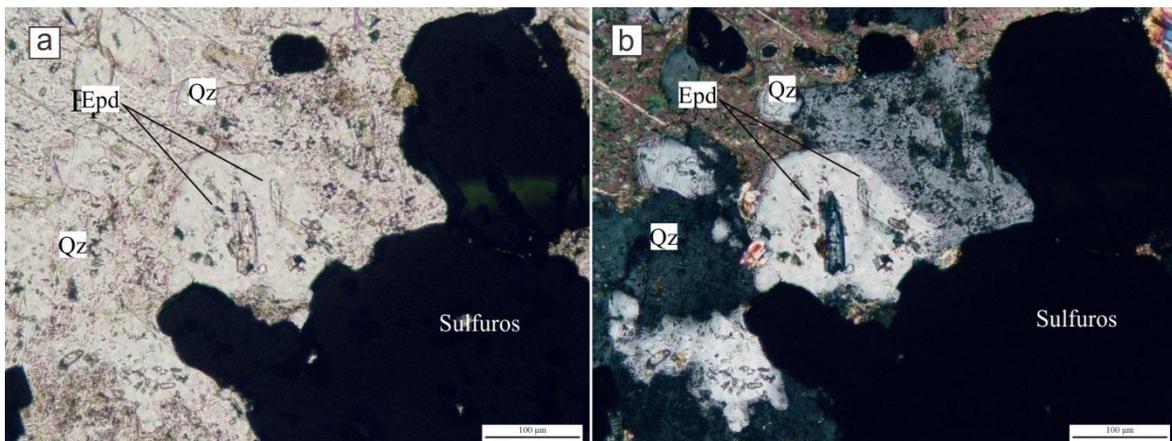


Figura 4.27. Microfotografías con luz transmitida a nicols paralelos y cruzados. **a, b)** Vena C3 de cuarzo que incluye cristales de epidoto previos 41-121.61.

La Chl es verde oscuro sus características ópticas (Fig. 4.28) indican que se trata de una clorita rica en Mg y está frecuentemente reemplazada por sericita (tabla 2.5).

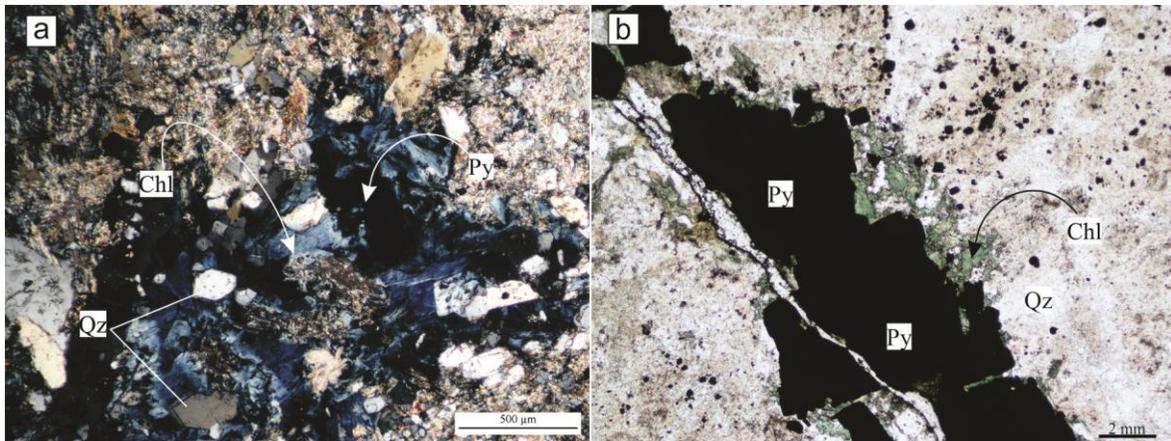


Figura 4.28. Microfotografías con luz transmitida. **a)** con nicoles cruzados donde se observa la clorita con color de interferencia azul de Berlín. **b)** Cristales de clorita como salbanda de las venas rellenas con sulfuros.

Elemento	Espectro 24		Espectro 26		Espectro 51	
	% Wt	% Ws	% Wt	% Ws	% Wt	% Ws
O	42.69	0.29	130.86	87.34	44.84	0.3
Mg	9.15	0.11	27.2	18.17	10.72	0.11
Al	10.61	0.11	32.09	21.43	10.89	0.11
Si	12.73	0.11	39.6	26.44	13.62	0.12
Mn	1.97	0.08	6.99	4.69	2.09	0.08
Fe	17.82	0.19	56.42	37.68	16.61	0.18
Total:	94.97		98.34		98.76	

Tabla 2.5. Detalle de las composiciones de las cloritas, extraídos del análisis de la muestra 41-137, Site 7. (Chl-Ser).

Los sulfuros se encuentran en contacto con la sericita y se disponen intersticiales al cuarzo, la calcita es tardía y rellena los espacios abiertos. La calcita es límpida y desarrolla cristales anhedrales gruesos (100 a 150 μ m) y localmente forma textura tipo *platty* entre los 40 a 45 mbbp. Los análisis de SEM en la calcita mostraron trazas de Mn (<0.4%).

La mineralización de sulfuros consiste en Py+Sph+Gn+Cpy. La pirita, esfalerita y galena desarrollan texturas de grano grueso y están en contacto y equilibrio (Fig. 4.29). La pirita presenta inclusiones sólidas de los sulfuros Zn, Cu y Pb, y Ag (5 a 10 μ m). La Sph forma cristales euhedrales de 450 a 750 μ m zonados, con un núcleo de color castaño verdoso y un borde rojo intenso los análisis de SEM-EDS permitieron determinar su

fórmula química rica en hierro y manganeso ($S_{1.01}Zn_{0.76}Fe_{0.19}Mn_{0.024}$) (Fig. 4.29b, f). La esfalerita roja presenta inclusiones orientadas de Cpy según las superficies de clivaje.

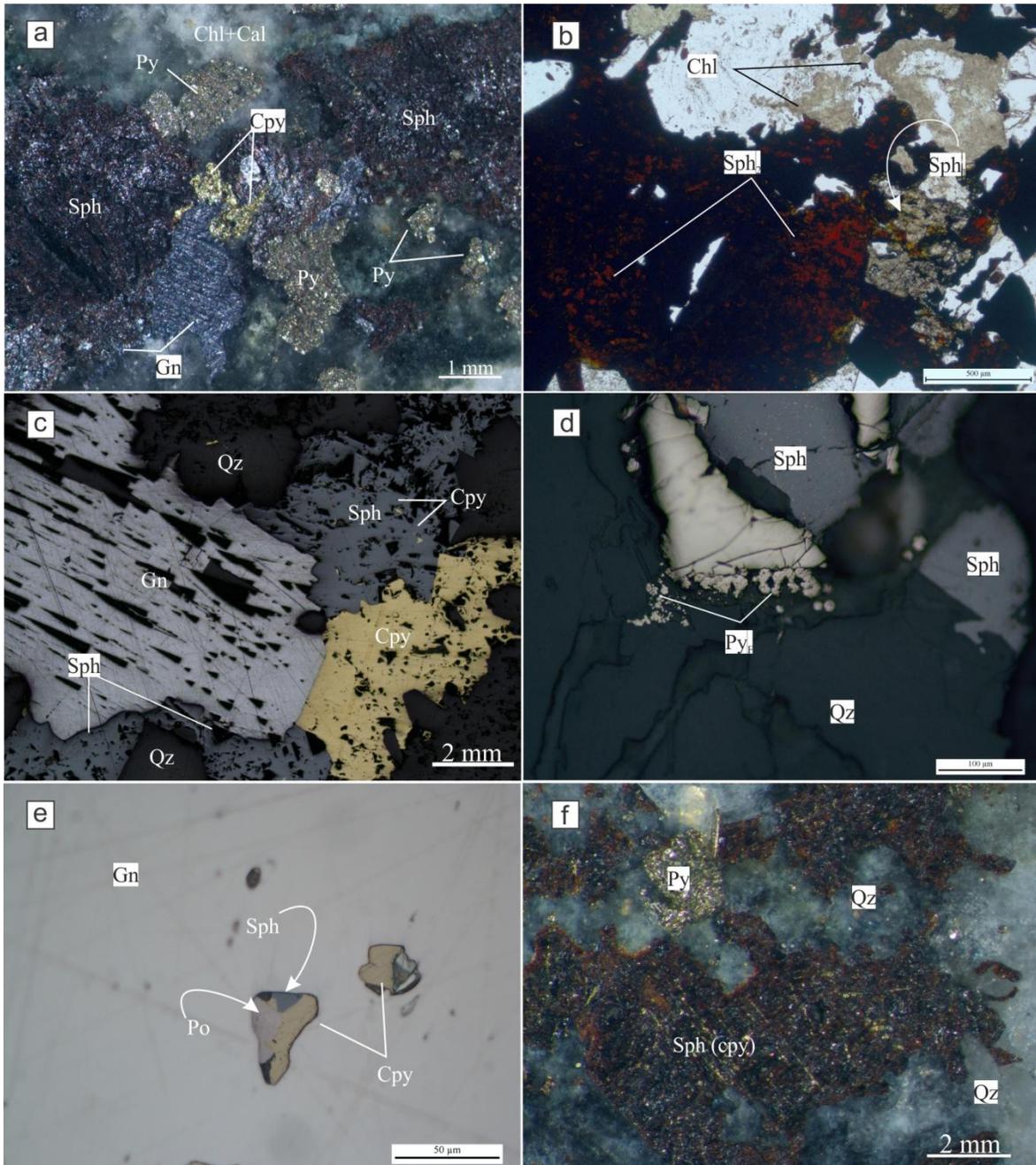


Figura 4.29. Venas de tipo C3 en sondeo DHA-41. **a)** Vena de cuarzo translúcido en diente de perro con mineralización de pirita+galena+esfalerita. **b)** Sph₂ roja rodea a sph₁ grisácea verdosa. **c)** Microfotografía de detalle de los minerales de mena, 137m. **d)** Py tardía framboidal, vena, 137m. **e)** Microfotografía de cristal de galena con inclusiones de Sph, Po y Cpy. **f)** Fotografía muestra 41-136: esfalerita tipo disease y pirita en ganga de cuarzo.

Estas venas presentan un halo de alteración de 1 a 1.5cm de espesor que se superpone a la alteración diseminada de Chl+Qz (Ser) y se identifica por un cambio de coloración hacia tonos más claros (Fig. 4.25a). Está compuesta por una alteración dominada por Ser±Chl (Rt, Mon, Ap) y Py diseminada en grano muy fino (24-30µm) (Fig. 4.30). La monacita es rica en Ce (Fig. 4.30). La pirita localmente está tapizada por monacita que también se encuentra en cristales finos junto a apatito y rutilo. Hacia el contacto con la venilla la proporción de sericita y de pirita aumenta junto al tamaño de grano de estos minerales.

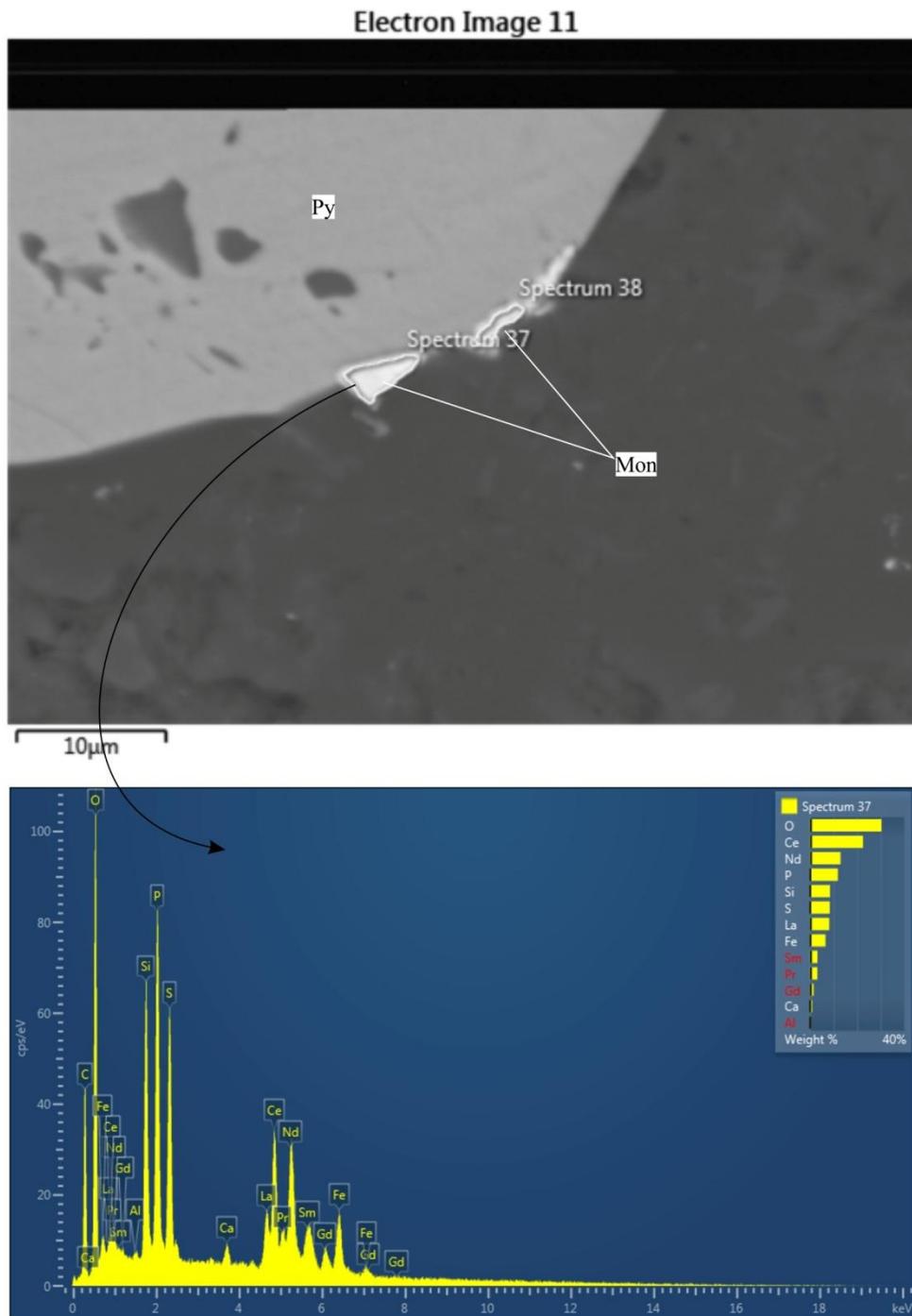


Figura 4.30. Microfotografía MEB y Espectro de EDS tomada en la muestra 41-247, donde se observa que la monacita rodea la pirita.

Los difractogramas de DRX de la roca de caja (Fig. 4.31) y halo de alteración (Fig. 4.31) en roca total, evidencian que la Zona B tiene mayor proporción de illita y menos

clorita que la zona A, de acuerdo a la intensidad relativa de los picos. La clorita identificada es de tipo clinocloro (Fig. 4.32).

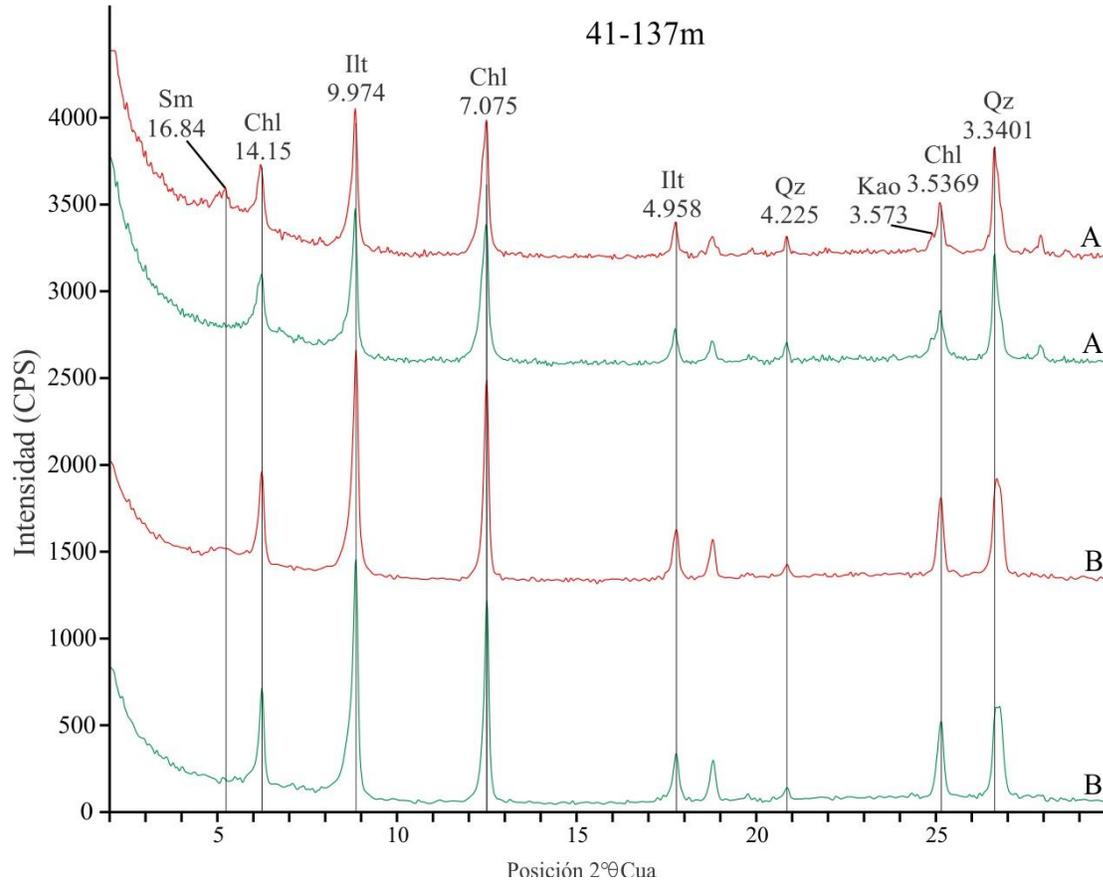


Figura 4.31. Patrones de difracción de rayos X de muestra orientada del halo de la vena (B) de tipo C3 y de la roca de caja decolorada (A), 41-137.

Veta tipo D: Qz+Ser, Chl, Cal, (Sph, Gn, Cpy, Arg)

Hacia el final de los pozos más occidentales (DHA-41 y DHA-40, 250 y 234 mbbp, respectivamente) y entre los 133 y 136 mbbp del sondeo DHA-34 se intercepta la veta con alta proporción de sulfuros (40 a 60% del vol. total de la roca; Fig. 4.32) que hacia abajo gradan a brechas cementadas por múltiples pulsos de calcita.

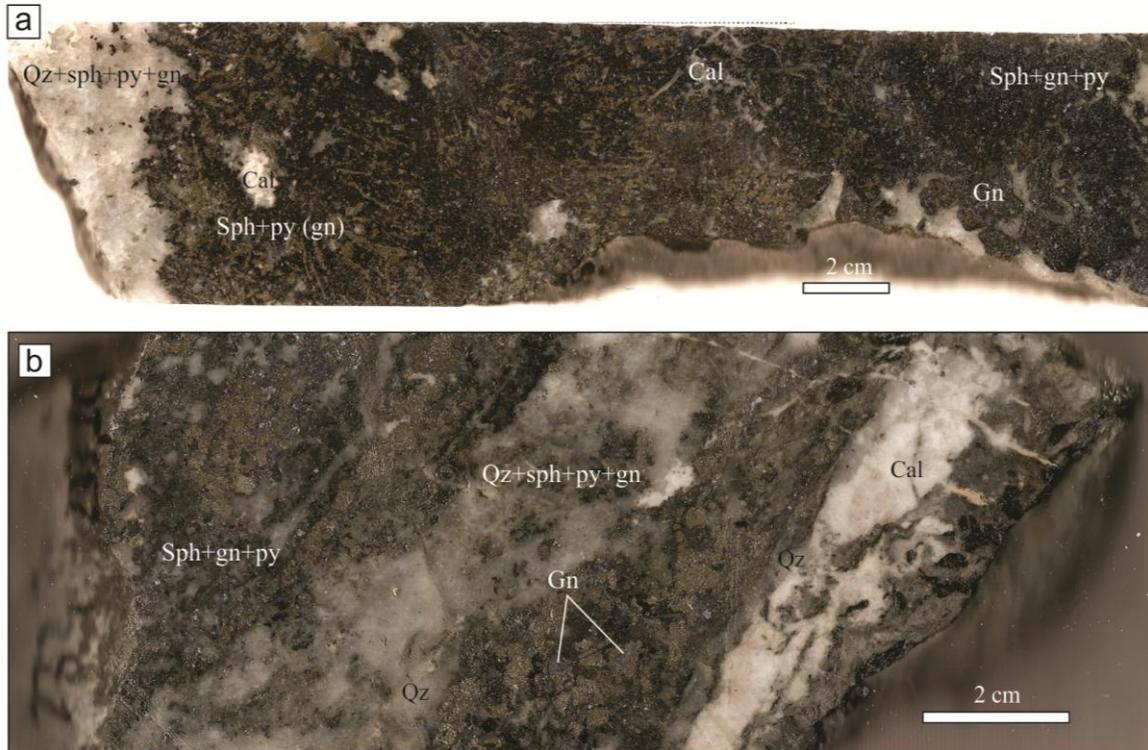


Figura 4.32. Veta de sulfuros masivos mineralizadas en sistema Julia. **a)** Veta de cuarzo blanco translúcido y con sulfuros masivos calcita tardía. Muestra 41-250m. **b)** Veta con sulfuros masivos.: 40- 234m.

La veta de sulfuros masivos está formada por cristales cuarzo euhedral (20 a 25%), clorita (trazas) y calcita intersticial (Fig. 4.33a). La Chl y Qz están en contacto con la mena. El cuarzo localmente presenta *textura lattice bladed* (laminar en trama). Los sulfuros rellenan los espacios entre los cristales de cuarzo y están en contacto con la clorita, son de grano grueso, la pirita desarrolla un hábito anhedral dendriforme con inclusiones de Cpy, Po y Sph (Fig. 4.33c), y está en contacto con la Gn y Sph(cpy) de grano grueso. La Cpy se presenta como agregados de grano fino (200 a 350 μ m) de morfología irregular y en forma de inclusiones dentro de la Sph y Gn (Fig. 4.33d). Se observa calcopirita en la esfalerita como microinclusiones a lo largo de sus superficies de clivaje (Barton P. B. et al., 1987) (Fig. 4.33a). Análisis de ICP-MS realizados en los cristales de galena mostraron las siguientes anomalías de metales: Ag: 895ppm, Bi: 5.44ppm, Cd: 17.80ppm, Sb: 633.95ppm, Se: 5.37ppm y Te: 150.26ppm: Maydagan et al., 2018.

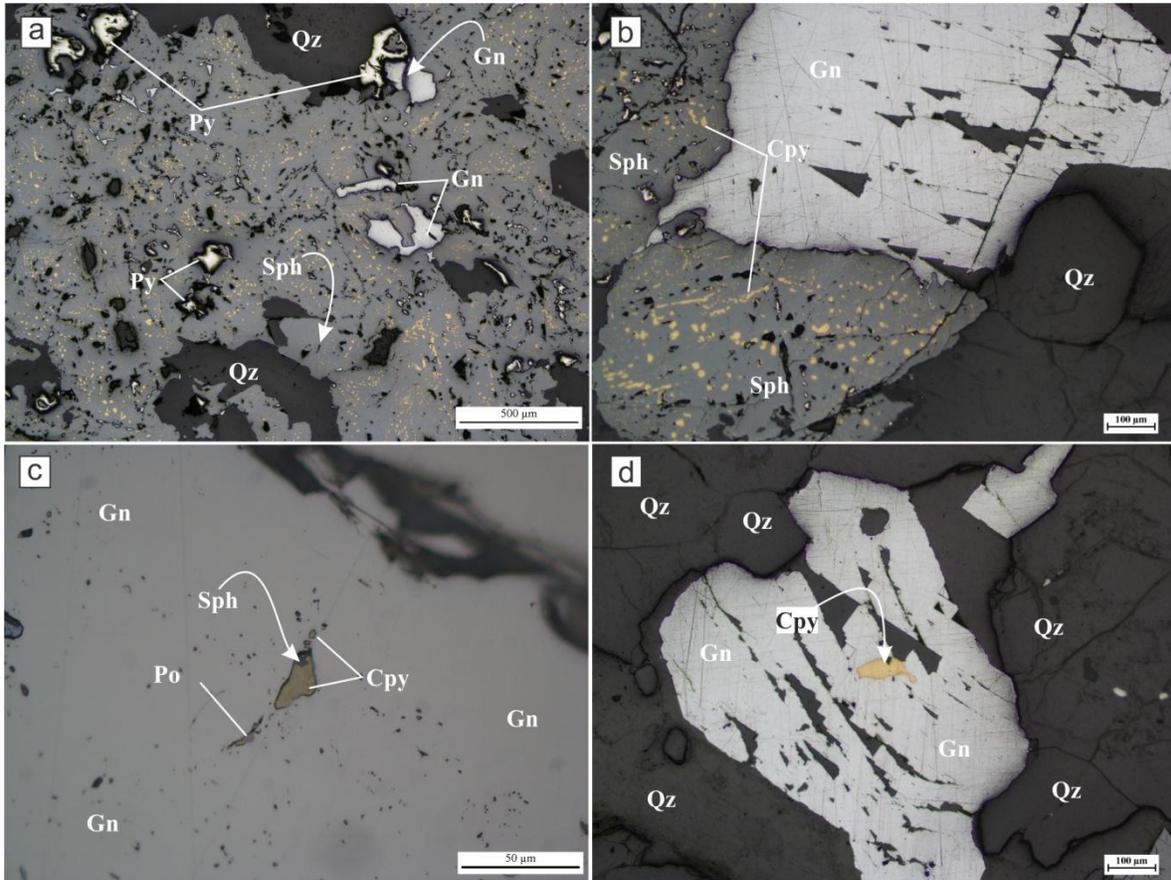


Figura 4.33. Microfotografías con luz reflejada de la veta de sulfuros masivos mineralizadas en sistema Julia. Muestra 40-250. **a)** Microfotografía de sulfuros masivos. **b)** Microfotografía de detalle de Gn en contacto con Sph (Cpy). **c)** Microfotografía de Gn con inclusiones de Sph, Po y Cpy. **d)** Detalle de inclusión de Cpy en Gn.

Venillas tipo E: Ser

Las venillas de tipo E compuestas por sericita son rectas a irregulares, de 1 a 5mm, y se superponen y reabren a las estructuras mineralizadas previas (Fig. 4.34).

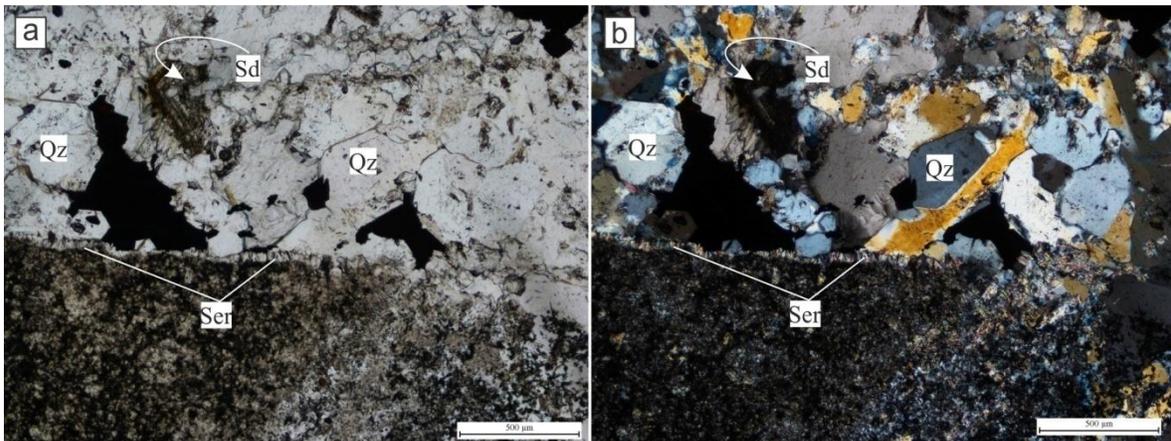


Figura 4.34. Microfotografías con luz transmitida, donde se observa como vena de tipo D reabre a las

estructuras mineralizas previas, 41-56.81.

Venillas tipo F: Py

Las venillas tipo F están compuesta por Py son de paredes rectas y poseen la mayor distribución areal y vertical en las sedimentitas de Fm. Huaraco (Fig. 4.35), en algunos casos comprende hasta un 5 a 10% en vol. de la muestra analizada. Estas venillas tienen espesor 1 a 2 mm. La Py es anhedral de grano fino a medio (0.5 a 1mm). En los laboreos subterráneos relevados las lutitas negras están cortadas por estas finas venillas (Fig. 4.35b).



Figura 4.35. a) Fotografía de testigo de las sedimentitas de Huraco cortadas por finas venillas de tipo F, Muestra 41-164. b) Detalle con lupa binocular de detalle de las venillas tipo F.

Venas de tipo G: Cal

Las venas de calcita tardía cortan y reabren las venillas previas, brechan las sedimentitas, diques y venas previas se identificaron en los sondeo DHA-41 y DHA-40, a 253 y 234 mbbp respectivamente (Fig. 4.36). Tienen contactos netos con la roca de caja y se desarrollan en los márgenes de las venas C2, C3, E, y F.

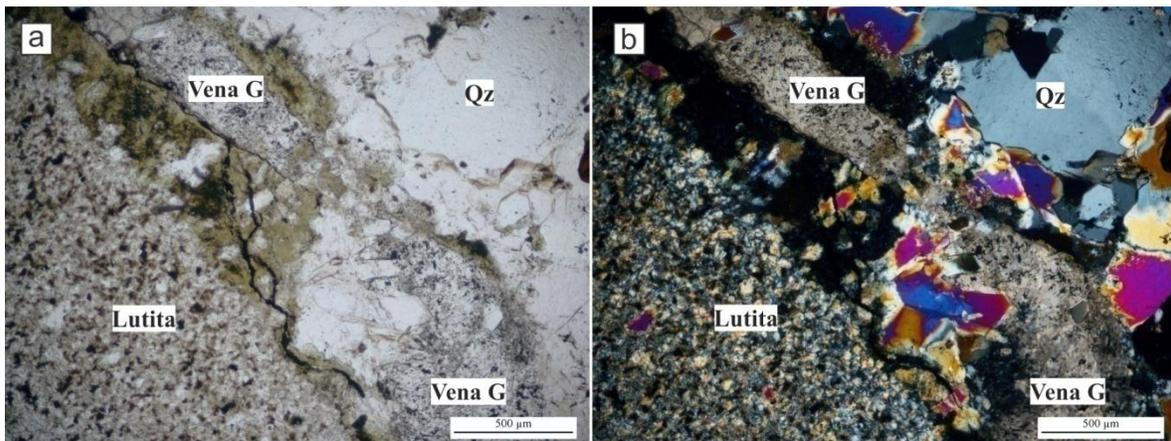


Figura 4.36. Microfotografía con luz transmitida de la vena de tipo G: Cal que reabre a estructuras previas, 41-137m.

Brechas de tipo H cementadas por calcita

Hay brechas polimícticas matriz-soportadas y textura jigsaw cementadas por múltiples generaciones de calcita se identificaron en dos sondeos DHA-41 y DHA-40, a 253 y 234m respectivamente (Fig.4.38). Los clastos son subangulosos a subredondeados de tobas, lutitas y de venas previas. La matriz es fina de tonalidad grisácea de composición carbonática y presenta fragmentos mineralizados de las venas y venillas C3, E, F, G (Fig. 4.37).

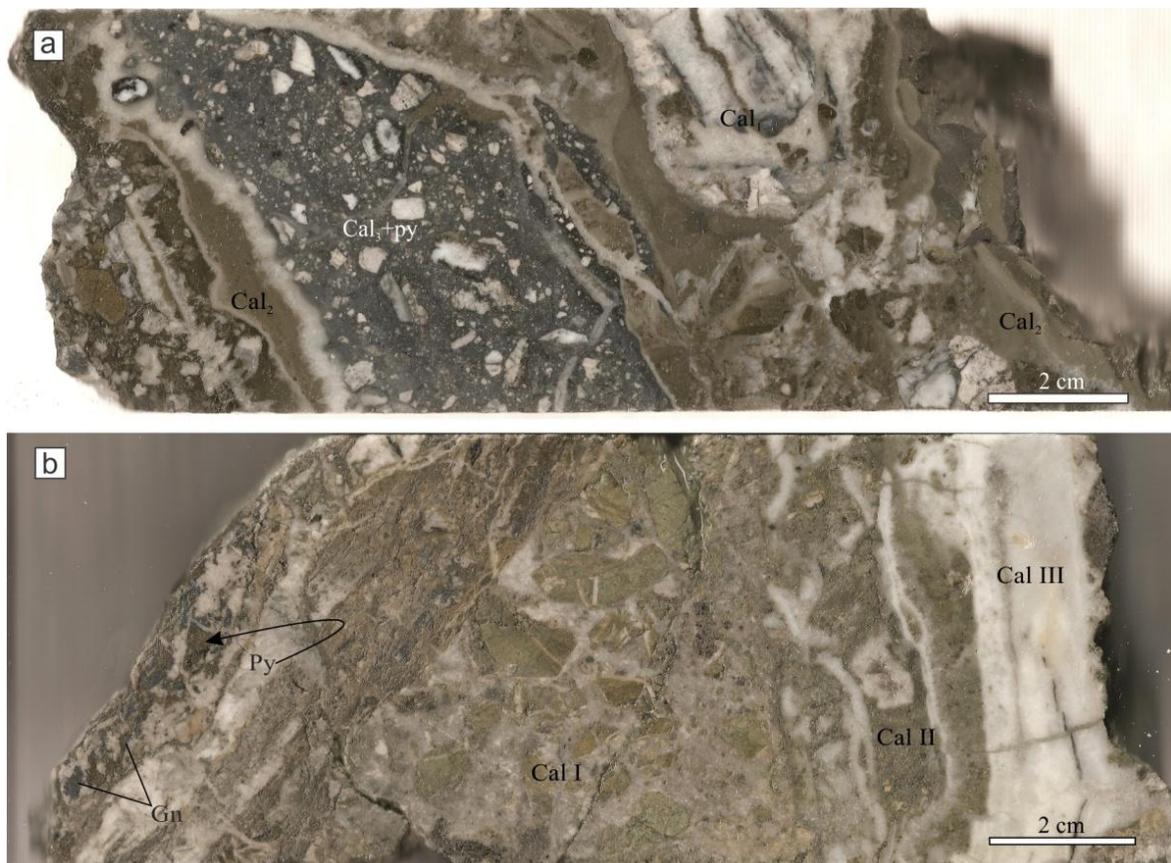


Figura 4.37. Fotografías de las muestras de las secciones estudiadas de los sondeos DHA-41 y DHA-40. **a)** Brecha hidrotermal polimíctica con clastos de sedimentitas y vulcanitas, cementada por varias generaciones de carbonato. Muestra 41-253m. **b)** Brechas monomícticas con clastos de lutita. Muestra 40-235m.

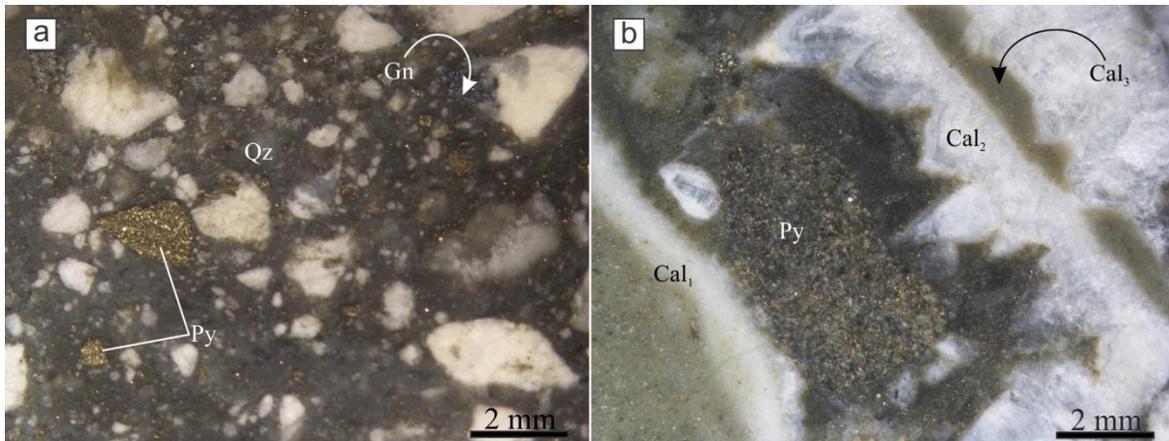


Figura 4.38. Fotografías de la muestra 41-46, 252m. **a)** Brecha hidrotermal polimictica con clastos de sedimentitas, vulcanitas (tobas) y sulfuros previos, cementada por varias generaciones de carbonato. **b)** Detalle de las tres generaciones de carbonato identificadas.

4.2.2 Veta Sofía

Sofía nivel 4 y nivel 1

La boca mina del nivel 4 se localiza a una cota de 1375 msnm y la boca mina del nivel 1 a una cota de 1415msnm. Ambos laboreos subterráneos atraviesan las sedimentitas de la Formación Huaraco con RBZ variables entre N165°/29° y N122°/29° entre N125°/21° y N140°/33°, en el nivel 4 y 1 respectivamente. Las sedimentitas están compuestas por lutitas negras con estratificación paralela fina intercalados con niveles de areniscas subordinados que forman bancos de hasta 1m.

Hacia el final de ambos laboreos se intercepta la zona de veta alojada en una zona de falla con un rumbo N260°/80°SE medido en el nivel 4 (Fig. 4.39), y mantiene este rumbo en el nivel 1 de 3.36m de espesor (N250°/80°SE) (Fig. 4.40). En el piso de la falla se exponen las lutitas y en el techo un dique afanítico. La zona de falla tiene unos 5 m de espesor en cuyo centro se localiza la veta mineralizada. La veta es de morfología tabular, de 30 a 50cm de espesor compuestas por una alta proporción de sulfuros 10 a 30% en ganga de cuarzo con salbandas de clorita y arcillas verde pálido (illita-sericita?). El cuarzo tiene textura masiva a *comb* que grada a drusiforme hacia los espacios abiertos. Cortando hay venas tardías de calcita blanca y pirita que hacia ambos lados de las vetas forma brechas tectono-hidrotemales monomícticas de tipo *jigsaw* (Fig. 4.41). Los sulfuros presentes en la veta son galena, pirita, esfalerita y calcopirita.

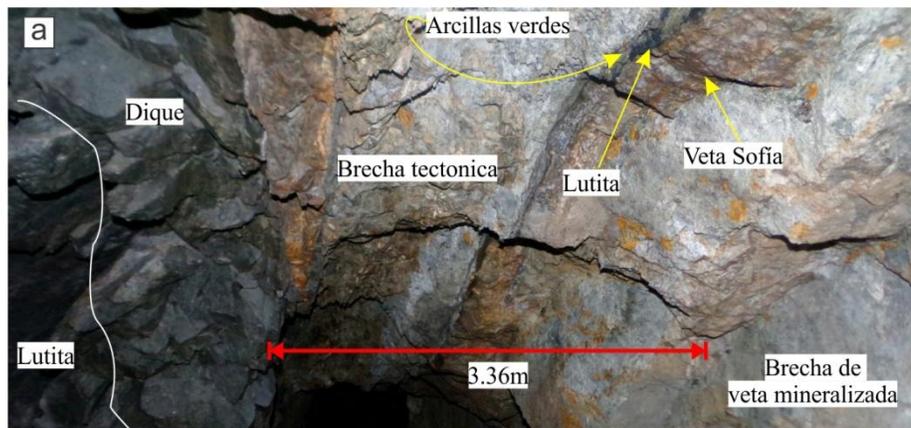
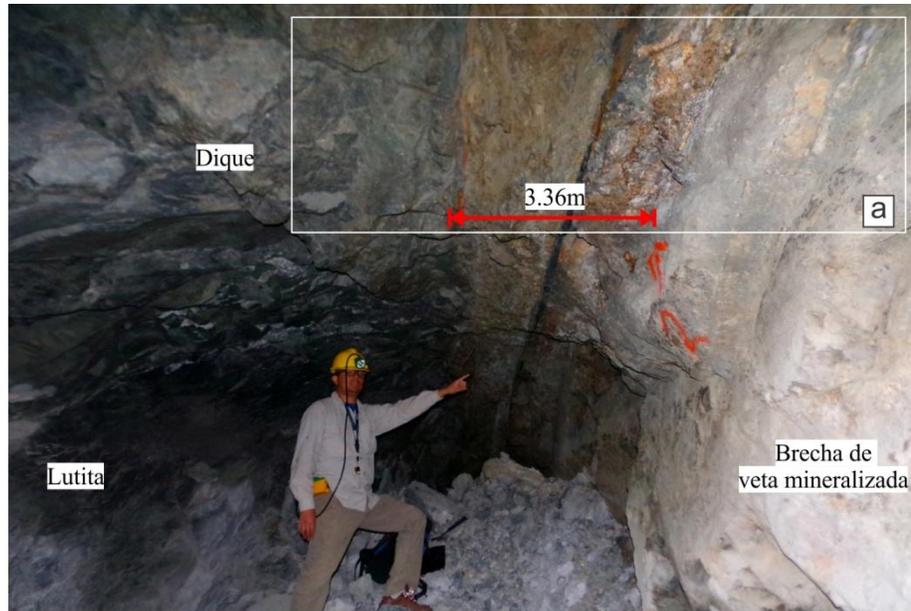


Figura 4.39. Fotografías del final de interior mina donde se intercepta zona de falla: Sofia nivel 4.

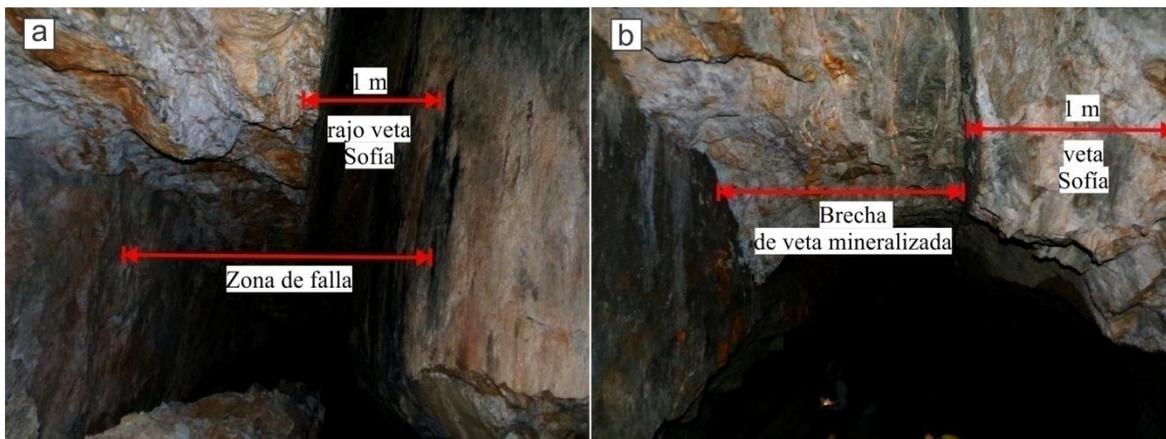


Figura 4.40. Se indica en línea roja la zona de falla donde se emplaza la veta Sofia en nivel 1.

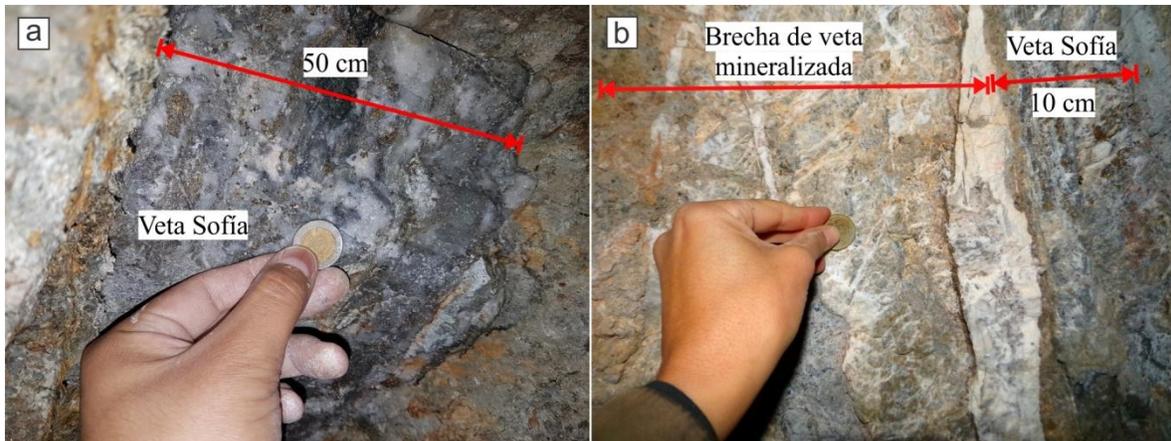


Figura 4.41. Fotografías de detalle de la veta Sofía con el espesor de 50cm y 30cm en Nivel 4 y Nivel 1 respectivamente.

Distalmente la roca de caja está cortada por finas venillas rectas de 1 a 2 mm de pirita de grano fino (0.1 a 0.5 mm). Venas y venillas de calcita tardía cortan a la roca y venillas previas (Fig. 4.42).



Figura 4.42. Lutitas cortadas por venillas tipo F: Py. Venas de tipo G: Cal cortan las sedimentitas y venillas F.

CAPÍTULO V

GEOQUÍMICA

5.1 Análisis estadístico

A partir de los datos geoquímicos de 13 sondeos que interceptan el sistema la veta Julia y Valencia, se efectuó una matriz de correlación de Pearson entre los metales (tabla 5.1). Además se realizó un diagrama de concentración de los metales y elementos mayoritarios y trazas más importantes a lo largo de las columnas litológicas donde se han podido diferenciar dos zonas mineralizadas: **1)** con anomalías moderadas de Au-As-Fe y **2)** con anomalías altas de Ag y Au acompañadas de metales base Zn, Pb, Cu (Fig. 5.3; 5.4; 5.5). Las anomalías más altas de Au (5 a 36 ppm) se dan entre los 232 a 235mbbp y coinciden con la presencia de las venas del tipo C1 (ver cap. IV) acompañadas por anomalías de Fe (8.6%) y As (408ppm), que se ven reflejadas en la presencia de Py y PyAs.

Las máximas anomalías de Ag (120ppm, 3.4ppm y 21.3ppm, en los sondeos DHA-41, DHA-40 y DHA-34 respectivamente) acompañada por anomalías de Pb (3000ppm), Zn (5000 ppm) y Cu (3500ppm) coinciden con la presencia de venillas C3 y D. El MgO y K₂O presentan los máximos valores cercanos a las estructuras mineralizadas C1, C2 y C3 coincidiendo con la presencia de clorita rica en magnesio que está reemplazada parcialmente por sericita en las venillas/vetas con mineralización polimetálica. A los 234mbbp coincidente con las estructuras de tipo D, el Mg alcanza uno de las mínimas anomalías 0.2% y mientras que el K tiene un aumento de hasta 1%. El Ca es muy abundante en las estructuras tipo E, donde abundan los carbonatos que generan varios episodios de brechamiento en las zonas profundas.

En la matriz de correlación de la tabla 5.1, el Au muestra una correlación moderada con la Ag (0.52), el Pb (0.49), el Cd (0.44), el Zn (0.4) y el As (0.4) mientras que con el resto de los metales es muy baja. La Ag muestra correlación moderada con el Pb (0.45), Cd (0.45) y Cu (0.40) y baja con el resto de los metales. Las correlaciones más altas se dan entre los principales elementos de metales base Zn, Pb y Cu y coinciden con la presencia de los sulfuros con estos metales espacialmente relacionados con las venillas C1-3 y D. El Pb vs. Zn muestran una correlación alta (0.79) esto se ve reflejado en la asociación galena esfalerita de la venillas y venas C3 y D. El Zn tiene correlación moderada (0.52 y 0.47) con

Cd y Mn respectivamente. La correlación moderada entre Cd y Zn se debe seguramente a la sustitución de zinc por cadmio en la esfalerita que se correlaciona con los análisis químicos de las esfaleritas. El Cu presenta una correlación alta con el S (0.68) y moderada con el Fe (0.53) reflejada en la presencia de calcopirita. El Fe y S presentan correlación alta (0.72), indicando la presencia de pirita.

La correlación alta (0.66) que muestra el P vs. Ti se debe a la presencia de monacita, apatito y rutilos diseminados en los halos de alteración de la vena del tipo C2: Ser-mus?, Chl (Rt, Mon, Ap) y Py diseminada.

	Au_ppm	Ag_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm	Cu_ppm	Fe_%	Mn_ppm	Mg_%	Mn_ppm	K_%	Na_ppm	Sr_ppm	Sb_ppm	Ca_ppm	P_ppm	Ti_%	Ba_ppm	Cd_ppm	S_%	La_ppm	Ba_ppm	Ni_ppm	Th_ppm	Co_ppm	Cr_ppm	As_ppm	V_ppm	W_ppm	Al_%
Au_ppm	0.3224	1																											
Ag_ppm	0.4934	0.4934	1																										
Pb_ppm	0.3925	0.3377	0.7941	1																									
Zn_ppm	0.3326	0.3023	0.2949	0.2743	1																								
Cu_ppm	0.1772	0.3551	0.1194	0.2193	0.5307	1																							
Fe_%	0.0686	0.0434	-0.0135	-0.0512	0.1078	0.0449	1																						
Mg_%	-0.0443	-0.0209	0.0278	0.0653	0.1463	0.0375	-0.1717	1																					
Mn_ppm	0.1873	0.3129	0.3874	0.4762	0.3234	0.3782	-0.2116	0.3606	1																				
K_%	-0.1188	-0.1243	-0.0100	-0.0405	-0.1743	0.0703	-0.0643	0.1401	0.3381	1																			
Na_ppm	-0.0704	-0.1437	-0.1810	-0.1820	-0.1813	-0.1910	-0.0683	-0.1638	-0.2309	-0.1120	1																		
Sr_ppm	-0.0649	0.0624	0.0901	0.1368	0.0593	0.2498	-0.2639	0.1705	0.3028	0.1120	0.1911	1																	
Sb_ppm	0.2912	0.3343	0.2104	0.1376	0.2476	0.1884	0.0714	-0.0195	0.1061	-0.0125	-0.1496	-0.0739	1																
Ca_ppm	0.1222	0.1922	0.1904	0.1998	0.2381	0.3298	-0.1604	0.2485	0.4220	0.0257	-0.1088	0.6456	0.0551	1															
P_ppm	-0.1706	-0.1287	-0.1380	-0.0763	-0.0623	0.1764	-0.2027	0.1813	0.2213	0.1666	-0.0089	0.2169	0.0405	0.0789	1														
Ti_%	-0.0109	-0.0259	-0.0562	-0.0176	0.1139	0.4144	-0.2033	0.4602	0.3423	0.2662	-0.1858	0.2077	0.1084	0.1114	0.4653	1													
Ba_ppm	-0.1585	-0.2153	-0.2190	-0.2209	-0.2566	-0.1099	-0.1466	0.1978	-0.1000	0.6168	0.3976	0.2081	-0.0931	-0.1513	0.0769	0.1995	1												
Cd_ppm	0.4410	0.4698	0.3715	0.3291	0.2585	0.3265	-0.0622	-0.0463	0.3125	-0.1821	-0.1475	-0.0233	0.1852	0.1519	-0.1197	0.0647	-0.2385	1											
S_%	0.3105	0.2960	0.3136	0.3358	0.4689	0.7267	-0.2688	0.3784	0.3706	-0.1334	-0.0809	0.0987	0.3356	0.2468	-0.0144	0.0718	-0.3021	0.3728	1										
La_ppm	-0.0012	-0.0014	0.0619	0.0189	-0.1468	-0.1530	-0.0968	-0.1011	0.0421	0.2274	-0.0843	-0.0387	0.0038	0.0369	-0.0213	0.0072	0.0585	0.0248	-0.2409	1									
Ba_ppm	-0.1434	-0.1661	-0.1235	-0.1001	-0.0786	0.2541	-0.1705	0.2068	0.1778	0.6031	-0.1309	0.1938	-0.0851	0.0296	0.3063	0.3912	0.2407	-0.1743	-0.1337	0.2457	1								
Ni_ppm	0.1396	0.0475	0.0454	0.1248	0.0814	0.3766	-0.1194	0.2893	0.3220	0.2414	-0.1436	0.0077	0.0266	0.1452	0.1504	0.2648	0.0111	-0.0114	0.0744	0.2214	0.2478	1							
Co_ppm	0.0238	0.0585	0.0126	0.0851	0.3607	0.4018	-0.1030	0.1371	0.3609	0.2199	-0.2595	0.3682	0.0799	0.3100	0.4311	0.5331	0.0265	-0.0102	0.4208	-0.0756	0.3885	0.0077	-0.2309	1					
Cr_ppm	0.1248	0.0327	0.0206	0.0896	0.0679	0.3119	-0.1541	0.4824	0.3300	0.2498	-0.1146	-0.0070	0.0229	0.0990	0.0911	0.3677	0.0870	-0.0340	0.0504	0.1131	0.3824	0.4231	-0.1360	0.4338	1				
As_ppm	0.1451	0.1798	0.2470	0.3008	0.2813	0.3451	0.3058	-0.0244	0.1650	0.0464	-0.3461	0.1413	0.0244	0.0124	-0.0253	0.0101	0.3133	0.3607	0.2108	-0.0150	-0.0415	0.1244	-0.1541	0.1459	0.2682	1			
V_ppm	-0.0038	-0.0174	-0.0145	0.0399	0.2281	0.3934	-0.2215	0.4604	0.3738	0.3408	-0.3058	0.3483	0.0690	0.3017	0.5641	0.7943	0.1941	-0.0330	0.1016	-0.0712	0.5040	0.3561	-0.2107	0.2172	0.4734	0.0834	1		
W_ppm	0.1632	0.1140	0.1468	0.2255	0.1303	0.2141	-0.0544	0.1546	0.3381	0.0097	-0.3405	-0.0713	0.0942	0.1933	0.0504	0.1875	-0.0692	0.3873	0.1823	0.1547	0.0943	0.2907	-0.1021	0.2166	0.2607	0.1938	0.2533	1	
Al_%	-0.0409	-0.0334	-0.0142	-0.0372	-0.0304	0.2711	-0.1194	0.2728	0.3480	0.0007	-0.0381	-0.3008	-0.0999	-0.1647	0.2126	0.4604	-0.3968	-0.1534	0.0247	0.1011	0.4702	0.1794	0.1468	0.0327	0.2811	-0.0929	0.4388	0.0716	1

Tabla 5.1. Coeficientes de pearson de los principales metales base y de algunos elementos mayoritarios y trazas calculados para los 13 sondeos que atraviesan la veta Julia.

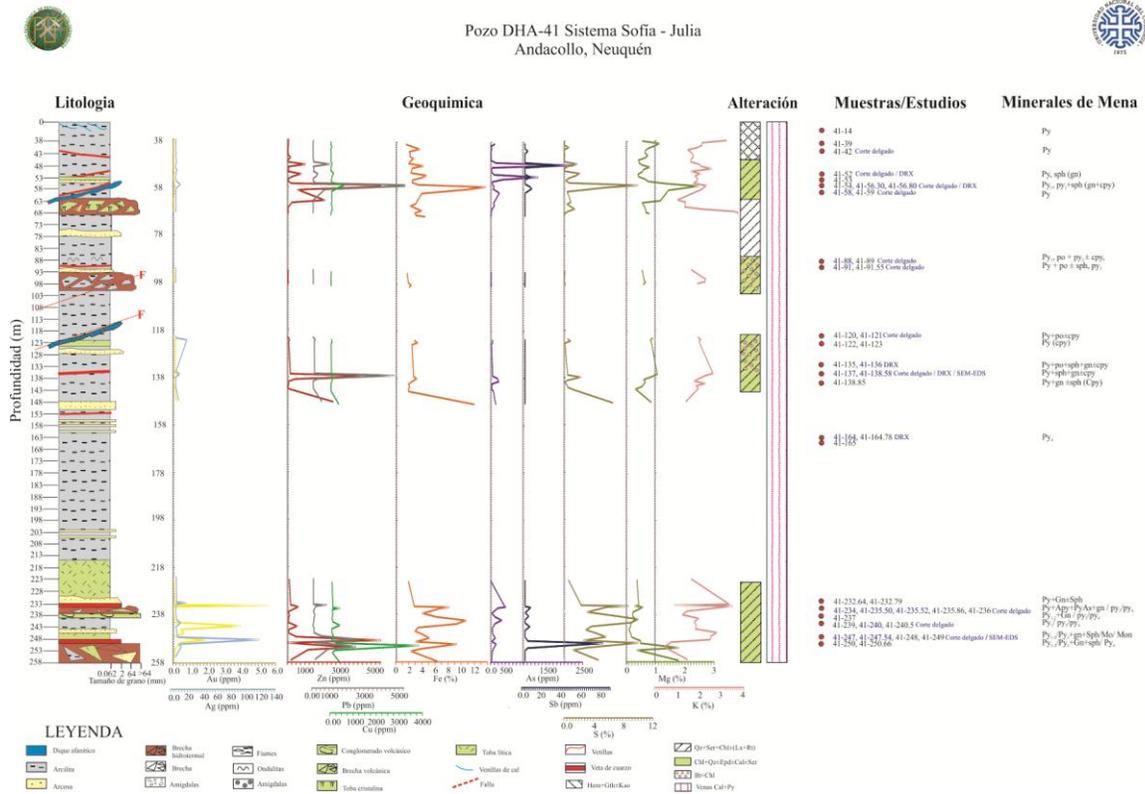


Figura 5.2. Columna litológica, de alteración, venas y venillas, y mineralización con la geoquímica integrada y la ubicación de las muestras analizadas del sondaje DHA-41: veta Julia.

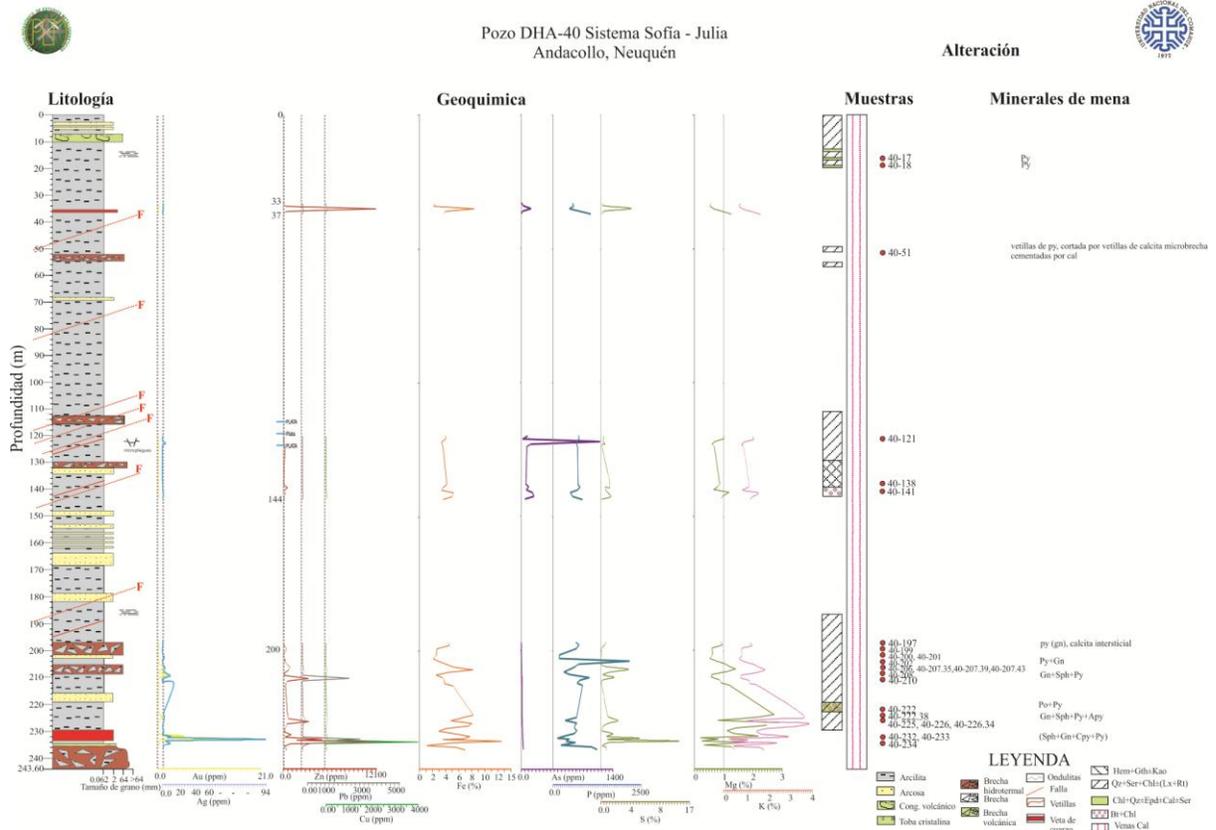


Figura 5.3. Columna litológica, de alteración, venas y venillas, y mineralización con la geoquímica integrada y la ubicación de las muestras analizadas del sondaje DHA-40: veta Julia.

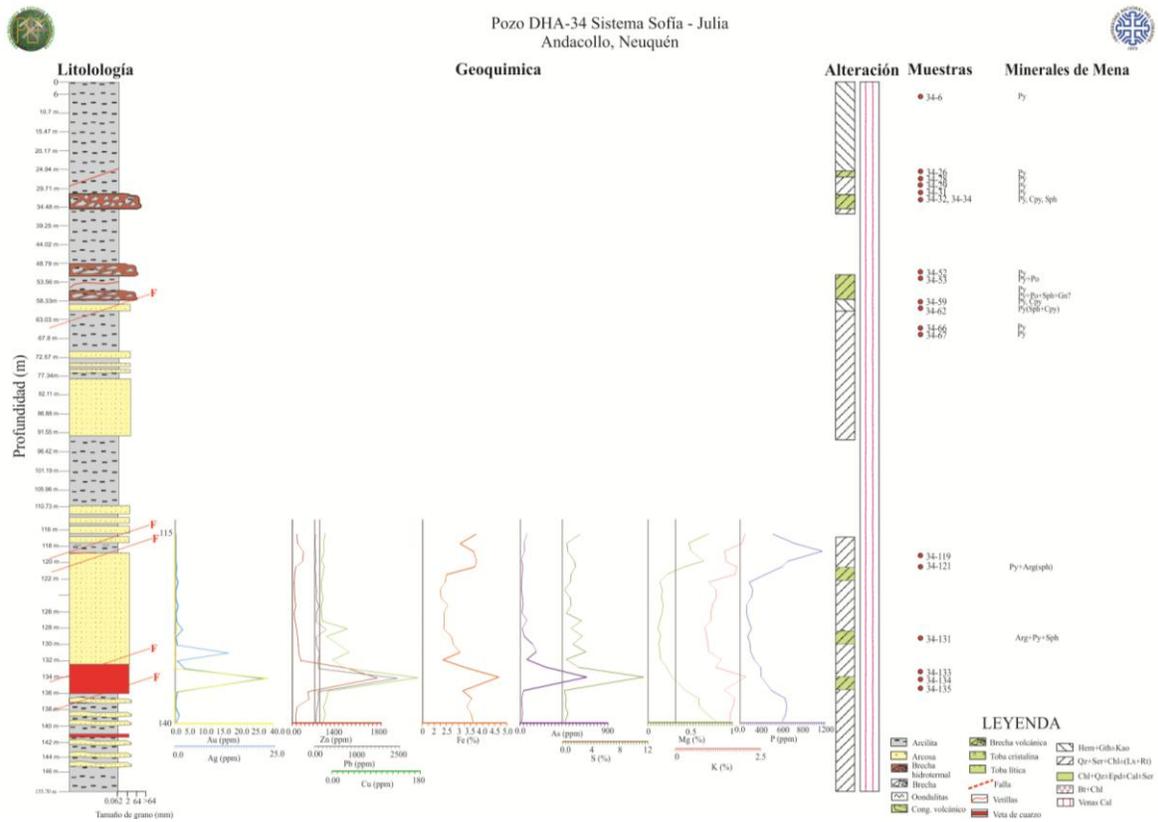


Figura 5.4. Columna litológica, de alteración, venas y venillas, y mineralización con la geoquímica integrada y la ubicación de las muestras analizadas del sondaje DHA-34: veta Valencia.

CAPÍTULO VI

6. DISCUSIÓN

En los siguientes párrafos se integran los resultados obtenidos en el Trabajo Final de Licenciatura con los antecedentes del área de estudio que permitieron establecer el contexto regional y local en el cual se emplazó el sistema de vetas Sofía-Julia-Valencia. En base a los datos brindados en los capítulos III, IV y V, se establecen las condiciones fisicoquímicas de los fluidos y los posibles mecanismos de transporte y precipitación de los metales. Finalmente se brinda una comparación de las características principales del sistema Sofía-Julia-Valencia con las vetas de los sistemas San Pedro y Don Fernando del distrito minero Andacollo.

6.1 CONTROL LITOLÓGICO Y ESTRUCTURAL Y EDAD DE LAS VETAS

El mapeo de superficie permitió definir una discordancia entre las formaciones Arroyo del Torreón y Huaraco, en la margen este del arroyo Huaraco, frente a la boca mina nivel 1 de Sofía, donde esta última se apoya en discordancia angular, y por sectores en contacto por fallas (Fig. 2.23).

Las relaciones de contacto entre los cuerpos riolíticos y la Formación La Premia, en el sector indicaría que estos domos serían posteriores a la edad establecida por [Suarez y Echart, 2008](#), al noreste del área. Las observaciones de Pons 2018 realizadas en la margen oeste del Arroyo Huaraco, mostraron similares relaciones de corte con la Formación Huaraco y el hallazgo de xenolitos de esta misma Formación dentro del cuerpo riolítico. Por lo tanto es muy probable que haya circones heredados de la roca sedimentaria dentro del pórfido. En coincidencia con [Digregorio 1972](#), [Zöllner y Amos 1973](#), [Llambías 1986](#), [Llambías et al., 2007](#) este cuerpo es posterior al carbonífero medio y podría ser parte del Complejo volcánico-plutónico Huigancó definido por [Llambías et al., 2007](#). Los pórfidos dacíticos en el cerro Minas presentan una orientación E-O mientras en el Cerro San Pedro se emplazan a lo largo del contacto con las estructuras SO-NE ([Pons y Cañas, 2018](#)). En este último sector, el pórfido presenta una elongación paralela al corrimiento principal que monta a la Formación Huaraco sobre la Formación Arroyo del Torreón ([Pons y Cañas 2018](#)) indicando que dicho cuerpo es sin o post fase compresiva desarrollada durante el Cretácico superior ([Giacosa, 2011](#)).

Los diques basálticos-andesíticos en el área del Cerro Minas, cortan las formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y La Premia y se emplazan cerca de las vetas Sofía-Julia o en las estructuras previas preexistentes. Estas características indicaría que podrían ser parte de la Formación Milla Michicó, como describe [Suarez \(2017\)](#) en el extremo sur de la cordillera del Viento. El autor detalla vulcanitas verdes de composición fenobasálticas/andesíticas con textura afanítica a microporfírica y amigdaloides. Donde las amígdalas presentan un relleno de minerales de bajo grado metamórfico (prhenita y pumpelleita, [Suarez 2017](#)) en consecuencia estas vulcanitas se las podría asignar al Triásico superior, sin descartar que puedan alcanzar términos iniciales del Jurásico ([Llambías et al. 2007](#)).

Las características de las brechas monomíticas de composición andesítica que se apoyan en discordancia angular sobre la Formación La Premia al SO del sector de estudio, permitieron determinar que se trata de una autobrecha basal de una colada andesítica anfibólica asignada a Formación Cayanta ([Llambías et al., 2007](#)).

La integración de las observaciones de campo y galería, como las realizadas previamente por [Giacosa \(2011\)](#), permitieron establecer que las vetas Sofía, Julia y Valencia están hospedadas en las sedimentitas (lutitas y areniscas) interdigitadas con niveles tobáceos subordinados de la Formación Huaraco al igual que fue reconocido por [Strazzere et al., 2017](#) y también en los diques de la Formación Milla Michicó.

Se distribuyen principalmente en estructuras de fallas normales E-O, sin embargo la morfología de las vetas, siguiendo las estructuras de codo dilatacional indica que se han emplazado durante o posterior al régimen compresional que reactivó las fallas normales como estructuras transtensivas ([Giacosa, 2011](#)). Estas mismas estructuras E-O segmentan y desplazan al sistema de vetas Don Fernando cerca del área de estudio formando brechas tectono-hidrotemales (Fig. 2.4). Por lo tanto esta expresión permite afirmar que las vetas del sistema Don Fernando son previas a las fallas que las desplazan, las cuales hospedan a brechas o las mismas vetas. Las vetas del sistema San Pedro Norte afloran en un campo de vetas verticales subparalelas alojadas en las tobas de la Formación Arroyo del Torreón y limitadas por dos estructuras de cizalla, todos con un rumbo NE-SO. Estas vetas están cortadas y desplazadas por estructuras ONO-ESE ([Magsa, 2008](#)).

6.2 ALTERACIONES HIDROTERMALES

La distribución de las alteraciones hidrotermales refleja el comportamiento de los fluidos que circularon durante la evolución del depósito. Así se distinguen distintas asociaciones de minerales de alteración rodeando la mineralización principal.

Varios factores influyen en la formación de los minerales hidrotermales: temperatura, pH, composición y fO_2 (Corbett y Leach, 1998). Por ello el reconocimiento de éstos permite inferir las características de los fluidos hidrotermales que circularon y alteraron las rocas.

A partir del análisis de las muestras extraídas de subsuelo, se han detectado parches o relictos de una alteración biotítica temprana en los sondeos occidentales. La presencia de esta alteración indicaría la circulación de fluidos tempranos en condiciones de pH neutro alcalino y temperaturas variables entre 350° y 550°C (Corbett y Leach, 1998). Se descartaría que se trate de un hornfels biotítico, ya que la biotita se ha observado también como relleno de venillas tempranas. Por lo tanto esta alteración podría ser parte del halo de alteración potásica vinculada al emplazamiento de un pórfido no expuesto en superficie, pero se encontraría cercano al sistema Sofía-Julia.

La alteración compuesta por epidoto, calcita, clorita y cuarzo que se superpone a la alteración previa indicaría un enfriamiento del sistema y cambios en la composición de los fluidos circulantes. El epidoto ocurre en fases cristalinas bien desarrolladas a altas temperaturas en un rango entre >220° a 250°; Corbett y Leach, 1998. Los minerales clorita, calcita y cuarzo se forman de la interacción de la roca de caja con fluidos hidrotermales con cloruros y de pH neutro a débilmente alcalino (6-7; Hedenquist et al., 2000 y Simpson et al., 2001). La clorita es estable entre los 300 y 200°C (Reyes, 1990 y Hedenquist et al., 2000) mientras que la calcita es estable en un rango de temperatura amplio (Corbett y Leach, 1998; Hedenquist et al., 2000). Si bien la clorita y la calcita están vinculadas al epidoto, poseen una relación textural tardía, de reemplazo, por lo cual el epidoto sería más temprano. Esta alteración de clorita y calcita sería una alteración definida como propilítica producida a temperaturas <200 a 250° bajo condiciones de pH neutro a alcalino (Corbett y Leach, 1998) y afecta a las facies de areniscas y tobos de la Formación Huaraco y a los diques andesítico-basálticos amigdaloides. En estos últimos en base a las relaciones texturales discutidas previamente se han diferenciado dos tipos de clorita, una

clorita férrica más temprana que reemplaza a los máficos de la vulcanita y una clorita magnesiana que generalmente está asociada a la alteración penetrativa, a los halos y núcleos de la venas y venillas, es decir que es ligeramente más tardía.

La alteración rica en cuarzo y sericita se superpone a la anterior, señalando la circulación de fluidos en un rango de pH menor (pH: 5 a 6; [Corbett y Leach, 1998](#)). La sericita es una muscovita de grano muy fino que puede contener cantidades menores de illita y representa una transición entre illita y muscovita cristalina ([Corbett y Leach, 1998](#)). Este mineral reemplaza a la clorita previa, que ocasionalmente se encuentra subordinada junto al leucoxeno. La presencia de clorita en estadios previos se debe a que el primer fluido se neutralizó rápidamente con la roca de caja, luego la continua inyección de fluido, provoca que la roca comience a neutralizar y perder capacidad de buffer, entonces la sericita comienza a ser más estable que la clorita y se sobreimpone. La distribución de la alteración sericítica por lo tanto marca los principales canales de circulación de fluidos. La liberación de Ti y Fe durante el reemplazo de clorita por sericita genera pequeñas cantidades de rutilo y leucoxenos comúnmente asociada al cuarzo granular y sericita ([Corbett y Leach, 1998](#)).

Un último evento de alteración localizado y restringido a las zonas superficiales o a zonas de fallas en profundidad, es la alteración supergénica que afectó a la mineralización y alteraciones previas. Está caracterizada por la presencia de vetillas hematita, goethita y caolinita. Los fluidos meteóricos oxidantes percolaron a través de las fracturas hasta zonas más profundas (119mbbp, sondeo DHA-34) generando la oxidación de la piritita y consecuente formación fluidos ácidos y alteración de los argilominerales previos a caolinita. Este mineral es estable a temperaturas menores a 200°C ([Corbett y Leach, 1998](#)) y bajos pH ([Reyes, 1990](#)).

junto a lamelas de molibdenita. La baja razón Fe/Zn (<0.01) de estas esfaleritas tempranas estarían indicando condiciones de fO_2 y fS_2 relativamente altas (Keith et al., 2014).

Las relaciones de corte con las venas B establece que son posteriores a las venas A (Episodio 1; estadio 2) compuestas por epidoto, biotita, clorita y calcita, alojan Po+Py+Aspy+Cpy+Sph rica en Fe. La asociación de minerales ganga de estas venas y venillas indica al menos temperaturas iniciales de formación en un rango variable entre 550° y 350°C (Corbett y Leach, 1998). Sin embargo los minerales de mena están en contacto con la clorita o incluida en la calcita tardía que rellena a estas venillas por lo que seguramente precipitaron a temperatura inferiores a los 350°C . La presencia de Po y Sph con mayor relación Fe/Zn (0.25) indicaría una disminución en la fO_2 del fluido (Keith et al., 2014) seguramente debido a la interacción del fluido con las lutitas orgánicas de la Formación Huaraco también implicaría una disminución de la fS_2 . Es de destacar las texturas complejas que desarrolla las Py temprana en estas venas donde se observa un evento importante de disolución de una pirita temprana seguido de la precipitación de Aspy esta última en contacto y equilibrio con la Po+Cpy y Sph castaña. Los diques basálticos - andesíticos están mineralizados con estos minerales tempranos (Cpy, Py y Po) cerca del contacto con las vetas Sofía-Julia, mientras que en otros sectores de la zona de estudio son estériles, lo cual permite establecer que la mineralización es posterior al emplazamiento de estos cuerpos subvolcánicos y los fluidos mineralizantes aprovecharon las amígdalas y la porosidad de la roca para circular.

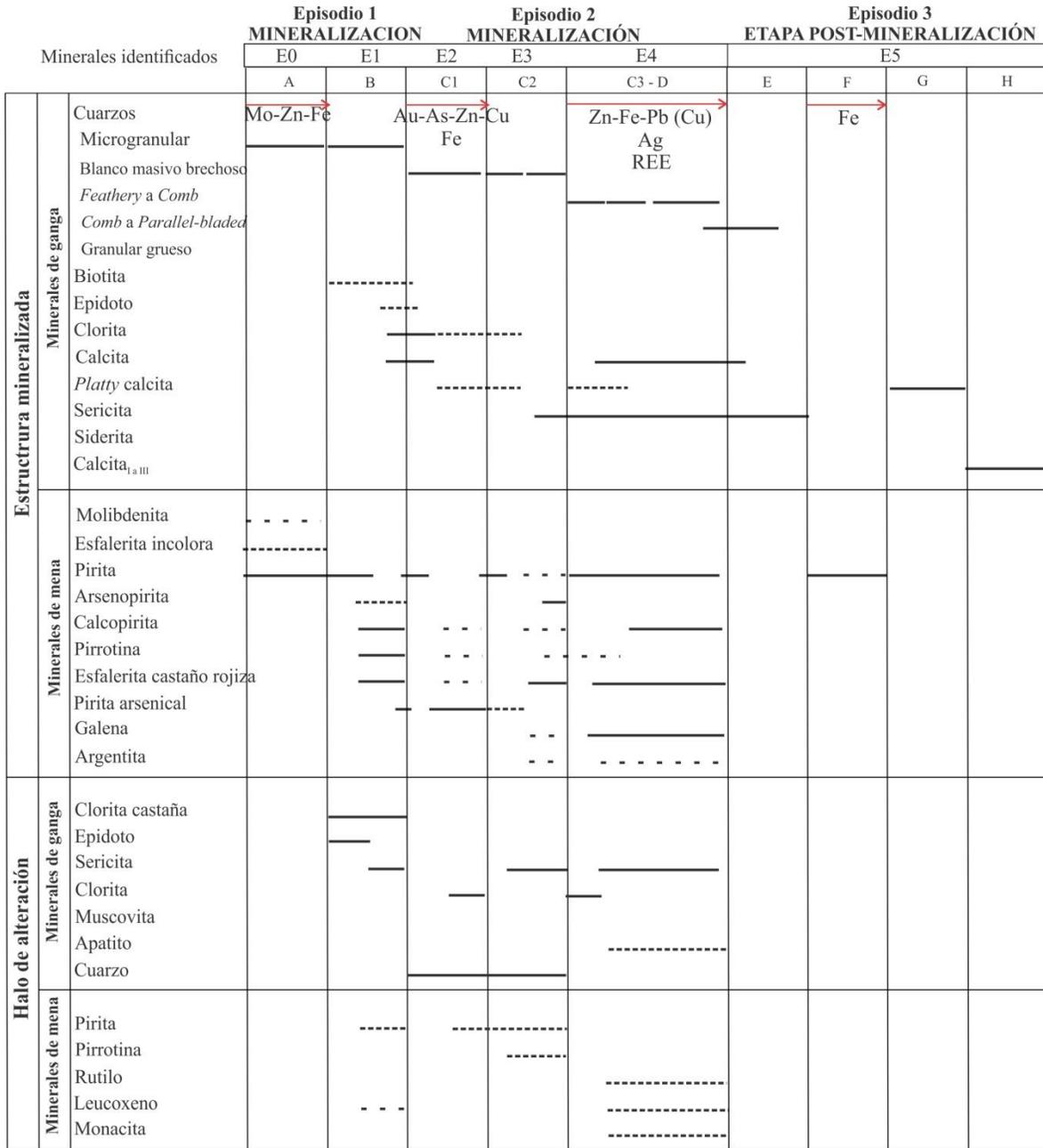
Posteriormente, las venas C1 (Episodio 2) reabren a las anteriores y están compuestas por minerales estables a menores temperaturas, donde la clorita está parcialmente reemplazada por sericita, indicando no sólo una disminución de la temperatura (350 a 200°C) sino también refleja una disminución en el pH (5-6) (Eastoe, 1978; Preece y Beane, 1982; Reynolds y Beane, 1985; Dilles y Einaudi, 1992; Ulrich y Heinrich, 2001). La textura del cuarzo de las venas son predominantemente primarias tipo *Comb* y granular en mosaico con escasa representación de texturas de recristalización de tipo *feathery* de reemplazo de tipo *pseudobladed*. Las venas C₁ con texturas brechosas y dominadas por cuarzo granular en mosaico son las que presentan las máximas anomalías geoquímicas del Au. El hecho que la mayor anomalía de Au se encuentre asociado a la presencia abundante de Py y PyAs con microinclusiones de Po, Sph castaña, Cpy, y que no

se detectó Au libre es muy probable que el Au se encuentre dentro de la PyAs (Fleet y Mumin, 1997; Shao et al., 2018).

Las estructuras C2 y C3 (estadio 3 y 4) dominadas por la sericita, cuarzo y calcita (siderita) en contacto con la mena compuesta por galena, esfalerita rica en hierro, pirita y calcopirita *desease* donde el epidoto y la clorita se preservan como inclusiones relícticas dentro de los cristales de cuarzo y las cloritas están parcialmente reemplazadas por sericita indican que fluidos de menor temperatura aprovecharon los mismos canales de las venas tempranas. La presencia de texturas de reemplazo de cuarzo *parallel-bladed* (Dong et al., 1995) y de abundantes IF ricas en vapor, multisólidas y asociadas con microinclusiones sólidas de sulfuros en los cristales de cuarzo, son evidencias que al menos localmente la ebullición pudo ser un mecanismo de precipitación de sulfuros (Hedenquist, 2000). Las venillas C3 y D se han descrito por separado por su diferente proporción de sulfuros, sin embargo estas estructuras representan el mismo evento (estadio 4).

Del análisis estadístico realizado se desprende la correlación moderada entre los metales bases, la Ag y el Au, esto es coherente con los análisis realizado por Maydagán et al., 2018 donde muestran que una galena presente en el estadio 4 es argentífera con contenidos de Ag superiores a 1519 ppm acompañadas de anomalías de Sb de 939 ppm y de Te 1060 ppm y con los análisis realizados por D'Anunzio et al., 2016 que muestran calcopiritas con trazas de Ag (1000 ppm esfaleritas con tenores variables de Au (4210 a 5110 ppm), Ag (1000 ppm), y Cd (2000 a 7000 ppm). Estas características señalan que tanto la Ag como el Au y los metales base han precipitado juntos en las venillas C3 y D ricas en galena esfalerita y pirita en ganga de cuarzo, sericita (clorita) y calcita.

El estadio 5 está representado por una mineralogía más sencilla inicialmente dominado por venillas de sericita fina estériles cortadas por las venillas de pirita como único mineral de mena y finalmente el sistema está dominado por carbonatos estéril que brecha las estructuras mineralizadas previas y cortan en posiciones distales la roca de caja indicando que este estadio el fluido tenía altas concentraciones de CO₂ disuelto. La presencia de carbonatos cementando las brechas implica seguramente que el mecanismo de precipitación estuvo dominado por la liberación de CO₂ en fase vapor durante la brechación y consecuente aumento de pH favoreciendo la precipitación de calcita (Corbett y Leach, 1998).



————— Siempre, moderado
 - - - - - No siempre y cuando está presente es escaso
 Raro, escaso

Figura 6.2. Diagrama paregenético propuesto para los minerales de ganga y mena formados durante la evolución del sistema hidrotermal en Sofa-Julia (E=estadio).

Mecanismos de transportes y precipitación de metales

De acuerdo a las características de los minerales de alteración observados y de la mineralogía de las venas y estructuras mineralizadas estas se han formado en un ambiente mesotermal a epitermal a temperaturas variables entre 250-350°C coincidiendo con las temperaturas obtenidas previamente por varios autores (Domínguez y Garrido, 1982; Domínguez y Gómez, 1988) y en condiciones de fugacidades de azufre inicialmente intermedias que evolucionaron a bajas (Fig. 6.3).

En estas condiciones el Au puede ser transportado en solución como complejo bisulfurado ($\text{Au}(\text{HS})_2$) a pH neutros (Sedward, 1984) o como complejos clorurados (AuCl_2^-) mientras que la Ag y los metales base pueden ser solubles como complejos clorurados y pH neutros (CuCl ; PbCl ; ZnCl ; AgCl ; Corbett y Leach, 1998). La presencia de PyAs que incluyen pirrotina temprana en las venas C2 indicaría un cambio en la fugacidad de oxígeno hacia condiciones más oxidantes (clorita estable; Corbett y Leach, 1998) por lo tanto este cambio pudo haber sido uno de los mecanismos de precipitación de Au más factibles. Mientras que en las vetas polimetálicas ricas en Ag, el Au junto a los otros metales base pudieron haber precipitado como consecuencia de una mezcla de aguas meteóricas que causó disminución de la temperatura, salinidad y pH siendo su mínima solubilidad a los 300°C y pH 4 (estabilidad de la sericita; Corbett y Leach, 1998). La presencia de cuarzo *lattice-bladed* en las estructuras C3 y D indicaría que al menos localmente la ebullición también fue un mecanismo que favoreció la precipitación de metales.

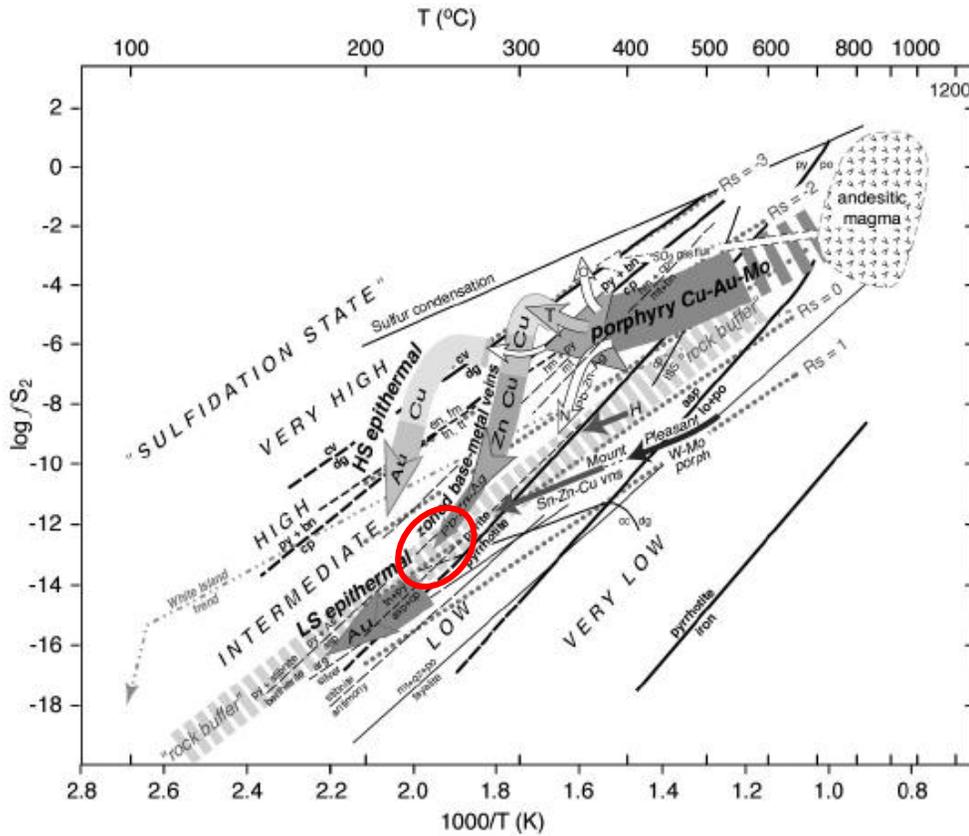


Figura 6.3. Diagrama fugacidad del azufre (S₂) vs 1000 / T (K) en donde se plotea el campo de estabilidad de la paragénesis de minerales de mena reconocido para el sistema Sofía-Julia. (extraído de Einaudi et al., 2003).

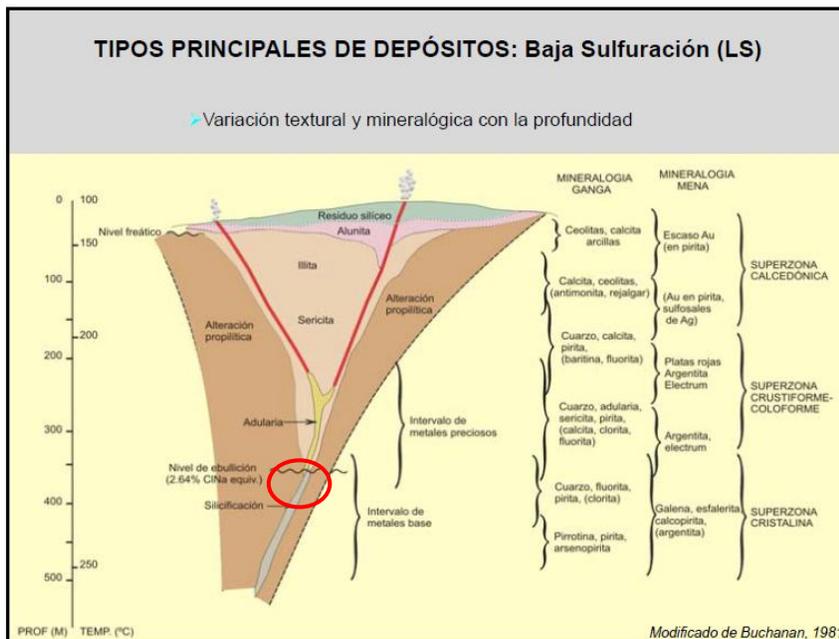


Figura 6.4. Modelo de escala vertical con la distribución de los minerales de mena, ganga y texturas desarrolladas en un sistema epitermal de baja sulfuración. En rojo se representa el posible nivel de emplazamiento del sistema de vetas Sofía-Julia-Valencia (extraído de Buchanan 1981).

6.4 COMPARACIÓN CON EL SISTEMA SAN PEDRO NORTE (KARINA) Y DON FERNANDO

En el distrito minero Andacollo el sistema San Pedro Norte y San Pedro Sur (tabla 6.1) involucran junto al sistema Sofía-Julia-Valencia, estudiado en la presente contribución, los principales recursos económicos del distrito. A diferencia de Sofía-Julia, los sondeos analizados del sistema San Pedro Norte y San Pedro Sur (DHA-156 y DHA-157, 27 y 46 muestras respectivamente), por [Pons et al., 2017](#) permitieron definir que la mineralización de este sistema de orientación NE-SO está alojada en las rocas de la Formación Arroyo del Torreón ([Cb inferior](#); [Rovere et al., 2004](#) y [referencias allí citadas](#)) conformada por rocas volcánicas que gradan de tobas cristalinas a tobas líticas con zonas de brechas volcánicas a ignimbritas soldadas.

Los sistemas de vetas San Pedro Norte y Sur está formado por vetas subparalelas con orientación general NE mientras que el sistema Don Fernando tiene orientación oblicua (NO-SE) a las anteriores. Ambos sistemas de vetas están cortados y desplazados por un sistema de fallas subverticales de rumbo N285° y NO-SE. El hecho del que el sistema Sofía-Julia-Valencia este emplazado en las fallas subverticales con orientación ~N270° indicaría que es posterior a los sistemas de vetas San Pedro y Don Fernando.

La mineralización en los sistemas San Pedro y Don Fernando está representada por electrum acompañada por pirita, galena, esfalerita y sulfosales de plata. La correlación perfecta entre Au-y Ag ([Pons et al., 2017](#)) es consistente con la presencia de electrum ([Pons pers. comun.](#)).

Los minerales de ganga consisten principalmente en multipulsos de cuarzo y sericita. Siguiendo la clasificación de las texturas de cuarzo según [Dong et al., 1995](#), en Karina y Don Fernando predominan texturas bandeadas de grano grueso tipo crustiforme. En cuanto a la alteración en la roca de caja está dominada por sericita y silicificación penetrativa señalando la presencia de fluidos menos alcalinos y de menor temperatura (100 a 200°C; [Corbett y Leach, 1998](#)) en comparación con los fluidos que circularon por las vetas Sofía-Julia-Valencia.

El análisis textural de los pulsos ([Pons et al., 2017](#)) permitió definir que la mineralización mas importante en Karina y Don Fernando está en el cemento de la vetas con texturas brechosa. En base a las descripciones anteriores las vetas Karina y Don

Fernando representa un sistema epitermal profundo pero más somero que Sofía-Julia-Valencia.

Características	Sistema NE-SO	Sistema E-O
<i>Roca hospedante</i>	Vulcanoclásticas que gradan a tobas cristalinas a líticas (Fm. Arroyo del Torreón).	Sedimentitas y vulcanitas (Fm. Huaraco) Diques Basálticos Andesíticos . Fm. Milla Michicó Fm La Premia
<i>Espesores de vetas</i>	Campo de vetas (0.5 a 2m)	<1m
<i>Alteración de la roca de caja</i>	Sericitización y silicificación	Cloritización, sericitización y silicificación.
<i>Minerales de ganga</i>	Qz y Ser	Chl, Qz, Ser, Cal
<i>Minerales de mena</i>	Electrum, Py, Gn, Sph (pobre en Fe) y sulfosales de Ag.	Mo, Gn, Sph, Cpy, Arg, Py, Apy, Po, PyAs
<i>Texturas de cuarzo</i>	Bandeada gruesa (tipo crustiforme)	Comb, feathery, pseudobladed, lattice-bladed y parallel-bladed.
<i>Temperaturas</i>	200 a 250°C	250 a 350°C
<i>Correlación Ag-Au</i>	Perfecta	Moderada
<i>Sistema hidrotermal</i>	Epitermal de intermedia sulfuración	Mesotermal a epitermal baja sulfuración
<i>Edad</i>	Carbonífero superior-Pérmico?	Cretácica-Terciaria

Tabla 6.1. Tabla comparativa con las características resumidas de los sistemas San Pedro y Sofía-Julia-Valencia.

CAPÍTULO VII

7.1 CONCLUSIONES

El mapeo de detalle de superficie y subsuelo y el logueo de los sondeos permitieron establecer relaciones de corte entre nuevos cuerpos ígneos así como también ayudaron a definir la presencia de dos sistemas hidrotermales espaciados en el tiempo en el distrito Andacollo. Uno más antiguo, emplazado en estructuras normales formadas perpendicularmente a las charnelas de los pliegues durante la compresión de la fase orogénica San Rafaelica, y el otro representado por las vetas Sofía-Julia-Valencia emplazadas en estructuras de cizalla dextrales desarrolladas sobre fallas normales previas reactivadas durante la orogenia Ándica.

Las características mineralógicas, texturales y de alteración indican que el sistema de vetas más antiguo (San Pedro y Don Fernando) formaron parte de un sistema epitermal de sulfuración intermedia y las más nuevas (Sofía-Julia-Valencia) formaron parte de un sistema mesotermal que evolucionó a epitermal de baja sulfuración de edad cretácica-terciaria. El sistema mas nuevo se formó a partir de fluidos tempranos con temperaturas mayores a 350°C y pH alcalinos en condiciones de fugacidad de azufre y oxígeno relativamente altas (venas A) que evolucionaron a fluidos de menores temperaturas (250°C), pH (5-6) y fugacidades de azufre y oxígeno (venas B-C-D). En estas últimas condiciones la Ag y metales base probablemente fueron transportados como complejos clorurados, mientras que el Au como complejo bisulfurado, y precipitados por ebullición y/o mezcla con aguas meteóricas.

La presencia de relictos de alteración potásica y del pórfido de Cu Los Maitenes-El Salvaje en el distrito, incrementa la posibilidad de encontrar un sistema pórfido en profundidad cercano al sistema de vetas Sofía-Julia-Valencia.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- AMOS, A.J. 1972.** Las cuencas carbónicas y pérmicas de Argentina. Simposio Internacional, Sistema Carbónico-Pérmico América do Sul. Anales de la Academia Brasileira de Ciencias, 44 (Supl.): 27-36. Río de Janeiro.
- AQUILES ALEGRIA, O. 2010.** Reporte técnico Proyecto Primavera sectores Cuernos del Diablo y Cerro Yeguas, Provincia del Neuquén, Argentina para Minera Andacollo Gold S.A. 42p. Santiago de Chile.
- AZCUY, C.L, Y CAMINOS, R., 1987.** Diastrofismo. En: S. Archangelsky (ed.), El Sistema Carbonífero en la República Argentina, 239-251. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- BARTON JR, P. B., Y BETHKE, P. M. (1987).** Chalcopyrite disease in sphalerite: pathology and epidemiology. *American Mineralogist*, 72(5-6), 451-467.
- BRACACCINI, O., 1964.** Geología estructural de la zona cordillerana de Mendoza y Neuquén, República Argentina. Informe 14, Contrato 1103, Dirección General de Fabricaciones Militares, 220 p. Buenos Aires.
- BUCHANAN, L.I. 1981.** Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. In relations of tectonics to ore deposits in the southwestern Cordillera, Arizona, *Geol. Society Digest.*, v.14, p.237-262.
- CASÉ, A., LOPEZ ESCOBAR, L., DANIELI, J.C., SCHALAMUK, ISODORO B.A. 2008.** Butalón igneous rocks, Neuquén, Argentina: Age, stratigraphic relationships and geochemical features. *Journal of South American Earth Sciences*, 26(2), 188-203.
- CORBETT. Y LEACH. 1998.** Controls of hydrothermal alteration and mineralization. *Society of Economic Geologist*, Especial Publication No. 6, pp. 69-82.
- D'ANNUNZIO, M. C., STRAZZERE, L., Y TAMBORINDEGUY, M. 2016** Caracterización geológica y mineralógica del sistema de vetas epitermales Este-Oeste del Distrito Minero Andacollo, provincia de Neuquén. *Acta Geológica Lilloana*, 28 (1): 112-116.
- D'ANNUNZIO, M., STRAZZERE, L., PAVON PIVETTA, C. 2017.** Características geológicas y mineralógicas del Sistema de vetas E-O del Distrito Minero Andacollo, provincia del Neuquén. Congreso Geológico Argentino XX, Resumen: Sesión

- técnica 9 Geología de los Recursos Minerales, Rocas de Aplicación y Agrominerales, Páginas 28-29.
- DANIELI, J., Y CASÉ, A. 1975.** Importancia económica de los recursos auríferos del distrito de Andacollo. Departamento Minas. Provincia del Neuquén. 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Actas 2, 169-182.
- DANIELI, J.C., CASÉ, A.M., DEZA, M.A. 1999.** El Distrito Minero de Andacollo, Neuquén. En Zappettini, E. (Ed.) Recursos Minerales de la República Argentina, Instituto Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino Anales 35, II: 1349-1364, Buenos Aires.
- DE LA CRUZ, R., Y SUAREZ, M. 1997.** El Jurásico de la Cuenca de Neuquén en Lonquimay, Chile: Formación Nacientes del Biobío (38-39 S). *Andean Geology*, 24(1), 3-24.
- DIGREGORIO, J.H. 1972.** Neuquén. En: Leanza, A.F. (Ed.): Geología regional argentina. Academia Nacional de Ciencias: 439-506. Córdoba.
- DIGREGORIO, J.H. Y ULIANA, M.A. 1980.** Cuenca Neuquina. En J.C.M. Turner (ed.) Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 2: 985-1032, Córdoba.
- DILLES, J. H. Y EINAUDI, T. M. 1992.** Wall-Rock Alteration and Hydrothermal Flow Paths about the Ann-Mason Porphyry Copper Deposit, Nevada-A 6 Km Vertical Reconstruction. *Economy Geology*, v. 87, p. 1963-2001.
- DOMÍNGUEZ, E. A. Y GARRIDO, M., 1982.** La variación vertical de la mineralización Plumbo-Zincífera subvolcánica en La Primavera, Andacollo, provincia de Neuquén, Argentina. 5º Congreso Latinoamericano de Geología, Actas II: 679-697. Argentina.
- DOMÍNGUEZ, E. A., ALIOTTA, G., GARRIDO, M., DANIELI, J. C., RONCONI, N., CASE, A. M., PALACION, M., 1984.** “Los Maitenes-El Salvaje”. Un sistema Hidrotermal de Tipo pórfido. 9º Congreso Geológico Argentino. Actas VII: 443-458. Bariloche, Rio Negro.
- DOMÍNGUEZ, E. Y GÓMEZ, M. 1988.** El régimen hidrotermal de la veta de cuarzo aurífero Erika, Andacollo, Provincia del Neuquén. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 43 (1): 24-42.

- DONG, G., MORRISON, G., JAIRETH. S., 1995.** Quartz textures in epithermal veins, Queensland - clasificación, origen and implication. *Economic Geology* Vol 90, pp. 1841-1856
- EASTOE, C. J. 1978.** A fluid inclusion study of the Panguna porphyry cooper deposit, Bougainville, Papua New Guinea. *Economic Geology*, 73: 721-748.
- EINAUDI, M., MEINERT L. D. Y NEWBERRY. 1981.** Skarns Deposits: *Economic Geology. 75th Aniversary Volume*, p. 317-391.
- EINAUDI, M., HEDENQUIST. J., INAN. E. 2003.** Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10.
- FLEET, M. E. Y MUMIN, M. 1997.** Gold-bearing arsenian pyrite and marcasite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis. *American Mineralogist, Volume 82, pages 182-193.*
- FOLK, R.L., ANDREWS, P.B. Y LEWIS, D.W. 1970.** Detrital sedimentar y rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 13: 937-968 .
- FRANCHINI, M., LOPEZ ESCOBAR, L., SCHALAMUK, ISODORO B.A., MEINERT, L. 2003.** Magmatic characteristics of the Paleocene Cerro Nevazón region and other Late Cretaceous to Early Terciary calc-alkaline subvolcanic to plutonic units in the Neuquén Andes, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences. Volume 16, Issue 5, pages 399-421.*
- GIACOSA, R. 2011.** Geología estructural de los sistemas vetiformes del cerro Las Minas. Distrito Minero Andacollo, Cordillera del Viento, Provincia del Neuquén. *Contribuciones Técnicas N° 33. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, 23p. Buenos Aires.*
- GIACOSA., ALLARD, R. J., FOIX, N., HEREDIA, N. 2014.** Stratigraphy, structure and geodynamic evolution of the Paleozoic rocks in the Cordillera del Viento (37° S latitude, Andes of Neuquén, Argentina). *Journal of Iberian Geology* 40 (2), *pages 331-348.*

- GROEBER , P. 1946.** Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70° . Hoja Chos Malal. Asociación Geológica Argentina., Rev. 1-3, 177-208. Bs. As.
- HEDENQUIS, J. 2000.** Exploration for Epithermal Gold Deposits. Society of Economic Geologists, Vol 13, *pages* 245-277.
- HEDENQUIST, J.W., ARRIBAS, A.R., GONZALEZ-URIEN, E. 2000.** Exploration for epithermal gold deposits: Reviews in Economic Geology. 13, 245–277.
- KAY, S. Y RAMOS, V. 2006.** Overview of the tectonic evolution of the southern Central Andes of Mendoza and Neuquén (35°-39°S latitude). En Kay, S., Ramos, V., (Eds.): Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S lat). Geological Society of America Special Paper 407: 1-17.
- KEARY, P. 1996.** The New Penguin Dictionary of Geology. Ed Penguin Groups, London.
- KEITH, M., HAASE, K., SCHWARZ-SCHAMPERA U., KLEMD, R., PETERSEN S, BACH W. 2014.** Effects of temperature, sulfur, and oxygen fugacity on the composition of sphalerite from submarine hydrothermal vents. Geological Society of America. August 2014; v. 42; no. 8; p. 699–702;
- KOZLOWSKI, E., CRUZ, C., SYLWAN, C. 1996.** Geología estructural de la zona de Chos Malal, Cuenca Neuquina, Argentina. In: 13 Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso Argentino de Exploración de Hidrocarburos (Buenos Aires). Actas, vol. 1, pp. 15e26.
- LLAMBÍAS, E.J. 1986.** Intrusivos pérmicos del sur de la cordillera del Viento, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 41(1-2): 22-32.
- LLAMBÍAS, E. J., Y RAPELA, C. W. 1987.** Las vulcanitas de Collipilli y sus relaciones con las provincias volcánicas del Terciario inferior de Neuquén-Mendoza y Patagonia. In *Simposio sobre Volcanismo Andino, X Congreso Geológico Argentino, Actas* (Vol. 4, pp. 249-251).
- LLAMBÍAS, E.J. Y LEANZA, H.A. 2005.** Depósitos laháricos en la Formación Los Molles en Chacay Melehue, Neuquén: evidencia de volcanismo jurásico en la cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60(3): 552-558.
- LLAMBÍAS, E., LEANZA, H., CARBONE, O. 2007.** Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico temprano en la Cordillera del Viento (37° 05´ S – 37°

- 15' S): nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la cuenca Neuquina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 62 (2): 217-235.
- LEANZA, H.A., LLAMBÍAS, E.J., CARBONE, O. 2005.** Unidades estratigráficas limitadas por discordancias en los depocentros de la cordillera del Viento y la sierra de Chacaicó durante los inicios de la Cuenca Neuquina. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajos Técnicos, Versión CD ROM, Mar del Plata.
- LEANZA, H.A., MAZZINI, A., CORFU, F., LLAMBÍAS, E.J., SVENSEN, H., PLANKE, S., GALLAND, O., 2013.** The Chachil Limestone (Pliensbachian earliest Toarcian) Neuquén Basin, Argentina: U e Pb age calibration and its significance on the Early Jurassic evolution of southwestern Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* Volume 42, *pages* 171-185.
- MACKENZIE, W.S., Y GUILFORD, C. 1980.** Atlas of rock-forming minerals in thin section.
- MAGSA, 2008.** Exploración geológica del sistema Sofía (veta Julia). Andacollo. Informe inédito.
- MAYDAGÁN, L., MCFARLANE, C.R.M., LENTZ, D., BOUHIER, V. , CAFFE, P. , RAINOLDI, A. , PONS J. , FERNÁNDEZ, L., FRANCHINI, M. , LUNA, G. 2018.** Pb-isotope and trace elements analysis by LA-Q-ICPMS of galena from Argentinian epithermal deposits: a preliminary analysis. 15th Quadrennial IAGOD Symposium.
- PONS, J., FRANCHINI, M., MENDIBERRI, J., CASTILLO, V. 2017.** Primer informe de avances de veta Sofía-Julia y San Pedro Norte, distrito Andacollo, Neuquén. Inédito.
- PONS, J., Y CAÑAS, J.M., 2018.** Mapa Geológico y Estructural del Distrito Minero Andacollo, Dpto. Minas. Provincia de Neuquén. Inédito.
- PREECE, R. K., Y BEANE, R. E. 1982.** Contrasting evolutions of hydrothermal alteration in quartz monzonite and quartz diorite wall rocks at the Sierrita porphyry copper deposit, Arizona: *Economy Geology.*, v. 77, p. 1621-1641.
- RAMOS, V. A., FOLGUERA, A. Y GARCIA MORABITO, E., 2011.** Las Provincias Geológicas del Neuquén. *Geología y Recursos Naturales de la provincia de*

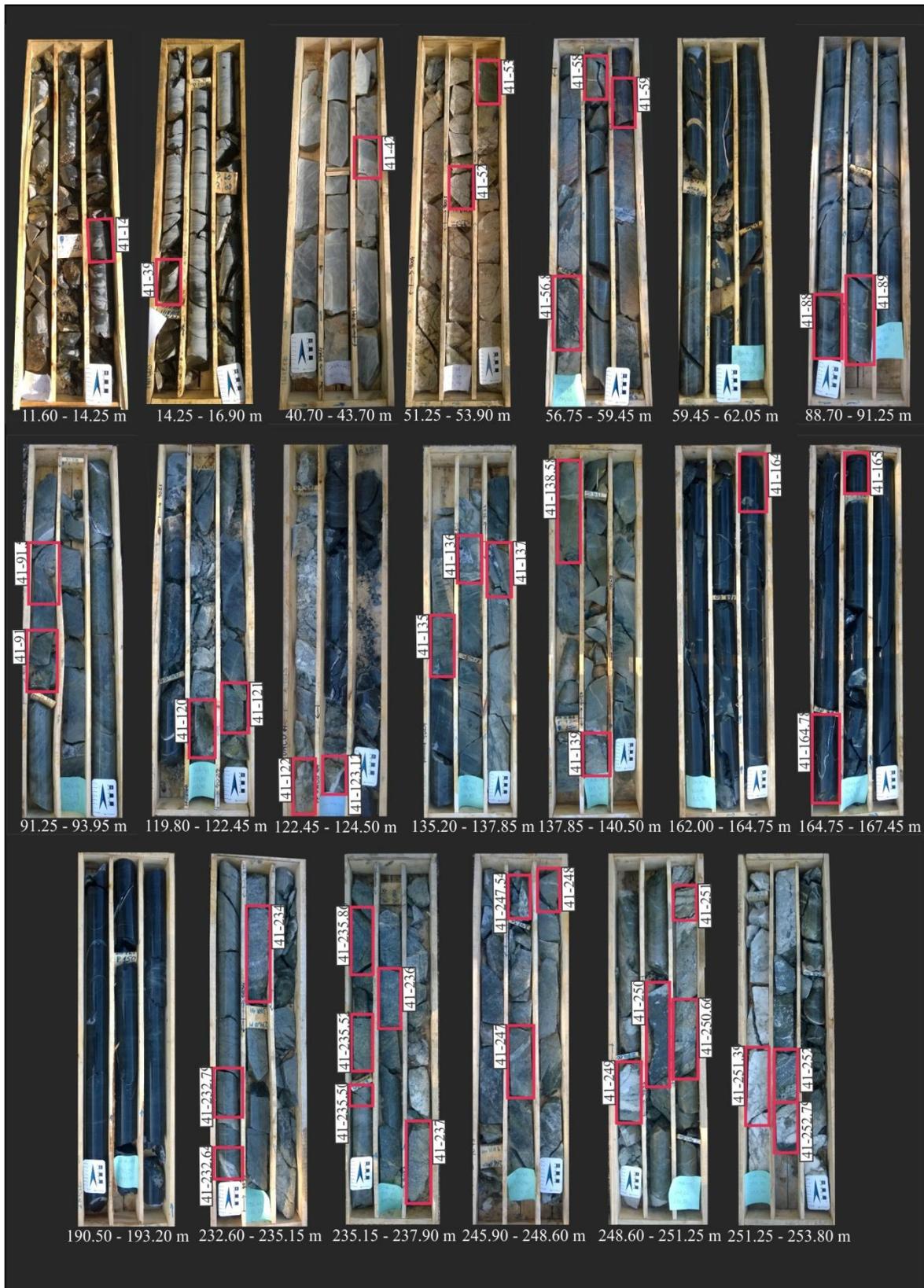
- Neuquén. En XVIII Congreso Geológico Argentino, Relatorio, 317 – 326 p, Neuquén.
- REYES, A.G. 1990.** Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 43: 279-309.
- REYNOLDS, T. J., BEANE, R. E. 1985.** Evolution of Hydrothermal Fluid Characteristics at the Santa Rita New Mexico, Porphyry Copper Deposit. *Economy Geology.*, v. 80, p. 1328-1347.
- ROJAS VERA, E.A., MESCUA, J., FOLGUERA, A., BECKER, T.P., SAGRIPANTI, L., FENNELL, L., ORTS, D., RAMOS, V.A. 2015.** Evolution of the Chos Malal and Agrio fold and thrust belts, Andes of Neuquen: Insights from structural analysis and apatite fission track dating. *Journal of South American Earth Sciences XXX*, pages 1 -16.
- ROLLERI, E. O. Y CRIADO ROQUE, P. 1970.** Geología de la provincia de Mendoza. 4° Jornadas Geológicas Argentinas (Mendoza, 1969), Actas 2: 1-60, Buenos Aires.
- ROVERE, E., CASELLI, A., TOURN, S., LEANZA, H., HUGO, C., FOLGUERA, A., ESCOSTEGUY, L., GEUNA, S., GONZÁLEZ, R., COLOMBINO, J., DANIELI, J., 2004.** Hoja Geológica 3772-IV, Andacollo, provincia del Neuquén. Instituto Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 298, 104 p. Buenos Aires.
- SAGRIPANTI, L., FOLGUERA, A., GIMÉNEZ, M., ROJAS VERA, E. A., FABIANO, J. J., MOLNAR, N., FENNELL, L. RAMOS, V. A. 2014.** Geometry of Middle to Late Triassic extensional deformation pattern in the Cordillera del Viento (Southern Central Andes): A combined field and geophysical study. *Journal of Iberian Geology* 40 (2), pages 349-366.
- SATO, A. M., LLAMBÍAS, E.J., BASEI, M.A.S., AND LEANZA, H.A. 2008.** The Permian Choiyoi Cycle in Cordillera del Viento (Principal Cordillera, Argentina): Over 25 Ma of magmatic activity. VI South American Symposium on Isotope Geology.

- SEEDORFF, E. Y EINAUDI, M. 2005.** Henderson Porphyry Molybdenum System, Colorado: II. Decoupling of Introduction and Deposition of Metals during Geochemical Evolution of Hydrothermal Fluids: *Economic Geology*, v. 99, p. 39-72.
- SEWARD, T.M. 1984.** The transport and depositic-n of gold in hydrothermal systems. In *Gold 82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits* (Forster, RP. ; editor). Geological Society of Zimbabwe. Special Publication, No. 1, p. 165-181.
- SHAO, Y-J., WANG, W-S., LIU, Q., ZHANG, Y. 2018.** Trace Element Analysis of Pyrite from the Zhengchong Gold Deposit, Northeast Hunan Province, China: Implications for the Ore-Forming Process. *Minerals* 2018, 8, 262.
- SILLITOE, R. H. 1985.** Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs. *Economic Geology*, 80(6), 1467-1514.
- SIMPSON, M., MAUK, J., SIMMONS, S. 2001.** Hydrothermal Alteration and Hydrologic Evolution of the Golden Cross Epithermal Au-Ag Deposit, New Zealand. *Economic Geology*. 96, 773–796.
- STOLL, W. 1957.** Geología y depósitos minerales de Andacollo, provincia de Neuquén. Dirección Nacional de Minería, Anales 6, 35 pg., Buenos Aires.
- SUÁREZ, M. 2007.** Geología del área Andacollo –parte sur-, Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina. MAGSA, inédito 50 p, Andacollo.
- SUAREZ, M. Y ECHART, H., 2008.** Magmatismo y alteración hidrotermal del Cretácico tardío en Andacollo, provincia del Neuquén: Edades KAr. Actas 17º Congreso Geológico Argentino.
- SUÁREZ, M., FANNING, M., ETCHART, H, DE LA CRUZ, R. 2008.** Carboniferous, Permian and Toarcian magmatism in Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina: U-Pb SHRIMP dates and tectonic implications. XVII Congreso geológico Argentino, Actas, 906-907, S.S. Jujuy.
- SUAREZ, R. 2017.** Metamorfismo de soterramiento en la cuenca neuquina e implicancias en la maduración térmica de hidrocarburos. Trabajo final de licenciatura. Universidad Nacional de Rio Negro, General Roca, Argentina. 73 paginas.

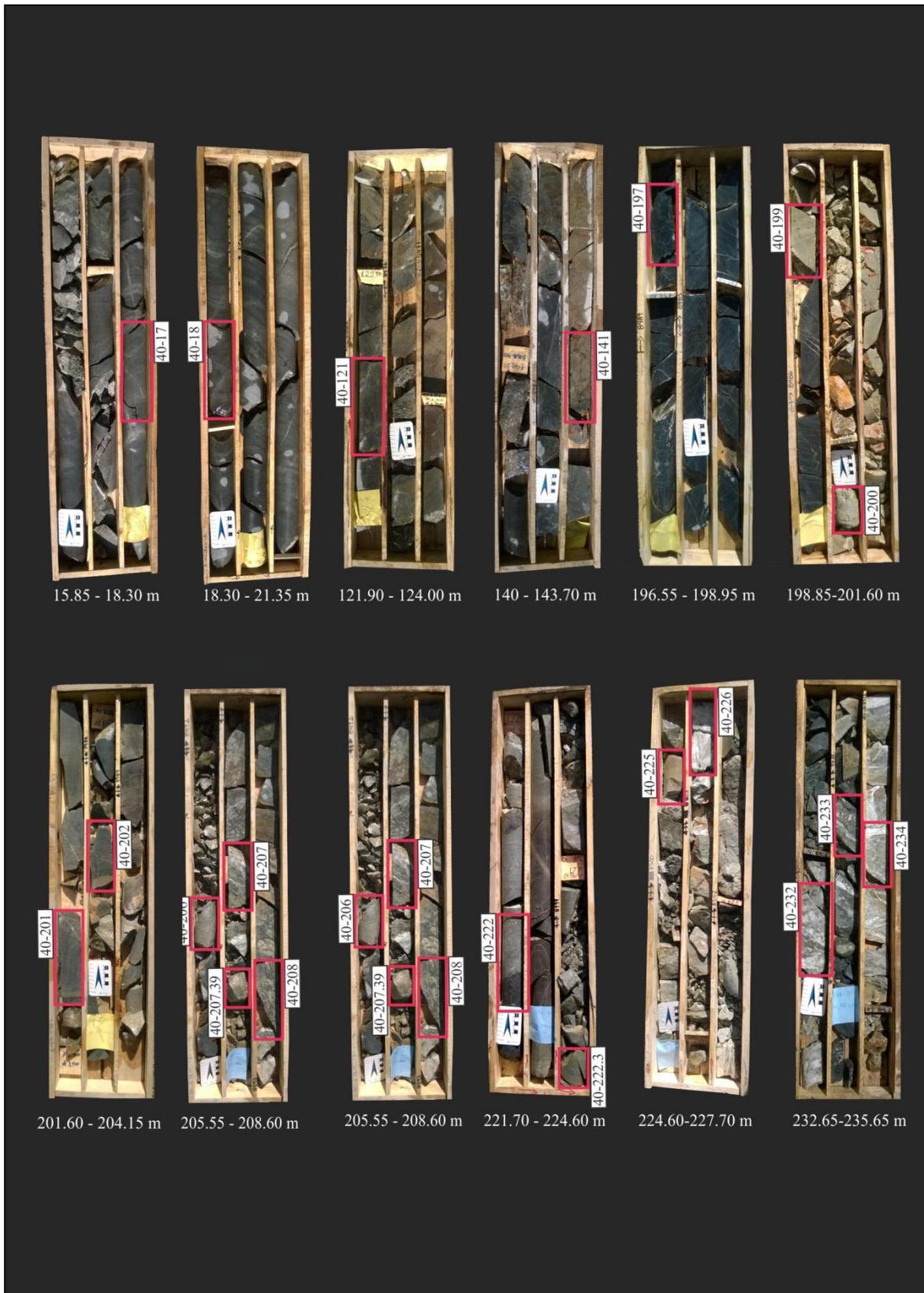
- ULRICH, T. Y HEINRICH, C. A. 2001.** The evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICPMS of fluid inclusions: Bajo de la Alumbraera, Argentina. *Economic Geology*, 96 (8): 1743-1774.
- WHITNEY D. L. Y BERNARD, W. E. 2010.** Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist*, Volume 95, pages 185–187.
- ZAPPETTINI, E.O., MÉNDEZ, V., ZANETTINI, J.C.M. 1987.** Metasedimentitas mesopaleozoicas en el noroeste de la Provincia del Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 42 (1-2): 206-207, Buenos Aires
- ZAPPETTINI, O. E., POMA, S., QUENARDELLE, S., JOÃO O. SANTOS, O. S.,[†]**
KOUKHARSKY, M., ELENA BELOUSOVA, E., NEIL MCNAUGHTON, N. 2014. Geochemistry, U-Pb SHRIMP zircon dating and Hf isotopes of the Gondwanan magmatism in NW Argentina: petrogenesis and geodynamic implications. *Andean Geology* 41 (2): *pages* 267-292.
- ZÖLLNER, W. Y AMOS, A. 1955.** Acerca del Paleozoico superior y Triásico del Cerro La Premia, Andacollo, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 10(2): 127-135, Buenos Aires.
- ZOLLNER, W., Y AMOS, A. J. 1973.** Descripción geológica de la hoja 32b, provincia de Neuquén, Servicio Nacional Minero-Geológico, boletín 143:1-91, Buenos Aires.



ANEXO A



ANEXO A1. Muestras seleccionadas para la caracterización litológica, mineralógica y textural del sondeo DHA-41.



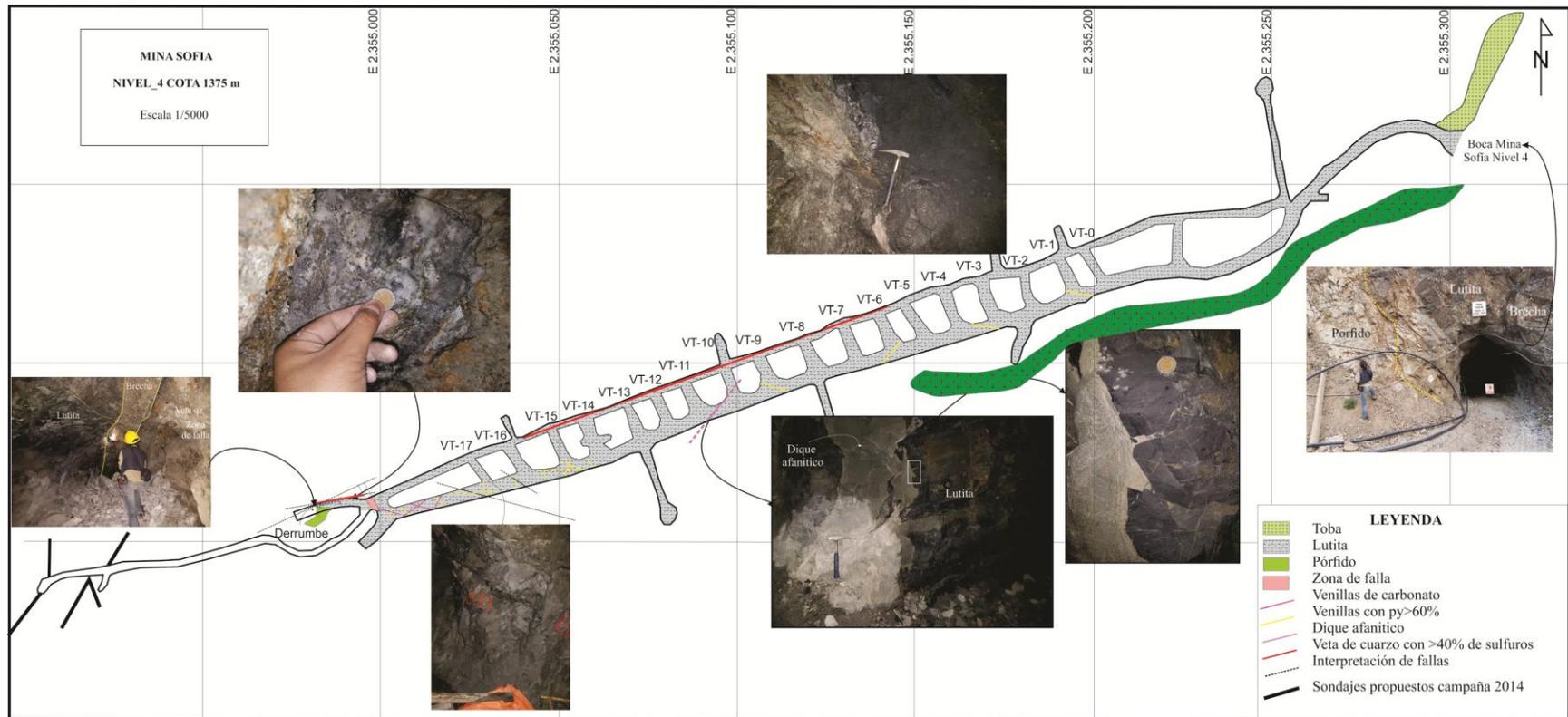
ANEXO A2. Muestras seleccionadas para la caracterización litológica, mineralógica y textural del sondeo DHA-40.



ANEXO A3. Muestras seleccionadas para la caracterización litológica, mineralógica y textural del sondeo DHA-34.



ANEXO B



ANEXO B1. Mapa geológico del laboreo nivel 4: veta Sofía (modificado MAGSA, 2008).