

GEOLOGÍA, ALTERACIONES Y MINERALIZACIÓN DE Cu-Au EN LOS PROSPECTOS DE ALTAR NORTE Y LA ESQUINA

Alta Cordillera de San Juan, Argentina

Noelia Caterina Di Giuseppe



GEOLOGÍA, ALTERACIONES Y MINERALIZACIÓN DE Cu-Au EN LOS PROSPECTOS DE ALTAR NORTE Y LA ESQUINA

Alta Cordillera de San Juan, Argentina

Trabajo Final de Licenciatura



Autora: Noelia Caterina Di Giuseppe^{1,2}

Directora: Dra. Laura Maydagán^{1,3}

Co- directora: Dra. Marta Beatriz Franchini^{1,2,4}

¹Centro Patagónico de Estudios Metalogenéticos, CONICET.

²Departamento de Geología y Petróleo, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Comahue, Neuquén.

³Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

⁴Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Negro, General Roca.

Septiembre 2019

RESUMEN

Los prospectos mineros Altar Norte y La Esquina se ubican al SO de la provincia de San Juan, Argentina, 1 km al norte del depósito de Cu-Au Altar (1005 Mt@ 0,34 % Cu y 0,1 g/t Au; Marek 2018), en la provincia geológica Cordillera Principal. Altar es un sistema magmático-hidrotermal complejo formado por la superposición de varios eventos magmáticos e hidrotermales durante el Mioceno medio-tardío (Maydagán et al. 2011; Maydagán et al. 2014). Las rocas de la región han sido clasificadas en dos grupos: El Complejo Volcánico Inferior (CVI) y la Suite Subvolcánica Superior (SSS) (Maydagán et al. 2011). Las litologías de Altar Norte y la Esquina son equivalentes a la SSS; éstas intruyeron a las litologías del CVI en el Mioceno medio a tardío (11.98 ± 0.19 Ma, Pórfido Altar Norte, Maydagán et al. 2016). En base a su composición y texturas, se identificaron en Altar Norte dos cuerpos subvolcánicos porfiríticos, el pórfido Altar Norte y el pórfido dacítico estéril, y dos brechas polimícticas. En La Esquina se describieron subafloramientos de dos cuerpos ígneos, interpretados como intrusivos con textura porfirítica y granular. Se identificaron cuatro tipos de alteración hidrotermal: 1) alteración potásica como relictos en profundidad en el pórfido Altar Norte y en superficie en La Esquina; 2) alteración propilítica que afecta principalmente al pórfido estéril; 3) alteración clorítica que afecta al pórfido Altar Norte y a la brecha polimíctica 2; 4) alteración fílica en el pórfido Altar Norte y las brechas polimícticas y alteración supergénica con sulfuros de Cu tardíos y óxidos de Cu y Fe. Se definieron 5 generaciones de venillas: 1) venillas de feldespato potásico, biotita y calcita; 2) venillas tipo A de cuarzo y sulfuros de cobre; 3) venillas tipo D con pirita + filosilicato + turmalina; 4) venillas D-E de calcopirita+ esfalerita+ pirita, con tennantita y marcasita tardías y 5) venillas supergénicas de jarosita, goethita y hematita. De acuerdo a estas observaciones se determinaron 3 pulsos de mineralización: El primer pulso de mineralización asociado a alteración potásica con calcopirita y bornita en venillas tipo A; un segundo pulso correspondiente a alteración fílica, con pirita y una segunda generación de calcopirita y pirita + esfalerita, con tenantita y marcasita tardías asociadas a venillas transicionales D a E y el tercer pulso representado por alteración supergénica con digenita \pm covelina tanto diseminadas como en venillas, que reemplazan los sulfuros previos. Se concluye que la mineralización se ha formado en un ambiente que evolucionó desde un primer estadio de sulfuración baja a intermedia (1er pulso), seguido por un estadio de enriquecimiento hipogénico de sulfuración intermedia correspondiente al segundo pulso de mineralización. La alteración supergénica da lugar a fluidos de sulfuración muy alta en el tercer pulso de mineralización de Cu. Las mayores leyes de Cu ocurren en la zona de enriquecimiento supergénico que se superpone al *stockwork* de venillas con digenita y covelina. Según la relación Cu/Au hipógena, Altar Norte es similar al grupo de pórfidos ricos en Au y su profundidad de emplazamiento estimada es de 2 km.

Palabras claves: Altar, Altar Norte, La Esquina, pórfido cuprífero, alteración, mineralización, evolución magmático – hidrotermal.

ABSTRACT

The mining prospects Altar Norte and La Esquina are located SW from the San Juan province, Argentina, 1 km north of the Altar Cu-Au deposit (1005 Mt@ 0,34 % Cu y 0,1 g/t Au; Marek 2018), in the geological province Main Cordillera. Altar is a complex magmatic-hydrothermal system formed by the superposition of several magmatic and hydrothermal events during middle to late Miocene (Maydagán et al. 2011; Maydagán et al. 2014). The rocks of the region have been classified into two groups: The Lower Volcanic Complex (CVI) and the Upper Subvolcanic Suite (SSS) (Maydagán et al. 2011). The lithologies of Altar Norte and La Esquina are equivalent to the SSS; these intruded the lithologies of the CVI in middle to late Miocene (11.98 ± 0.19 Ma, Altar Norte porphyry, Maydagán et al. 2016). Based on their composition and textures, two porphyritic subvolcanic bodies were identified in Altar Norte; porphyry Altar Norte and sterile dacitic porphyry; and two polymictic breccias. In La Esquina, subcrops from two igneous bodies were described, interpreted as intrusives with porphyritic and granular texture. Four types of hydrothermal alteration were identified: 1) Potassic alteration as relicts in depth in the Altar Norte porphyry and in La Esquina surface; 2) propylitic alteration that mainly affects the sterile porphyry; 3) chloritic alteration affecting the Altar Norte porphyry and the polymictic breccia 2; 4) phyllic alteration in the Altar Norte porphyry and the polymictic breccias; and supergene alteration with late Cu sulfides and Cu and Fe oxides. Five generations of veinlets were defined: 1) veinlets of potassium feldspar, biotite and calcite; 2) Type A quartz veinlets and copper sulfides; 3) D-type veinlets with pyrite + phyllosilicate + tourmaline; 4) D-E veinlets of chalcopyrite + sphalerite + pyrite, with late tennantite and marcasite and 5) supergene veinlets of jarosite, goethite and hematite. According to these observations, 3 pulses of mineralization were determined: The first mineralization pulse associated with potassium alteration with chalcopyrite and bornite in type A veinlets; a second pulse corresponding to phyllic alteration, with pyrite and a second generation of chalcopyrite and pyrite + sphalerite, with late tennantite and marcasite associated with transitional D to E veinlets; and the third pulse represented by supergene alteration with digenite \pm covellite both disseminated and in veinlets, which replace the previous sulfides. In conclusion, the mineralization occurred in an environment that evolved from a first stage of low to intermediate sulfidation (1st pulse), followed by a stage of intermediate sulfidation hypogene enrichment corresponding to the second pulse of mineralization. Supergene alteration gives place to very high sulfidation fluids in the third pulse of Cu mineralization. The highest Cu grade is found in the supergene enrichment zone, overlapped with the stockwork of veinlets with digenite and covellite. According to its hypogene Cu / Au ratio, Altar Norte is similar to the Au-rich porphyry group and its estimated depth of emplacement is 2 km.

Keywords: Altar, Altar Norte, La Esquina, porphyry copper, alteration, mineralization, magmatic-hydrothermal evolution.

Agradecimientos y dedicatorias.

En primer lugar deseo agradecer a la Universidad del Comahue que hizo posible mi formación como Geóloga en esta maravillosa Provincia de Neuquén, que es mi hogar hace ya tantos años.

A mi familia, por el amor, apoyo y contención, por festejar los logros y sufrir los fracasos a la par mío, a lo largo de toda mi vida y especialmente en este camino, por momentos interminable, pero siempre enriquecedor que es mi carrera. ¡Los amo! Abuelo, mi casco blanco se eleva hasta el cielo, gracias.

A mis amigos, compañeros, colegas, por hacer mi paso por la Universidad una de las mejores experiencias de mi vida. Por los largos días y noches, por las risas, los abrazos de alegría o de contención, los nervios compartidos, por el apoyo, por su amistad que va más allá de las aulas. Gracias.

A mis profesores, de los que aprendí no sólo lecciones de Geología, sino de la vida. Les agradezco por formarme y por inculcarme el amor y la vocación por esta carrera. Entre ellos a mi directora, Dra. Laura Maydagán y co-directora Dra. Marta Franchini, por su paciencia, dedicación y por compartir sus conocimientos conmigo. A los integrantes de la Comisión de Seguimiento Curricular por su apoyo para poder cumplir con este objetivo. A los Jurados Msc. Martín Arce, Dra. Josefina Pons y Dra. Ana María Casé por su revisión y valiosos comentarios que ayudaron a mejorar este trabajo.

Agradezco al Centro Patagónico de Estudios Metalogenéticos y a sus integrantes por darme la posibilidad de realizar este trabajo que forma parte de uno de sus proyectos de investigación, y por permitirme utilizar su microscopio. Al C.I.M.A.R. (Centro de Investigaciones de Minerales Arcillosos) y sus integrantes por permitirme usar su laboratorio. A la Dra. Ana María Casé, profesora del Asentamiento Universitario de Zapala, por aportar a mi conocimiento de microscopía para poder realizar este trabajo. Al staff de la empresa Peregrine Argentina S.A. que opera el prospecto Altar por proveer acceso, apoyo logístico, muestras y datos geoquímicos.

Índice

CAPÍTULO I- Introducción	1
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Ambiente geológico regional	3
1.3. Ambiente geológico local- Antecedentes científicos	3
1.4. Antecedentes mineros	5
2. Metodología	6
1. Introducción	7
3.1. Fallas	12
3.2. Sondeos	12
4. Geología La Esquina	17
CAPITULO III: Alteración, pulsos de venillas y mineralización en Altar Norte y La Esquina .	20
1. Introducción	20
1.1 Alteración en superficie	20
1.2 Venillas de cuarzo	22
2. Alteraciones de Altar Norte.....	23
2.1. Alteración Potásica:.....	23
2.2. Alteración propilítica.....	27
2.3. Alteración clorítica:.....	28
2.4. Alteración fílica:.....	28
2.5. Alteración supergénica.....	31
2.6. Alteraciones en brechas polimícticas	32
3. Alteración de La Esquina	34
3.1. Alteración potásica.....	34
3.2. Alteración propilítica.....	35
3.3. Alteración supergénica.....	35
4. Geoquímica	37
Capítulo III- Discusión.....	42
1. Altar Norte	42
1.1 Secuencia de emplazamiento de intrusivos y brechas.....	42
1.2 Distribución de elementos asociados a la mineralización en el pórfido Altar Norte.....	44
1.3 Distribución de elementos asociados a la mineralización en las brechas polimícticas .	45
1.4 Distribución de alteraciones de Altar Norte	47

1.5 Venillas	47
1.6 Secuencia paragenética	48
2. La Esquina.....	49
2.1 Secuencia de emplazamiento.....	49
2.2 Distribución de alteraciones	50
2.3 Venillas	50
2.4 Secuencia paragenética	50
3. Pulsos de mineralización y Evolución del Fluido Hidrotermal de Altar Norte.....	51
4. Modelo	54
5. Profundidad de emplazamiento del pórfido Altar Norte	55
Conclusiones y recomendaciones.....	57
Bibliografía	58
ANEXO I- Descripciones macroscópicas	64
ANEXO II- Descripciones microscópicas	76

CAPÍTULO I- Introducción

1. Introducción

Los prospectos mineros Altar Norte y La Esquina (31° 29' S, 70° 28' O) se localizan al SO de la provincia de San Juan, 1 km al norte del depósito de Cu-Au Altar, en la provincia geológica Cordillera Principal y porción sur del segmento de subducción horizontal de los Andes Centrales (~ 27-33° 30' S; Cahill y Isacks, 1992). La zona se encuentra entre 3100 y 4000 m.s.n.m. y el centro del depósito tiene una elevación de aproximadamente 3400 m.s.n.m. El clima es continental semi-árido, característico de altitudes por encima de 2500 m.s.n.m. en los Andes Centrales. Las temperaturas son bajas durante todo el año, entre -3°C a 15°C en verano y -25°C a 7°C en invierno. La precipitación varía entre 600 mm/año y 1000 mm/año, con frecuentes tormentas de lluvia y nieve junto con vientos fuertes, principalmente en invierno entre los meses de Mayo a Agosto (Independent Mining Consultants, Inc., 2014).

El área de Altar alberga depósitos tipo pórfido de Cu y de Au, depósitos epitermales de alta sulfuración y su transición (y en sectores su superposición; Maydagán et al. 2015). Son escasos los depósitos que muestran esta transición, por ello el área de Altar es excelente para profundizar el análisis de la evolución de los fluidos hidrotermales en sistemas transicionales pórfido-epitermal.

Estudios previos realizados por el grupo de investigación del Centro Patagónico de Estudios Metalogenéticos indican que Altar es un sistema magmático-hidrotermal complejo caracterizado por la superposición de varios pulsos magmáticos e hidrotermales durante el Mioceno medio-tardío (Maydagán et al., 2011; Maydagán et al. 2014a). Los núcleos mineralizados más importantes del distrito Altar son Altar Central (995 Mt@ 0,35 % Cu y 0,083 g/t Au; Marek, 2018), Altar Este y Quebrada de la Mina-Pórfido Radio (10 Mt@ 0,93 g/t Au y 3,49 g/t Ag, Marek 2018).

Las edades U-Pb obtenidas mediante AL-ICPMS en los stocks subvolcánicos de Altar indican cuatro eventos discretos de intrusiones durante un período de actividad magmática de ~3 Ma, y magmatismo hasta ~9 Ma (Maydagán et al. 2014a). Tres intrusiones y brechas mineralizadas formaron dos centros magmáticos-hidrotermales con mineralización que se encuentran en el valle este (Altar Este, el más antiguo) y en la zona central del depósito (Altar Central, el más joven, Maydagán et al. 2014a). El levantamiento del terreno y la erosión en Altar Central aumentaron la superposición de

las venillas de baja temperatura sobre las venillas de alta temperatura, generando *telescoping* (Maydagán et al. 2015) como se reconoce en otros depósitos del segmento de subducción horizontal pampeano (e.g. Famatina: Pudack et al. 2009, Agua Rica: Franchini et al. 2011, 2012).

En Altar Central, el estudio detallado de las diferentes generaciones de venillas y su distribución, combinado con estudios de catodoluminiscencia (CL) y análisis de ablación laser ICPMS en cuarzo y microtermometría de inclusiones fluidas permitieron generar un modelo de la evolución de los fluidos hidrotermales desde sus orígenes magmáticos profundos hasta el ambiente epitermal a niveles superficiales (Maydagán et al. 2015). Recientemente han sido descubiertos por la empresa minera Peregrine Metals Argentina S.A dos nuevos prospectos con mineralización de Cu y Au localizados 1 km al norte del depósito Altar. El estudio de estas áreas contribuirá al conocimiento de este importante distrito de Cu de la Provincia de San Juan.

1.1. Objetivos

Dado el gran recurso mineral de Cu y Au del proyecto Altar (1005 Mt@ 0,34 % Cu y 0,1 g/t Au; Marek, 2018), es de suma importancia el estudio de las litologías, alteraciones y mineralizaciones de los prospectos aledaños tales como Altar Norte y La Esquina.

El objetivo de este trabajo de licenciatura es brindar, a partir de trabajo de campo y laboratorio, nuevos datos, interpretaciones y también nuevos interrogantes que contribuyan a incrementar el nivel de conocimiento sobre los mecanismos de alteración y mineralización de la zona de Altar Norte y La Esquina, y situar a estos nuevos depósitos en el contexto del sistema magmático-hidrotermal de Altar.

Los objetivos específicos incluyen:

- 1) Construir un mapa geológico y un mapa de alteración del área estudiada.
- 2) Caracterizar unidades litológicas y alteraciones en muestras de mano y cortes delgados.
- 3) Determinar las distintas generaciones de venillas de cuarzo-sulfuros e identificar pulsos de mineralización.
- 4) Caracterizar los fluidos asociados a la mineralización de Cu y Au.
- 5) Determinar relaciones geoquímicas entre elementos representativos en las zonas de lixiviación y enriquecimiento supergénico.

- 6) Presentar un modelo metalogénico que relacione litologías, alteraciones hidrotermales, venillas y alteración supergénica con la mineralización.
- 7) Identificar similitudes y diferencias con lo previamente estudiado por el grupo de investigación del Centro Patagónico de Estudios Metalogénicos.

1.2. Ambiente geológico regional

El depósito Altar está localizado en el segmento de subducción plana amagmático Pampeano actual de los Andes de Argentina y Chile, que alberga dos de los tres depósitos más grandes de Cu-Mo de Chile central: Río Blanco-Los bronce: 204 Mt Cu y Los Pelambres-El Pachón: 21 Mt Cu (Cooke et al. 2005; Sillitoe and Perelló 2005; Irarrazaval et al. 2010).

Este segmento también alberga el depósito epitermal de alta-baja sulfuración de alto grado El Indio, y los depósitos de alta sulfuración Pascua Lama y Veladero (Maksaev et al. 1984; Bissig et al. 2001). Este cinturón metalogénico se erigió sobre el Terreno Chilena, un bloque microcontinental acrecionado al margen de Gondwana en el Devónico (Ramos et al. 1986). En esta región se produjo magmatismo relacionado a subducción durante el Pensilvaniano al Pérmico temprano (Mpodozis y Kay 1992), rifting y magmatismo por extensión a partir del Pérmico medio hasta el Triásico (Sato et al. 2015), sedimentación marina en un ambiente de trasarco (Cuenca Neuquina) en el Jurásico- Cretácico temprano (Cristallini y Ramos 2000), y volcanismo calco-alcalino relacionado a subducción con plutonismo asociado desde el Cretácico hasta el Cenozoico (Mpodozis y Ramos 1989).

A lo largo del Oligoceno y Mioceno temprano, se acumularon secuencias volcanoclásticas de gran espesor en una cuenca extensional volcano-tectónica o depresión intra-arco (Cuenca Abanico/Coya Machalí, Jordan et al. 2001; Charrier et al. 2002; 2005). La deformación compresional y colapso de cuenca comenzó en el Mioceno temprano alrededor de 20-10 Ma, coincidiendo con el inicio de la somerización de la placa oceánica de Nazca (Kay y Mpodozis 2002).

1.3. Ambiente geológico local- Antecedentes científicos

Maydagán et al. (2011, 2012) presentaron el primer mapa geológico y los primeros análisis petrográficos, geoquímicos y geocronológicos de la región que rodea al depósito Altar. Al este de Altar aflora un batolito tonalítico del Carbonífero tardío (Fig. 1, Maydagán et al. 2012, 2016) y hacia el oeste afloran rocas sedimentarias

cretácicas presentes a lo largo del límite argentino-chileno (Mpodozis y Cornejo, 2012; Bergoeing Rubilar, 2016).

Basados en las relaciones de campo y características litológicas, Maydagán et al. (2011) clasificaron a las rocas de Altar en dos grupos: El Complejo Volcánico Inferior (CVI) y la Suite Subvolcánica Superior (SSS). El CVI está compuesto por andesita basáltica y flujos de lava de andesita-dacita, toba lapillítica y brecha piroclástica, y gradada hacia arriba a una unidad compactada y espesa de toba masiva (riolita). Una toba riolítica del CVI fue datada en $20,8 \text{ Ma} \pm 0,3 \text{ Ma}$ y una andesita porfírica en $21,6 \pm 1.2 \text{ Ma}$; con el método U-Pb en circones por Maydagán et al. (2011) y Maydagán (2012), y se interpreta como un arco magmático formado sobre una zona de subducción normal con magmas generados a partir de procesos de cristalización fraccionada y contaminación cortical. Las firmas geoquímicas e isotópicas del CVI indican que sería equivalente al Grupo Doña Ana en la zona del El Indio (Maksaev et al. 1984; Kay et al. 1987, 1991; Nasi et al. 1990; Martin et al. 1997), la Fm Abanico en Chile (Wyss et al. 1993; Charrier et al. 1996, 1997; Kurtz et al. 1997) y al Complejo Volcánico El Teniente en Chile (34° S , Kay et al. 1999, 2005; Stern et al. 2010).

La secuencia volcánica fue depositada en un ambiente extensional durante el Mioceno Temprano y deformada por un evento compresivo entre 21 y 18 Ma (Charrier et al. 2002). La inversión tectónica coincide con un proceso regional de engrosamiento cortical asociado al cambio en los parámetros de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana, que causó el levantamiento de la Cordillera Principal y expansión del vulcanismo hacia el retroarco. El segmento noreste de la Cordillera de Juan Fernández comenzó a subducir a los 15 Ma y a los $\sim 9 \text{ Ma}$ el segmento este- oeste de la Cordillera colisiona con la fosa oceánica causando el cese del vulcanismo en el segmento de subducción plana de los Andes Centrales. Las intrusiones porfíricas y brechas de la SSS intruyeron a las litologías del CVI en el Mioceno medio a tardío ($11,75 \pm 0,24$ a $8,9 \pm 0,4 \text{ Ma}$ - edades U-Pb, Maydagán et al. 2011, 2014a). Estos stocks son los que albergan la mayor parte de la mineralización.

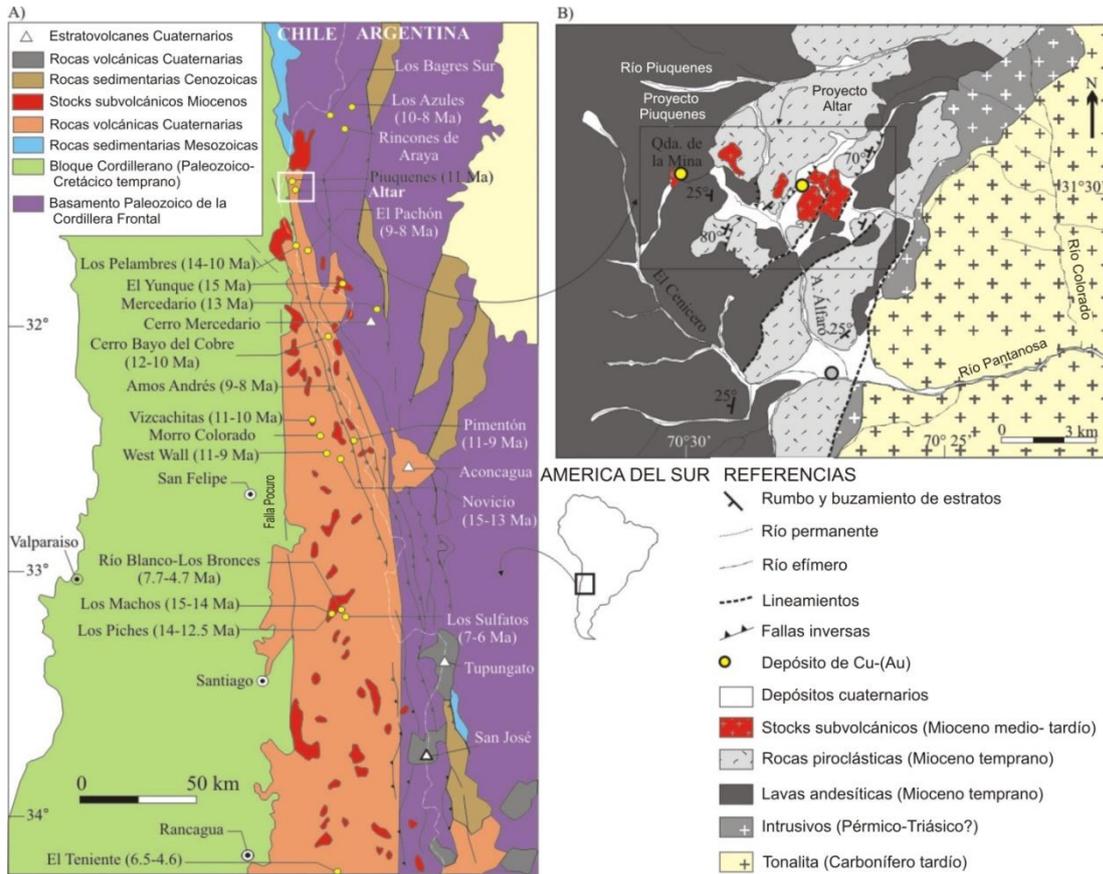


Fig. 1. A) Mapa geológico de la Cuenca de intra-arco Abanico mostrando la ubicación de los depósitos de pórfido de cobre de Chile y Argentina (Modificado de Mpodozis y Cornejo, 2012). B) Mapa geológico del distrito Altar (Maydagán et al., 2014a).

Las edades U-Pb obtenidas mediante AL-ICPMS en los stocks subvolcánicos de Altar indican cuatro eventos discretos de intrusiones durante un período de actividad magmática de ~3 Ma, y magmatismo hasta ~9 Ma (Maydagán et al. 2014a). Tres intrusiones y brechas mineralizadas formaron dos centros magmáticos-hidrotermales con mineralización que se encuentran en el valle este (Altar Este, el más antiguo) y en la zona central del depósito (Altar Central, el más joven, Maydagán et al. 2014a). Durante el cuaternario, eventos glaciares quedan registrados en circos y morenas que cubren la superficie de los valles.

1.4. Antecedentes mineros

Los primeros estudios en el área de Altar se realizaron en el año 1995, cuando la empresa CRA Exploration Argentina realizó toma de muestras de superficie y marcó una amplia zona de alteración y mineralización. Entre 1999 y 2000 la minera Río Tinto evaluó el área con 2845 metros de sondeos. Los resultados de estas campañas exploratorias figuran en un informe técnico inédito (Río Tinto Mining & Exploration,

2003) y en dos informes sobre la geología de superficie y las descripciones de los primeros testigos de perforación (Sillitoe, 1999; Sillitoe, 2003).

En el 2010 y 2011 se realizaron muestreos químicos y estudios geofísicos de polarización IP en sectores periféricos del proyecto, en donde se descubrieron valores de oro importantes en Quebrada de la Mina. Posteriormente se realizaron perforaciones en el área que confirmaron la mineralización de oro con intervalos desde 0,3 g / t hasta 1,42 g/ t de Au (Peregrine Metals Ltd., 2011).

Desde el 2005, Peregrine Argentina S.A. realizó 250 perforaciones (90.000 m) en Altar Norte, Altar Este, Quebrada de la Mina y Altar Norte. En el 2011 el proyecto fue adquirido por Stillwater Mining Company, y en 2012 y 2013 se perforaron nueve pozos en Altar Norte.

En el 2018 Aldebarán Resources Inc. adquirió el proyecto Altar y desde Enero del 2019 comenzó a perforar en Altar Central y evalúa una nueva estrategia de exploración llevando a cabo un programa de relagueo.

2. Metodología

Se realizaron dos campañas al área de estudio en 2014 y 2015 (veinte días) en las que se obtuvieron muestras de mano y se tomaron más de 200 datos litológicos y estructurales de los afloramientos en Altar Norte y La Esquina. Se compilaron además datos litológicos de testigos correspondientes a 9 sondeos de Altar Norte extraídos de la base de datos de la empresa Peregrine Argentina S.A.

Se examinaron los testigos de dos sondeos verticales de Altar Norte (ALD 160 Y ALD 157) y se seleccionaron los tramos más representativos. Se describieron 17 muestras de mano (de superficie y de testigos de perforación) mediante lupa binocular y 10 cortes delgados petro-calcográficos de Altar Norte y La Esquina con microscopio NIKON Eclipse para analizar minerales transparentes y opacos. Se analizaron las asociaciones minerales en equilibrio, relaciones de corte entre venillas y entre brechas y venillas. Luego se cuantificó la abundancia de cada asociación mineral, registrada en porcentaje en volumen en base a estimación visual y se comparó lo observado con la información geoquímica de los elementos Cu, Au, Ag, Zn, As y Pb, provista por la empresa Peregrine Argentina S.A. realizados en Acme Analytical Laboratories en Santiago de Chile a intervalos de 2 m (Marek 2014).

Con estos datos geoquímicos se realizaron gráficos de dispersión binarios entre los elementos más representativos de la mineralización y se calcularon las relaciones entre ellos utilizando el coeficiente de Pearson.

Para el mapeo geológico de detalle y mapeo de afloramientos se compilaron tanto los datos tomados durante las campañas de campo como los de la base de datos de la empresa Peregrine Argentina S.A. El mapeo se realizó utilizando el software ArcMap 10.1 de ArcGis.

CAPÍTULO II- Geología de las Áreas de Estudio

1. Introducción

En este capítulo se presenta la información obtenida a partir del mapeo geológico realizado durante dos campañas en 2014 y 2015, en las que se relevaron los afloramientos y subafloramientos en superficie de los prospectos mineros Altar Norte (0,8 km², 31°46' S, 70°48' O) y La Esquina (0,64 km², 31°46' S, 70° 50' O) (Fig. 2).

Estos prospectos se ubican en cercanías del gran depósito de Cu (Au) Altar (31° 29'S, 70° 28' O) con leyes de 2057 Mt @ 0,33% Cu, 0,079 g/t Au (Marek, 2014) en la Cordillera Principal, SO de la provincia de San Juan, Argentina.

El objetivo de este capítulo es caracterizar las litologías en superficie y subsuperficie y generar un mapa de detalle de los afloramientos de las áreas de estudio.



Fig. 2. Imagen satelital de los prospectos Altar, Altar Norte y La Esquina, en dirección al Sur. Google Earth.

2. Geología Altar Norte

El área del prospecto Altar Norte está mayormente cubierta por detritos cuaternarios de origen glaciar (Fig. 3). Los afloramientos en general son pequeños y se encuentran fuertemente diaclasados.

Las litologías aflorantes en Altar Norte se corresponden a la SSS. En base a sus texturas y contenido de fenocristales, se identificaron dos cuerpos subvolcánicos porfíricos: el pórfido Altar Norte y el pórfido dacítico estéril, y dos brechas polimícticas. Con la información obtenida se realizó el mapeo geológico del área (Fig. 4).



Fig. 3. Fotografía del prospecto Altar Norte desde La Esquina.

-Pórfido dacítico estéril

Un stock subvolcánico de composición dacítica aflora al oeste del prospecto Altar Norte con un área de $\sim 0,15 \text{ km}^2$ (Fig. 5 y 6 b). Su textura porfírica está definida por dos poblaciones de fenocristales de plagioclasa (55%; 0,1 a 0,3 mm y 1 a 4 mm) y de anfíbol (5-8%; 0,1 a 0,2 mm y 1 a 3 mm), escasos fenocristales de cuarzo y apatito

como mineral accesorio en una pasta microcristalina (0,02-0,05 mm) de cuarzo + feldespato.

-Pórfido Altar Norte

En el valle central del prospecto aflora un stock subvolcánico de ~550 m² de superficie (Fig. 5 y 6 a). Este stock tiene fenocristales de plagioclasa (55%, 1-3 mm), biotita (1%, 1-5 mm) y anfíbol (1%, 1-3 mm) en una pasta afanítica. Se distingue de otros pórfidos del área por el menor tamaño de grano de sus fenocristales, menores a 3mm. Ha sido datado en $11,98 \pm 0,19$ Ma por el método de AL-ICPMS U-Pb en circones (Maydagán et al. 2016).

-Brechas

Para diferenciar los pulsos de brechamiento presentes en el área se analizaron los aspectos texturales de las brechas, tales como la relación clasto/matriz, tamaño, composición y redondez de los clastos. Luego se consideraron las alteraciones que las afectan y los tipos de venillas que las atraviesan, las cuales se explican en detalle en el capítulo 4.

A lo largo del valle aflora una brecha polimíctica matriz sostén a clasto sostén (Brecha polimíctica 1, Fig. 5). Esta brecha presenta fragmentos angulares a subangulosos (5-20 mm) de rocas volcánicas andesíticas silicificadas, de pórfido y toba (hasta 2 cm) en una matriz de grano fino. Al sur de Altar Norte aflora un segundo tipo de brecha polimíctica matriz sostén (Brecha polimíctica 2, Fig. 5), con 10-30% de clastos redondeados a subredondeados de pórfido de hasta 6 cm y fragmentos angulosos de venillas de cuarzo de 0,5 a 1 cm inmersos en una matriz de grano fino (70-90%) constituida por plagioclasa, cuarzo y cristales de pirita diseminados.

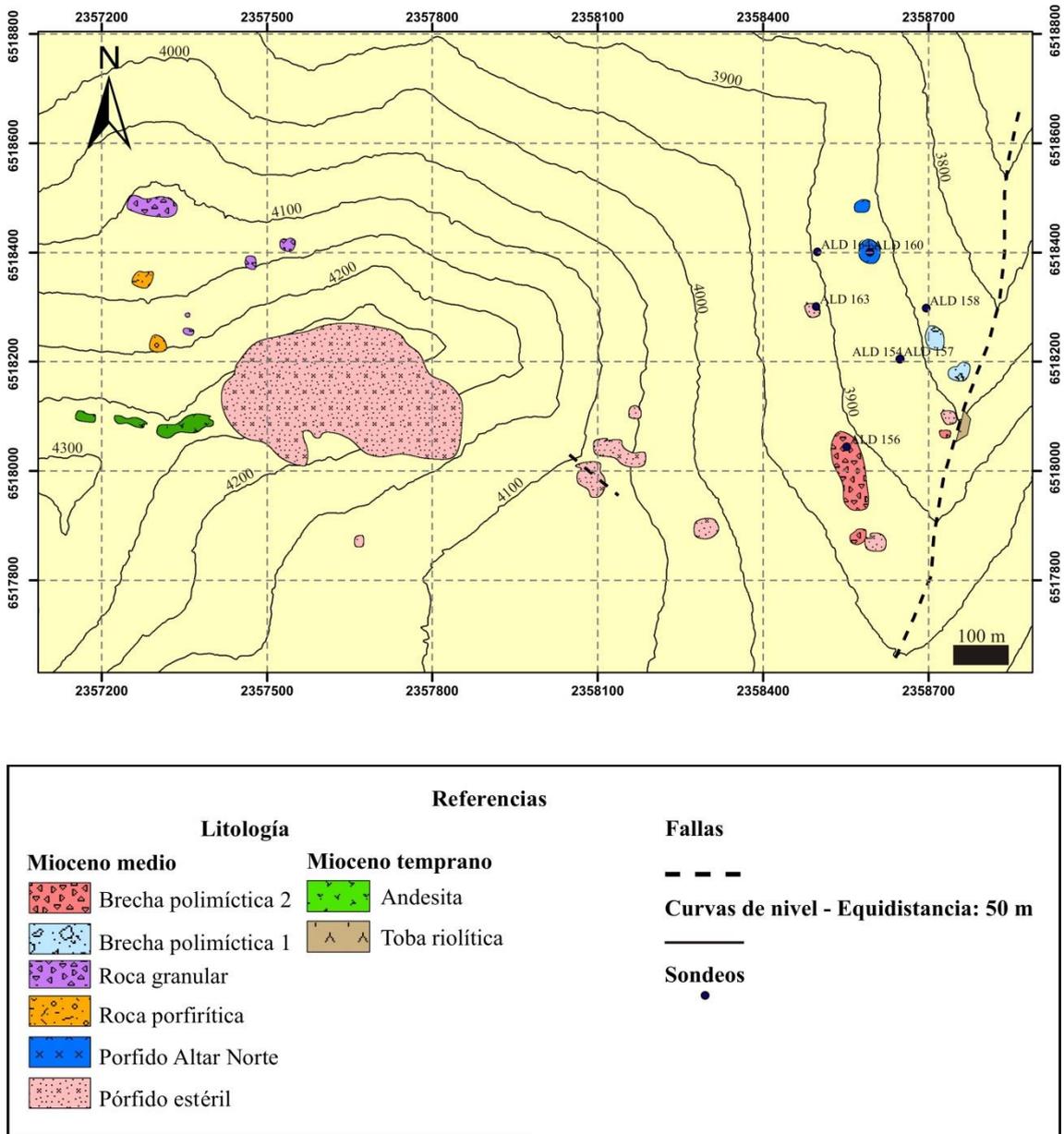


Fig. 4. Mapa geológico de Altar Norte y La Esquina.

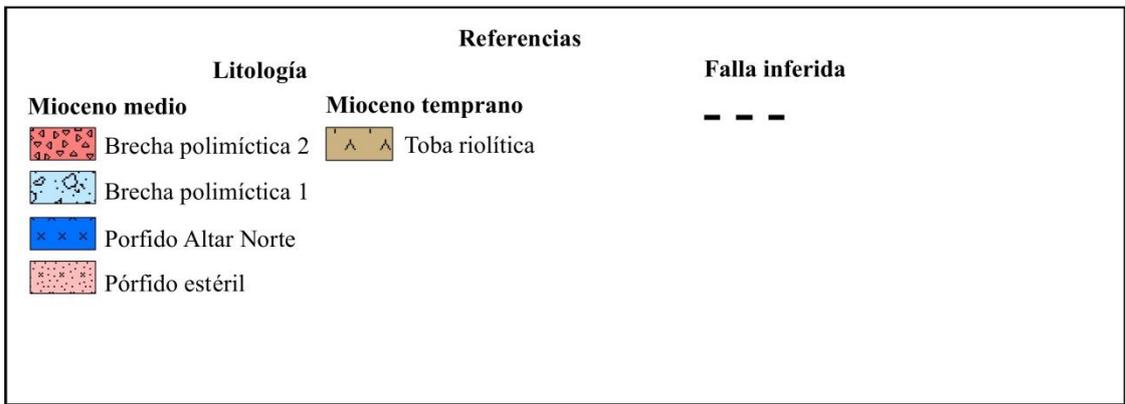
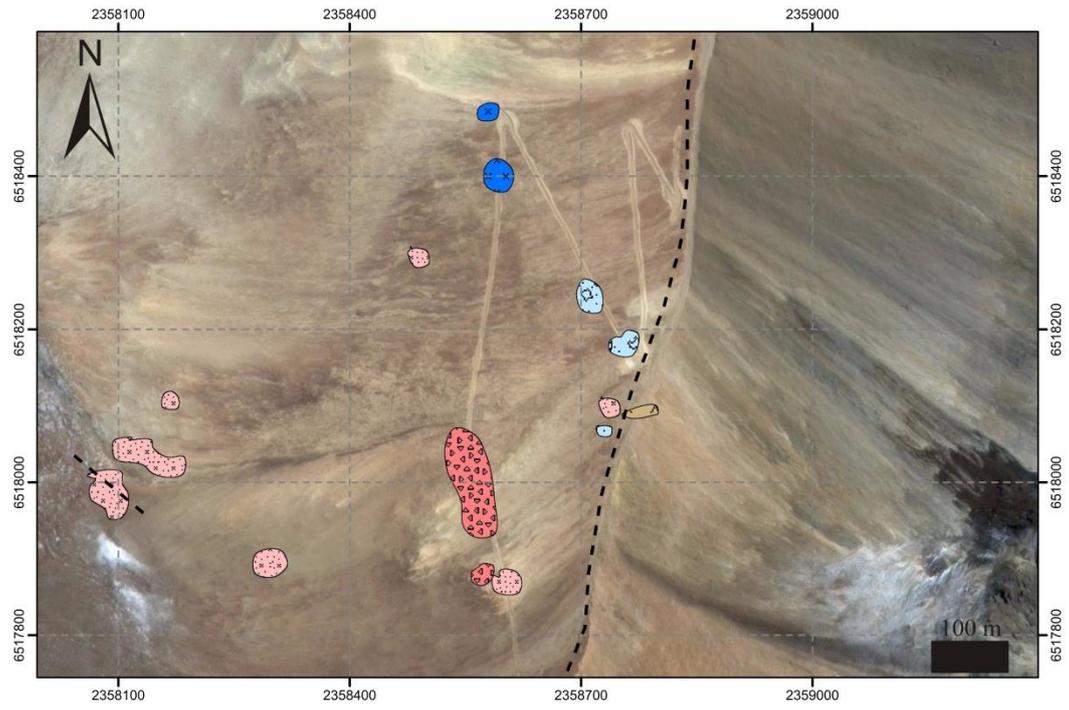


Fig. 5. Afloramientos de Altar Norte.

3.1. Fallas

Hacia el este de la falla inferida del valle de Altar Norte se encuentra la toba riolítica perteneciente al CVI y hacia el oeste está en contacto la brecha polimíctica 2 (Fig. 6 c). La toba riolítica está afectada por alteración fílica pervasiva mientras que la brecha polimíctica 2 es afectada por alteración fílica. El contacto litológico y la alteración sugieren que el bloque Oeste es el bloque ascendido.

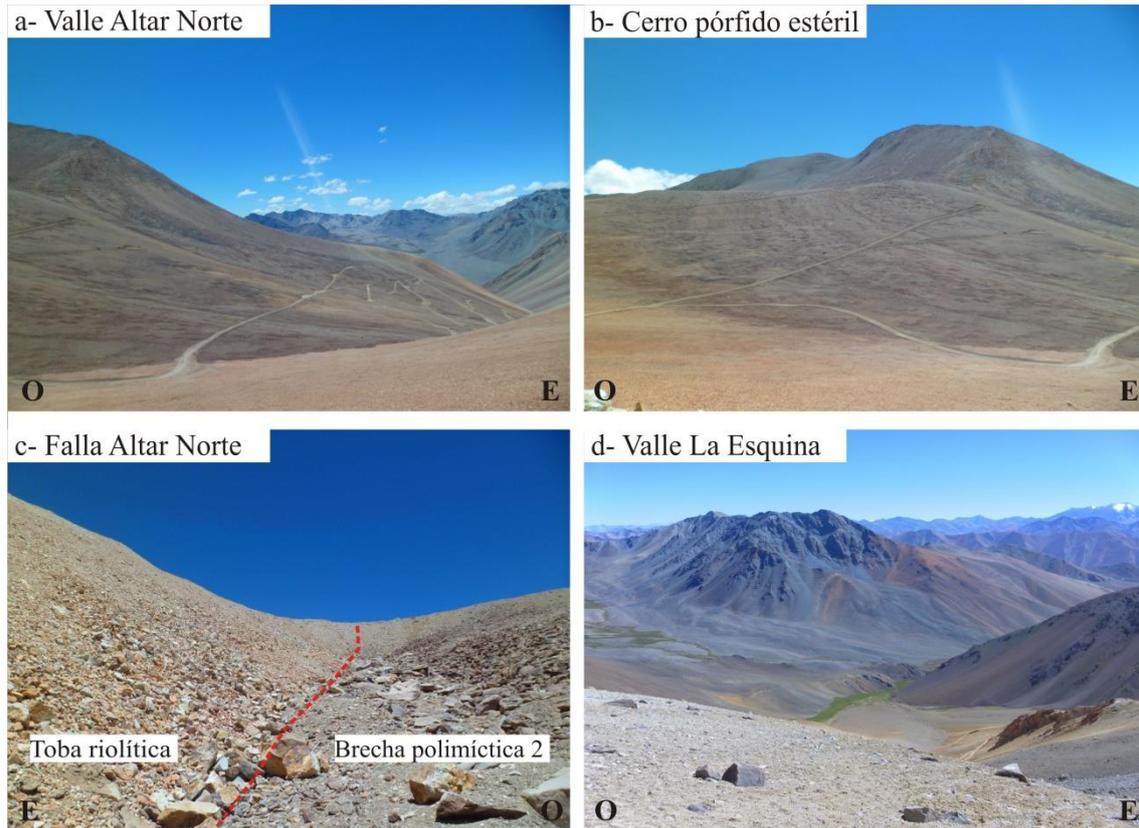


Fig. 6. a) Valle Altar Norte hacia el Norte. b) Cerro de pórfido estéril La Esquina la oeste de Altar Norte. c) Contacto entre toba riolítica de la CVI y brecha polimíctica 2 en Altar Norte. d) Valle La Esquina hacia al Norte.

3.2. Sondeos

El sondeo vertical ALD-160 de 409 m de profundidad atraviesa el pórfido Altar Norte (Fig. 7). Las muestras analizadas en el sondeo poseen características texturales similares a las de afloramiento. A los 220 metros del sondeo ALD 160 se observa la brecha polimíctica 1 atravesando al pórfido Altar Norte. A los 383,7 y 385 metros del sondeo ALD-160 se reconoce un subtipo de la brecha polimíctica 2.

El pórfido Altar Norte del sondeo ALD 160 posee fenocristales de plagioclasa (25-45%, 1-3 mm) y minerales máficos (1-2%, 15 μm - 3mm) en una pasta de grano fino (Fig. 8, d y e). Está atravesado por un stockwork de venillas de cuarzo (Fig. 8, f).

La brecha polimíctica 1 a los 220 metros del sondeo ALD 160 es matriz soporte con 40 % de clastos subredondeados constituidos por pórfido (con venillas de cuarzo finas) y venillas de cuarzo oscuro inmersos en una matriz de grano fino (60%, Fig. 9, a). A los 383,7 metros el subtipo de la brecha polimíctica 2 posee 3 cm de espesor, clastos monomícticos del pórfido a matriz sostén con clastos polimícticos de pórfido y cuarzo (Fig. 9, b).

El sondeo ALD 157 de 203 m de profundidad intercepta la brecha polimíctica 2 que corta al pórfido estéril (Fig. 7). La brecha polimíctica 2 es clasto sostén con clastos subredondeados (60-70%) de pórfido, roca porfírica y cuarzo que oscilan entre 5 mm y 3 cm en una matriz (30-40%) con fragmentos de cristales de grano fino (Fig. 9, c). Esta brecha grada a matriz sostén con características similares a la observada en afloramiento (Fig. 9, d, e y f).

Dos muestras de pórfido estéril obtenidas a los 107 y 140 metros se diferencian del pórfido estéril descrito en afloramiento (Fig. 8, a) por su textura seriada y presencia de bandas de clorita acompañadas con cristales orientados de plagioclasa (Fig 8, b y c). En los últimos 10 metros del sondeo se intercepta el pórfido Altar Norte.

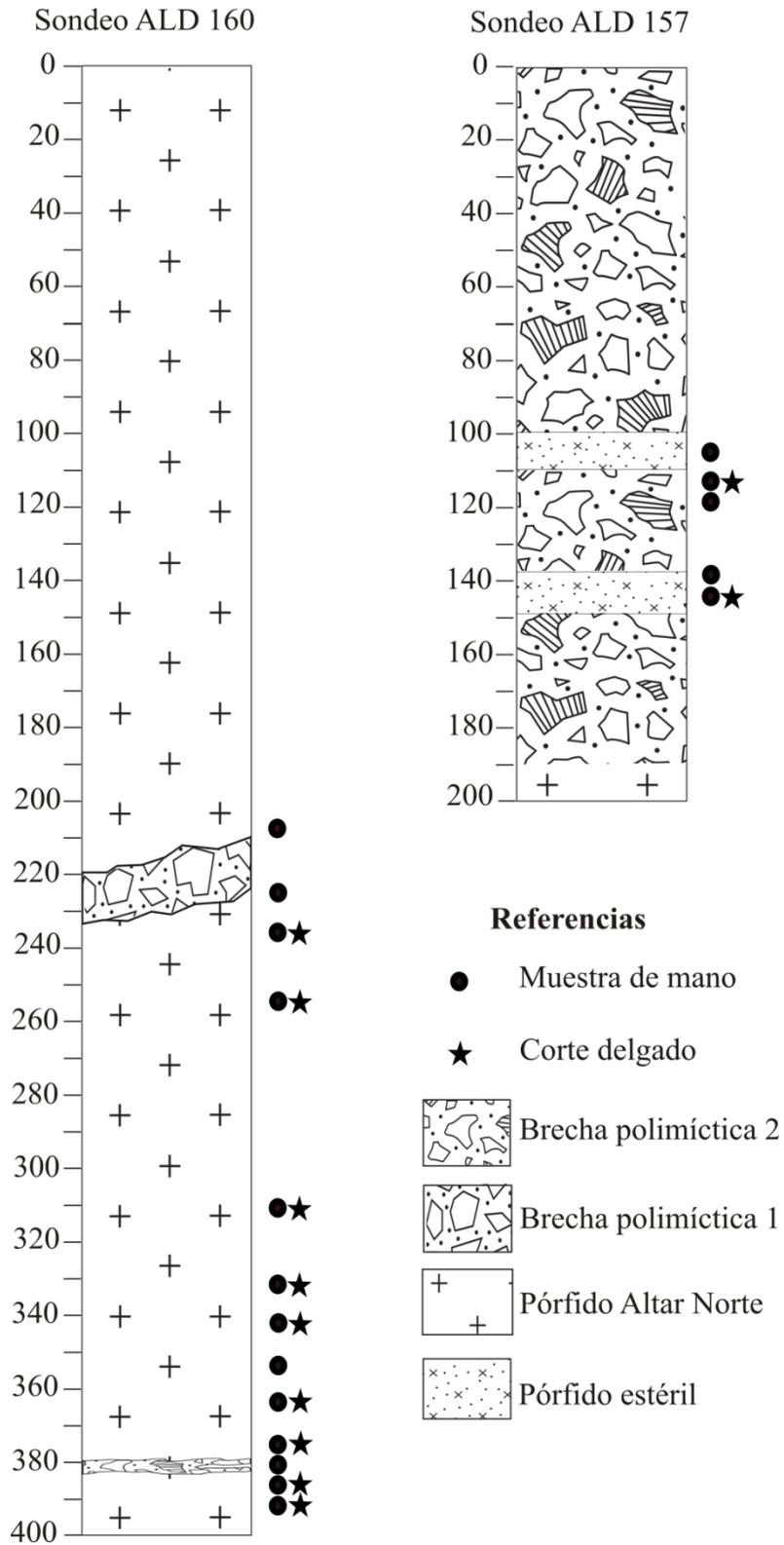


Fig. 7. Perfiles litológicos de los sondeos ALD 160 y ALD 157 y ubicación de muestras de mano y cortes delgados.



Fig. 8. a) Pórfido dacítico estéril con dos poblaciones de fenocristales de plagioclasa y anfíbol en una pasta de grano fino. b y c) ALD 157 107m y ALD 157 140 m: Pórfido estéril con bandas de clorita y cristales orientados de plagioclasa. d) ALD 160 231 m: Pórfido Altar Norte con fenocristales de plagioclasa (55%, 1-3 mm), biotita (1%, 1-5 mm) y anfíbol (1%, 1-3 mm) atravesado por venillas de cuarzo finas. e) ALD 160 208,2 m: Pórfido Altar Norte con fenocristales de plagioclasa, biotita y anfíbol en una pasta de grano fino atravesado por venillas de cuarzo y jarosita en venillas y diseminada. f) ALD 160 366 m: Pórfido Altar Norte con fenocristales de plagioclasa y mafitos en una pasta de grano fino atravesado por un *stockwork* de venillas de cuarzo y micro venillas de cuarzo y filosilicato.



Fig. 9. a) ALD 160 226,8 m: Brecha polimíctica 1 matriz soporte con clastos subredondeados del pórfido con venillas de cuarzo finas y fragmentos angulosos de venillas de cuarzo oscuro, corta al pórfido Altar Norte. b) Subtipo de la brecha polimíctica 2 que gradada desde clasto sostén con clastos monomícticos del pórfido a matriz sostén con clastos polimícticos de pórfido y cuarzo, cortando al pórfido Altar Norte. c) Brecha polimíctica 2 que gradada desde clasto sostén con clastos monomícticos del pórfido a matriz sostén con clastos polimícticos (pórfido y cuarzo), cortando al pórfido Altar Norte. d) ALD 157 113 m: Brecha polimíctica 2 clasto sostén (arriba) en contacto con pórfido (abajo). e) ALD 157 114 m: Brecha polimíctica 2 matriz sostén con clastos redondeados a subredondeados de pórfido y clastos angulosos de venillas de cuarzo en una matriz con plagioclasa y cuarzo. f) ALD 157 118,6 m: Brecha polimíctica 2 matriz sostén con clastos de pórfido subangulosos y fragmentos de venillas de cuarzo oscuro.

4. Geología La Esquina

El prospecto la Esquina (Fig. 5 d) está caracterizado por presencia de derrubio en superficie. Al sur del área la Esquina aflora el Pórfido estéril que intruye a andesitas porfíricas del CVI (Fig. 10) con fenocristales de plagioclasa (22%), silicatos ferromagnesianos (4%) y opacos en una masa pilotáxica formada por microlitos de plagioclasa orientados y minerales opacos diseminados (Maydagán et al., 2011).

En el centro del área de estudio se tomaron muestras de derrubio de pórfido con fenocristales de plagioclasa y relictos de mafito (biotita) en una pasta microgranular (Fig. 11, b), atravesado por venillas de cuarzo. Bajo corte delgado el pórfido presenta fenocristales de plagioclasa (470 μm - 30 mm), minerales máficos (900 μm - 1500 μm) y relictos de ilmenita, magnetita y apatito como minerales accesorios en una pasta microgranular (30-40 μm) felsítica (Fig. 12, b). El pórfido está afectado por alteración potásica, y se encuentra atravesado por venillas de cuarzo rellenas con sulfuros.

Al norte del área subaflora una roca porfirítica (Fig. 11 a) constituida por fenocristales de plagioclasa (10 mm- 258 μm), minerales máficos (1mm a 280 μm) y magnetita + apatito (50 μm) como accesorios, en una pasta de grano fino (25- 40 μm) (Fig. 12, a). La roca se encuentra atravesada por venillas de cuarzo. La roca porfirítica se diferencia del pórfido por su composición más andesítica y menor tamaño de los fenocristales y la pasta.

Cerca del límite con el distrito Piuquenes se reconoció en subafloramiento una roca granular con fenocristales de plagioclasa (90%), anfíbol alterado a biotita (2 %) y cristales de magnetita con cuarzo y feldespato secundarios (Fig. 12, c). En corte delgado se observaron cristales de plagioclasa (2 mm a 0,5 mm), biotita (1,1 mm a 0,4 mm), cuarzo (660 a 250 μm) y magnetita con martitización (110 a 50 μm), ilmenita (400 a 120 m) y apatito (50 μm) como accesorios (Fig. 12, d). La roca está atravesada por venillas de cuarzo y de feldespato, biotita y calcita y posee malaquita y trazas de pirita diseminadas en roca y venillas.

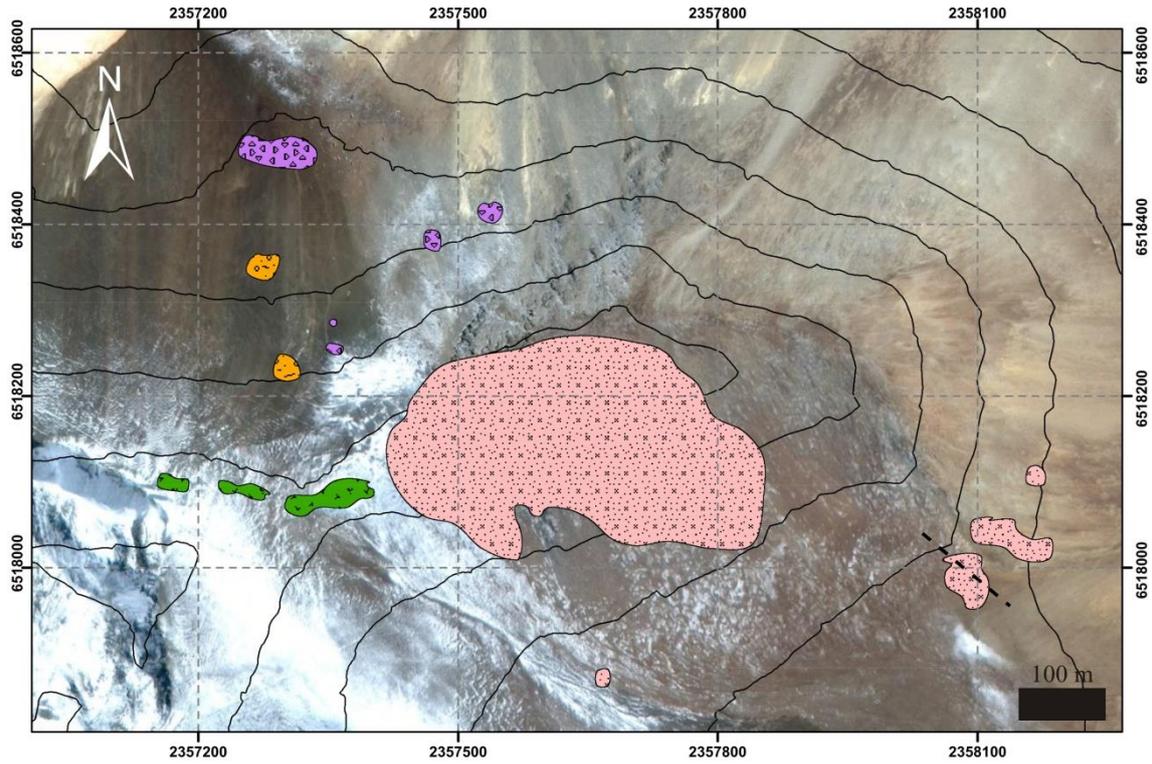


Fig. 10. Afloramientos de La Esquina.



Fig. 11. a) Roca porfírica con venillas de cuarzo tipo *sheeted*, constituida por fenocristales de plagioclasa (10 mm- 0,258 μm), minerales máficos (1mm a 280 μm) y magnetita + apatito (50 μm) como accesorios, en una pasta de grano fino (25- 40 μm). b) Muestra 1314: Pórfido con fenocristales de plagioclasa y relictos de biotita en una pasta microgranular, atravesado por venillas de cuarzo.

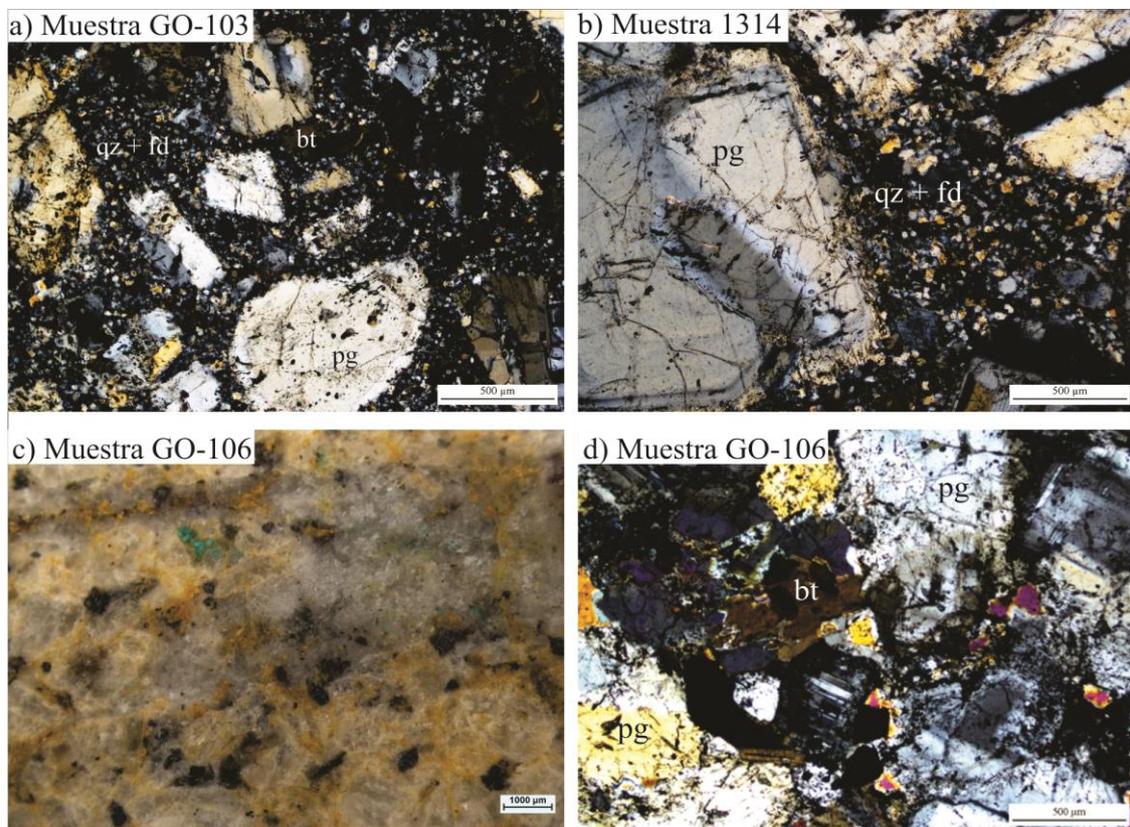


Fig. 12. a) Muestra GO-103: Pórfido de composición intermedia con fenocristales de plagioclasa, relictos de biotita en una pasta microgranular felsítica (30-40 μm). b) Muestra 1314: Pórfido con fenocristales de plagioclasa (pl) en una pasta de cuarzo (qz) y feldespato (fsp) de grano fino. Luz transmitida. Nícoles cruzados. c) Muestra GO-106: Roca de composición intermedia y textura granular con cristales de plagioclasa, biotita, cuarzo y magnetita, ilmenita y apatito como accesorios. d) Muestra GO-106: Roca con fenocristales de plagioclasa (pg) y biotita (bt) en una pasta de grano fino. Luz transmitida. Nícoles cruzados.

CAPITULO III: Alteración, pulsos de venillas y mineralización en Altar Norte y La Esquina

1. Introducción

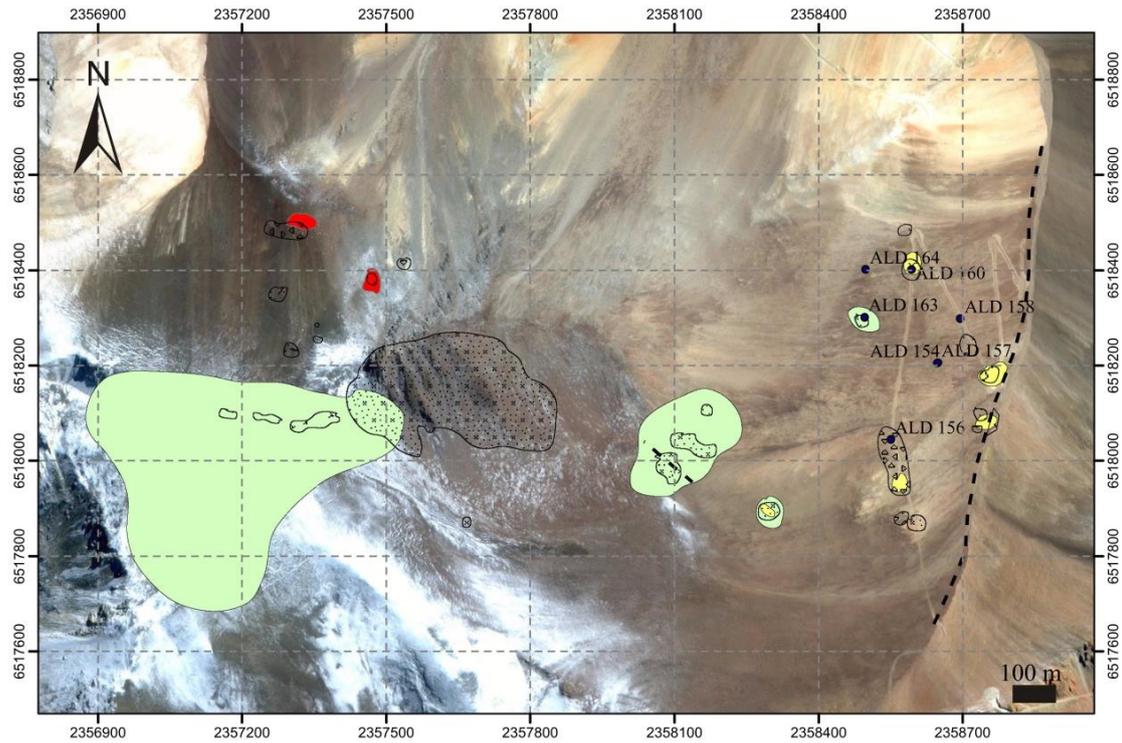
Las rocas del distrito Altar Norte y La Esquina reflejan la superposición de varios eventos de alteración, mineralización y generaciones de venillas formadas en episodios en los que los fluidos mostraron distintas condiciones de presión, temperatura y composición.

En este capítulo se describen las alteraciones que afectan las rocas en Altar Norte y la Esquina, las relaciones de corte entre venillas, y entre venillas e intrusiones (brechas y pórfidos) con el objetivo de definir los pulsos de alteración y mineralización de Cu (Au) y comprender la evolución del sistema en estos prospectos.

Cabe destacar que la información brindada del prospecto La Esquina es preliminar por describirse únicamente subafloramientos en superficie en un área cubierta por derrubio, con sólo 3 muestras analizadas con corte delgado y ausencia de sondeos en el área.

1.1 Alteración en superficie

En superficie, la alteración potásica caracterizada por la asociación biotita secundaria + feldespatos potásicos aflora en el prospecto La Esquina, donde afecta a la roca porfirítica y al pórfido de La Esquina (Fig. 13). La alteración propilítica (clorita + epidoto + calcita + filosilicato ± albita) es la más extendida en superficie y afecta a la andesita del CVI y levemente al pórfido estéril. La alteración fílica (filosilicato + cuarzo ± turmalina ± rutilo) afecta a los afloramientos ubicados en el valle central y a un subafloramiento de la roca porfirítica en La Esquina.



Litología		Referencias		Alteración		Fallas	
Mioceno medio		Mioceno temprano		Filica	- - -		Sondeos •
Brecha polimíctica 2	Brecha polimíctica 1	Andesita	Toba riolítica	Potásica			
Roca granular	Roca porfírica			Propilítica			
Porfido Altar Norte	Pórfido estéril						

Fig. 13. Mapa de alteraciones en superficie de Altar Norte y La Esquina.

1.2 Venillas de cuarzo

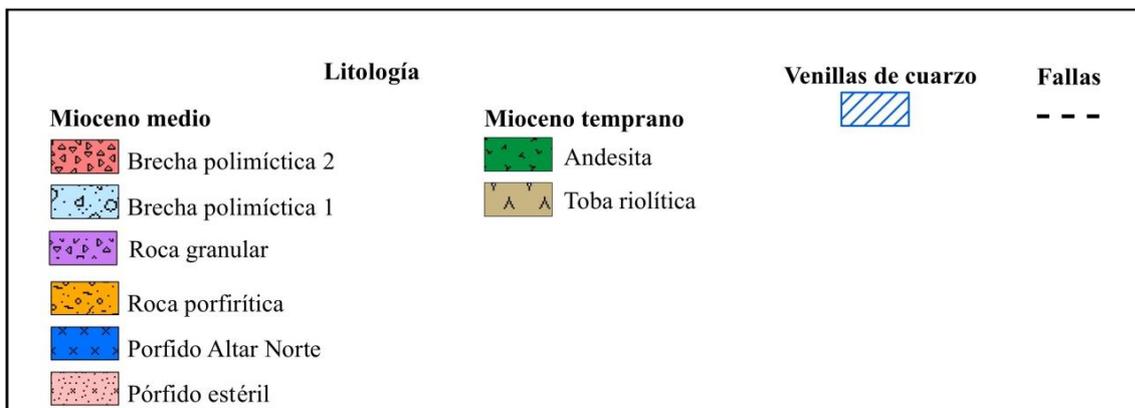
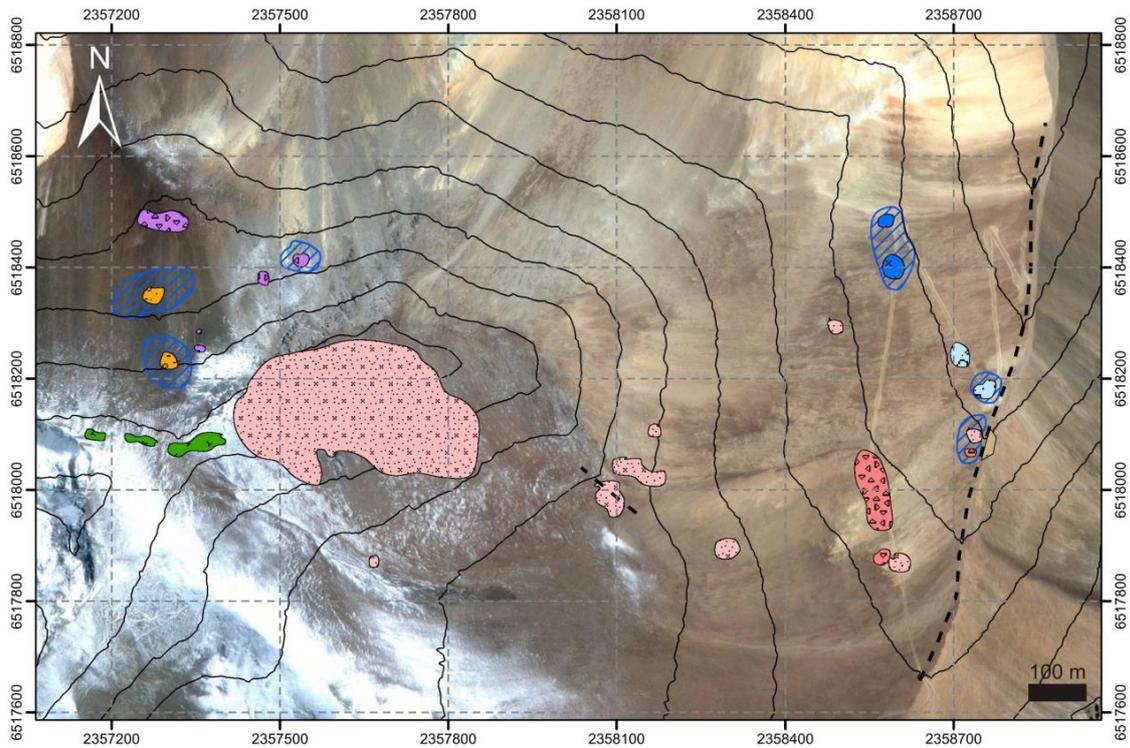


Fig. 14. Venillas de cuarzo en superficie de Altar Norte y La Esquina.

Las venillas de cuarzo en superficie se observaron en el valle central de Altar Norte y en los subafloramientos de La Esquina (Fig. 14). El pórfido Altar Norte está atravesado por un *stockwork* de venillas de cuarzo tipo A de 1-2 mm de espesor y que constituyen hasta 10% del volumen total de roca. La brecha polimíctica 1 también se encuentra afectada por este *stockwork* de venillas tipo A de 1,5 a 1 cm de espesor.

En La Esquina, la roca porfirítica presenta venillas discontinuas tipo A de 1 mm de espesor y la roca granular posee venillas de cuarzo de hasta 4 mm de espesor.

2. Alteraciones de Altar Norte

El pórfido mineralizado Altar Norte está afectado en primera instancia por alteración potásica, seguida por clorítica, fílica y finalmente alteración supergénica. Es atravesado por un stockwork de venillas de cuarzo.

La brecha polimíctica 1 del sondeo ALD-160 se encuentra afectada por alteración fílica y silicificación. La matriz del subtipo de la brecha polimíctica 2 es alterada a filosilicato y clorita.

En el sondeo ALD 157, la brecha polimíctica 2 presenta alteración fílica, con su matriz alterada a filosilicato + cuarzo con pirita diseminada y óxidos de hierro. El pórfido estéril está afectado por alteración propilítica.

A continuación, se describe cada estadio de alteración, venillas asociadas y mineralización:

2.1. Alteración Potásica:

En algunas muestras del pórfido Altar Norte se hallaron remanentes de la alteración potásica. Feldespato potásico altera a los fenocristales de plagioclasa a los 286, 312 (Fig. 16 a) y 366 metros de profundidad (Fig. 16 b). La biotita hidrotermal se encontró a los 235,5 (Fig. 16 c), 312 (Fig. 16 d) y 366 metros en agregados finos de 15 a 300 μm reemplazando a los minerales máficos.

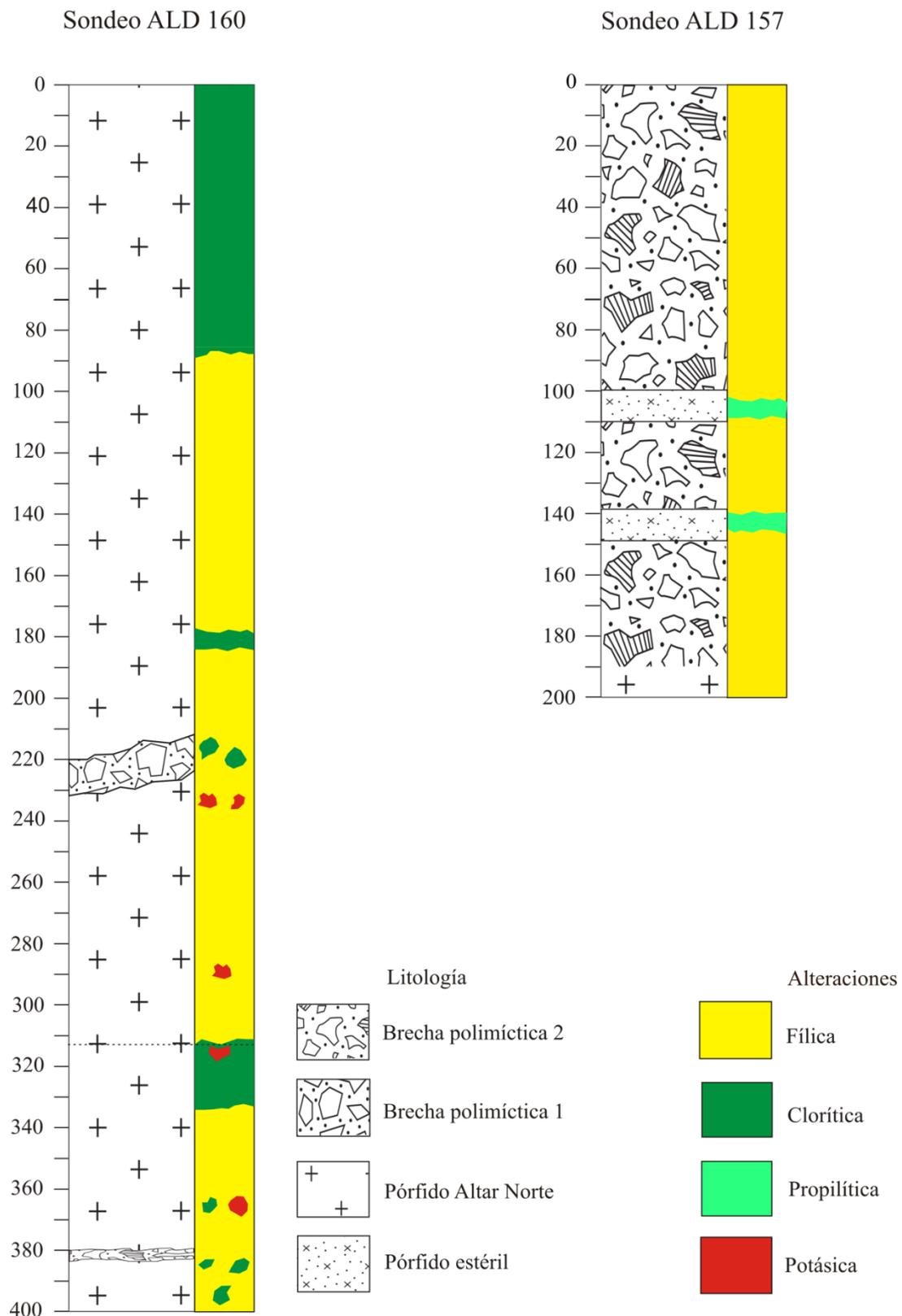


Fig. 15. Alteraciones a lo largo de los sondeos ALD 160 y ALD 157.

2.1.1. Venillas asociadas a la alteración potásica:

La alteración potásica está asociada a un *stockwork* de venillas de cuarzo granular tipo A. Estas venillas presentan varios subtipos: 1) Una primera generación de venillas con paredes rectas de 5 mm a 1 cm de espesor (Fig. 17, a y b). En ocasiones presentan dos tipos de cuarzo, anhedral en los bordes y subhedral en el centro. Suelen encontrarse fragmentadas (Fig. 17 c) o deformadas y carecer de mineralización (Fig. 17 d). Una segunda generación de venillas A de menor espesor (1-5 mm) rellenas por cuarzo anhedral + calcopirita + trazas de bornita y magnetita, atraviesan y en ocasiones dislocan a la primera generación de venillas (Fig. 17 e). 3) Venillas capilares paralelas de cuarzo (*sheeted veinlets*) con calcopirita, acompañados por filosilicato cortan a venillas previas (Fig. 17 f). Las venillas A contienen abundantes inclusiones fluidas polifásicas y ricas en vapor.

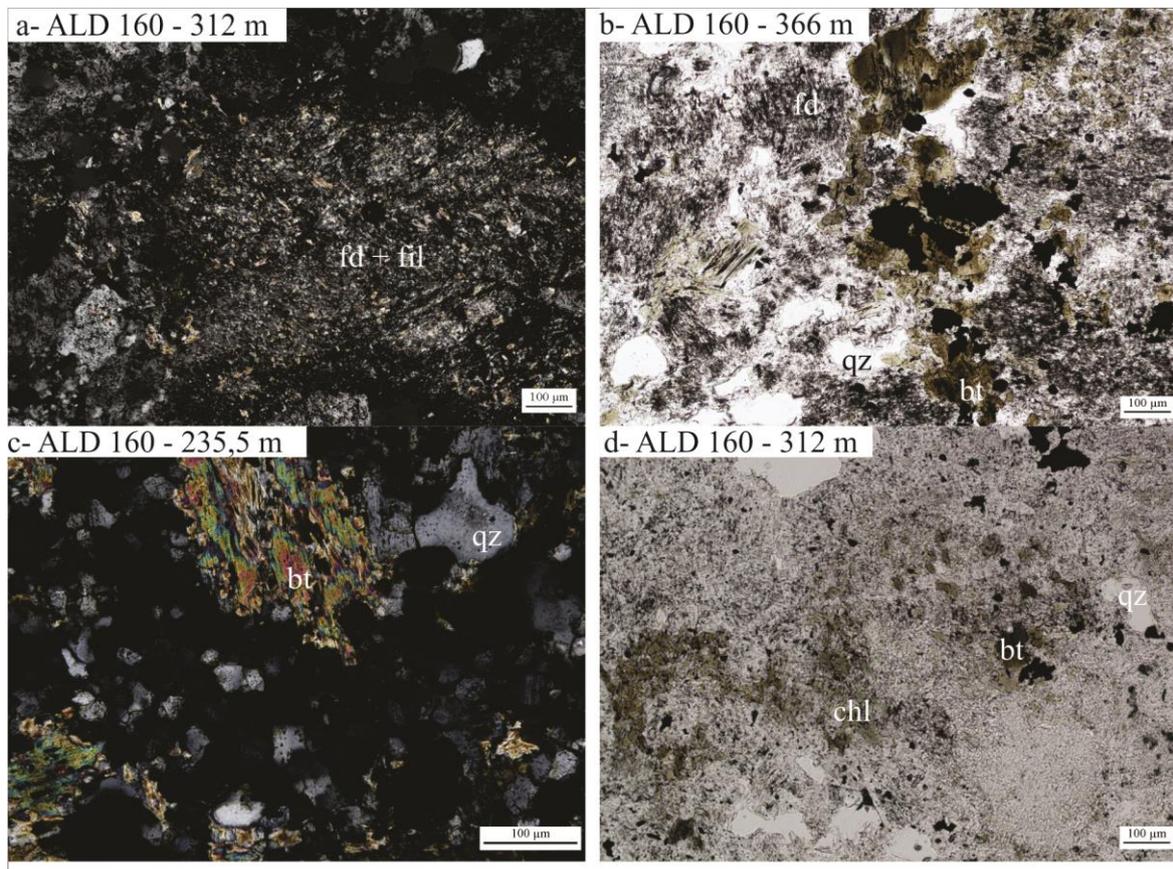


Fig. 16. Alteración potásica en Altar Norte. a) ALD 160 312 m: Detalle de alteración de plagioclasa por feldespato y filosilicato posterior. Nícoles cruzados. b) ALD 160 366 m: Fenocristales de plagioclasa alterados a feldespato, minerales máficos reemplazados por biotita asociada a opacos. Nícoles paralelos. c) ALD 160 235,5 m: Cristales de biotita secundaria en una pasta de cuarzo anhedral de grano fino. Nícoles cruzados. d) ALD 160 312 m: Relictos de biotita secundaria parcialmente alterada a clorita, asociada a opacos. Nícoles paralelos. Abreviaturas minerales: Bt: Biotita. Chl: Clorita. Kfs: Feldespato potásico. Qz: Cuarzo.

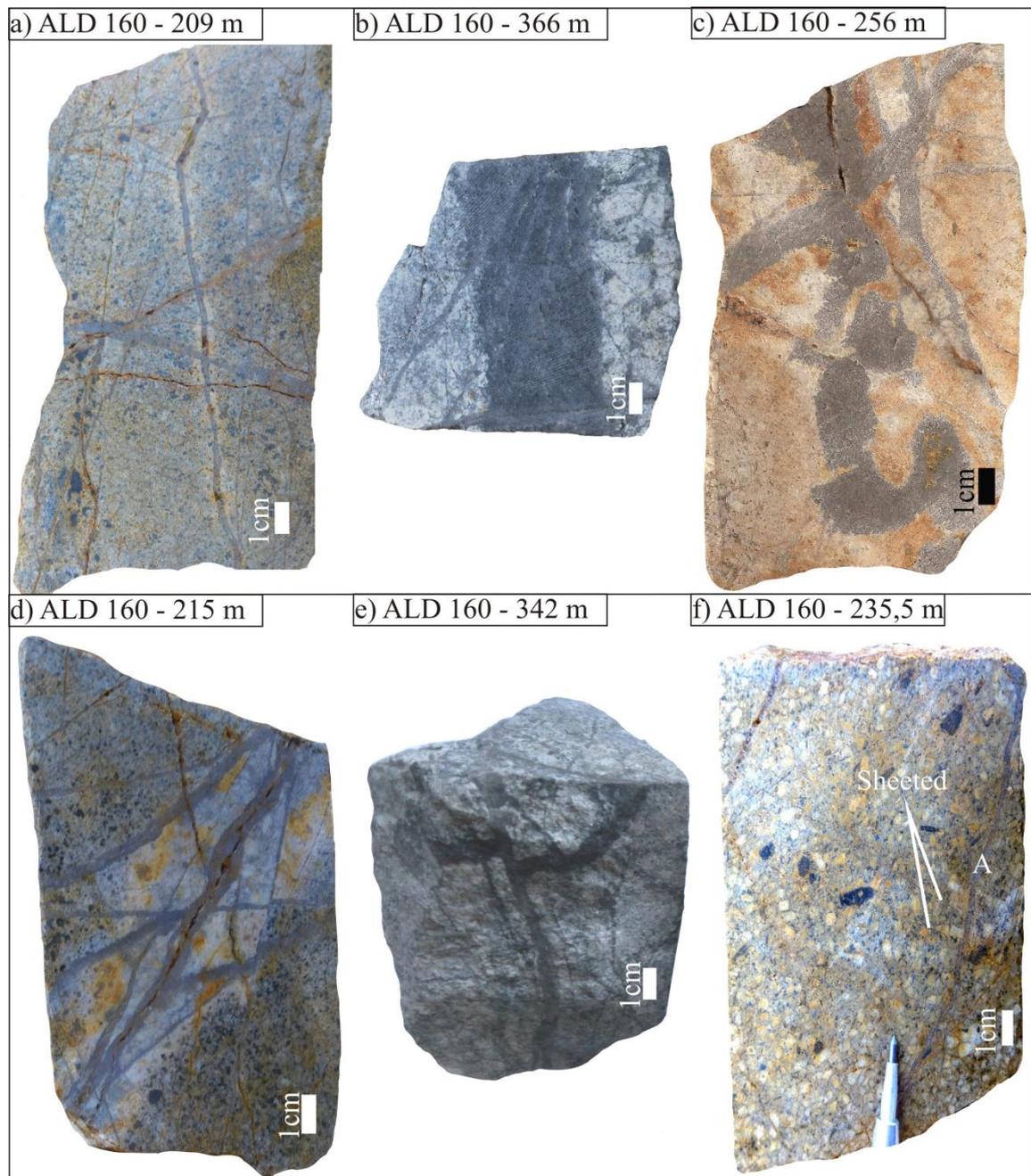


Fig. 17. Venillas asociadas a alteración potásica. a y b) ALD 160- 209 m y 366 m: Primera generación de venillas de cuarzo tipo A. c) ALD 160- 256 m: Venillas tipo A fragmentadas y deformadas. d) ALD 160- 215 m: *Stockwork* de venillas de cuarzo tipo A dislocadas. e) ALD 160 342 a m: Segunda generación de venillas con mineralización. f) ALD 160-235,5 m: Venillas tipo *sheeted* de cuarzo con calcopirita que atraviesan a venilla tipo A.

2.1.2. Mineralización asociada a la alteración potásica:

El primer pulso de mineralización asociado a la alteración potásica es de calcopirita \pm bornita diseminadas en la roca y en las venillas tipo A (Fig. 18 a). La calcopirita anhedral se encuentra en equilibrio con bornita (Fig. 18 b).

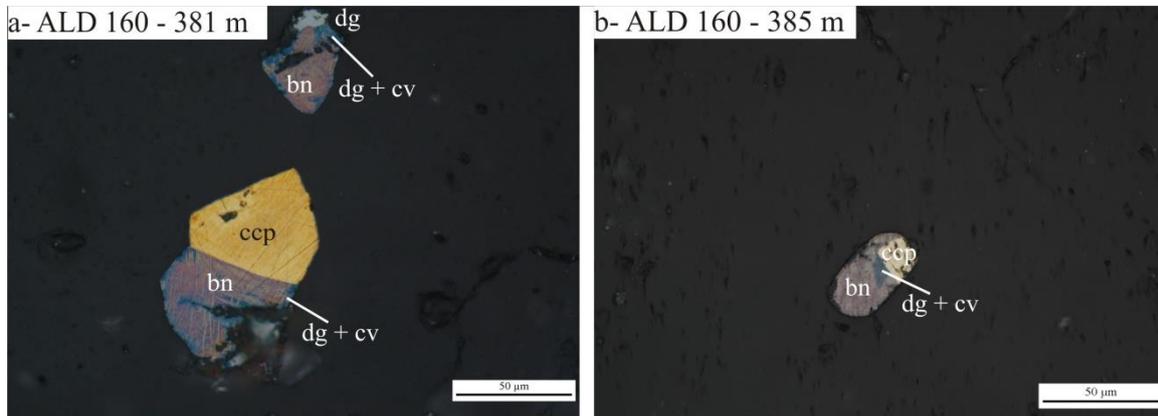


Fig. 18. Mineralización potásica. a) ALD 160-381 m: Bornita y calcopirita en equilibrio en venilla de cuarzo. b) ALD 160- 385 m: Bornita y calcopirita en equilibrio. Digenita y covelina reemplazan parcialmente a bornita. Abreviaturas minerales: Bn: Bornita. Ccp: Calcopirita. Cv: Covelina. Dg: Digenita.

2.2. Alteración propilítica

La alteración propilítica se caracteriza por la presencia de clorita, calcita, y plagioclasa albitizada.

El pórfido estéril entre los 107 y 140 metros del sondeo ALD 157 (Fig. 19 a y b) se encuentra afectado por alteración propilítica moderada a débil. Presenta fenocristales de plagioclasa alterados a filosilicato y débilmente a calcita, minerales máficos alterados a clorita y la pasta reemplazada por cuarzo hidrotermal, rutilo y trazas de pirita.



Fig. 19. a y b) Pórfido estéril con fenocristales de plagioclasa y minerales máficos en una pasta de grano fino, afectado por alteración propilítica caracterizada por el reemplazo de la plagioclasa por filosilicato y carbonato y el anfíbol a clorita. La pasta está reemplazada por cuarzo hidrotermal, rutilo reemplaza a opacos y se reconocen trazas de pirita. Abreviaturas minerales: Chl: Clorita.

2.3. Alteración clorítica:

En el sondeo ALD 160 la alteración clorítica (clorita + hematita + filosilicato + cuarzo) afecta al pórfido Altar Norte en los primeros hasta los 100 metros de profundidad y a la brecha polimíctica 2.

En la alteración clorítica las plagioclasas son reemplazadas por filosilicatos, el anfíbol por clorita y la pasta por cuarzo hidrotermal junto a hematita diseminada. La muestra ALD 160 312 metros presenta alteración potásica con sobreimpresión clorítica, donde el feldespato secundario es alterado a filosilicato y la biotita secundaria es reemplazada parcialmente a clorita (Fig. 20 a). La mineralización diseminada es hematita que reemplaza pseudomórficamente a magnetita. A los 366 metros el pórfido Altar Norte se encuentra afectado por alteración potásica, con sobreimpresión de alteración clorítica y fílica. La clorita reemplaza a la biotita de los halos de alteración potásica de las venillas de cuarzo tipo A (Fig. 20 b).

2.4. Alteración fílica:

La alteración fílica consiste en el reemplazo de las plagioclasas por sericita (Fig. 21 a y b) y de la pasta por cuarzo con soles de turmalina (Fig. 21 c y d) y ramilletes de rutilo según opacos.

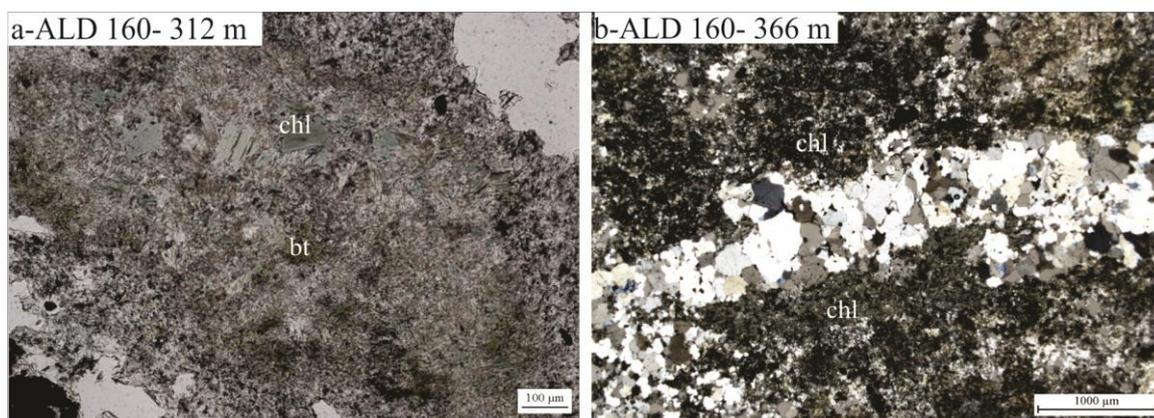


Fig. 20. Alteración clorítica en Altar Norte. a) ALD 160-312 m: Relictos de biotita secundaria parcialmente alterada a clorita, asociada a opacos. Nícoles paralelos. b) ALD 160-366m: Venilla de cuarzo tipo A con halo, donde la biotita está alterada a clorita. Abreviaturas minerales: Bt: Biotita. Chl: Clorita.

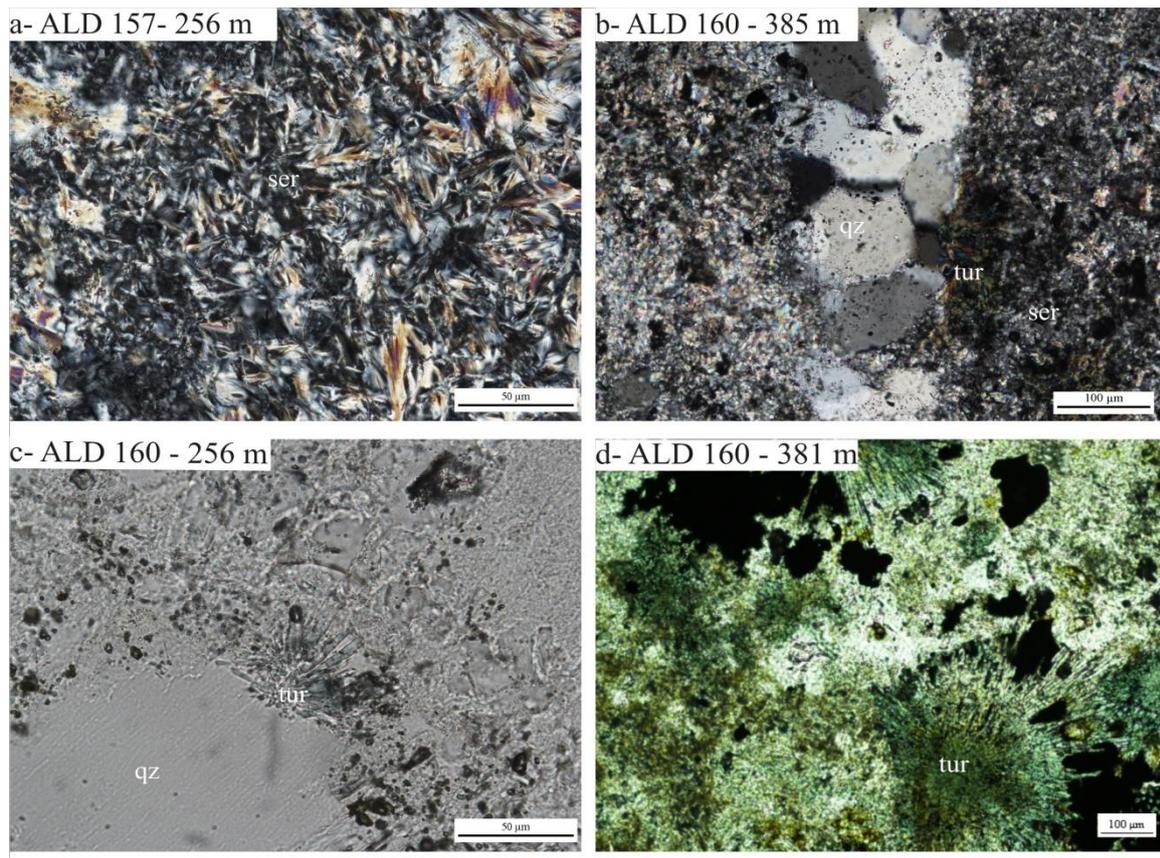


Fig. 21. Alteración fílica en Altar Norte. a) ALD 160-256 m: Sol de turmalina diseminada en la roca. Nicoles paralelos. b) ALD 160- 256 m: Detalle de plagioclasa reemplazada por filosilicato. Nicoles cruzados. c) ALD 160- 381 m: Cristales de turmalina diseminados en la roca. Nicoles cruzados. d) ALD 160- 385 m: Fenocristales de feldespato y pasta alterados a filosilicato, con sol de turmalina y sulfuros (opacos). Venilla tipo A de cuarzo anhedral. Nicoles cruzados. Abreviaturas minerales: Tur: Turmalina. Qz: Cuarzo. Ser: Sericita.

2.4.1. Venillas asociadas a la alteración fílica:

Las venillas gruesas tipo A asociadas a la alteración potásica son atravesadas por venillas tardías tipo D rellenas por pirita subhedral, filosilicato, turmalina y cuarzo de 1 a 6 mm de espesor. Posteriormente las venillas A son reabiertas por nuevas venillas de sulfuros (Fig. 22 a, b c y d) rellenas por calcopirita, esfalerita y pirita, con tennantita y marcasita tardías.

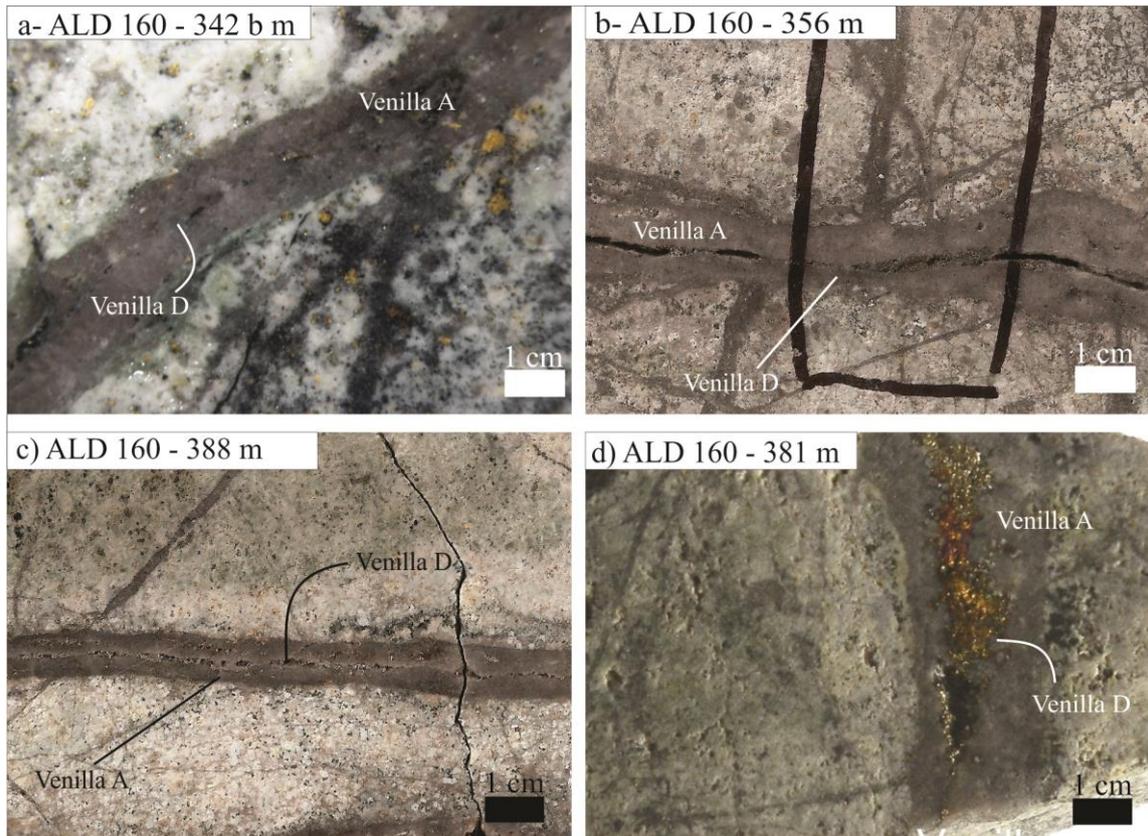


Fig. 22. a) ALD 160- 342 b m: Venilla de cuarzo tipo A en cristales anhedrales con reapertura y relleno por venilla tipo D de cuarzo de menor tamaño (50-80 μm) con sulfuros. b) ALD 160 Venilla tipo A de cuarzo de paredes irregulares (1 cm) con sutura central rellena con pirita y trazas de calcopirita (venilla D). c) Venilla tipo A de 5 mm de espesor con cristales de cuarzo granular, reabierto por una venilla tipo D de 0,25 mm de espesor con sulfuros. d) Venilla de cuarzo tipo A de cuarzo de grano variable reabierto por una venilla tardía tipo D de 1 a 6 mm de espesor constituida por sulfuros.

2.4.2. Mineralización asociada a la alteración fílica:

El segundo pulso de mineralización que está asociado a las venillas tardías presenta pirita, filosilicato, turmalina + cuarzo. Las venillas transicionales D a E presentan una segunda generación de calcopirita y pirita de grano fino + esfalerita, con marcasita y tennantita tardías. La calcopirita de la segunda generación fractura y reemplaza a la pirita subhedral de las venillas tardías (Fig. 23 a y b). La marcasita reemplaza a pirita (Fig. 23 c) y tennantita a calcopirita. En la muestra ALD 160 381 calcopirita fractura a pirita y posteriormente tennantita fractura a calcopirita (Fig. 23 d).

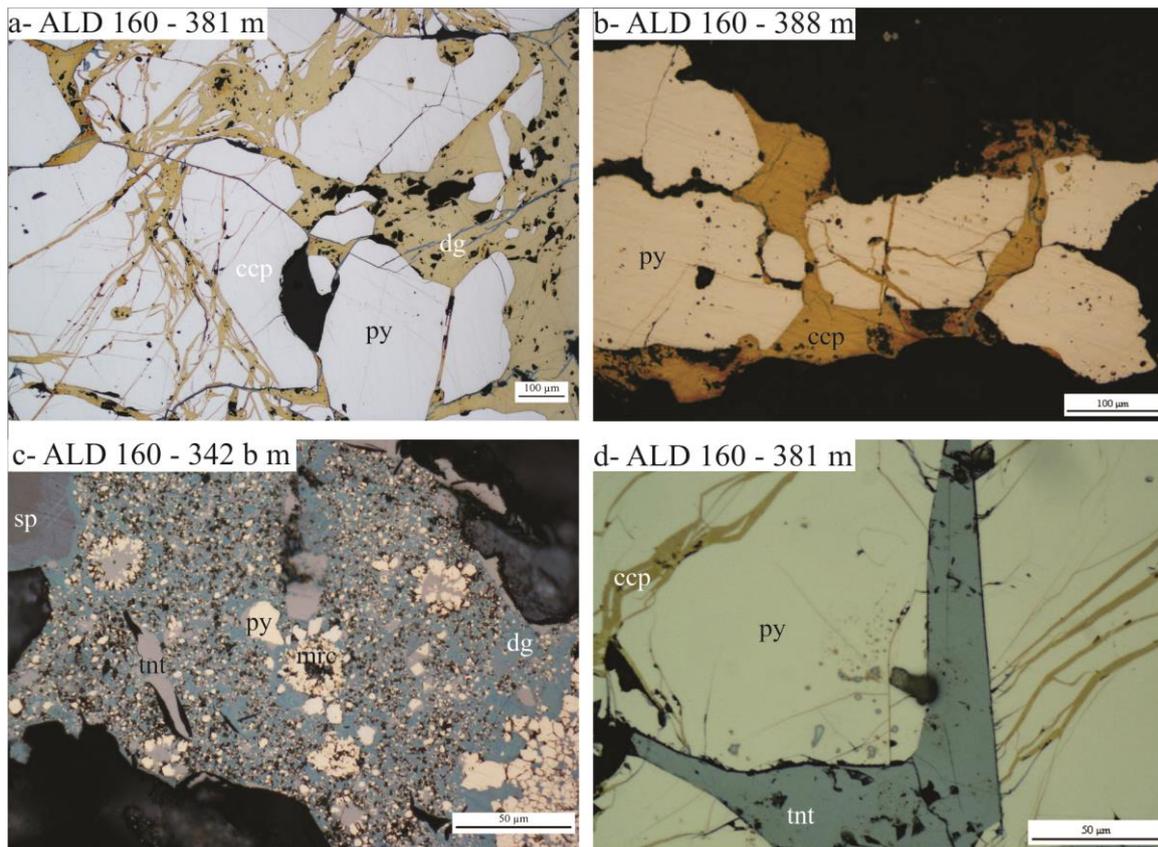


Fig. 23. a) ALD 160- 381 m: Pirita fracturada e invadida por calcopirita; digenita reemplaza a calcopirita. Nícoles paralelos. b) ALD 160- 388 m: Calcopirita fractura a pirita en venilla. A su vez digenita corta según venillas a la calcopirita. Nícoles paralelos. c) ALD-160 342 b m: Pirita, tenantita, esfalerita y marcasita en venilla. Sol de marcasita rodeado por digenita, tenantita y pirita relíctica. La marcasita se distingue por su forma y fuerte anisotropía. Nícoles paralelos. d) ALD 160- 381 m: Pirita atravesada por venillas de calcopirita. Tenantita atraviesa a pirita y calcopirita. Nícoles paralelos. Abreviaturas minerales: Ccp: Calcopirita. Dg: Digenita. Mrc: Marcasita. Py: Pirita. Sp: Esfalerita. Tnt: Tenantita.

2.5. Alteración supergénica

En las muestras con alteración supergénica la asociación digenita \pm covelina reemplaza a calcopirita, bornita, esfalerita y tennantita previos según sus bordes, tanto en la roca como en venillas (Fig. 24 a, b, c y d). Estos sulfuros tardíos representan el tercer pulso de mineralización. Venillas de jarosita de 1 a 3 mm de espesor son abundantes en las muestras más someras del pórfido Altar Norte en el sondeo ALD 160.

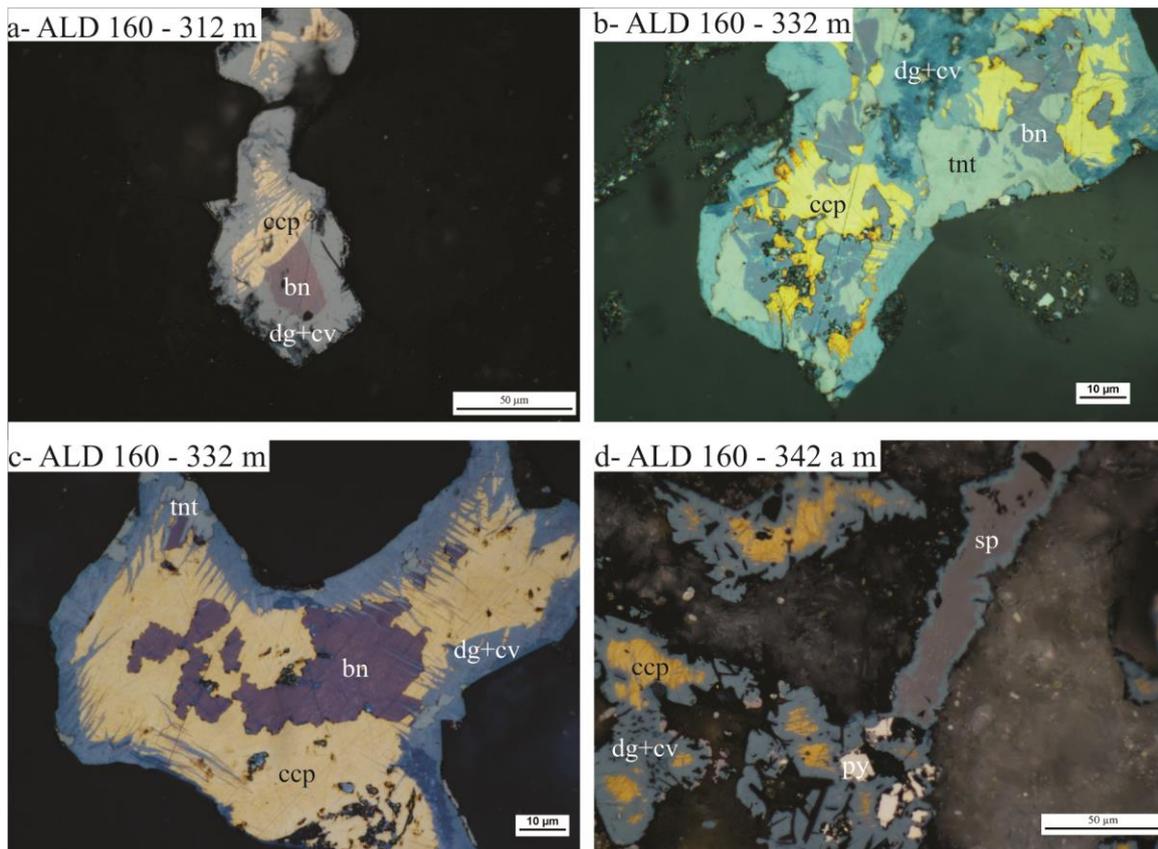


Fig. 24. a) ALD 160 312m: Calcopirita y bornita en equilibrio reemplazadas según sus bordes por digenita y covelina. Nicoles paralelos. b) ALD 160- 332 m: Asociación de calcopirita y bornita, reemplazadas por tenantita y luego por digenita y covelina, en venilla. Nicoles paralelos. c) ALD 160- 332 m: Cristal de calcopirita con inclusión de bornita, reemplazado por tenantita y digenita \pm covelina según bordes (en venilla). Nicoles paralelos. d) ALD 160- 342 a m: Calcopirita, pirita y esfalerita reemplazadas según sus bordes por digenita \pm covelina en venilla. Nicoles cruzados. Abreviaturas minerales: Bn: Bornita. Ccp: Calcopirita. Cv: Covelina. Dg: Digenita. Jrs: Jarosita. Py: Pirita. Sp: Esfalerita. Tnt: Tenantita.

2.6. Alteraciones en brechas polimícticas

A continuación, se describe la alteración, venillas y mineralización que afecta a cada una de las brechas polimícticas descritas en el capítulo anterior:

2.6.1. Alteraciones de la brecha polimíctica 1

La brecha polimíctica 1 presente a los 226 metros del sondeo ALD-160 presenta los clastos afectados por alteración fílica pervasiva con plagioclasas alteradas a filosilicato y una matriz silicificada. No se observó mineralización diseminada en esta muestra.

2.6.2. Alteraciones de la brecha polimíctica 2

El subtipo de brecha polimíctica 2 que se observó a los 383,7 y 385 metros del sondeo ALD-160 metros se encuentra afectada por alteración fílica con fenocristales de

plagioclasa alterados a filosilicato. La matriz se encuentra afectada por alteración clorítica con clorita y cuarzo.

La brecha polimíctica 2 clasto sostén en el sondeo ALD-157 se encuentra afectada por alteración fílica con filosilicato reemplazando a las plagioclasas y una matriz alterada a filosilicato + cuarzo.

Esta brecha grada a matriz sostén, cuyos clastos de pórfido presentan cristales de plagioclasa alterada a filosilicato. La matriz de la brecha se encuentra alterada a filosilicato + cuarzo.

2.6.3. Mineralización asociada a la alteración fílica en la brecha polimíctica 2

El subtipo de brecha polimíctica 2 contiene mineralización diseminada en clastos con 0,3% de pirita y 0,2% de calcopirita. La mineralización diseminada en matriz es más abundante con 1% de pirita y 0,5% de calcopirita (Fig. 25 a).

Las brechas polimícticas 2 interceptadas en el sondeo 157 contienen mineralización tanto en los clastos de pórfido (5%) como en la matriz (15%) que consiste en pirita anhedral a subhedral con escasa calcopirita y trazas de esfalerita, tennantita y marcasita (Fig. 25 b).

2.6.4. Mineralización asociada a la alteración supergénica en la brecha polimíctica 2

Los sulfuros diseminados en el subtipo de la brecha polimíctica 2 son reemplazados por trazas de digenita según sus bordes (Fig. 25 c).

En la matriz de las brecha polimíctica clasto sostén la digenita (t) fractura a la calcopirita (1%) y reemplaza a esfalerita (t) y tennantita (t) según sus bordes (Fig. 25 d). La matriz de la brecha polimíctica 2 matriz sostén presenta alteración supergénica pervasiva con presencia de jarosita e hidróxidos de hierro diseminados.

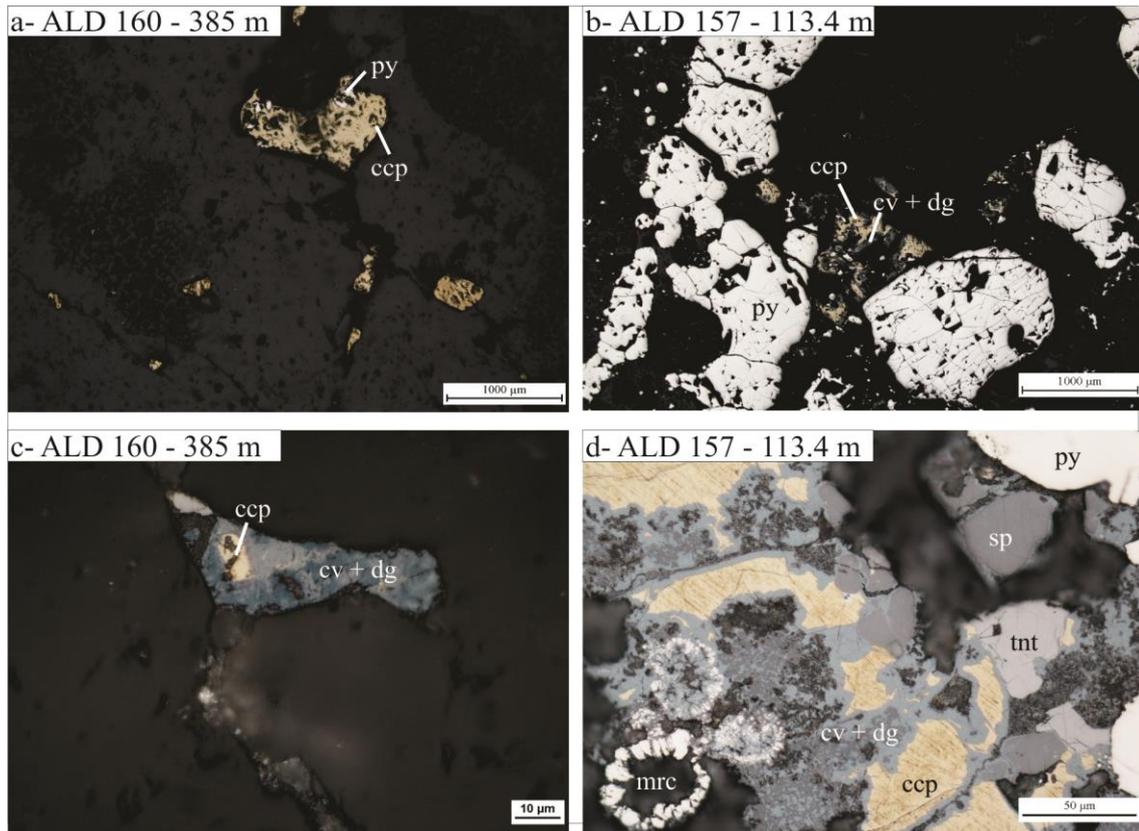


Fig. 25. Mineralización asociada a la alteración filica. a) ALD 160 385: Calcopirita engloba a pirita en la matriz del subtipo de la brecha polimíctica 2. Nícoles paralelos. b) ALD 160 113,4 m: Cristales subhedrales de pirita fracturados, calcopirita anhedral reemplazada según sus bordes por digenita ± covelina. Nícoles paralelos. c) ALD 160- 385 m: Calcopirita alterada por digenita ± covelina. Nícoles paralelos. d) ALD 157- 113,4 m: Calcopirita y esfalerita, tenanita, pirita y soles de marcasita. Digenita reemplaza a calcopirita, tenanita y esfalerita según sus bordes. Abreviaturas minerales: Ccp: Calcopirita. Cv: Covelina. Dg: Digenita. Mrc: Marcasita. Py: Pirita. Sp: Esfalerita. Tnt: Tenanita.

3. Alteración de La Esquina

3.1. Alteración potásica

En los subafloramientos de roca porfírica y pórfido de La Esquina se observó alteración potásica incipiente que consiste en minerales máficos alterados a biotita secundaria tipo *shreddy*, fenocristales de plagioclasa alterados a feldespatos alcalinos, silicificación incipiente de la pasta e ilmenita y magnetita reemplazados por hematita. La roca porfírica presenta parches de feldespatos alcalinos ± calcita que reemplazan a la plagioclasa (Fig. 26 a), biotita secundaria en láminas finas que reemplaza a los mafitos (Fig. 26 b), y silicificación incipiente de la pasta.

3.1.1. Venillas asociadas a la alteración potásica

En el pórfido las venillas tipo A de cuarzo granular poseen desde 1 a 6 mm de espesor y presentan una salbanda de feldespatos potásicos (Fig. 26 c). Una de las venillas

observadas en el pórfido muestra reapertura y relleno con cuarzo \pm feldespato de grano fino (60 a 200 μm) y relictos de sulfuros. Las venillas A son atravesadas por venillas irregulares de biotita secundaria de hasta 90 μm de espesor.

El subafloramiento de roca con textura granular seriada presenta venillas (20%) de cuarzo granular (65- 500 μm) de hasta 4 mm de espesor y venillas de feldespato, biotita y calcita de 70 μm de espesor, discontinuas e irregulares (Fig. 26 d).

1.2. Mineralización asociada a la alteración potásica

La mineralización en roca y venillas es escasa, con trazas de calcopirita y bornita.

3.2. Alteración propilítica

La alteración propilítica en el pórfido dacítico estéril y en la andesita del CVI consiste en epidoto, clorita y plagioclasas alteradas a filosilicato. En el pórfido estéril la alteración es leve y hacia los bordes del afloramiento se encuentra fresco. Las venillas están ausentes en las rocas afectadas por esta alteración.

3.3. Alteración supergénica

En todas las muestras se observó goethita supergénica reemplazando a calcopirita y pirita (Fig. 27 a y b) tanto en roca como en venillas y malaquita (Fig. 27 c).

La roca porfírica de La Esquina presenta una venilla de 3mm de espesor, discontinua e irregular de hematita (relictos de magnetita) que fractura a las plagioclasas (Fig. 27 d).

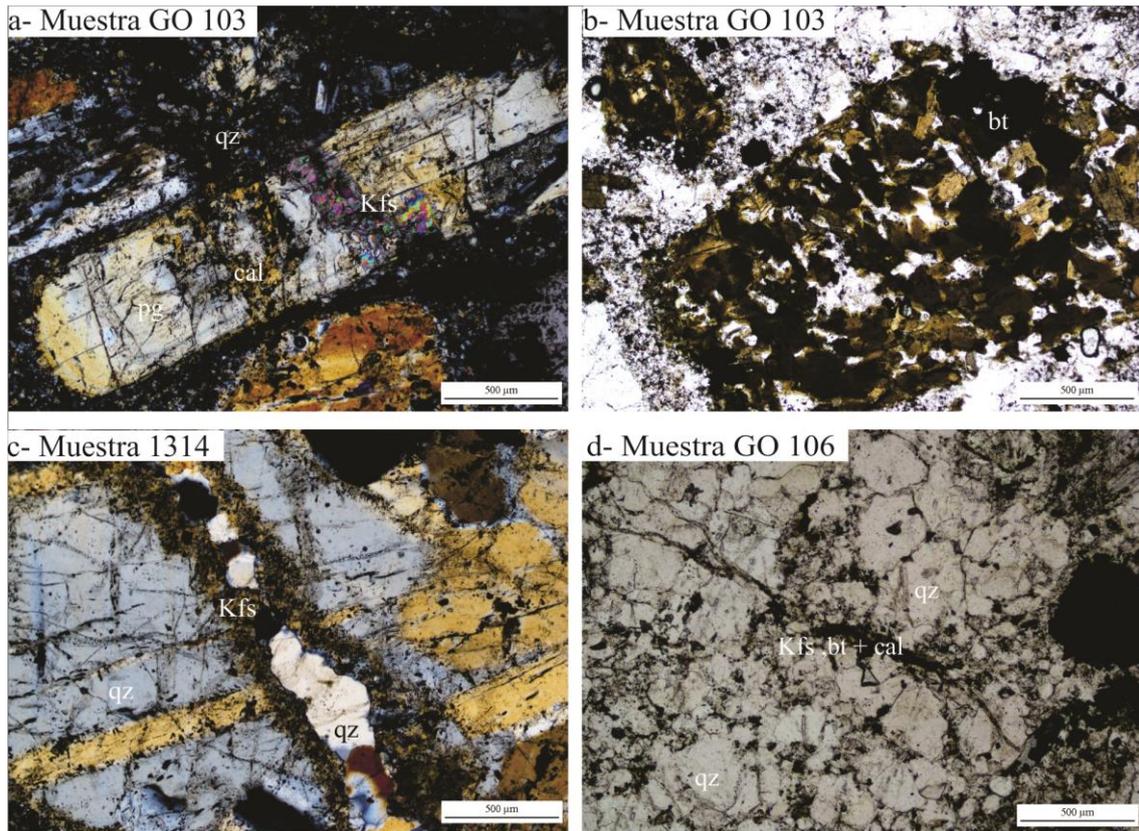


Fig. 26. Alteración potásica en La Esquina. a) Muestra GO 103: Feldespato alcalino \pm calcita reemplazan a la plagioclasa en roca. Nicoles cruzados. b) Muestra GO 103: Mafito reemplazado por biotita secundaria en roca. Nicoles paralelos. c) Muestra 1314: Salbanda de feldespato potásico en bordes de venilla de cuarzo granular. Nicoles cruzados. d) Muestra GO 106: Venillas de feldespato potásico, biotita y calcita de 70 μm de espesor, discontinua e irregular que atraviesa a venilla tipo A de cuarzo. Nicoles paralelos. Abreviaturas minerales: Bt: Biotita. Cal: Calcita. Kfs: Feldespato potásico. Pg: plagioclasa. Qz: Cuarzo.

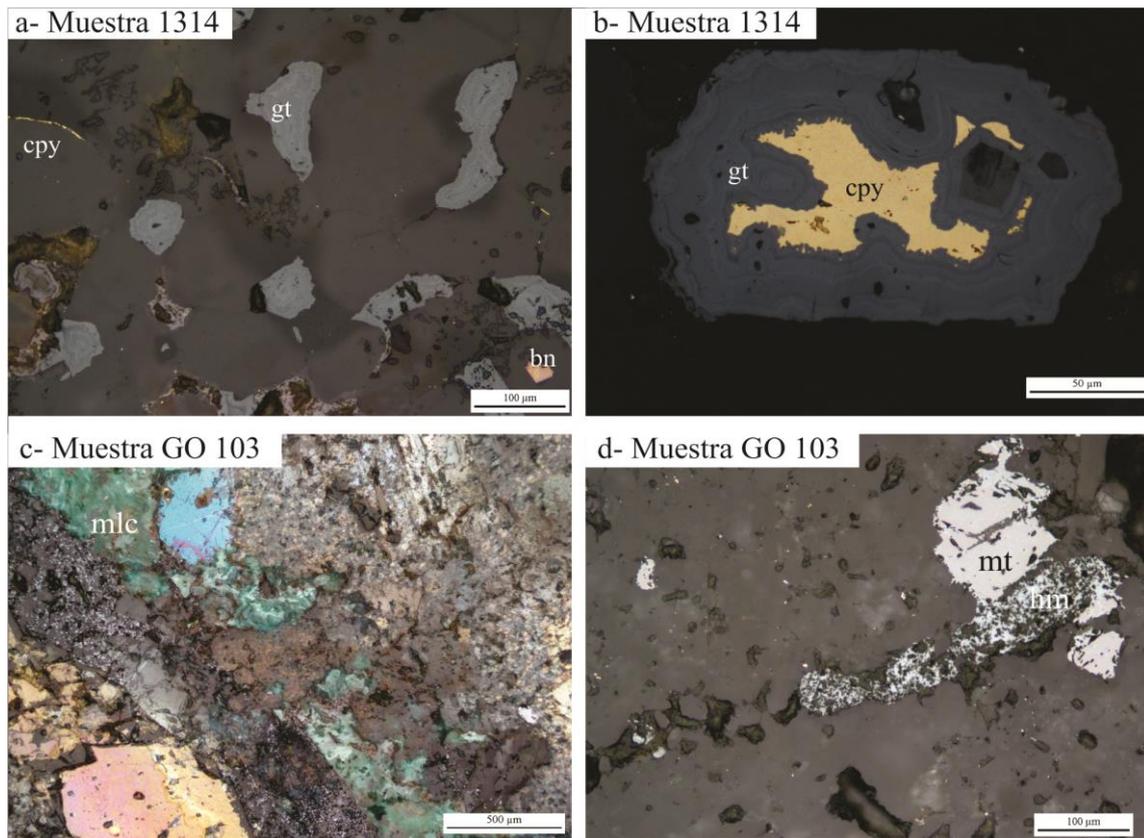


Fig. 27. Alteración supergénica en La Esquina. a) Muestra 1314: Cristales de goethita, bornita y venilla de calcopirita en venilla. Luz reflejada. Nicoles paralelos. b) Muestra 1314: Goethita colorforme según calcopirita en venilla. Luz reflejada. Nicoles paralelos. c) Muestra GO 103: Malaquita disseminada en roca. Luz transmitida. Nicoles cruzados. d) Muestra GO 103: Venilla de hematita atraviesa cristal de magnetita. Luz reflejada. Nicoles paralelos.

4. Geoquímica

En los sondeos ALD 160 y ALD 157 las asociaciones minerales permiten definir las zonas de lavado y de enriquecimiento supergénico, generadas por las condiciones oxidantes en la cercanía a la superficie. En la zona de lavado se destacan la ausencia de sulfuros de Cu y abundantes óxidos de Fe, venillas de jarosita y venillas tipo A de cuarzo sin mineralización. La zona de enriquecimiento supergénico no está afectada por oxidación y los sulfuros de Cu se encuentran tanto en venillas como disseminados en la roca.

Para analizar correlaciones entre los elementos representativos relacionados a la mineralización: Cu, Au, Ag y As, se calculó el coeficiente de Pearson en las zonas de lavado y enriquecimiento supergénico de los sondeos ALD 160 y ALD 157 (Figs. 28, 29 y 30) (Di Giuseppe et al., 2015).

En el sondeo ALD 160 la zona de enriquecimiento supergénico muestra una correlación moderada entre Cu y Au ($r: 0,641$), mientras que la correlación es muy débil en la zona de lavado ($r: -0,106$).

Con respecto a la relación entre Au y Ag en las distintas zonas se observó que en la zona de lavado la correlación es débil ($r: 0,355$), mientras que en la zona de enriquecimiento supergénico existe una alta correlación ($r: 0,759$).

En el caso de As la correlación con Au es débil ($r: 0,295$ para la zona de lavado y $0,358$ para la de enriquecimiento). La correlación con Cu es muy débil ($r: -0,287$ zona de lavado y $0,077$ enriquecimiento).

Para las brechas del sondeo ALD 157 la relación entre Cu y Au es mayor en la zona de lavado ($r: 0,433$). La correlación Au vs Ag es moderada a alta ($r: 0,650$) en la zona de lavado y en la zona de enriquecimiento supergénico de la brecha polimíctica 2 y el pórfido Altar Norte. La relación de Cu y Au con As aumenta, especialmente en las zonas de enriquecimiento supergénico del pórfido Altar Norte, donde alcanza un $r: 0,842$ para Cu vs As.

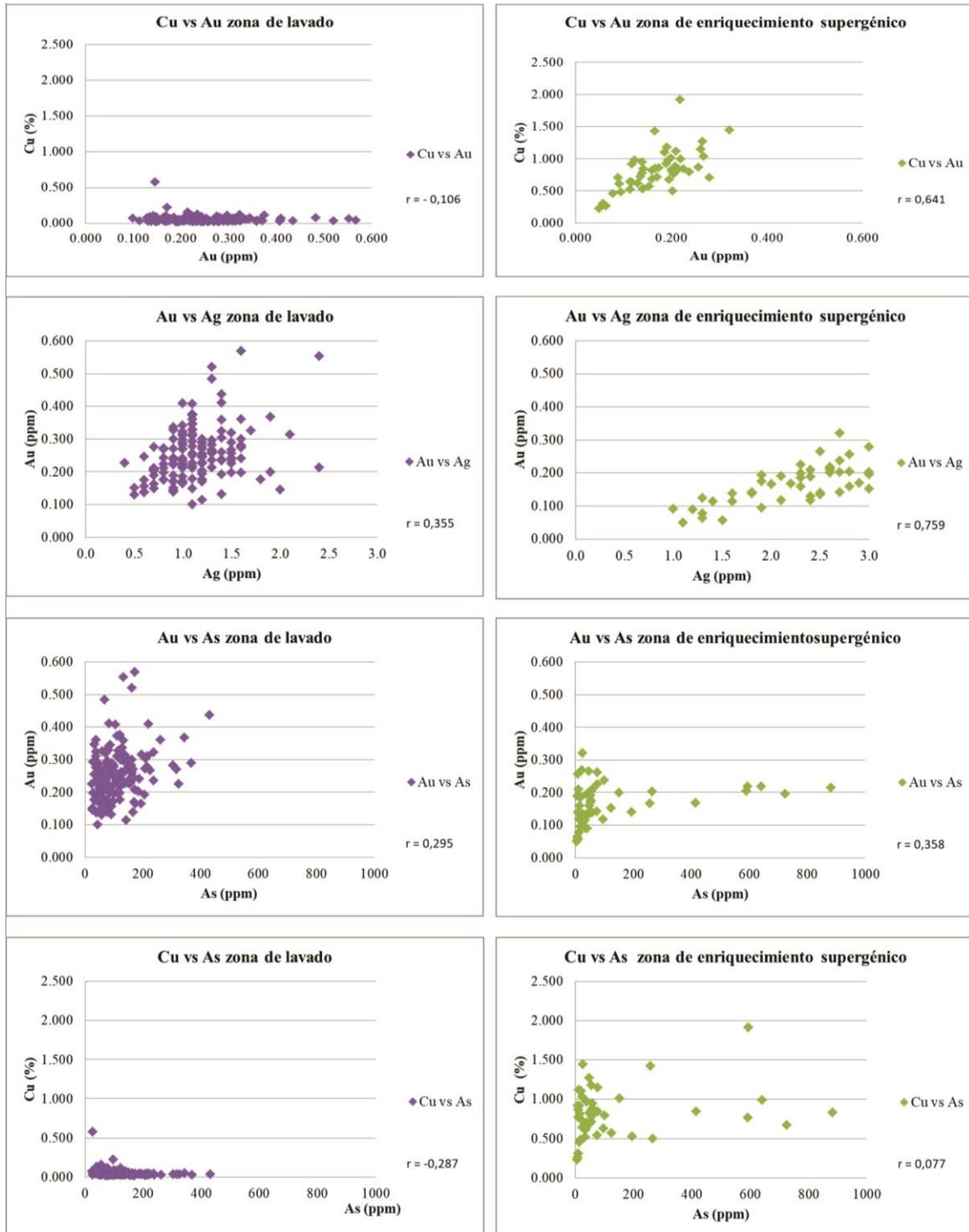


Fig. 28. Diagramas de correlación entre elementos y coeficiente de Pearson para el sondeo ALD-160.

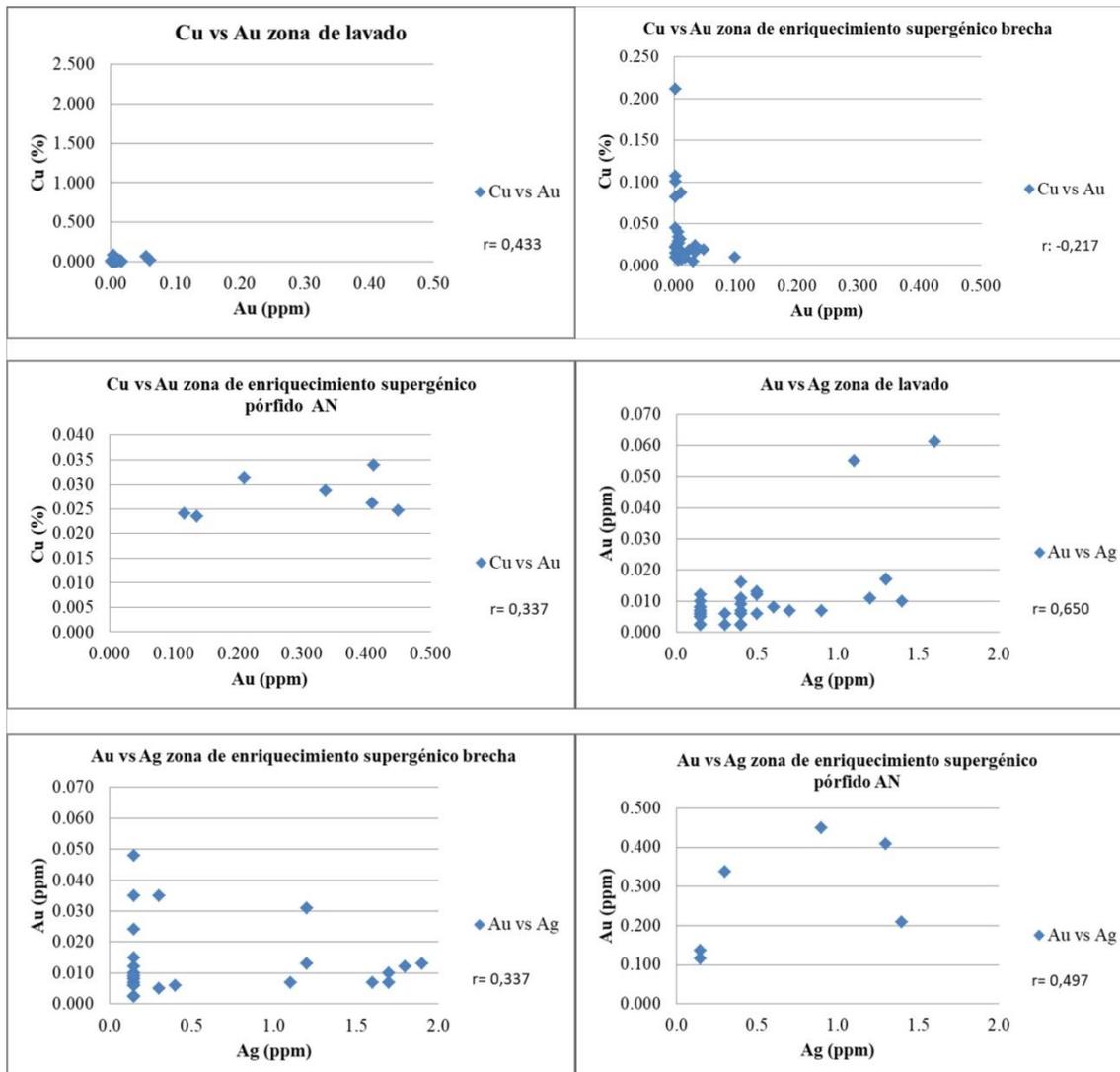


Fig. 29. Diagramas de correlación entre elementos y coeficiente de Pearson para el sondeo ALD-157.

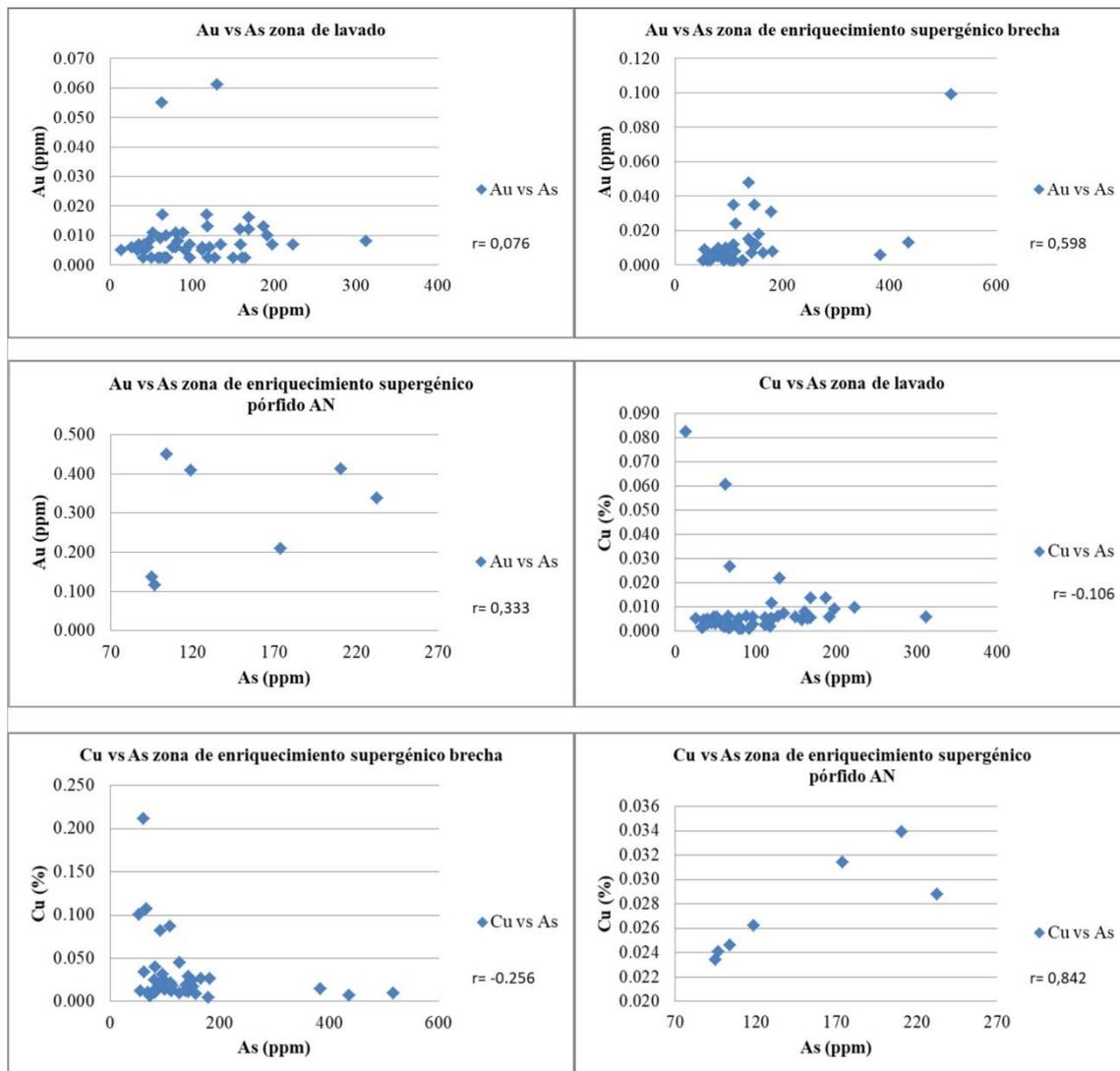


Fig. 30. Diagramas de correlación entre elementos y coeficiente de Pearson para el sondeo ALD-157.

Capítulo III- Discusión

1. Altar Norte

1.1 Secuencia de emplazamiento de intrusivos y brechas

El emplazamiento de los intrusivos en la región de Altar se da en el contexto de la subducción de la Dorsal de Juan Fernández por debajo de la región de estudio entre los ~12-10 Ma y la colisión del segmento este-oeste de esta dorsal con la fosa oceánica a los ~11-10 Ma. Estos procesos debieron producir cambios en el régimen tectónico favoreciendo la formación de fallas, relajación del stress horizontal en la litósfera y permitiendo emplazamiento de los magmas a niveles más superficiales en la corteza (Maydagán et al. 2011).

El estudio de las relaciones de corte, mineralogía y texturas de los stocks subvolcánicos, su grado de alteración y presencia de venillas permitieron sugerir una secuencia de emplazamiento de los intrusivos (Fig. 31). El pórfido estéril tiene características petrográficas similares al pórfido 1 ubicado en el sector este de Altar, con una edad U-Pb en circones de $11,75 \pm 0,24$ Ma (Maydagán et al. 2011). Estos pórfidos pre-minerales de mayor tamaño y estériles se denominan “pórfidos precursores” (e.g. Los Pelambres, Perelló et al. 2012). Se considera que los pórfidos precursores ascienden desde reservorios más profundos y se emplazan en la corteza 1 a 2 Ma antes que los pórfidos mineralizados y el sistema epitermal suprayacente (Sillitoe, 2010).

El pórfido sin-mineral Altar Norte fue emplazado en la corteza en el Mioceno medio ($11,98 \pm 0,19$ Ma) durante los primeros estadios de formación del distrito Altar. Es también contemporáneo con el pórfido dacítico QDM, que contiene mineralización de Au, y con los pórfidos de Cu-Au de Altar Este (Maydagán et al. 2016).

Los demás pórfidos del depósito Altar se emplazaron con posterioridad, en pulsos intrusivos discretos en un lapso de alrededor de 3 Ma. Las intrusiones comprenden tres pórfidos mineralizados (Pórfidos 2, 3 y 4) con edades U-Pb en circones de $11,62 \pm 0,21$, $11,68 \pm 0,27$ Ma, $11,13 \pm 0,26$ Ma y $10,35 \pm 0,32$ Ma respectivamente (Maydagán et al. 2014a).

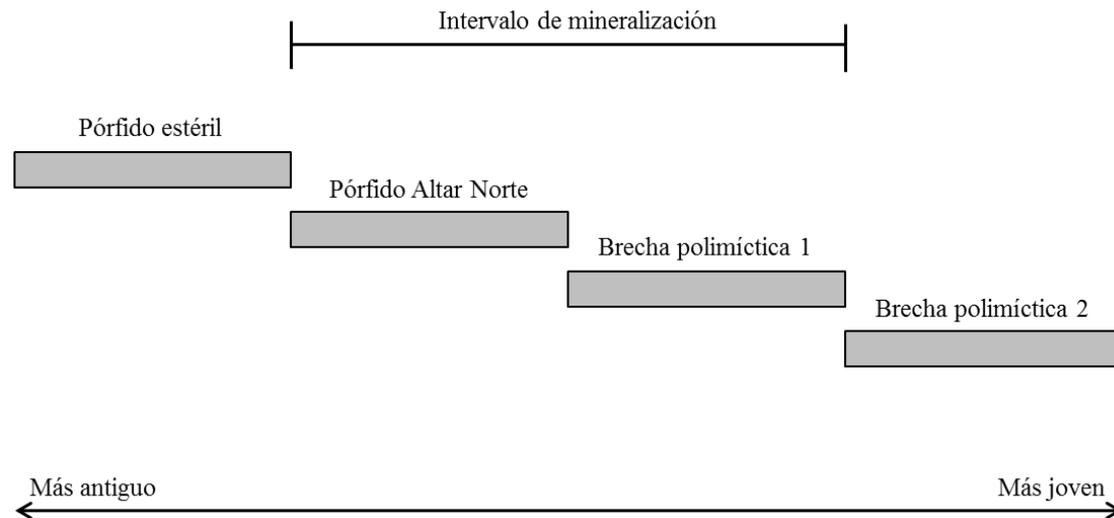


Fig. 31. Secuencia de emplazamiento de intrusivos para Altar Norte.

Las dos brechas polimícticas fragmentan al pórfido Altar Norte. No se observó el contacto entre las mismas, aunque la brecha polimíctica 2 se encuentra atravesada por menor cantidad de generaciones de venillas (ver capítulo 4) y posee menor grado de alteración que la brecha polimíctica 1, por lo que se interpreta como una brecha tardía.

Los cuerpos de brechas son comunes en sistemas de tipo pórfido y varían desde cuerpos menores adyacentes a pórfidos, hasta constituir la porción económicamente dominante de estos sistemas (Ej. yacimiento Río-Blanco Los Bronces, Warnars et al. 1985). En los sistemas de pórfidos de cobre, la formación de brechas puede estar ligada a procesos (freáticos/ freatomagmáticos) o puede estar causada por fracturamiento hidráulico o tectonismo (Sillitoe, 2010). Distintos procesos de formación de brechas pueden combinarse y superponerse formando brechas híbridas dificultando su clasificación (ej. Mina de oro Kelian, Davies et al. 2008a).

Brecha polimíctica 1

La brecha polimíctica 1 de Altar Norte presenta clastos angulosos de venillas de cuarzo a subredondeados de pórfido con venillas, y abundante matriz de grano fino. Presenta alteración fílica y silicificación. Esta brecha guarda similitudes composicionales y texturales con la *Polymictic matrix supported breccia 2* descrita por Maydagán et al. (2014a) que corta al pórfido mineralizado 3 y 4 en Altar Central. La brecha polimíctica matriz soportada de Altar Central contiene fragmentos subredondeados de pórfido y venillas de cuarzo en una matriz fina, con mineralización de Cu-Au (Maydagán et al. 2014a).

La relación de estas brechas con los pórfidos mineralizados de Altar Norte y Central y sus características son posibles indicadores de un origen magmático-hidrotermal del sistema pórfido. El mecanismo inferido para la formación de estas brechas es la exolución violenta de volátiles desde una intrusión, seguida de colapso gravitacional. Los volátiles, derivados de una fuente magmática en profundidad, se acumulan y presurizan a medida que se enfrían las intrusiones. El movimiento de una estructura tal como una falla puede fracturar la roca permitiendo que los volátiles se liberen de forma explosiva (Corbett y Leach, 1998).

Brecha polimíctica 2

La brecha polimíctica 2 posee clastos redondeados a subangulosos de pórfido y fragmentos de venillas de cuarzo. Se presenta comúnmente en forma de diques tipo *pebble dike* tardíos que atraviesan a los pórfidos, como se observa en la muestra ALD 160 383,7. La composición y textura de esta brecha sugiere un origen freático.

Las brechas freáticas normalmente son matriz soporte, con clastos polimícticos redondeados a subredondeados que presentan un notorio transporte vertical y matriz de harina de roca. Pueden encontrarse inalteradas o afectadas por alteración sericítica y argílica avanzada (Sillitoe, 2010).

En sistemas de pórfidos de Cu son el resultado del *flashing* de agua meteórica relativamente fría al acercarse al magma; o cuerpos empinados tabulares a irregulares provocados por la acumulación de presión del vapor por debajo de capas impermeables, comúnmente resultado del auto-sellado por silicificación (Sillitoe, 2010).

1.2 Distribución de elementos asociados a la mineralización en el pórfido Altar Norte

En la zona de lavado del sondeo ALD 160 (Fig. 32) es donde se encuentra el mayor porcentaje de Au (hasta 0,568 ppm) y la correlación Cu/Au es muy débil, con r: -0,106.

Zwahlen et al. (2014) estiman que el Au puede estar presente como Au elemental dentro de los cristales de pirita, y otro porcentaje significativo dentro de las pequeñas inclusiones de pirita enriquecidas además en otros elementos calcófilos y Te. Este Au denominado 'invisible' se define como el que está incorporado en una escala no detectable por microscopía óptica o electrónica; puede estar formando parte de una solución sólida en la estructura cristalina o puede ocurrir como micropartículas de grano menor a 100 nm (Cook and Chryssoulis, 1990).

Maydagán et al. (2013) observaron en el mismo depósito micro inclusiones de Au y sulfuros con As, Ag, V, Zn, Sn, Bi y Sb, dentro de sulfuros re-precipitados durante la alteración fílica. Estas inclusiones ricas en Au pueden explicar las altas leyes de Au en la zona de lavado relacionadas a alteración fílica en Altar Norte. La correlación entre Au y Ag en la zona de lavado es débil ($r: 0,355$), debido a la baja concentración de Ag (menor a 2,4 ppm).

En la zona de enriquecimiento supergénico se encuentran las leyes más altas de Cu del pórfido (1.44 % CuT). La correlación entre Cu y Au en esta zona es moderada a alta ($r: 0,641$). En los pórfidos de Altar Central, Zwahlen et al. (2014) relacionaron el Cu y Au entre sí y con la extensión de venillas de *stockwork* de la alteración potásica. Estiman que un 74- 89% del Cu y un 80% del Au están asociados a los sulfuros de Cu-Fe.

La correlación entre Au y Ag en la zona de enriquecimiento supergénico es alta ($r: 0,759$). En Altar Central, Maydagán et al. (2013) observaron que Au y Ag se encuentran como aleaciones dentro de micro-inclusiones en la pirita y calcopirita. La correlación alta entre elementos sugiere que ambos metales se encontrarían asociados de la misma manera en Altar Norte.

En Altar Norte, la correlación Cu /As observada es muy débil en ambas zonas ($r: -0,287$ zona de lavado y $0,077$ zona de enriquecimiento). Estos valores son consistentes con la ausencia de enargita en las muestras descriptas. En Altar Central, sin embargo, se observó que existe una clara relación positiva entre Cu y As en muestras de alta ley, de acuerdo con el radio estequiométrico de Cu /As de la enargita: Cu_3AsS_4 . Entre un 11% y un 26% del Cu y hasta un 16% de Au estarían asociados a la presencia del mineral enargita, presente en venillas tardías (Zwahlen et al. 2014).

1.3 Distribución de elementos asociados a la mineralización en las brechas polymícticas

Las leyes de Cu en las brechas del sondeo ALD-157 son significativamente más bajas (hasta 0,21%) que en el pórfido Altar Norte (hasta 1,91%) debido a su menor porcentaje de sulfuros de Cu diseminados y en venillas.

En el sondeo ALD 157 la zona de lavado se extiende hasta los 110 metros (Fig. 33). Presenta leyes de 0,002- 0,0083% de Cu y hasta 0,055 ppm de Au. La correlación Cu/Au es moderada ($r: 0,439$). En esta zona la correlación Au vs Ag es moderada a alta ($r: 0,650$). La presencia de Au y Ag sugiere que el proceso de lixiviación fue más leve en las brechas que en el pórfido.

La zona de enriquecimiento supergénico en la brecha polimíctica 2 tiene leyes de 0,004-0,21% de Cu y 0,04 ppm de Au, con digenita + covelina alterando a sulfuros previos como pirita, calcopirita, marcasita, esfalerita y tennantita. En esta zona el Cu y Au muestran una correlación débil negativa, siendo $r: -0,217$, debido al mayor contenido de Cu. La correlación Au vs Ag para esta zona es débil ($r: 0,337$), ya que en esta zona se encuentra la mayor concentración de Ag. Para las brechas del sondeo ALD 157 se observa una moderada correlación Au/As ($r: 0,598$).

En los últimos 10 metros de sondeo se encuentra la zona de enriquecimiento supergénico del pórfido Altar Norte, con la leyes de 0,023-0,034 % de Cu y hasta 0,450 ppm de Au, con una correlación débil de $r: 0,337$. La mineralización en esta zona consiste en pirita, calcopirita y esfalerita. La asociación entre Au vs Ag se mantiene con una correlación moderada de $r: 0,497$. La alta correlación Cu/As ($r: 0,842$) podría indicar la presencia de enargita tardía, sin embargo no se logró confirmar la presencia de este mineral.

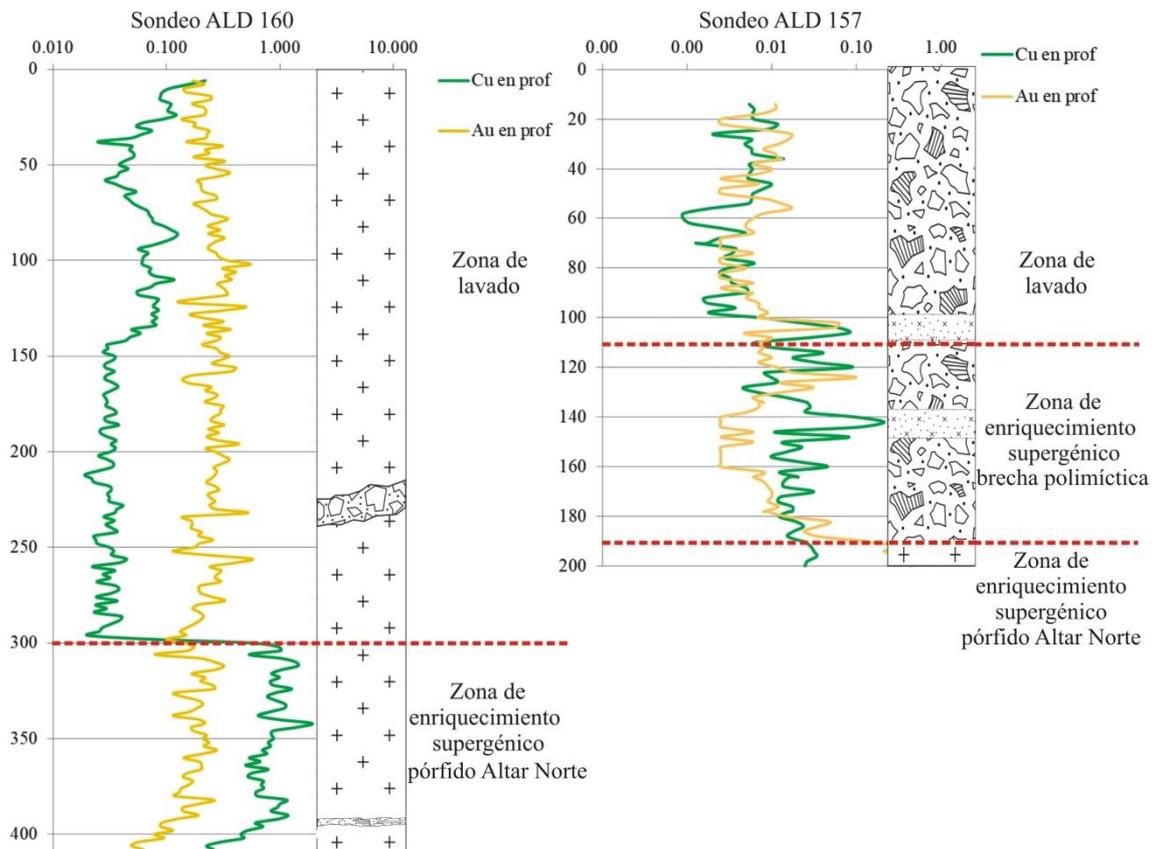


Fig. 32. Perfiles geoquímicos de Cu y Au en los sondeos ALD-160 y ALD-157.

1.4 Distribución de alteraciones de Altar Norte

La etapa temprana del sistema hidrotermal genera alteración propilítica en la periferia del pórfido y alteración potásica en el núcleo, pórfido y rocas aledañas. A medida que el magma se solidifica y el sistema se enfría progresivamente, se generan la alteración clorítica y la fílica en niveles someros. Posteriormente las alteraciones clorítica + fílica se extienden a mayor profundidad dentro del pórfido.

Como resultado de este fenómeno, la alteración potásica se encuentra como relictos en muestras afectadas por alteración clorítica a partir de los 240 metros de profundidad y la zona de lixiviación varía de 100 a 290 metros.

En Altar Central la alteración potásica aflora en superficie y en la zona de los pozos ALD 1, ALD 6 y ALD 16 y se encuentra a escasos metros de profundidad, mientras que la zona de lixiviación varía desde 150 a 300 metros. La presencia de venillas tardías de enargita de gran espesor (Tipo E) que atraviesan al pórfido con alteración potásica y fílica son evidencias de *telescoping* en Altar Central (Maydagán et al. 2013). La ausencia de alteración argílica avanzada y venillas tipo E asociadas a un sistema epitermal de alta sulfuración indica que la litocapa fue completamente erosionada en Altar Norte.

1.5 Venillas

Sillitoe (2010) detalla las relaciones típicas entre venillas de pórfidos de Cu. La primera generación de venillas observada en Altar Norte son las venillas denominadas tipo A, siguiendo la nomenclatura establecida por Gustafson & Hunt (1975). Estas son descritas como venillas primarias de cuarzo con sulfuros y halos de alteración finos o inexistentes, emplazadas durante la alteración potásica. Dentro de esta clasificación pueden distinguirse 3 subtipos de venillas tipo A con características distintivas:

- Venillas A1 irregulares o deformadas con cuarzo anhedral (Fig. 33 a).
- Venillas A2 con paredes rectas de 5 mm a 1 cm de espesor (Fig. 33 b y c). Estas venillas presentan dos tipos de cuarzo, anhedral en los bordes y subhedral en el centro.
- Venillas A3 finas con calcopirita±cuarzo±feldespato±biotita±anhidrita±pirita±rutilo, que atraviesan las venillas A1 (Fig. 33 b).

La segunda generación de venillas en Altar Norte contiene pirita, filosilicato y turmalina. Estas venillas corresponden a un subtipo de venillas tipo D, con halos de alteración fílica asociados. La turmalina es un mineral de alteración común en varios

tipos de venillas, pero es más abundante en las venillas tipo D y en las brechas afectadas por alteración fílica (Sillitoe, 2010).

Las venillas posteriores de sulfuros que contienen calcopirita+ esfalerita+ pirita, con tennantita y marcasita tardías, son similares a las descritas por Gustafson y Hunt (1975) para el depósito de pórfido de Cu El Salvador como venillas tipo 'D' tardías de sulfuros con halos de alteración fílica característicos. En Altar Central, Maydagán et al. (2015) clasifican a las venillas tardías ricas en sulfuros y sulfosales como tipo E, tomando la clasificación de Masterman et al. (2005). Sin embargo, estas venillas representan una etapa más avanzada del ambiente hidrotermal, con halos de alteración argílica avanzada y enargita abundante. Por lo tanto, las venillas observadas en Altar Norte representarían una transición entre venillas tipo D y E, ya que comparten características de ambos tipos (Fig. 33 c). La ausencia de sulfuros en las venillas tipo A y el enriquecimiento hipogénico en venillas tipo D-E es consistente con el mecanismo de lixiviación y re- depositación durante la alteración fílica que se propone en este trabajo.

La alteración supergénica generó venillas de jarosita, las cuales son más abundantes en la zona de lavado del pórfido Altar Norte y en las brechas polimícticas del sondeo ALD 157.

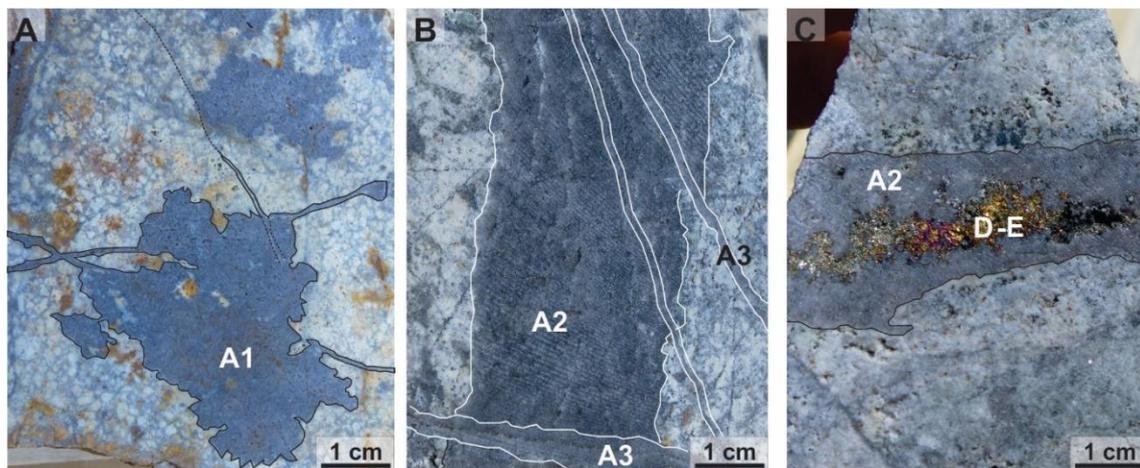


Fig. 33. a) Venillas tipo A1 irregulares. b) Venillas A2 rectas atravesadas por venillas finas tipo A3. c) Venillas A2 reabiertas por venillas transicionales D-E.

[1.6 Secuencia paragenética](#)

A partir de estas observaciones se logró determinar la siguiente secuencia paragenética (Fig. 34) desde la alteración más antigua a la más joven:

- 1) El primer pulso de mineralización asociado a alteración potásica con calcopirita y bornita en venillas tipo A.
- 2) Un segundo pulso correspondiente a alteración fílica, con pirita y una segunda generación de calcopirita y pirita + esfalerita, con tenantita y marcasita tardías asociadas a venillas transicionales D a E.
- 3) El tercer pulso representado por alteración supergénica con digenita ± covelina tanto diseminadas como en venillas, alterando los sulfuros previos y venillas de jarosita.

Las asociaciones minerales de venillas tardías (calcopirita + pirita, esfalerita+ marcasita+ tennantita) asociadas al segundo pulso reflejan un ambiente transicional pórfido-epitermal (Di Giuseppe et al. 2016).

	Alteración potásica 1° Mineralización	Alteración clorítica	Alteración fílica 2° Mineralización	Alteración supergénica 3° Mineralización
Minerales de mena	Ccp ± (bn) █		Py █ Ccp + Sp + Py + (bn) █ Tnt + Mrc █	Dg + Cv █
Venillas	Qz tipo A █		Py, Filosilicato, Turm+ Qz █ Sulfuros (Trans. D a E) █	Jarosita █

Fig. 34. Secuencia paragenética de alteraciones, pulsos de mineralización y venillas para Altar Norte.

2. La Esquina

Debido a que la mayoría de las muestras analizadas de La Esquina provienen de sub-afloramientos o derrubio y a la ausencia de sondeos en la zona, el análisis de la información es de carácter preliminar.

2.1 Secuencia de emplazamiento

En La Esquina aflora la andesita porfírica del CVI, la cual fue datada en $21,6 \pm 1.2$ Ma por el método U-Pb en circones por Maydagán (2012). En esta unidad se emplazó posteriormente el pórfido dacítico estéril, descrito en Altar Norte, que en esta

zona no se encuentra alterado. El derrubio de pórfido posee una composición similar al pórfido estéril, sin embargo posee venillas de cuarzo tipo A con trazas de sulfuros, por lo que podría representar un pulso posterior mineralizado. Las rocas porfírica y granular también presentan venillas tipo A, por lo que podrían ser posteriores al emplazamiento del pórfido estéril. Sin embargo, al no observarse relaciones de corte entre estos subafloramientos no puede determinarse una secuencia de emplazamiento.

2.2 Distribución de alteraciones

La etapa temprana del sistema hidrotermal genera alteración propilítica extensa que afecta a la andesita del CVI y al pórfido estéril y alteración potásica en los subafloramientos de roca porfírica. La alteración potásica es pervasiva, con presencia de biotita *shreddy* y feldespatos potásicos.

2.3 Venillas

Las venillas primarias tipo A de cuarzo asociadas a la alteración potásica se encuentran en la roca porfírica, granular y en derrubio de pórfido. Las venillas que atraviesan el pórfido contienen trazas de calcopirita y bornita.

En la roca granular de La Esquina (Muestra GO 106, Fig. 25 d) se describió una venilla de feldespatos potásicos, biotita y calcita de 70 μm de espesor, discontinua e irregular que atraviesa a venilla tipo A de cuarzo. Esta venilla puede compararse con las venillas EB (Cuarzo + biotita + rutilo \pm magnetita) de Altar Central, que son las venillas más antiguas, finas (<1 mm) y de paredes irregulares asociadas a la alteración potásica, que cortan a los pórfidos y a la andesita del CVI (Maydagán et al. 2014b). Comúnmente estas venillas son previas a las venillas tipo A, pero en rocas afectadas por alteración clorítica se alteran a venillas tipo C, lo que puede generar falsas relaciones de corte entre venillas (Maydagán et al. 2014b).

Las venillas asociadas a la alteración supergénica que atraviesan la roca porfírica contienen hematita por alteración de magnetita, y malaquita producto de la alteración de un mineral de cobre.

2.4 Secuencia paragenética

A partir de estas observaciones se determina la siguiente secuencia paragenética preliminar (Fig. 35) desde la alteración más antigua a la más joven:

- 1) El primer pulso de mineralización está asociado a alteración potásica con trazas de calcopirita y bornita en venillas tipo A, y las venillas transicionales de feldespato potásico, biotita y calcita.
- 2) La alteración supergénica, sin mineralización asociada, representada por venillas de óxidos como hematita y malaquita.

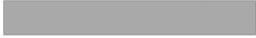
Alteración propilítica		Alteración potásica 1° Mineralización	Alteración supergénica
Minerales de mena		Ccp(t) ± bn(t) 	
Venillas		Qz tipo A  Fd K, bt, cal 	Hem ± Mlq 

Fig. 35. Secuencia paragenética preliminar de alteraciones, pulsos de mineralización y venillas para La Esquina.

3. Pulsos de mineralización y Evolución del Fluido Hidrotermal de Altar Norte

En Altar Norte, las venillas tipo A están asociadas a un primer pulso de mineralización de Cu, con calcopirita y trazas de bornita. La asociación calcopirita + bornita indica un fluido de sulfuración baja a intermedia (Einaudi et al. 2003).

El segundo pulso de mineralización está representado por las venillas de sulfuros + cuarzo, que se interpretan como transicionales entre venillas D y E. El reemplazo de pirita por calcopirita observado en estas venillas tardías puede estar ligado a un proceso de enriquecimiento hipogénico que comienza durante la alteración fílica (Brimhall, 1979, Maydagán en preparación). Este proceso se genera por una disminución de temperatura y pH de los fluidos que disuelven los sulfuros previos y los re-precipitan en asociaciones de mayor sulfuración (Maydagán et al. 2013).

La presencia de soles de marcasita que reemplazan a la pirita en las venillas tipo D y en la matriz de la brecha polimíctica 2, es evidencia de cambios en las condiciones de los fluidos. La transformación de pirita a marcasita indica un descenso en la temperatura y aumento de la acidez en comparación con el primer pulso de pirita de pH 6-7 a pH <5 (Grønvold y Westrum, 1962). En el yacimiento de pórfido de Cu-Mo-Au Agua Rica, Franchini et al. (2015) describieron en las brechas hidrotermales cristales de marcasita anhedral o radial junto con pirita secundaria coliforme que rodean a la pirita primaria. La marcasita también aparece en menor cantidad como cintas radiales (0,05mm) llenando intersticios entre pirita y covelina y placas de covelina, y bordea cristales de pirita.

En Agua Rica, tanto la marcasita como la pirita secundaria coliforme precipitaron durante la última etapa de mineralización epitermal. En esta fase los fluidos estaban sobresaturados con respecto a oro nativo, lo que derivó en precipitación de nanopartículas de Au dentro de las piritas coliformes (Franchini et al. 2015).

Para que precipite marcasita y pirita tardías es necesario que exista una liberación de energía de las brechas, mediante ebullición y mezcla con aguas meteóricas. Los fluidos resultantes tenían temperaturas de < 240°C, alta fS_2 y fO_2 , pH<5, y estaban empobrecidos en As y Cu pero sobresaturados en Au nativo (nanopartículas de Au) (Franchini et al. 2015). Esto es un indicador de la evolución de los fluidos de la etapa de pórfido a epitermal.

Un incremento en la fO_2 y un leve decaimiento de la fS_2 de los fluidos correspondientes a una etapa hidrotermal tardía pueden haber favorecido el reemplazo de calcopirita por tennantita, de manera similar a lo propuesto en Altar Central (Maydagán et al. 2013). Las asociaciones minerales de esfalerita, tennantita y marcasita en venillas tardías son similares a las asociaciones de venillas tardías observadas en el depósito de pórfido de Cu Chuquicamata. En este depósito la esfalerita se encuentra en los bordes de calcopirita, digenita y covelina hipogénicas (Ossadón et al. 2001). Algunos estudios propusieron para la esfalerita de Chuquicamata orígenes hipogénicos y en parte supergénicos (Ossadón et al. 2001, Aracena et al. 1997), sin embargo estudios recientes sugieren un escenario donde la esfalerita es hipogénica (Pinget et al. 2015).

En Altar Norte, la esfalerita se encuentra asociada con calcopirita y pirita de la segunda generación dentro de la alteración fílica, y es reemplazada según sus bordes por digenita+covelina, lo que sugiere un origen de enriquecimiento hipogénico para la

esfalerita. La precipitación de esfalerita requiere un ambiente muy oxidante, haciendo que el Cu y el Zn de los sulfuros de la zona de lavado se lixivien y reprecipiten en la zona de enriquecimiento, formando sulfuros al reaccionar con el azufre emanado desde abajo. Según Ossandón et al. (2001), los rasgos observados coinciden con un descenso en la actividad hidrotermal, con emanaciones de azufre y aguas termales por encima.

El último pulso de mineralización de cobre ocurre debido a la introducción de aguas de origen meteórico al sistema, generando alteración supergénica. En este pulso la digenita y covelina reemplazan a calcopirita, bornita, esfalerita y tennantita previas según sus bordes y en ocasiones completamente. La presencia de digenita y covelina indica un estado de sulfuración muy alto y una alta fugacidad del S₂ (Einaudi et al. 2003) durante el evento supergénico asociado a las leyes más altas de Cu (0,82 - 1,91 %) y leyes de Au entre 0,11 y 0,32 ppm (Di Giuseppe et al. 2015).

En relación a lo antes expuesto, el primer pulso de calcopirita y bornita representa un estado de sulfuración baja a intermedia que transiciona a un estado intermedio, con mineralización de calcopirita, pirita, esfalerita y tennantita+marcasita, culminando en un estado de sulfuración muy alto con el reemplazo de los sulfuros previos por digenita y covelina (Fig. 37).

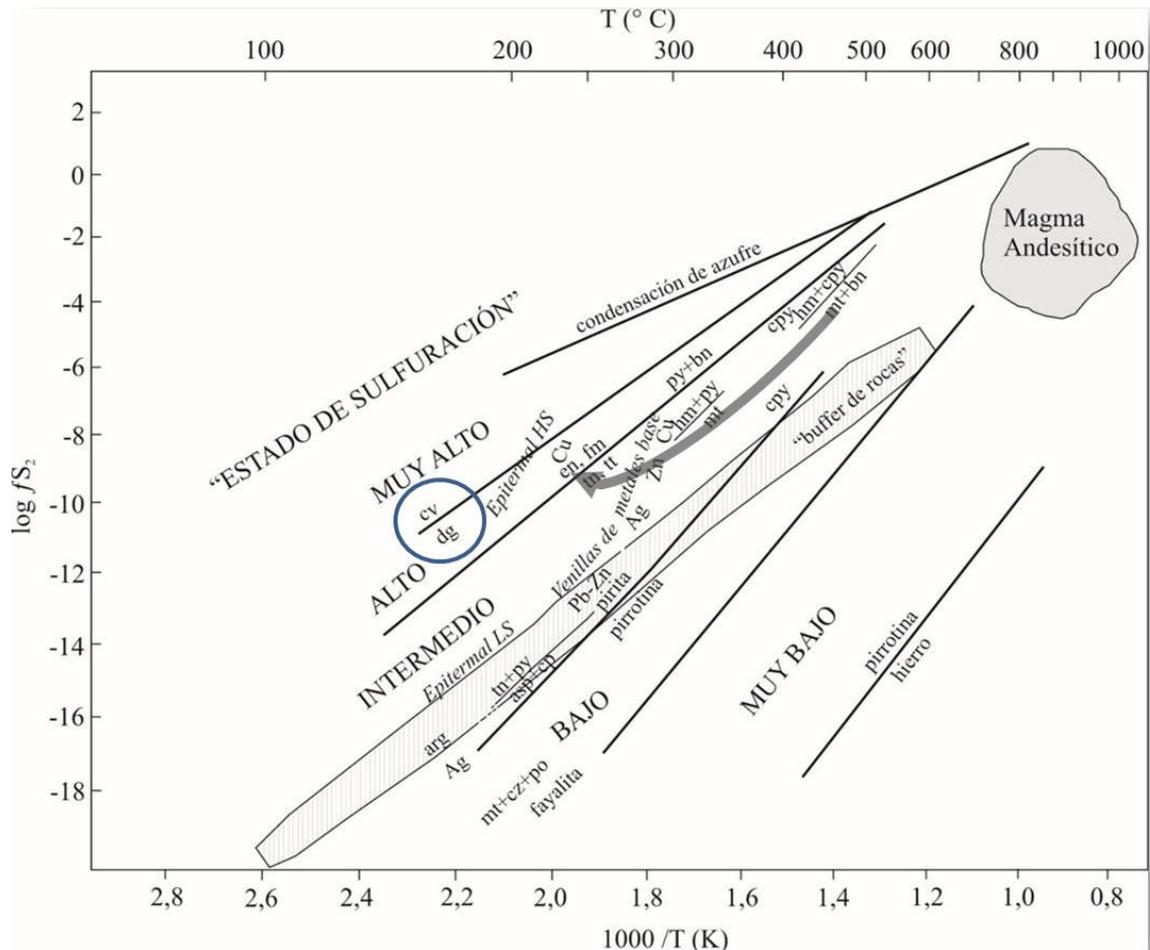


Fig. 37. Evolución del fluido en el estadio hipogénico (flecha gris) y estadio supergénico (círculo azul). Modificado de Einaudi et al. 2003.

4. Modelo

El modelo propuesto de las relaciones entre la litología, alteración y venillas (Fig. 38) comprende dos eventos de emplazamiento de pórfido. En primer lugar se encuentra el pórfido estéril, que aflora en La Esquina y en Altar Norte.

El segundo evento está representado por el pórfido Altar Norte, que aflora en la zona del sondeo ALD 160 y es atravesado por este sondeo y por los últimos 10 metros del sondeo ALD 157. Este pórfido presenta alteración clorítica y fílica superpuesta sobre la alteración potásica original y un complejo stockwork de venillas tipo A, D y transicionales D a E presentes a lo largo de todo el sondeo ALD 160.

La brecha polimíctica 1 y posteriormente la brecha polimíctica 2 intruyen al pórfido Altar Norte. La brecha polimíctica 2 aflora en el valle de Altar Norte a lo largo de una falla inferida que la coloca en contacto con la toba riolítica del CVI. El sondeo ALD 157 atraviesa casi en su totalidad a esta brecha.

Al quedar el sistema expuesto cerca de la superficie, las aguas meteóricas generan una zona de lavado y de enriquecimiento supergénico.

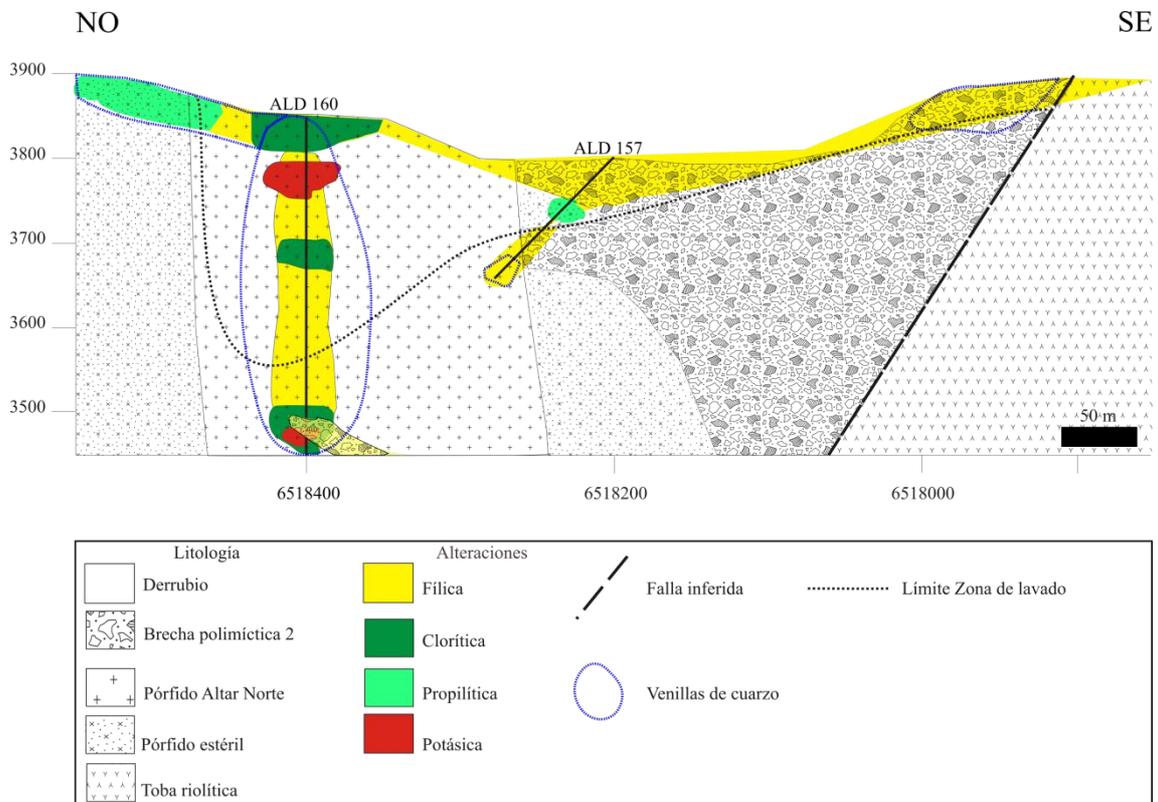


Fig. 38. Modelo esquemático de litologías, alteraciones y venillas representado en Altar Norte.

5. Profundidad de emplazamiento del pórfido Altar Norte

Murakami et al. (2010) compilaron datos de la relación Cu/Au vs profundidad de emplazamiento y presión de formación de 50 depósitos de pórfido de Cu-Au ± Mo. Al graficar estos datos se observa que la relación Cu/Au de los depósitos generalmente aumenta con el aumento de profundidad y presión (Fig. 39).

La relación de Cu/Au del pórfido Altar Norte, calculada para la zona no afectada por lixiviación en el sondeo ALD 160, varía entre 2×10^4 y 8×10^4 . Dado que el tramo presenta enriquecimiento supergénico de cobre y los valores más altos corresponden a muestras con contenido de digenita y covelina supergénicas, se utiliza el valor más bajo, de 2×10^4 , que reflejaría de manera más precisa la relación hipogénica de Cu-Au. Al situar este valor en el gráfico y compararlo con las tendencias marcadas por indicadores geológicos y microtermometría de sulfuros, se puede estimar una profundidad de

emplazamiento del pórfido entre 0,5 y 2,1 km de profundidad, con presiones de formación de 0,2 y 0,6 kb.

La línea punteada en 4×10^4 fue definida por Kesler et al. (2002) para separar los depósitos de Cu-Au de los depósitos Cu-Mo. Los depósitos de Cu-Au analizados tienen una menor profundidad promedio (2,1 km) que los de Cu-Mo (3,7 km).

Según su relación Cu/Au, Altar Norte se sitúa en el grupo de pórfidos ricos en Au y la profundidad de emplazamiento estimada es similar al promedio para los pórfidos ricos en Au.

Murakami et al. (2010) sugieren que la densidad de los fluidos de baja salinidad, al enfriarse entre 450 y 320°C, es decisiva para la solubilidad diferencial y la precipitación selectiva de minerales, y finalmente controla la relación final de Cu/Au.

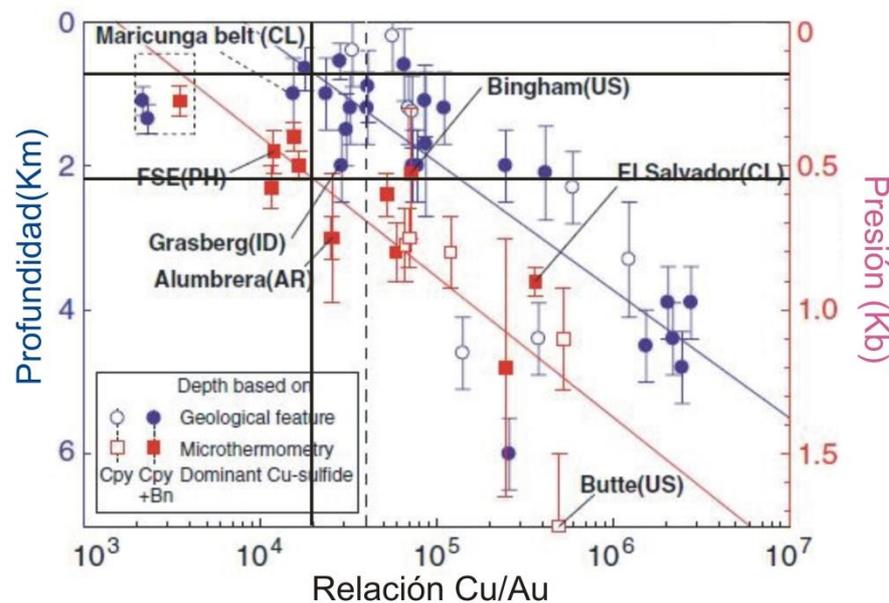


Fig. 39. Profundidad de emplazamiento vs presión de formación y relación Cu/Au de distintos yacimientos de pórfido. El rango de profundidad estimado para el pórfido Altar Norte se identifica con las líneas negras continuas. La línea de tendencia violeta corresponde a profundidades geológicas estimadas y la línea de tendencia roja corresponde a microtermometría de inclusiones fluidas (ambas excluyen datos del cinturón de Maricunga). Modificado de Murakami et al. (2010).

Maydagán et al. (2016) estimaron una temperatura de 804° - 839°C y presión de 0,11 a 0,15 GPa en los fenocristales de anfíbol del pórfido dacítico estéril de Altar Norte. Estas presiones corresponden a profundidades de aproximadamente 4 a 5 km en la corteza superior, y son similares a las obtenidas por Maydagán et al. (2014a) para los pórfidos 1 y 5 de Altar. Por lo tanto, la actividad intrusiva temprana se desarrolló a mayores profundidades, en la corteza profunda y media. La colisión de la cordillera de Juan Fernández con la trinchera alrededor de los 11-10 Ma generó cambios en el

régimen de estrés tectónico, lo que permitió que el magma se eleve dentro de la corteza hacia niveles más someros (Maydagán et al. 2016).

Conclusiones y recomendaciones

El estudio de las litologías, relaciones de corte entre venillas y brechas, alteraciones y mineralización permitieron conocer las características principales del prospecto de Cu-Au Altar Norte. Mediante la descripción de detalle de muestras de Altar Norte se reconocieron los principales pulsos de mineralización.

Se identificaron cuatro eventos intrusivos según las relaciones de corte, mineralogía y texturas, grado de alteración y presencia de venillas: 1) Pórfido estéril, 2) Pórfido Altar Norte, 3) Brecha polimíctica 1 y 4) Brecha polimíctica 2.

El fluido hidrotermal generó distintas alteraciones en las rocas, según la evolución de su temperatura y pH. En primer lugar se genera la alteración potásica y propilítica. Al descender la temperatura se producen las alteraciones clorítica y fílica en niveles someros y cortando la alteración potásica en profundidad.

En Altar Norte el primer estadio es de sulfuración baja a intermedia, con mineralización de calcopirita + bornita en venillas tipo A asociadas a alteración potásica. El evento de enriquecimiento hipogénico de sulfuración intermedia se caracteriza por la alteración fílica, con calcopirita + pirita + esfalerita en venillas tipo D y marcasita y tennantita en venillas D a E correspondientes al segundo pulso de mineralización. Este campo de enriquecimiento hipogénico de cobre está caracterizado por fS_2 alto, fO_2 intermedio y temperaturas entre 200 y 300°C. Por último la introducción de fluidos meteóricos genera alteración supergénica de sulfuración muy alta, con venillas de jarosita en la zona de lixiviación y mineralización de digenita + covelina en la zona de enriquecimiento supergénico, que representan el tercer pulso de mineralización de Cu.

Las asociaciones minerales de esfalerita, tennantita y marcasita en venillas tardías son similares a las observadas en el depósito de pórfido de Cu Chuquicamata, donde la relación con digenita y covelina de grano grueso pone en duda el origen supergénico o hidrotermal de la esfalerita. En Altar Norte, la asociación con calcopirita y pirita sugiere un origen de enriquecimiento hipogénico para la esfalerita y supergénico para digenita + covelina.

El mayor porcentaje de Cu en el pórfido Altar Norte y en las brechas polimícticas se encuentra en la zona de enriquecimiento supergénico, formada sobre el *stockwork* de venillas asociadas a la alteración potásica y a la presencia de digenita y covelina supergénicas.

Las mayores leyes de Au en el pórfido Altar Norte se encuentran en la zona de lavado. El Au se encontraría originalmente en inclusiones dentro de sulfuros asociados a las alteraciones fílica y potásica. Al lixiviarse los sulfuros, el Au se concentra en la zona de lavado, ya que no es móvil.

Los resultados del prospecto La Esquina son de carácter preliminar debido a la escasa cantidad de muestras analizadas y la ausencia de sondajes. Se identificaron cuatro litologías: 1) Pórfido estéril, 2) Pórfido con venillas 3) Roca granular y 4) Roca porfirítica. Es necesario analizar una mayor cantidad de muestras para reconstruir una secuencia de emplazamiento, sin embargo se caracterizaron en superficie las alteraciones potásica, propilítica y fílica.

Se recomienda continuar con análisis de detalle de las brechas polimícticas de Altar Norte y de los subafloramientos de La Esquina para lograr determinar su origen y edades de emplazamiento, y así poder aportar al modelo de los prospectos.

Un estudio detallado es recomendable para evaluar si la presencia de cierto grado de enriquecimiento en Au en las muestras podría vincularse a menores profundidades de emplazamiento de los intrusivos.

Bibliografía

Aracena, I., Ossandón, G. y Zentilli, M. (1997). Mineralogía y distribución del zinc en Chuquicamata: Enriquecimiento supérgeno de zinc?: Congreso Geológico Chileno, VIII, Antofagasta, p. 1908–1912.

Bergoeing Rubilar, J. P. (2016). Evolución geoquímica del magmatismo de la Región de Los Pelambres (31° S) entre el cretácico superior y el mioceno superior: implicancias para la evolución tectónica y metalogénica de los Andes de Chile Central. Tesis Pregrado, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile, 131 p.

Bissig, T., Clark, A.H., Lee, J.K.W., y Heather, K.B. (2001). The Neogene history of volcanism and hydrothermal alteration in the Central Andean flat-slab region: New ^{40}Ar - ^{39}Ar constraints from the El Indio-Pascua Au (Ag, Cu) belt, III/IV Region, Chile, provincia San Juan, Argentina. *International Geology Review* 43: 312–340.

Brimhall, G.H. (1979). Lithologic determination of mass transfer mechanisms of multiple-stage porphyry copper mineralization at Butte, Montana; vein formation by

hypogene leaching and enrichment of potassium-silicate protore. *Economic Geology* 74(3): 556-589.

Cahill, T. y Isacks, B. (1992). Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *Journal of Geophysical Research* 97: 17503–17529.

Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J.J., Gans, P., Kay, S.M., Muñoz, N., Wyss, A.R. y Zurita, E. (2002). Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36° S). *Journal of South American Earth Sciences* 15: 117-139.

Charrier, R., Bustamante, M., Comte, D., Elgueta, S., Flynn, J.J., Iturra, N., Muñoz, N., Pardo, M., Thiele, R. y Wyss, A.R. (2005). The Abanico Extensional Basin: regional extension, chronology of tectonic inversion, and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abh*, 236 (1/2): 43-77.

Charrier, R., Flynn, J. J., Wyss, A. R., Zapatta, F. y Swisher, C. C. (1997). Antecedentes bio y cronoestratigráficos de la Formación Coya – Machalí – Abanico, entre los ríos Maipo y Teno (33°55' y 35°10' L.S.), Cordillera Principal, Chile Central. *Actas 8° Congreso Geológico Chileno*, 1: 465-469.

Charrier, R., Wyss, A.R., Flynn, J.J., Swisher, C.C. III, Norell, M.A., Zapatta, F., McKenna, M.C. y Novaceck, M.J. (1996). New evidence for late Mesozoic: early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the upper Tinguiririca valley (35°S), Central Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 9 (2): 1-30.

Cook, N.J. y Chryssoulis, S.L. (1990). Concentrations of “invisible gold” in the common sulfides. *The Canadian Mineralogist* 28: 1-16.

Cooke, D.R., Walshe, J., y Hollings, P. (2005). Giant porphyry copper deposits: Characteristics, distribution, and tectonic controls: *Economic Geology* 100: 801–818.

Corbett, G. y Leach, T.M. (1998). Controls on hydrothermal alteration and mineralization; southwest pacific rim gold-copper systems structure, alteration, and mineralization. *Economic Geology Special Publication* 6: 69-82.

Cristallini, E. y Ramos, V. (2000). Thick-skinned and thin-skinned thrusting in the La Ramada fold and thrust belt: Crustal evolution of the High Andes of San Juan, Argentina (32 SL). *Tectonophysics* 317: 205-235.

Davies, A. G., Cooke, D. R., Gemmell, J. B. y Simpson, K. A. (2008a). Diatreme breccias at the Kelian gold mine, Kalimantan, Indonesia: Precursors to epithermal gold mineralization. *Economic Geology* 103(4): 689-716.

Davies, A.G.S., Cooke, D.R., Gemmell, J.B., vanLeeuwen. T., Cesare, P. yHartshorn, G. (2008b). Hydrothermal breccias and veins at the Kelian gold mine, East Kalimantan, Indonesia. *Economic Geology* 103 (4): 717-757.

Di Giuseppe, N., Maydagán, L., Franchini, M. y Impiccini, A. (2016). Pulsos de cuarzo, brechamiento y mineralización de Cu-Au en el prospecto Altar Norte, Departamento de Calingasta, San Juan. *Acta Geológica Lilloana* 28 (1) del XII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, p. 130-135. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Di Giuseppe, N., Maydagán, L., Franchini, M., Impiccini, A., Rey, R. (2015). El prospecto de Cu-Au Altar Norte, San Juan: Geoquímica, alteraciones hidrotermales y pulsos de mineralización. *Resúmenes del 3° Simposio sobre Petrología Ígnea y Metalogénesis Asociada*, p. 58-59, General Roca, Argentina.

Einaudi, M. T., Hedenquist, J. W. y Inan, E. E. (2003). Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. *Society of Economic Geologists Special Publication* 10: 285-314.

Franchini, M., Impiccini, A., Beaufort, D., Patrier, P., Anderson, C. G. y Pons, J. (2012). Mineral assemblages and distribution of phyllosilicates composition along the main section of the Agua Rica deposit, Catamarca, Argentina. Implications for future mine development. *Applied Clay Science* 67: 61-71.

Franchini, M., Impiccini, A., Lentz, D., Ríos, F. J., O'Leary, S., Pons, J. y Schalamuk, A. I. (2011). Porphyry to epithermal transition in the Agua Rica polymetallic deposit, Catamarca, Argentina: An integrated petrologic analysis of ore and alteration parageneses. *Ore Geology Reviews* 41(1): 49-74.

Franchini, M., Mcfarlane, C., Maydagán, L., Reich, M., Lentz, D., Meinert, L. y Bouhier, V. (2015). Trace metals in pyrite and marcasite from the Agua Rica porphyry-high sulfidation epithermal deposit, Catamarca, Argentina: Textural features and metal zoning at the porphyry to epithermal transition. *Ore Geology Reviews* 66: 366-387.

Grønvold, F. y Westrum Jr, E. F. (1962). Heat capacities and thermodynamic functions of iron disulfide (pyrite), iron diselenide, and nickel diselenide from 5 to 350° K. The estimation of standard entropies of transition metal chalcogenides. *Inorganic Chemistry* 1: 36-48.

Gustafson, L.B. y Hunt, J.P. (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Economic Geology* 70: 857-912.

Independent Mining Consultants, Inc. (2014). Estimated mineral resources Altar & Quebrada de la Mina deposits, San Juan province Argentina. Informe inédito.

Irrazaval, V., Sillitoe, R.H., Wilson, A., Toro, J.C., Robles, W., Lyail, G., y Monecke, T. (2010). Discovery History of a Giant, High-Grade, Hypogene porphyry Copper-Molybdenum Deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-Rio Blanco district, Central Chile. *Society of Economic Geologists Special Publication* 15: 253-269.

Jordan, T.E.; Burns, W.M.; Veiga, R.; Pángaro, F.; Copeland, P.; Kelley, S. y Mpodozis, C. (2001). Extension and basin formation in the Southern Andes caused by

increased convergence rate: A mid-Cenozoic trigger for the Andes. *Tectonics* 20: 308-324.

Kay, S.M., Godoy, E. y Kurtz, A. (2005). Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central-Andes. *Geological Society of America Bulletin* 117: 67-88.

Kay, S.M., Maksaev, V., Moscoso R., Mpodozis C., y Nasi C. (1987). Probing the evolving Andean Lithosphere: Mid-Late Tertiary magmatism in Chile (29°–30°30'S) over the modern zone of subhorizontal subduction. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 92(B7): 6173-6190.

Kay, S.M. y Mpodozis, C. (2002). Magmatism as a probe to the Neogene shallowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flat-slab. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 39-57.

Kay, S.M., Mpodozis, C. y Coira, B. (1999). Neogene magmatism, tectonism, and mineral deposits of the Central Andes (22°–33° S latitude. *Society of Economic Geologists Special Publication* 7: 27–59.

Kay, S.M., Mpodozis, C., Ramos, V.A. y Munizaga, F. (1991). Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the Central Andes (28 to 33° S). *Geological Society of America Special Paper* 265: 113–137.

Kesler, S.E., Chryssoulis, S.L. y Simon, G. (2002). Gold in porphyry copper deposits: Its abundance and fate. *Ore Geology Reviews* 21: 103–124.

Kurtz, A. C., Kay, S. M., Charrier, R. y Farrar, E. (1997). Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, Central Chile (34-35° S). *Andean Geology* 24(1): 75-90.

Maksaev, V., Moscoso, R., Mpodozis, C. y Nasi, C. (1984). Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico Superior en la alta cordillera del Norte Chico (29°-31°S): Geología, alteración hidrotermal y mineralización. *Revista Geológica de Chile* 21: 11-51.

Marek, J.M. (2018). Estimated mineral resources Altar project, San Juan province Argentina. *Reporte Técnico*, 190 p.

Martin, M., Clavero R. y Mpodozis, C. (1997). Eocene to late Miocene magmatic development of El Indio belt, 30°S, North Central Chile. 8° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 149-153. Antofagasta.

Masterman, G., Cooke, D., Berry, R., Walshe, J., W. Lee, A. y H. Clark, A. (2005). Fluid Chemistry, Structural Setting, and Emplacement History of the Rosario Cu-Mo Porphyry and Cu-Ag-Au Epithermal Veins, Collahuasi District, Northern Chile. *Economic Geology* 100: 835-862.

Maydagán, L. (2012). El Prospecto de Cu-(Au-Mo) Altar (31° 29'LS, 70°28' LO), San Juan: I. Fertilidad de los intrusivos miocenos en el área II. Secuencia y abundancia de las paragénesis hidrotermales, pasajes de flujos de fluidos III. Evolución geoquímica del sistema hidrotermal. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina, 340 p.

Maydagán, L., Franchini, M., Chiaradia, M., Bouhier, V., Di Giuseppe, N., Rey, R. y Dimieri, L. (2016). Petrogenesis of Quebrada de la Mina and Altar North porphyries (Cordillera of San Juan, Argentina): Crustal assimilation and metallogenic implications. *Geoscience Frontiers* 8(5): 1135-1159.

Maydagán, L., Franchini, M., Chiaradia, M., Dilles, J. y Rey, R. (2014a). Intrusion history of the Altar porphyry Cu-(Mo-Au) deposit (Argentina): a complex magmatic-hydrothermal system with evidence of recharge processes. *Economic Geology* 109: 621-641.

Maydagán, L., Franchini, M., Chiaradia, M., Pons, J., Impiccini, A., Toohey, J. y Rey, R. (2011). Petrology of the Miocene igneous rocks in the Altar Region, Main Cordillera of San Juan, Argentina: A geodynamic model within the context of the Andean flat-slab segment and metallogenesis. *Journal of South American Earth Sciences* 32: 30-48.

Maydagán, L., Franchini, M., Impiccini, A., Lentz, D., Rusk, B., Ríos, F. y Rey, R. (2015). Evolución de los fluidos hidrotermales en el sistema pórfido-epitermal Altar. Resúmenes del 3° Simposio sobre Petrología Ígnea y Metalogénesis Asociada, p. 112-113, General Roca, Argentina.

Maydagán, L., Franchini, M., Lentz, D., Pons, J. y Mcfarlane, C. (2013). Sulfide composition and isotopic signature of the Altar Cu-Au deposit, Argentina: constraints on the evolution of the porphyry-epithermal system. *The Canadian Mineralogist* 51 (6): 813-840.

Maydagán, L., Franchini, M., Rusk, B., Lentz, D., Mcfarlane, C., Impiccini, A., Rios, F. y Rey, R. (2014b). Porphyry to Epithermal Transition in the Altar Cu-(Au-Mo) Deposit, Argentina, Studied by Cathodoluminescence, LA-ICP-MS, and Fluid Inclusion Analysis. *Economic Geology* 110: 889-923.

Mpodozis, C. y Cornejo, P. (2012). Cenozoic tectonics and porphyry copper systems of the Chilean Andes. *Society of Economic Geologists, Special Publication* 16. 329–360.

Mpodozis, C. y Kay, S.M. (1992). Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: Evidence from Chilean Frontal Cordilleran batholiths (28°S to 31°S). *GSA Bulletin* 104 (8): 999–1014.

Mpodozis, C. y Ramos, V. (1989). The Andes of Chile and Argentina, in: *Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources. Earth Sciences Series* 11: 59-90.

Murakami, H., Hun Seo, J. y A. Heinrich, C. (2010). The relation between Cu/Au ratio and formation depth of porphyry-style Cu-Au +/- Mo deposits. *Mineralium Deposita* 45: 11-21.

Nasi C.P., Moscoso R.D. y Makshev V.J. (1990). Hoja Guanta. Servicio Nacional de Geología y Minería. 161p. Santiago de Chile.

Ossandón, G., Fréaut, R., Gustafson, L.B., Lindsay, D.D. y Zentilli, M. (2001). Geology of the Chuquicamata mine: A progress report. *Economic Geology* 96: 249–270.

Peregrine Metals Ltd., 2010, Altar project San Juan province Argentina: NI 43-101 Technical Report, 159 p.

Perelló, J., Sillitoe, R.H., Mpodozis, C., Brockway, H. y Posso, H. (2012). Geologic setting and evolution of the porphyry copper-molybdenum and copper-gold deposits at Los Pelambres, Central Chile. *Society of Economic Geologists Special Publication* 16: 79-104.

Pinget M. M., Dold, B., Zentilli, M. y Fontboté, L. (2015). Reported supergene sphalerite rims at the Chuquicamata porphyry deposit (Northern Chile) revisited: Evidence for a hypogene origin. *Economic Geology* 110: 253-262.

Pudack C., Halter W. E., Heinrich C. A., Pettke T. (2009). Evolution of Magmatic Vapor to Gold-Rich Epithermal Liquid: The Porphyry to Epithermal Transition at Nevados de Famatina, Northwest Argentina. *Economic Geology* 104 (4): 449–477.

Ramos, V.A., Jordan, T.E., Allmendinger, R.W., Mpodozis, C., Kay, S., Cortés, J.M. y Palma, M.A. (1986). Paleozoic terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics* 5(6): 855-880, Washington.

Río Tinto Mining & Exploration (2003). Final report for the Period March to May 2003, Altar Project. Reporte Técnico, 27p.

Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A.S. y Castro, C.E. (2015). Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins. *Journal of the South American Earth Sciences* 63: 48-69.

Sillitoe R. H. (1999). Geology And Exploration Potential Of The Altar And Quebrada De La Mina Porphyry Copper/Gold Prospects, San Juan Province, Argentina, Unpublished report prepared for Rio Tinto Mining & Exploration, Sucursal Argentina. Reporte inédito, 10p.

Sillitoe, R. H. (2003). Initial Drill Core from El Altar Porphyry Copper Prospect, Argentina. Memorandum prepared for Rio Tinto Mining & Exploration, Sucursal Argentina. Reporte inédito, 10 p.

Sillitoe, R. H. (2010). Porphyry copper systems. *Economic geology* 105(1): 3-41.

Sillitoe, R.H., y Perelló, J. (2005). Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. *Society of Economic Geologists, Economic Geology 100th Anniversary Volume*: 845-890.

Stern, C. R., Skewes, M. A. y Arévalo, A. (2010). Magmatic evolution of the giant El Teniente Cu–Mo deposit, central Chile. *Journal of Petrology* 52(7-8): 1591-1617.

Warnaars, F.W., Holmgren, D.C. y Barassi, F.S. (1985). Porphyry copper and tourmaline breccias at Los Bronces-Rio Blanco, Chile. *Economic Geology* 80: 1544-1565.

Wyss, A.R., Flynn, J.J., Norell, M.A., Swisher, C.C. III, Charrier, R., Novacek, M.J. y McKenna, M.C.(1993). South America's earliest rodent and recognition of a new interval of mammalian evolution. *Nature* 365 (6445): 434-437.

Zwahlen, C., Cioldi, S., Wagner, T., Rey, R. y Heinrich, C.A. (2014). The Porphyry Cu- (Mo-Au) Deposit at Altar (Argentina): Tracing Gold Distribution by Vein Mapping and LA-ICP-MS Mineral Analysis. *Economic Geology* 109: 1341-1358.

ANEXO I- Descripciones macroscópicas

ALD 157- Testigo 114 m



Datos geoquímicos

CuT % 0,04
 Au ppm 0,007
 Ag ppm 1,7
 Zn ppm 229
 As ppm 82
 Pb ppm 75

Brecha polimíctica matriz sostén con clastos redondeados a sub-redondeados de pórfido y toba, y clastos angulosos de cuarzo en una matriz alterada a filosilicato + cuarzo con pirita. Jarosita e hidróxidos de hierro supergénicos (limonitas) alteran de manera pervasiva a la mayor parte de los clastos y a la matrix.

Brecha % 100

Clastos % 30

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa	—	→ Filossilicato	20	Pirita	1

		Cuarzo	9		
--	--	--------	---	--	--

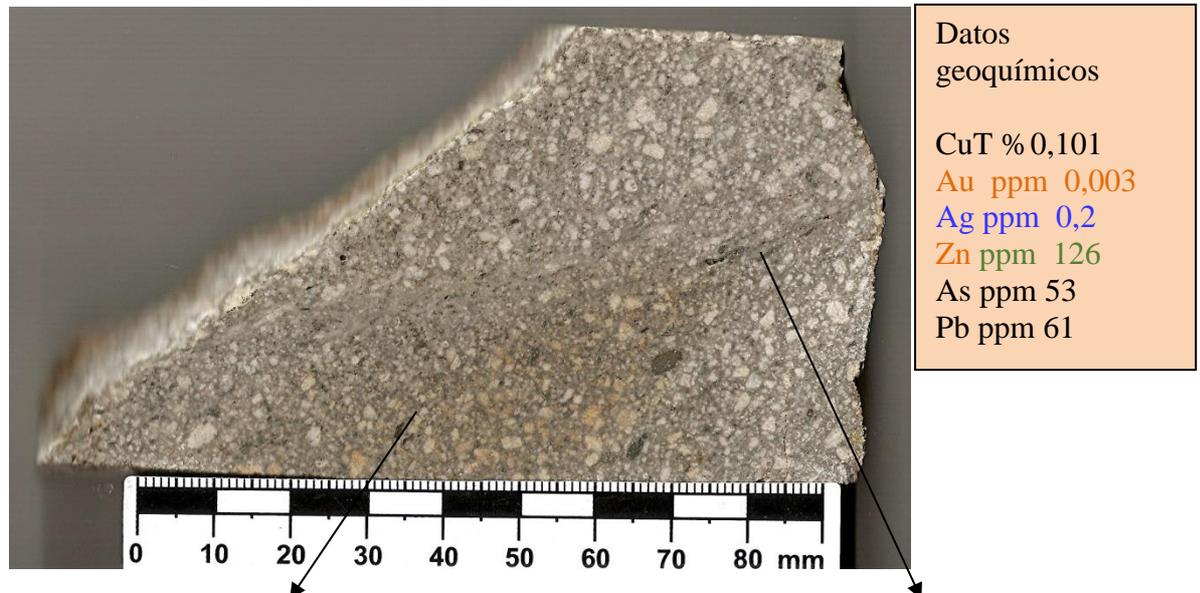
Los fragmentos son de pórfido, roca porfírica de grano muy fino y cuarzo. Los fragmentos de pórfido tienen fenocristales de plagioclasa alterada a filosilicatos, la matrix a cuarzo, presentan pirita diseminada (1%) y algunos están cortados por venillas capilares (<1mm). Los fragmentos de roca porfírica de grano muy fino tienen escasos fenocristales de plagioclasa alterada a filosilicato y la matrix silicificada.

Matriz % 70

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	40	Pirita	15
		Cuarzo	12		
		Óxidos de hierro	3		

La matriz de grano fino (<4mm) está alterada a filosilicato + cuarzo, y muestra mayor proporción de pirita diseminada (15%) en comparación con los clastos. Presenta una alteración pervasiva posterior a jarosita e hidróxidos de hierro.

ALD 157 -Testigo 140 m



Pórfido afectado por alteración clorítica

Bandas afectadas por fluidización cortan al pórfido. Venillas discontinuas de pirita.

Roca porfírica de textura seriada con fenocristales de plagioclasa y mafitos (anfíbol) en una pasta de grano fino. Está afectada por alteración clorítica caracterizada por el reemplazo de la plagioclasa por filosilicato \pm carbonato y el anfíbol a clorita. La pasta está reemplazada por cuarzo hidrotermal, rutilo reemplaza a opacos y se reconocen trazas de pirita.

Roca original % 99.5

	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	84	Pirita (t)	
		Carbonato	3		
Mafitos		Clorita	2		
		Cuarzo	10		
		Rutilo (t)			

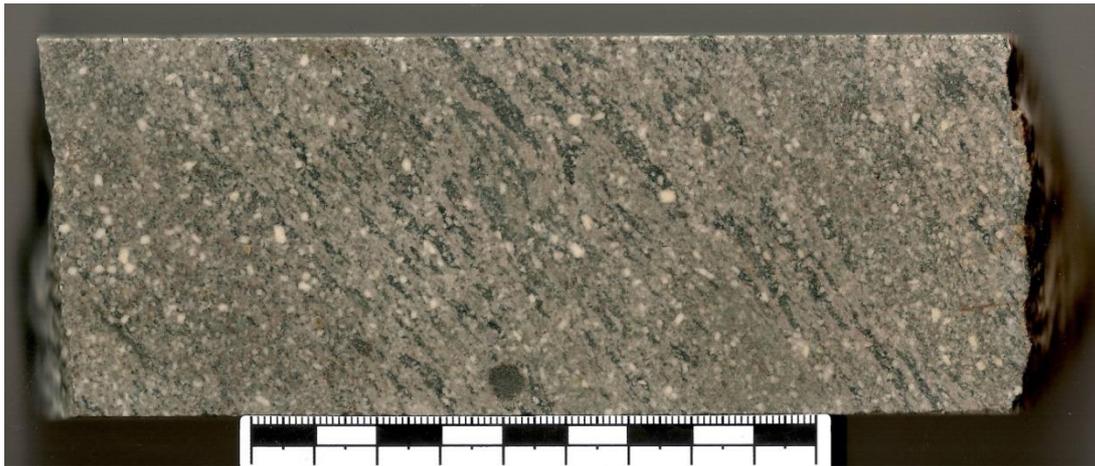
Roca porfírica de textura seriada con fenocristales de plagioclasa (1mm-4mm) y mafitos (1mm-5mm) en una pasta de grano fino. Se observa en el centro una banda de 1cm de espesor con menor tamaño de grano (<1mm) y pérdida de la textura de la roca. Se interpreta como una zona de circulación de fluidos tardíos vinculados a las brechas observadas a lo largo del sondeo.

La alteración es clorítica con la plagioclasa alterada a filosilicato y leve carbonato y mafitos alterados a clorita y la pasta reemplazada por cuarzo hidrotermal, rutilo y trazas de pirita.

Venillas % 0,5

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
				Pirita	0.5

Venilla de pirita 1mm de espesor, discontinua, en el contacto entre la zona central de grano fino y la roca original.

ALD 157- Testigo 107 m**Datos geoquímicos**

CuT % 0,083

Au ppm
0,005

Ag ppm 0,2

Zn ppm 576

As ppm 0,0013

Pb ppm 9

Roca porfírica con fenocristales de plagioclasa y minerales máficos en una pasta de grano fino afectado por alteración propilítica. La plagioclasa está alterada a carbonato y filosilicato y los mafitos a clorita. Rutilo reemplaza a opacos y cuarzo hidrotermal a la pasta. Contiene trazas de pirita y calcopirita.

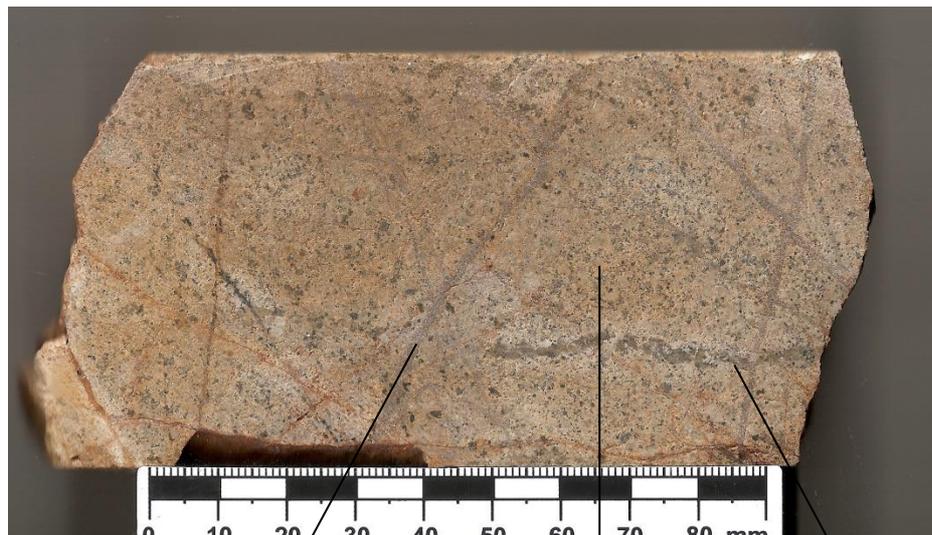
Roca original % 100

	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa	→	Filosilicato	36	Pirita (t)	
		Carbonato	16	Calcopirita? (t)	
		Cuarzo	25		
Mafitos	→	Clorita	16		
		Rutilo	3		
		Óxidos de hierro	4		

Roca porfírica de textura seriada con fenocristales de plagioclasa (1mm- 5mm) y mafitos (1cm) en una pasta de grano fino. Se observa en el testigo un sector central de similar composición con bandas de clorita orientadas que rodean a las plagioclasas. Estas últimas muestran algunos cristales que siguen la orientación de estas bandas (proceso sin-formacional?).

La alteración es clorítica con plagioclasa alterada a filosilicato y carbonato, minerales máficos alterados a clorita y la pasta reemplazada por cuarzo, y en menor proporción rutilo y trazas de pirita y calcopirita? Se reconocen óxidos de hierro supergénicos.

ALD 160 - Testigo 208 m



Datos geoquímicos

CuT % 0,034
 Au ppm 0,316
 Ag ppm 1,1
 Zn ppm 56
 As ppm 196
 Pb ppm 10

Venilla de
cuarzo

Pórfido afectado por
alteración fílica y
supergénica

Venilla de
filosilicato con
hematita

Pórfido con fenocristales de plagioclasa en una pasta de grano fino, afectado por alteración fílica y supergénica sobreimpuesta. Contiene mineralización de hematita.

Roca original % 95

	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	62	Hematita	3

		Jarosita	30		

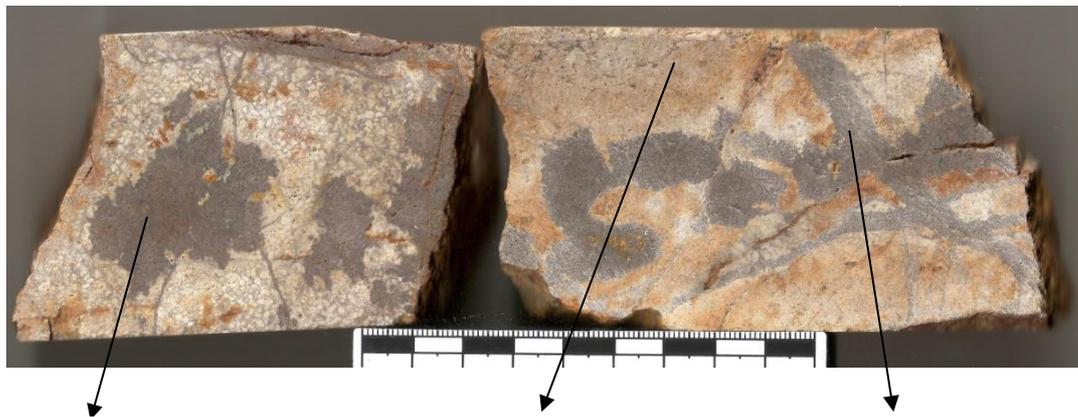
Pórfido con fenocristales de plagioclasa (1- 4 mm) alterados a filosilicato en una pasta de grano fino alterada a filosilicato con jarosita. Contiene abundante hematita diseminada.

Venillas % 5

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	3			Hematita	1
Filosilicato	1				

El pórfido se encuentra atravesado por una venilla irregular de 3mm de espesor de filosilicato con hematita, y por venillas posteriores de cuarzo finas (1-2mm) con escasa hematita.

ALD 160 - Testigo 256 m



Datos geoquímicos

CuT % 0,044
 Au ppm 0,568
 Ag ppm 1,6
 Zn ppm 84
 As ppm 172
 Pb ppm 10

Fragmentos irregulares de venillas de cuarzo

Pórfido con textura obliterada por alteración fílica y supergénica

Venillas de cuarzo

Pórfido con fenocristales de plagioclasa en una pasta de grano fino, afectado por alteración fílica y supergénica sobreimpuesta (zona de lixiviación).

Roca original % 55

	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	40		
		Jarosita	15		

Pórfido con fenocristales de plagioclasa (1-2 mm) alterados a filosilicato, en un pasta de grano fino reemplazada por filosilicato. Jarosita tardía reemplaza a venillas y parcialmente a la matrix de la roca.

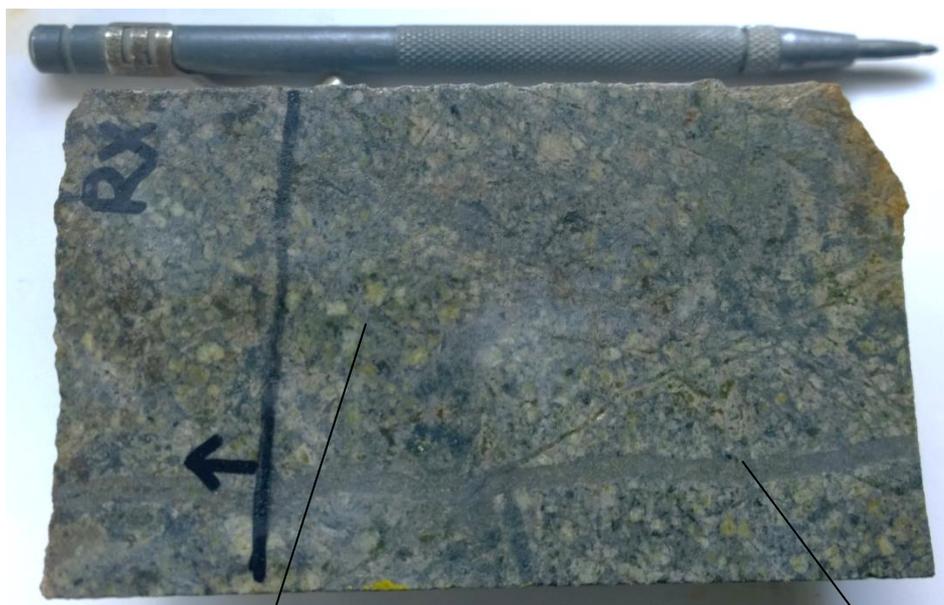
Venillas % 45

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	43	Jarosita	2	Hematita(t)	

El pórfido se encuentra atravesado por las siguientes venillas:

- 1- Fragmentos irregulares de venillas de cuarzo (0,5-3 cm).
- 2- Venillas de cuarzo de paredes rectas (1 cm) con sutura central y presencia de jarosita y hematita.
- 3- Venillas de cuarzo finas (1 mm) dislocan a las de paredes rectas.

ALD 160 - Testigo 286 m



Datos geoquímicos

CuT % 0,04
 Au ppm 0,213
 Ag ppm 2.4
 Zn ppm 71
 As ppm 87
 Pb ppm 23

Pórfido afectado por alteración clorítica y potásica.

Venillas de cuarzo

Pórfido con fenocristales de plagioclasa en una pasta de grano fino, afectado por alteración clorítica y potásica. Contiene hematita diseminada.

Roca original % 95

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Feldespato	25	Hematita	5
		Filosilicato	15		
		Clorita	20		
		Cuarzo	30		

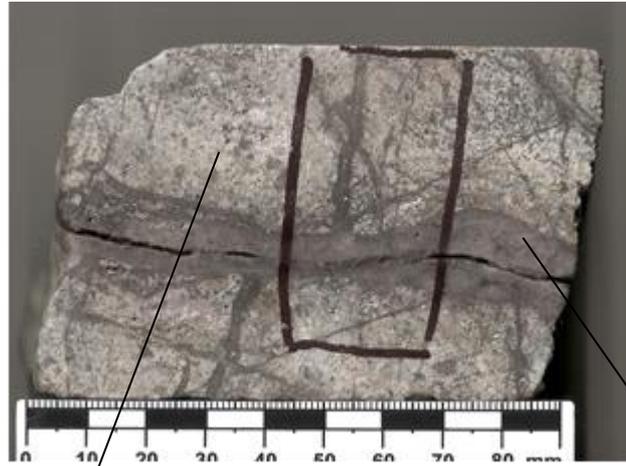
Pórfido con fenocristales de plagioclasa (2-4mm) alterados a feldespato y filosilicato, minerales máficos alterados a clorita en una pasta de grano fino reemplazada por clorita y cuarzo. Contiene abundante hematita diseminada.

Venillas % 5

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	4			Hematita	1

El pórfido se encuentra atravesado por las siguientes venillas:

- 1- cuarzo oscuro (2mm) con hematita diseminada.
- 2- Cuarzo claro (3mm) con sutura central rellena con hematita corta a la anterior
- 3- Cuarzo claro (1mm) + hematita corta a la anterior

ALD 160 - Testigo 356 m

Pórfido afectado por alteración
fílica

3 generaciones de venillas de
cuarzo y sulfuros

Pórfido afectado por alteración fílica con fenocristales de plagioclasa alterados a filosilicato y la pasta a cuarzo. Contiene mineralización de calcopirita y digenita.

Roca original % 70

	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		→ Filossilicato	45	Calcopirita	3
		Cuarzo	20	Digenita	2

Pórfido con fenocristales de plagioclasa (1-3 mm) alterados a filosilicato en una pasta de grano fino con cuarzo secundario (1-2 mm). Contiene cristales diseminados de calcopirita y digenita.

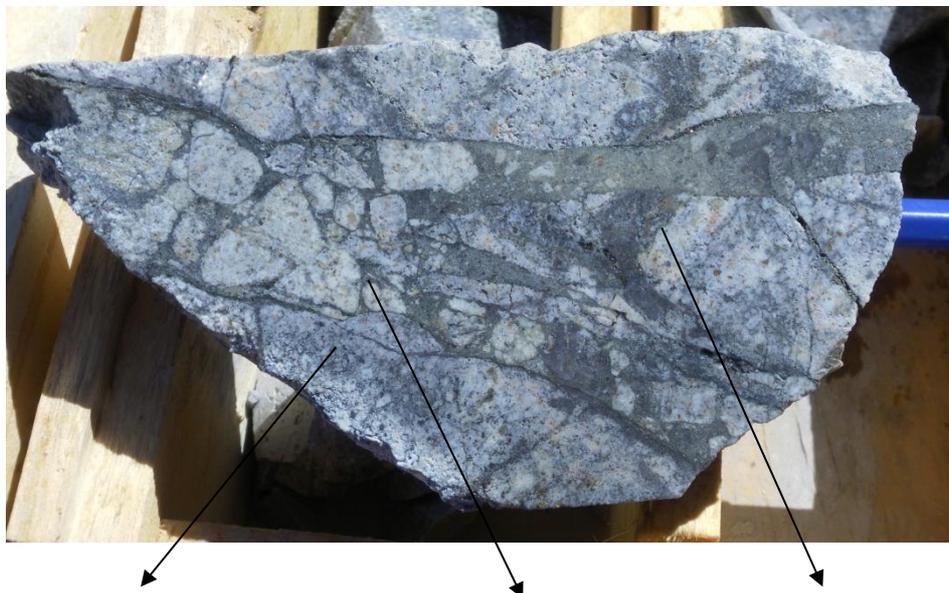
Venillas % 30

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	24			Calcopirita	3
				Pirita	2
				Digenita	1

El pórfido se encuentra atravesado por las siguientes venillas:

- 1- cuarzo oscuro fina (2mm) con paredes rectas y abundante calcopirita parcialmente alterada a digenita.
- 2- cuarzo de paredes irregulares (1 cm) con sutura central rellena con pirita y trazas de calcopirita,
- 3- cuarzo claro fina de paredes irregulares (1 mm) con calcopirita diseminada.

La roca presenta fragmentos de cuarzo de la primera generación de venillas y abundante mineralización de calcopirita, pirita y digenita.

ALD 160 - Testigo 383,7 m**Datos geoquímicos**

CuT % 1,145
 Au ppm 0,261
 Ag ppm 3,1
 Zn ppm 127
 As ppm 77
 Pb ppm 11

Pórfido afectado por
alteración fílica

Subtipo Brecha
polimíctica 2

Venillas de cuarzo
oscuro

Pórfido afectado por alteración fílica con fenocristales de plagioclasa alterados a filosilicato y la pasta por cuarzo. Contiene mineralización de calcopirita y digenita.

Pórfido 30%

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		→ Filossilicato	24	Calcopirita	2
		Cuarzo	3	Digenita	1

Pórfido con fenocristales de plagioclasa (2-4 mm) alterados totalmente a filossilicato, en una pasta de grano fino con escasos cristales de cuarzo secundario. Contiene calcopirita diseminada y digenita.

Venillas 5 %

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	3.5			Pirita	1
				Calcopirita	0.5
				Digenita (t)	

El pórfido se encuentra atravesado por venillas irregulares y discontinuas de cuarzo oscuro de 0,5- 1 cm de espesor. Una venilla de pirita y calcopirita alterada a digenita de 1 mm de espesor atraviesa a la brecha polimíctica.

Subtipo Brecha polimíctica 2 65 %

Clastos 60 %

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		→ Filossilicato	55	Pirita	0.3
Cuarzo		Cuarzo	4.5	Calcopirita	0.2
				Digenita (t)	

Matriz 40 %

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	25	Pirita	1
		Clorita	13.5	Calcopirita	0.5
				Digenita (t)	

Un subtipo de la brecha polimíctica 2 de 3 cm de espesor corta a estas venillas, y grada de brecha monomíctica clasto-sostén con fragmentos de pórfido en una matriz alterada a filosilicato y clorita a una brecha polimíctica matriz sostén con clastos de pórfido y cuarzo. El tamaño de los clastos varía entre <1mm hasta 2 cm. Los clastos de mayor tamaño se encuentran más redondeados. La brecha contiene mineralización de pirita, calcopirita y digenita diseminada en la matriz y en los clastos, con mayor abundancia en la matriz.

ANEXO II- Descripciones microscópicas**ALD 157 - Testigo 113,4 m****Brecha polimíctica 1 % 70****Clastos % 50**

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa	34 →	Feldespato	1	Pirita	5
		Filosilicato	7		
		Cuarzo	3		

Los clastos son de pórfido con fenocristales de plagioclasa (100- 400 μm) en una matriz de grano fino. Los fenocristales de plagioclasa se encuentran parcialmente alterados a feldespato y filosilicato, mientras que la matriz está reemplazada parcialmente por filosilicato y cuarzo hidrotermal. En ciertos fragmentos la alteración es moderada con preservación de la textura magmática y en otros es más intensa con pérdida de textura original y mayor porcentaje de cuarzo hidrotermal. La mineralización en los clastos es pirita.

Matriz % 20

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa	→	Filosilicato	6	Pirita	10
		Cuarzo	2	Calcopirita	1
		Feldespato	1	Esfalerita(t)	
				Tenantita(t)	
				Marcasita(t)	
				Digenita (t)	

La matriz está formada por fragmentos de cristales angulosos y redondeados de cuarzo y feldespato (<200 μm) afectados por alteración fílica con cuarzo hidrotermal y

filosilicato. También se reconocen algunos clastos de menor tamaño (100 μm) de roca porfírica redondeados, fragmentos con abundante pirita diseminada.

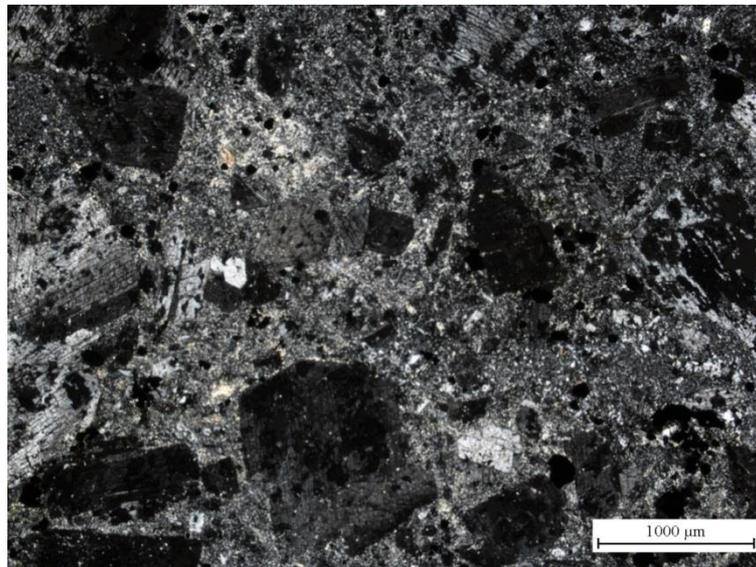
La mineralización en la matriz consiste en dos poblaciones de pirita anhedral a subhedral (30 μm - 2 mm) con calcopirita (60- 270 μm) y trazas de esfalerita, tenantita y marcasita. La digenita fractura a la calcopirita y reemplaza a esfalerita y calcopirita según sus bordes.

Pórfido % 30

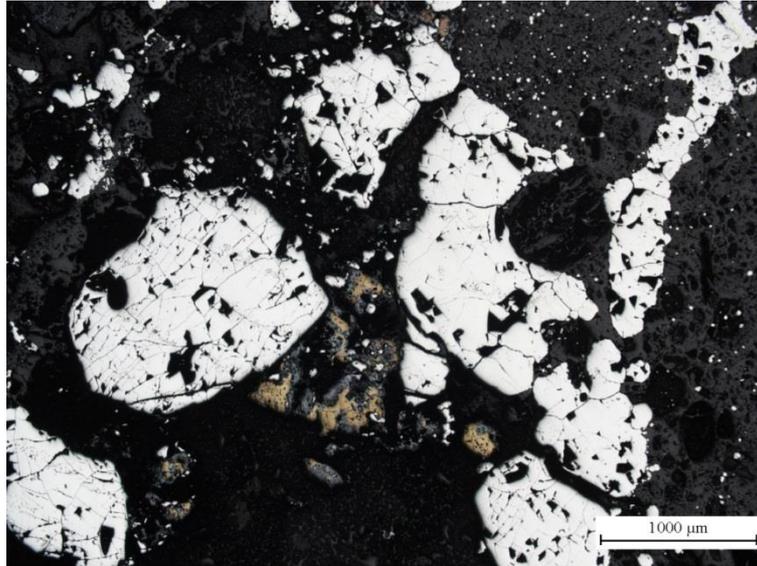
Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	28	Pirita (t)	
		Rutilo	2	Digenita (t)	

Pórfido con fenocristales de plagioclasa (1 – 4mm) alterados a filosilicato, en una pasta de grano fino con rutilo y trazas de pirita y digenita.

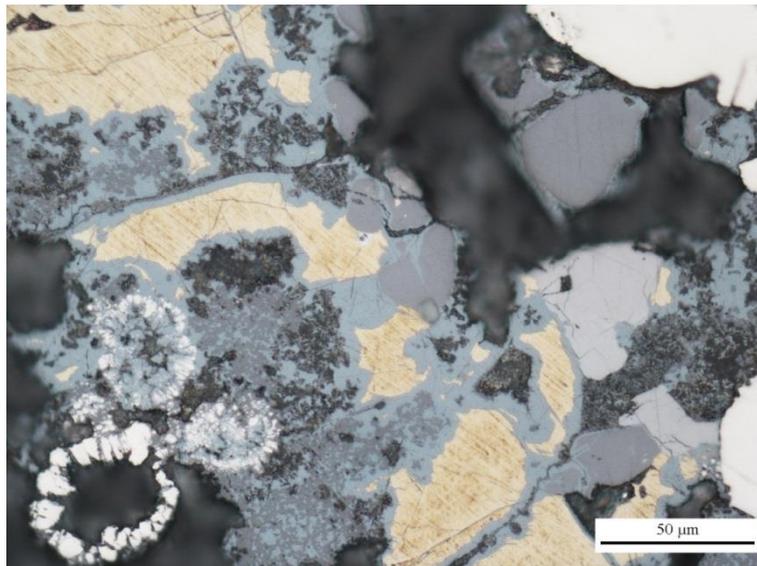
Fotos:



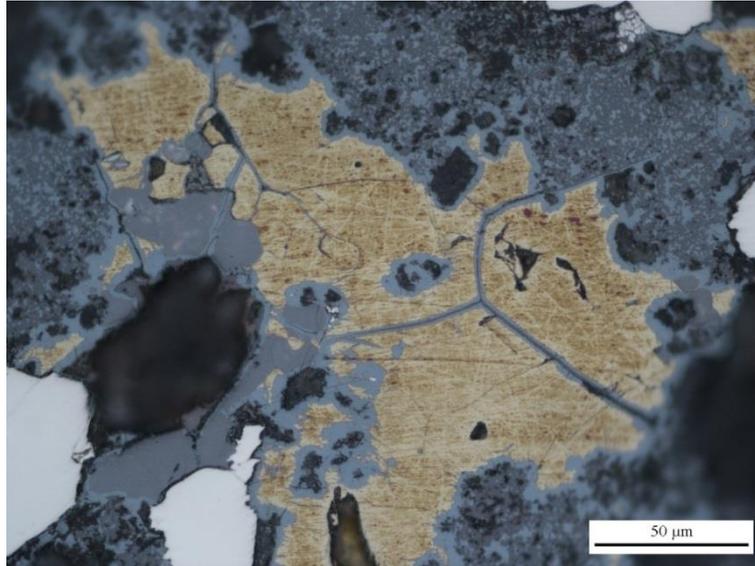
- A. ALD 157- Testigo 113,4 m. Clasto de pórfido con fenocristales de plagioclasa levemente alterados a filosilicatos en una pasta reemplazada parcialmente por filosilicato y cuarzo hidrotermal. Nicoles cruzados.



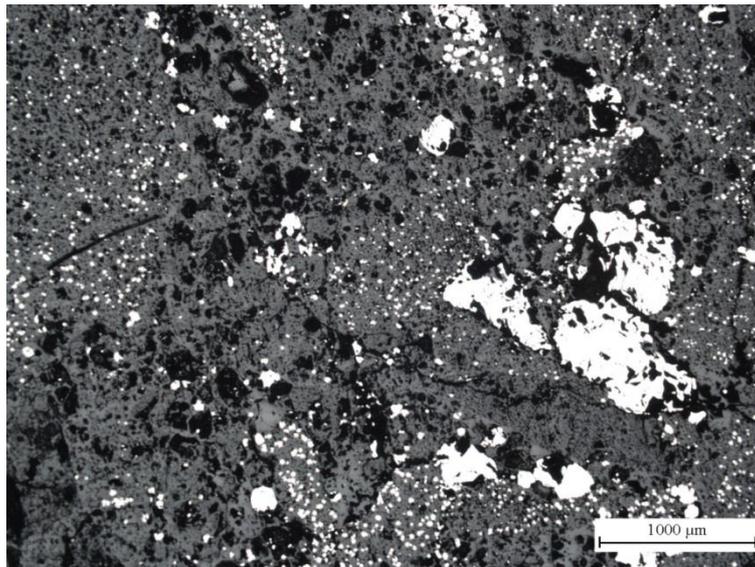
B. ALD 157- Testigo 113,4 m. Cristales subhedrales de pirita fracturados, calcopirita anhedral reemplazada según sus bordes por digenita. Nícoles paralelos.



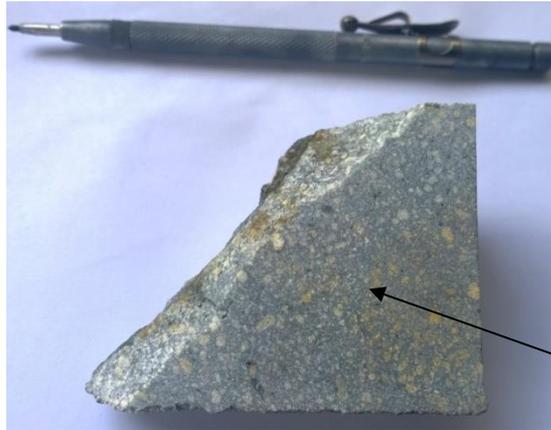
C. ALD 157- Testigo 113,4 m. Calcopirita y esfalerita (gris oscuro) alteradas por digenita según sus bordes, con y tenanita en equilibrio con pirita y digenita y soles de marcasita. Nícoles paralelos.



- D. ALD 157- Testigo 113,4 m. Calcopirita fracturada, en equilibrio con esfalerita y pirita. Digenita reemplaza a la calcopirita en fracturas, dentro del cristal y según su borde. La esfalerita también es reemplazada por digenita según sus bordes. Nícoles paralelos.



- E. ALD 157- Testigo 113,4 m. Dos poblaciones de pirita diseminada en matriz, de grano fino (10 μm -20 μm) a grueso (1 cm). Nícoles paralelos.

ALD 157 - Testigo 144 m

Pórfido con
alteración fílica y
supergénica

Datos geoquímicos
(144-146m):

CuT % 0.21
 Au ppm 0.003
 Ag ppm 0.2
 Zn ppm 233
 As ppm 61
 Mo ppm 1
 Pb ppm 26

Pórfido % 99,5

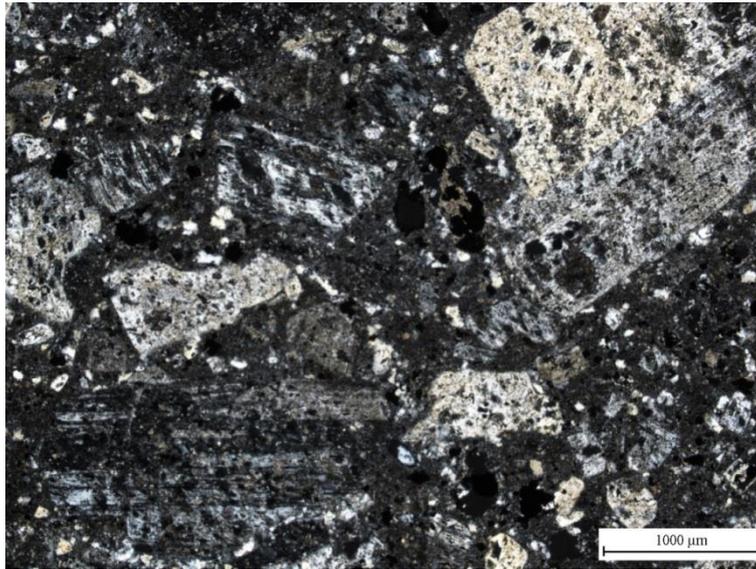
Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa	→	Filosilicato	5	Pirita	4
Mafitos	→	Clorita	5		
		Cuarzo	5	Esfalerita(t)	
		Jarosita	1	Calcopirita(t)	
Ilmenita	→	Rutilo Apatito (t)	1,5	Digenita± covelina (t)	

El pórfido presenta fenocristales de plagioclasa (300 μ m- 2,5 mm) con maclas paralelas parcialmente alterados a filosilicatos. La pasta se encuentra reemplazada por filosilicato y cuarzo anhedral de grano fino (10-70 μ m) y rutilo reemplazando a opaco previo (ilmenita) junto con minerales de titanio (leucóxeno). La mineralización diseminada es pirita subhedral (10- 300 μ m) y trazas de calcopirita con bordes alterados a digenita, esfalerita con inclusiones de calcopirita, con digenita \pm covelina alterando los bordes de la esfalerita.

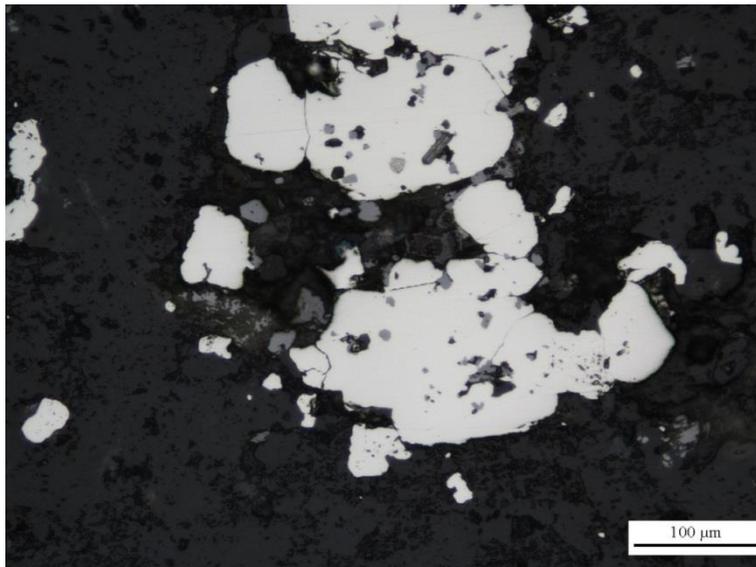
Venillas % 0,5

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
				Pirita	0,5

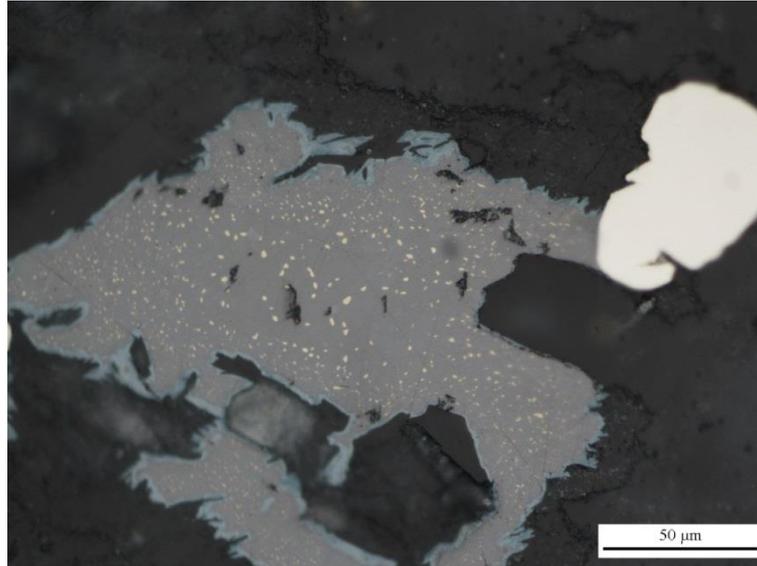
El pórfido se encuentra atravesado por venillas finas (1mm) y discontinuas de pirita.

Fotos:

- A. ALD 157- Testigo 144m. Fenocristales de plagioclasa parcialmente alteradas a filossilicato y opacos en una pasta reemplazada por filossilicato y cuarzo anhedral de grano fino. Nicoles cruzados.



- B. ALD 157- Testigo 144m. Cristales diseminados en roca de pirita subhedrales con inclusiones de rutilo (gris). Nicoles paralelos.



C. ALD 157- Testigo 144m. Pirita subhedral en equilibrio con esfalerita con inclusiones de calcopirita, con digenita ± covelina alterando los bordes de la esfalerita.

ALD 160 - Testigo 312 m



Venillas de cuarzo irregulares

Pórfido con alteración potásica y sobreimpresión clorítica

Datos geoquímicos (312-314 m):	
CuT %	1.44
Au ppm	0.321
Ag ppm	2.7
Zn ppm	63
As ppm	25
Mo ppm	8
Pb ppm	13

Roca 55 %

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Feldespato	38	Hematita	3
		Filosilicato	4,5		
Mafitos		Biotita	2	Digenita	1
		Cuarzo	5	Calcopirita	0,5
		Clorita	1		

Pórfido con fenocristales de plagioclasa (0,4 - 1,7 mm) y minerales máficos (15- 70 µm) en una pasta de grano fino. Los fenocristales de plagioclasa están alterados

a feldespato con sobreimpresión de filosilicato y los mafitos están alterados por biotita reemplazada parcialmente a clorita. La mineralización diseminada es hematita que según un opaco previo (magnetita?) y calcopirita anhedral (50- 240 μm) reemplazada según sus bordes por digenita.

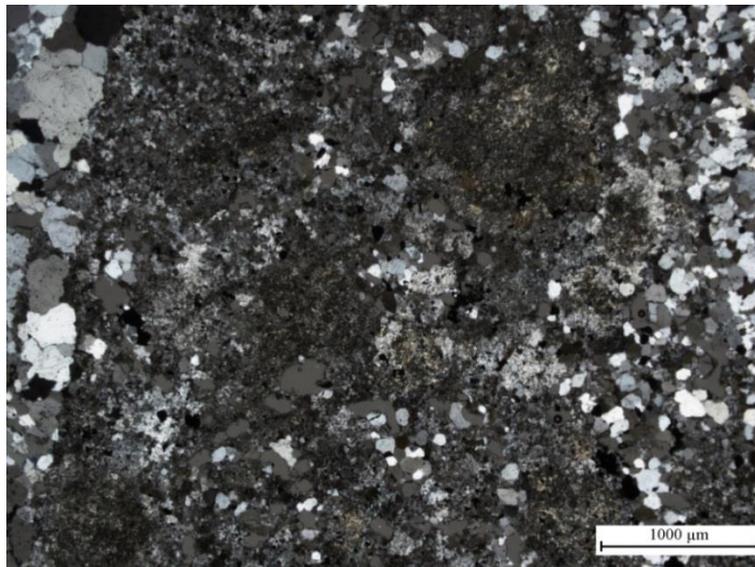
Venillas %45

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	41,8			Calcopirita	2
				Digenita	1
				Hematita	0,2
				Bornita (t)	

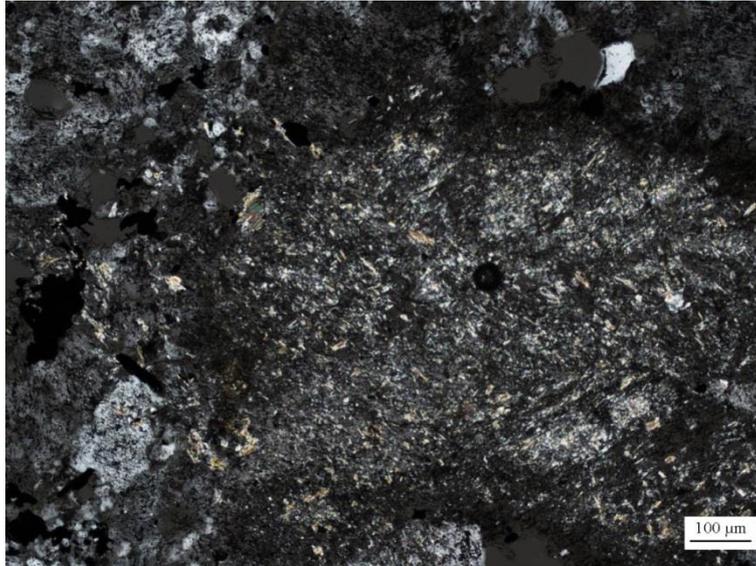
La roca está cortada por tres generaciones de venillas:

1. Fragmentos de venillas tipo A de 2 mm de espesor, constituidas por cuarzo anhedral con abundante calcopirita, magnetita con martitización y trazas de bornita (6 μm) en equilibrio con calcopirita. La calcopirita está reemplazada en forma centrípeta por la digenita, y hematita reemplaza a la magnetita previa.
2. Venilla de cuarzo similar a venilla A con calcopirita, digenita y menor porcentaje de hematita.
3. Venilla fina de cuarzo con calcopirita, digenita y hematita.

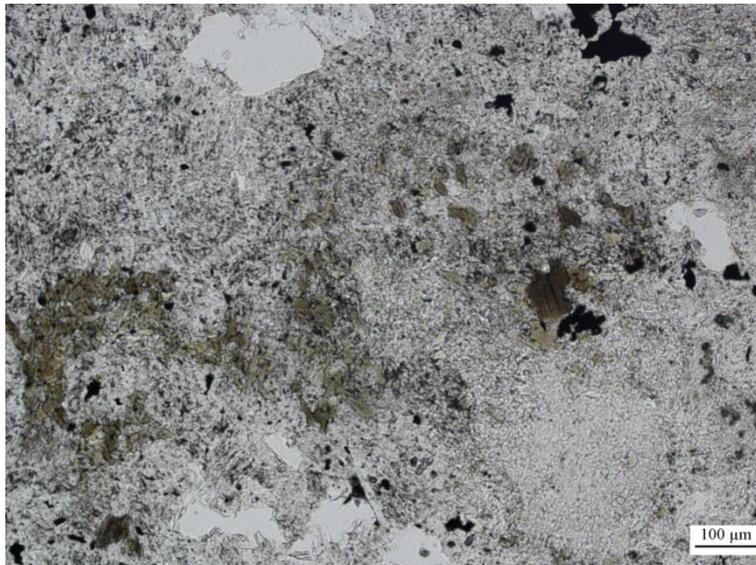
Fotos:



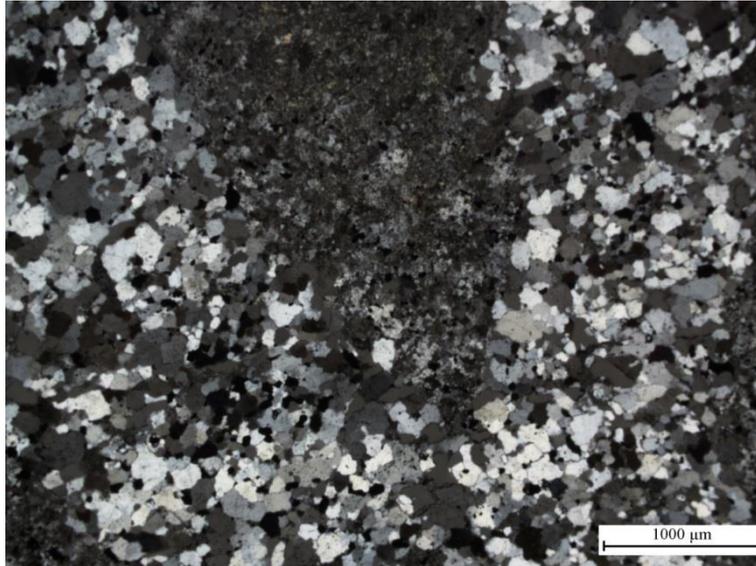
- A. ALD 160- Testigo 312. Pórfido con fenocristales de plagioclasa alterados a feldespato y filosilicato y mafitos alterados a biotita en una pasta de grano fino. Nícoles cruzados.



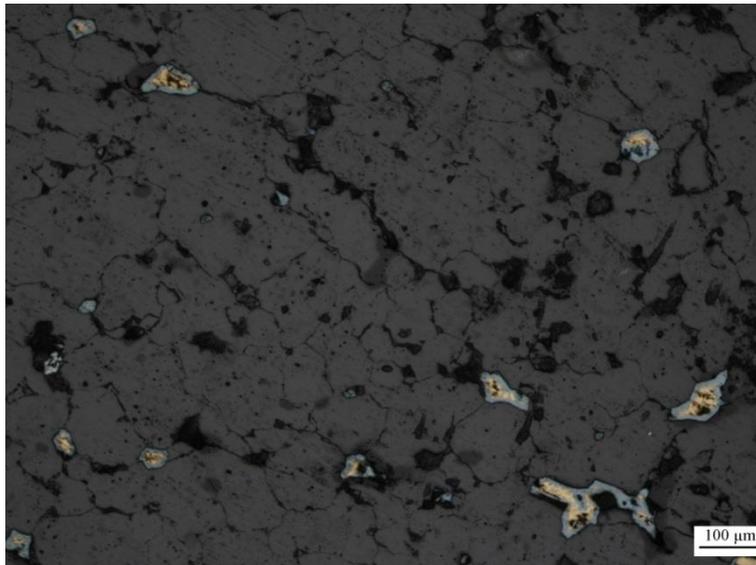
B. ALD 160- Testigo 312. Detalle de alteración de plagioclasa por feldespato y filosilicato posterior. Nícoles cruzados.



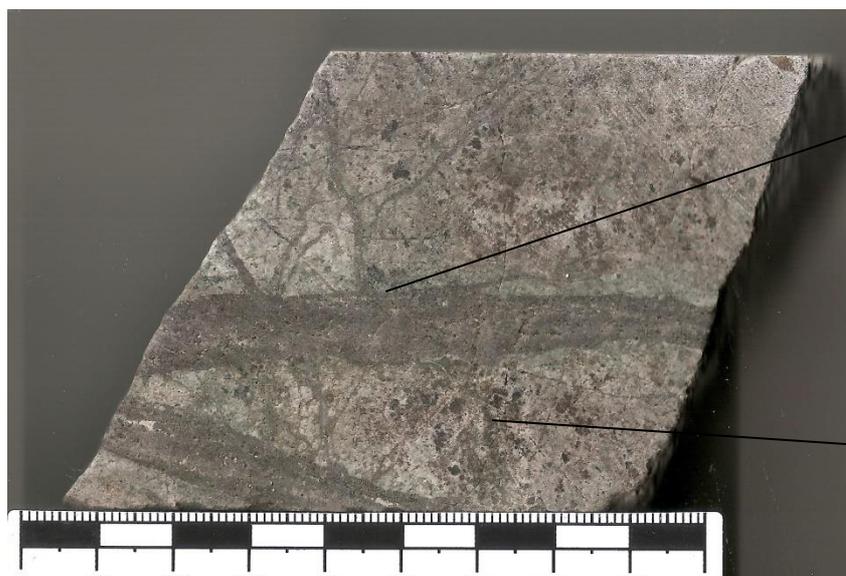
C. ALD 160- Testigo 312. Relictos de biotita secundaria parcialmente alterada a clorita, asociada a opacos. Nícoles paralelos.



D. ALD 160- Testigo 312. Stockwork de venillas tipo A de cuarzo granular con paredes rectas y opacos diseminados. Nicoles cruzados.



E. ALD 160- Testigo 312. Calcopirita reemplazada por digenita según sus bordes en venilla. Nicoles paralelos.

ALD 160 - Testigo 366 m

Venilla de
cuarzo con
reapertura

Pórfido con
alteración potásica,
clorítica y fílica

Datos geoquímicos
(366 -368m):

CuT % 0.79

Au ppm 0.203

Ag ppm 3

Zn ppm 152

As ppm 56

Mo ppm 10

Pb ppm 13

Sb ppm 4

Roca original % 40

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Feldespato	29	Hematita	1
Mafitos		Biotita	2	Calcopirita	0,5
		Clorita	2	Digenita(t)	
		Cuarzo	5,5	Pirita(t)	
		Rutilo(t)			

El pórfido presenta fenocristales de plagioclasa (400 μ m- 1,5 mm) totalmente alterados a feldespato formando un halo irregular alrededor de los mismos. Los minerales máficos están reemplazados por biotita (70- 300 μ m), y la pasta se encuentra reemplazada por filosilicato con trazas de rutilo. La mineralización diseminada es hematita y calcopirita anhedral en equilibrio, con trazas de pirita subhedral de grano fino. Digenita (trazas) reemplaza a calcopirita según sus bordes.

Venillas % 60

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	56,5	Biotita	1	Calcopirita	2
		Filosilicato			
		Turmalina (t)		Pirita	0,5
		Rutilo (t)			

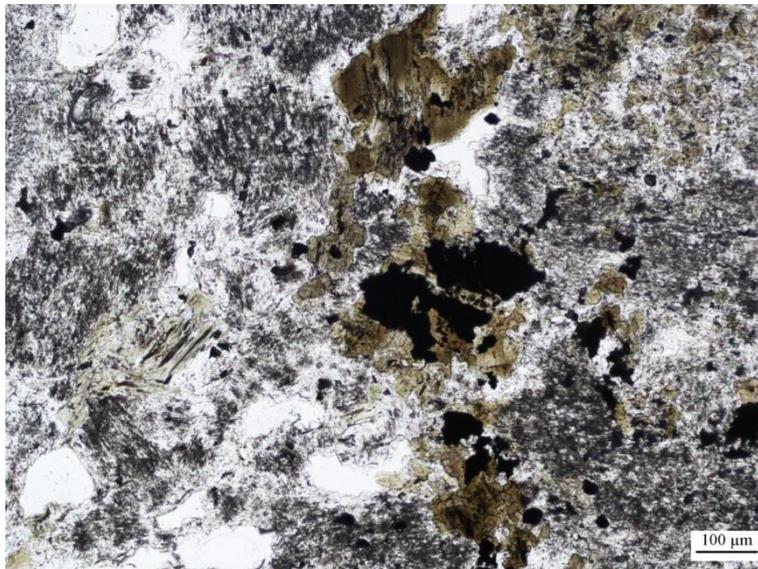
La roca está cortada por las siguientes venillas:

- Stockwork de venillas tipo A continuas y de paredes rectas de 1 cm de espesor con cristales de cuarzo oscuro granular (150- 480 μ m) y suturas centrales con sulfuros

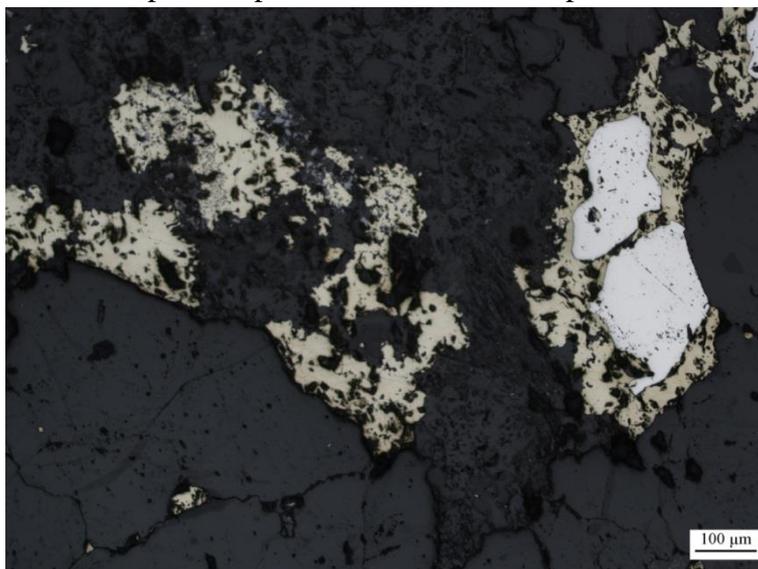
(Calcopirita y trazas de pirita). La calcopirita tiene inclusiones de rutilo y se encuentra englobando cristales de pirita.

5. Microvenillas de cuarzo con calcopirita \pm pirita y filosilicato atraviesan a las venillas A.
6. Venilla de filosilicato discontinua (250 μ m – 1 mm) con calcopirita anhedral (300- 900 μ m), pirita subhedral (95 - 225 μ m) y turmalina.
7. Venilla de calcopirita subhedral (76 μ m espesor) con trazas de pirita. No se observan relaciones de corte con las demás venillas.

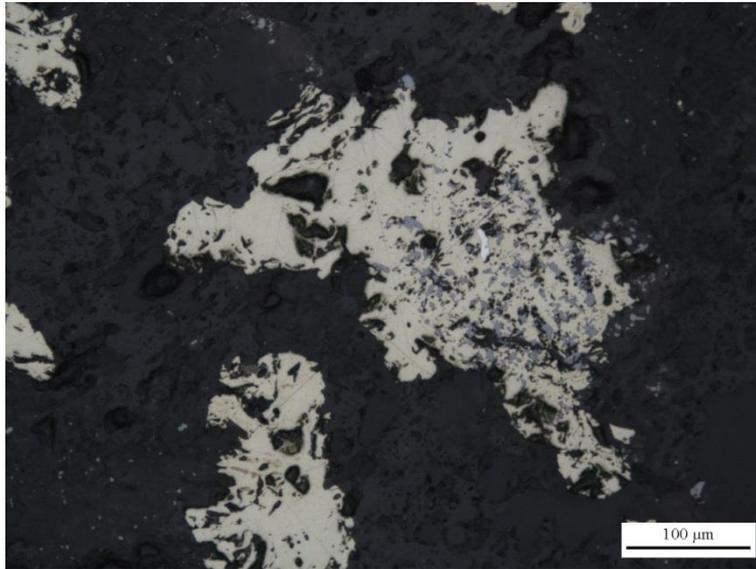
Fotos:



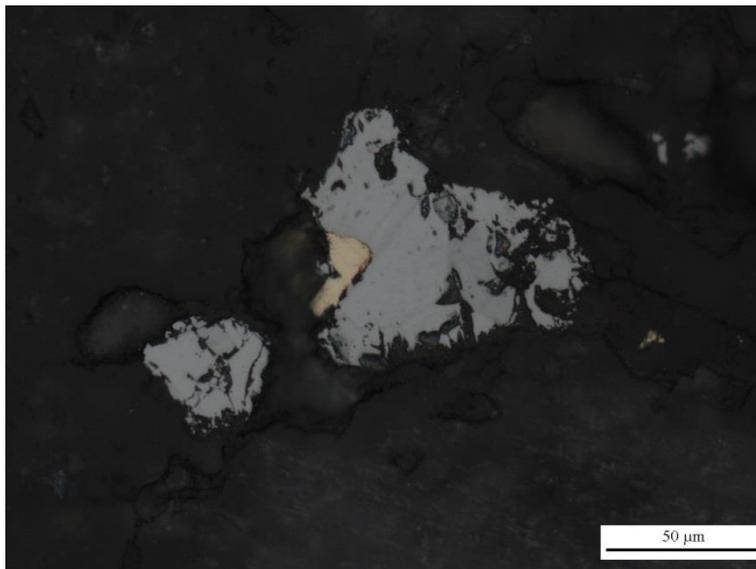
- A. ALD 160- Testigo 366 - Pórfido con fenocristales de plagioclasa alterados a feldespato, minerales máficos reemplazados por biotita asociada a opacos. Pasta de grano fino reemplazada por filosilicato. Nicoles paralelos.



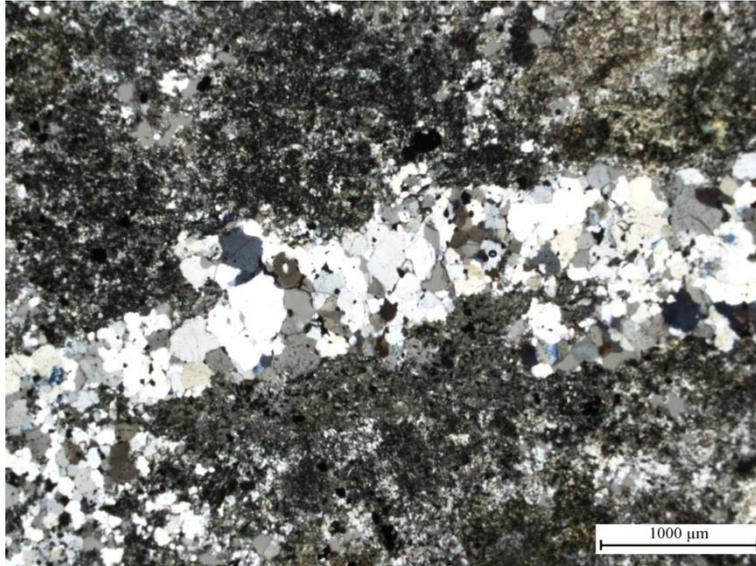
- B. ALD 160- Testigo 366. Venilla tipo A: Cristales de calcopirita anhedral con inclusiones de rutilo engloban a pirita subhedral. Nicoles paralelos.



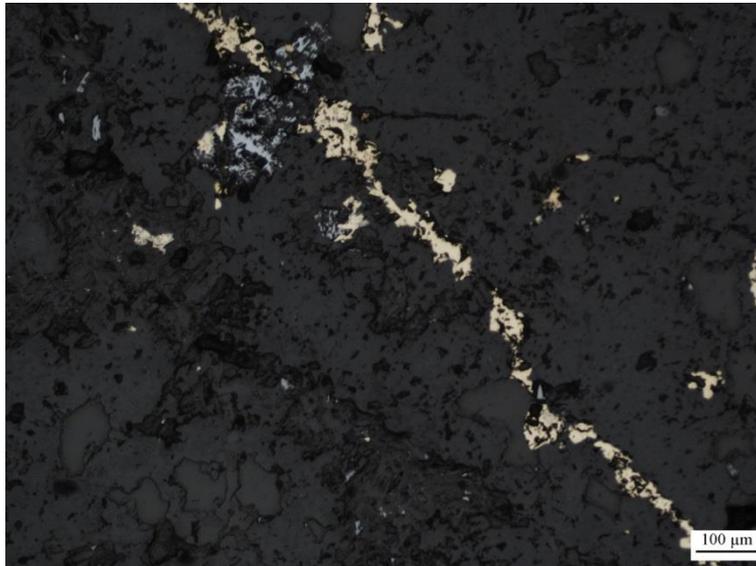
- C. ALD 160- Testigo 366. Venilla tipo A: Cristales de Calcopirita con inclusiones de rutilo englobando a pirita. Nicoles paralelos.



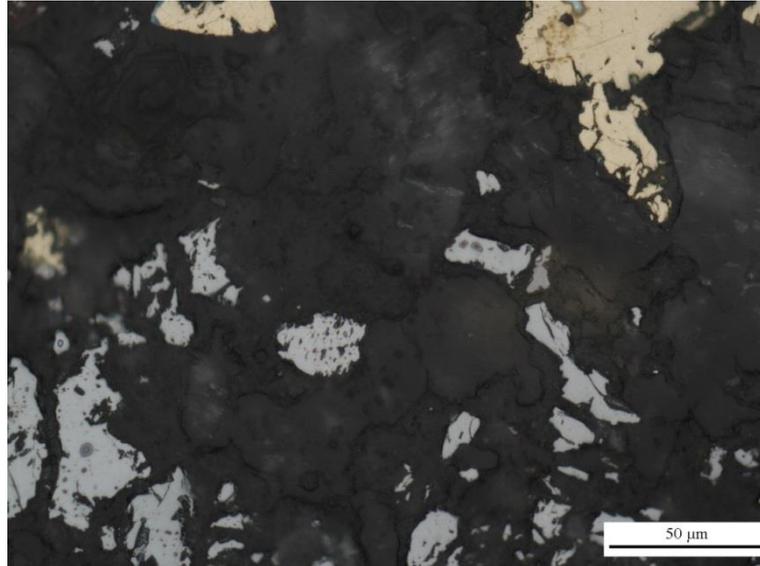
- D. ALD 160- Testigo 366. Hematita en equilibrio con calcopirita diseminadas en la roca. Nicoles cruzados.



E. ALD 160- Testigo 366. Venilla tipo A de cuarzo anhedral con halo de clorita. Nicoles cruzados.

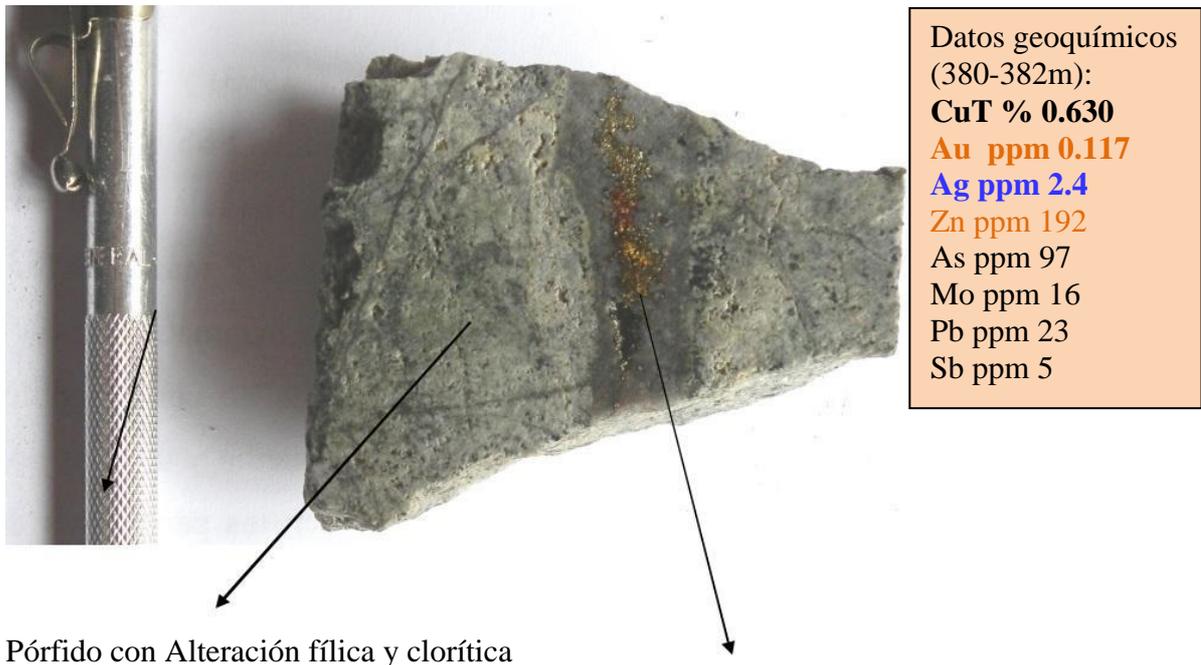


F. ALD 160- Testigo 366. Venilla de calcopirita atraviesa la roca y hematita diseminadas. Nicoles paralelos.



G. ALD 160- Testigo 366. Detalle de hematita asociada a venilla de calcopirita. Nicoles paralelos.

ALD 160 - Testigo 381 m



Pórfido con Alteración fílica y clorítica

Venilla de cuarzo reabierto por venilla de sulfuros

Resumen: Pórfido con alteración fílica (filosilicato + cuarzo ± turmalina ± rutilo) con fenocristales y pasta reemplazados por filosilicato, cuarzo y turmalina. En sectores presenta relictos de alteración clorítica (clorita + hematita). Contiene mineralización de calcopirita de grano muy fino, cristales de pirita subordinados y trazas de bornita (41 μm).

Mineralogía**Pórfido 70%**

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	35	Hematita	0,7
		Cuarzo	18,5	Calcopirita	0,5
		Clorita	15	Digenita	0,1
		Rutilo	0,1	Bornita (t)	
		Turmalina	0,1	Pirita (t)	

Venilla 30%

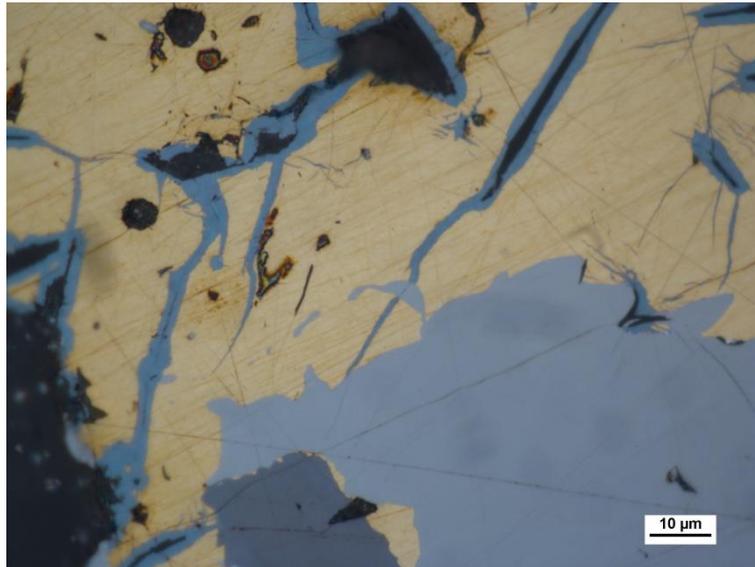
Mayoritarios	Est %	Minoritarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	25,3	Rutilo	0,1	Calcopirita	2,5
				Pirita	1,5
				Tenantita	0,5
				Digenita	0,1
				Bornita (t)	

La roca está cortada por las siguientes venillas:

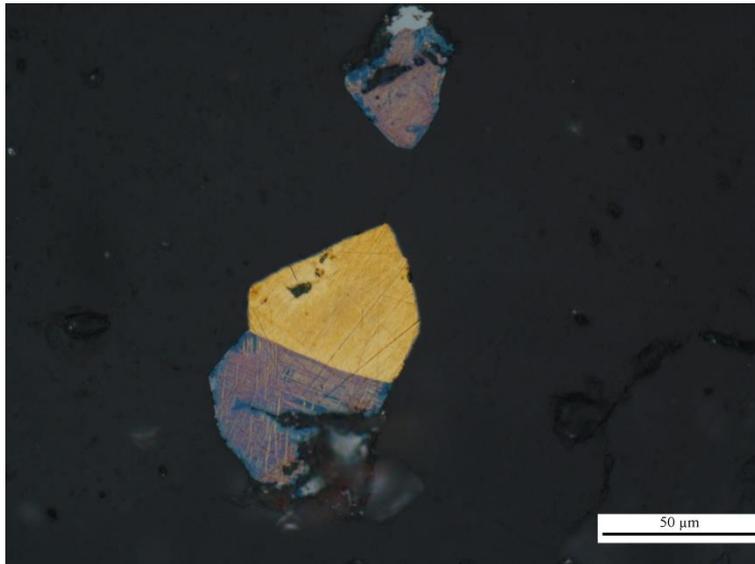
1. Venilla de cuarzo tipo "A" con reapertura. En los bordes presenta cristales de cuarzo anhedral de grano variable (700-100 μm) y hacia el centro los cristales de cuarzo se tornan subhedrales y de grano grueso (760- 400 μm) con menor contenido de inclusiones fluidas.
2. La venilla de cuarzo está reabierto por una venilla tardía tipo "D" de 1 a 6 mm de espesor, constituida por pirita fracturada por calcopirita. La calcopirita está en sectores reemplazada por tenantita.

En la roca hay fragmentos de venillas de cuarzo anhedral con sulfuros (calcopirita y bornita en equilibrio; hematita y digenita reemplazan a bornita).

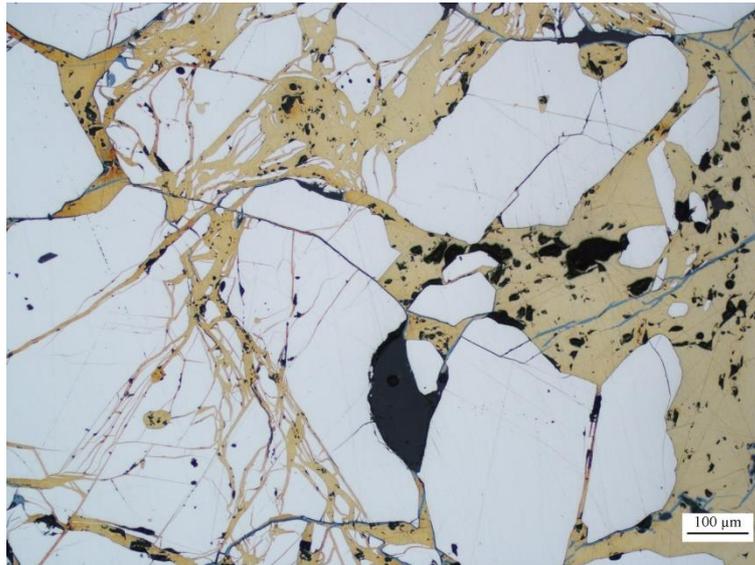
Digenita (supergénica) reemplaza a calcopirita por sus bordes y en microvenillas; no reemplaza a tenantita.

Fotos

A. Sondeo 160 -testigo 381 m. En la venilla de sulfuros tipo “D”, tennantita (gris) reemplaza a calcopirita. Digenita (celeste) reemplaza según venillas a calcopirita (amarillo) y corta pero no reemplaza a la tenantita.

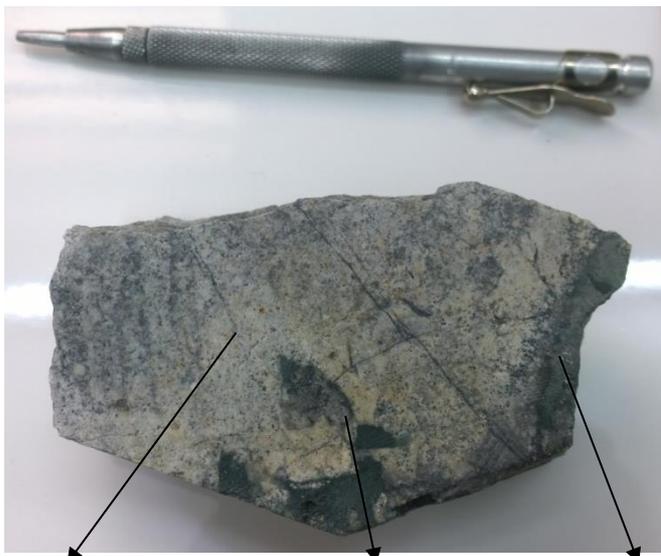


B. Sondeo 160 -testigo 381 m. Calcopirita (amarillo) y bornita (rosa) en equilibrio en venilla de cuarzo anhedral. Covelina (azul) y digenita (celeste) reemplazan a bornita según bordes y fractura.



C. Sondeo 160 -testigo 381 m. Pirita fracturada (blanco) e invadida por calcopirita (amarillo); digenita.

ALD 160 - Testigo 385 m



Pórfido con alteración clorítica y filica.

Fragmentos de brecha polimíctica 2 y de venillas de cuarzo tipo A

Venillas de cuarzo

Datos geoquímicos (384-386m):
CuT % 0.029
Au ppm 0.249
Ag ppm 1.1
 Zn ppm 132
 As ppm 163
 Mo ppm 15
 Pb ppm 9
 Sb ppm 5

Roca original 80 %

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	70	Calcopirita	1,5
		Clorita	2	Pirita	0,5
		Cuarzo	6	Digenita (t) Covelina (t)	
		Turmalina (t)		Esfalerita (t)	
		Rutilo (t)			

El pórfido presenta fenocristales de plagioclasa alterados a filosilicato (micas dioctaédricas potásicas) y fracturados y cristales de cuarzo anhedrales a subhedrales (60- 330 μm). La pasta se encuentra reemplazada por filosilicato y cuarzo de grano fino con cristales de turmalina aciculares, clorita y trazas de rutilo. La mineralización diseminada es pirita acompañada por calcopirita anhedral y trazas de esfalerita y rutilo. Los cristales de pirita presentan inclusiones de calcopirita. Digenita \pm covelina reemplaza a calcopirita según sus bordes.

Venillas %15

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	9.5	Clorita	1	Calcopirita	1,5
		Turmalina	2,2	Pirita	0,5
		Rutilo	(t)	Digenita	0,3
				Tenantita (t)	
				Bornita (t)	

La roca está cortada por las siguientes venillas:

1. Venillas tipo A de 2 mm de espesor fragmentadas, con cristales de cuarzo granular (70-400 μm) con abundantes inclusiones ricas en vapor y polifásicas. Mineralización de calcopirita, pirita y trazas de bornita.
 2. Venillas capilares tipo *sheeted* de cuarzo granular (30-70 μm) asociadas a calcopirita y pirita, con inclusiones polifásicas y ricas en vapor.
 3. Venilla de turmalina irregular y discontinua, asociadas a opacos (calcopirita, pirita) que se observa en el contacto entre la brecha polimíctica 2 y la venilla tipo A.
 4. Venilla de filosilicato, con calcopirita anhedral (60-300 μm), trazas de pirita subhedral (20 μm), tenantita (40-130 μm) y soles de turmalina.
- Digenita (supergénica) reemplaza a calcopirita según bordes de cristales en venillas.

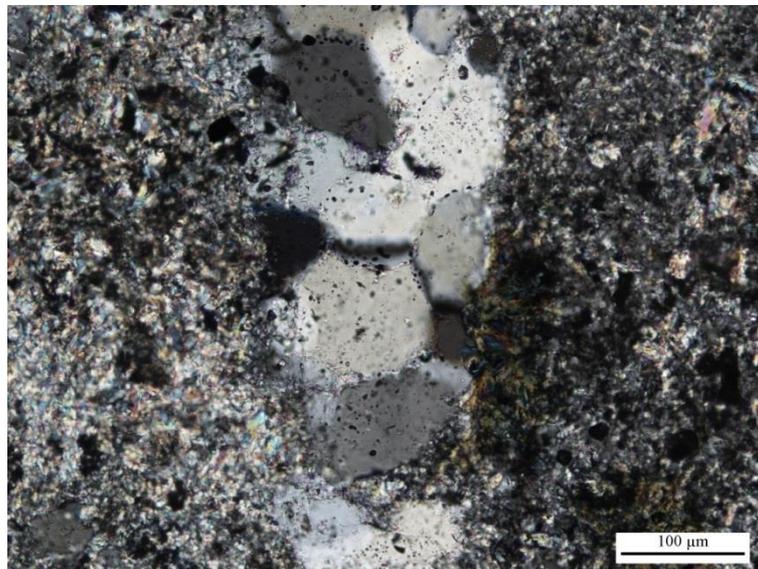
Brecha polimíctica 2 % 5**Clastos 60%**

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		►Filosilicato	55	Pirita	0.3
Cuarzo		Cuarzo	4.5	Calcopirita	0.2
				Digenita (t)	

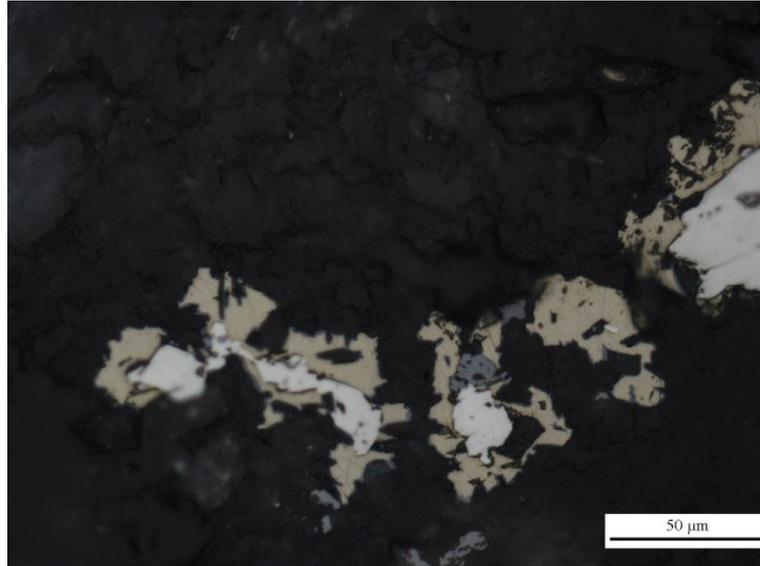
Matriz 40%

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		►Filosilicato	25	Pirita	1
		Clorita	13.5	Calcopirita	0.5
				Digenita (t)	

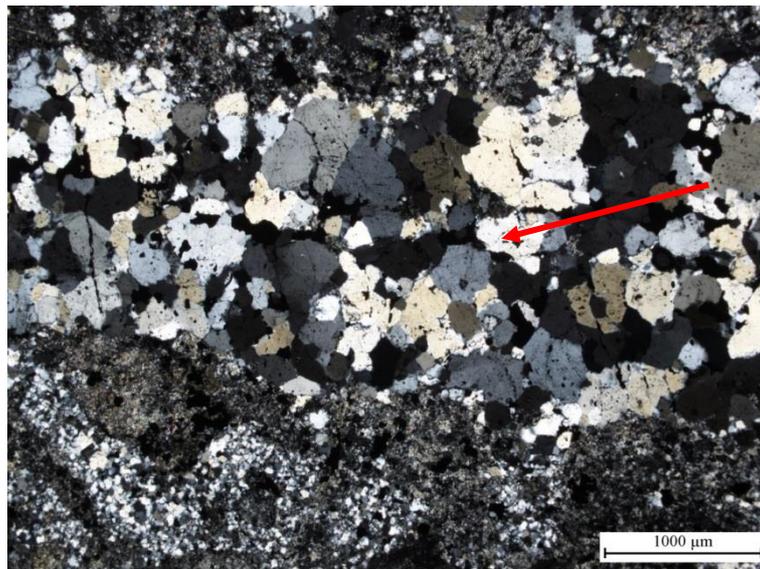
Brecha polimíctica con fragmentos de cuarzo anhedral a subhedral (132 μm a 1 mm) en una pasta de filosilicato + clorita, con mineralización diseminada tanto en clastos como en matriz de pirita (0,5 %), calcopirita (0,2 %) reemplazada por digenita según sus bordes, rutilo y trazas de tenantita y bornita.

Fotos:

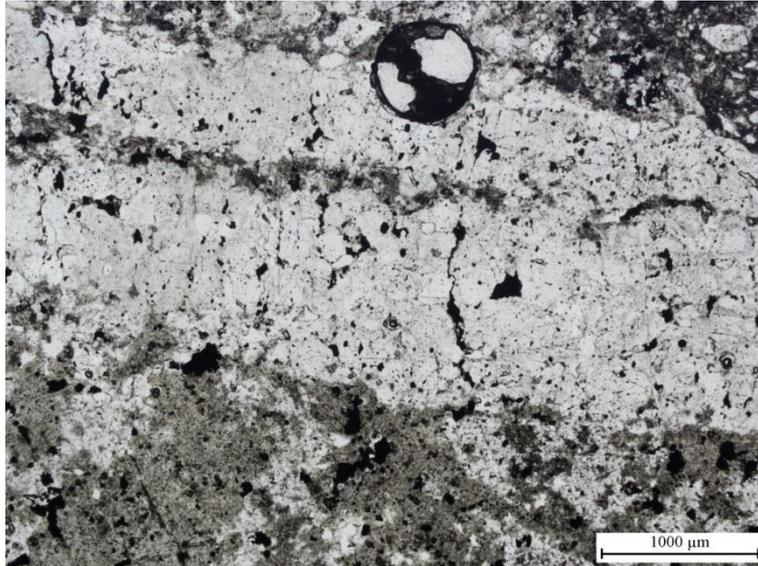
- A. ALD 160 - Testigo 385 m. Fenocristales de plagioclasa y pasta alterados a filosilicato, con sol de turmalina y opacos. Venilla tipo A de cuarzo anhedral. Nícoles cruzados.



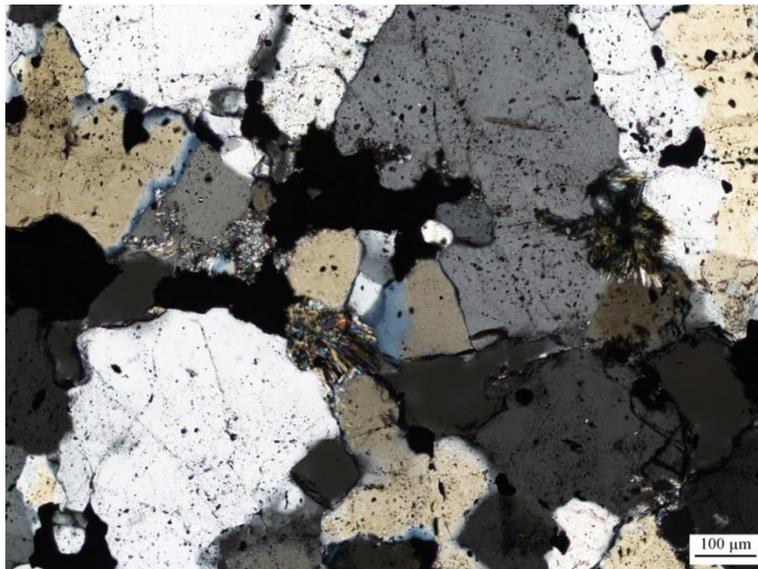
B. ALD 160 - Testigo 385 m. Cristales de calcopirita en equilibrio con pirita y esfalerita, disseminados en roca. Nicales paralelos.



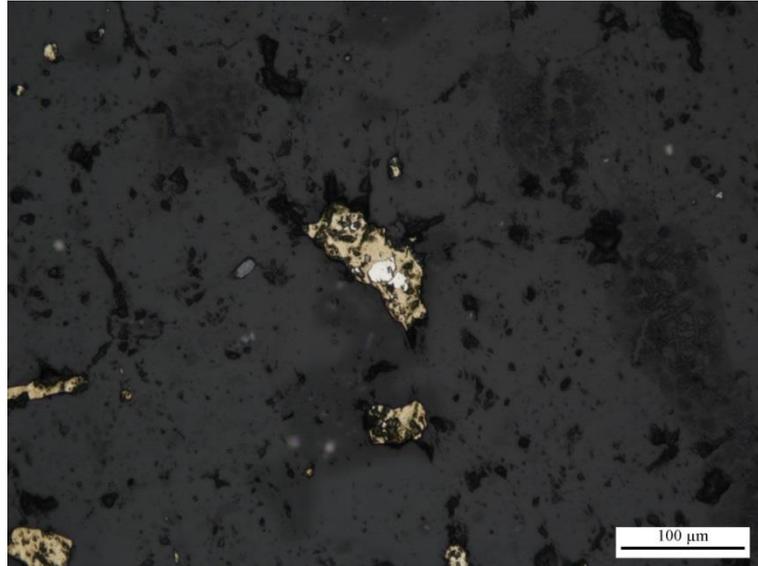
C. ALD 160 - Testigo 385 m. Venilla tipo A de cuarzo con reapertura (señalada con flecha) asociada a opacos. Nicales cruzados.



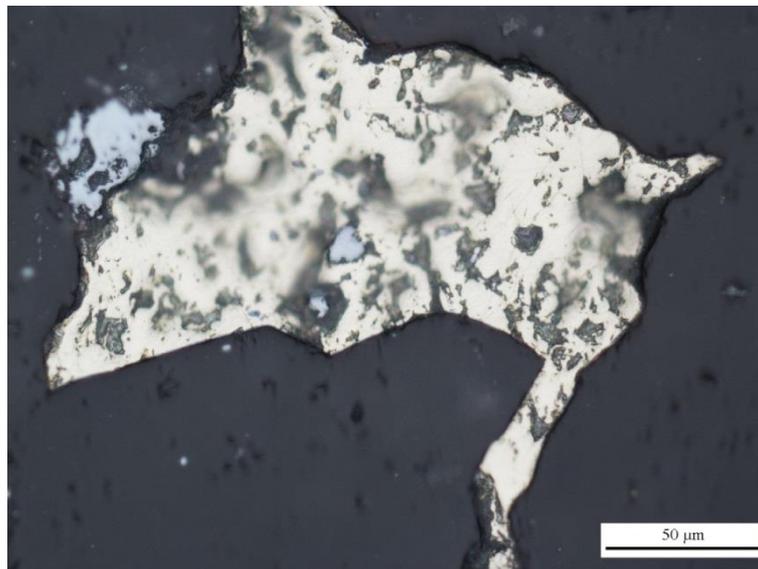
D. ALD 160 - Testigo 385 m. Venilla tipo A de cuarzo con reapertura rellena con filossilicato y soles de turmalina asociada a opacos.



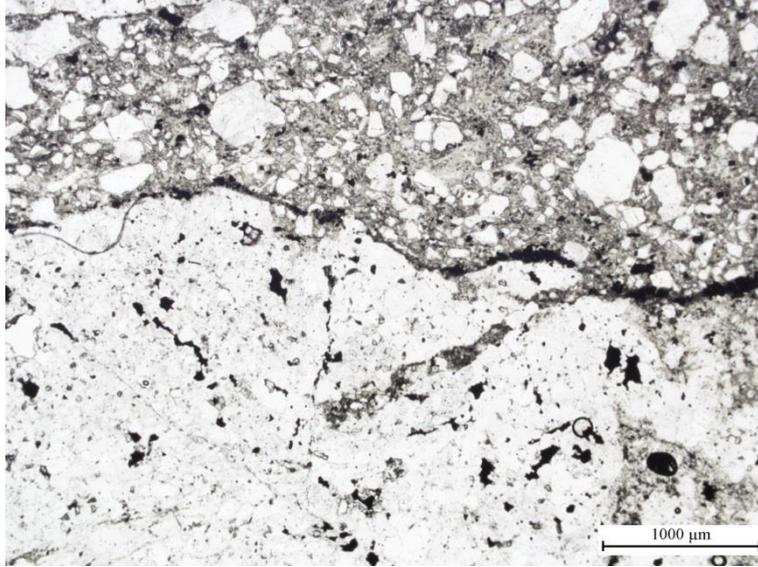
E. ALD 160 - Testigo 385 m. Detalle de reapertura con relleno de filossilicato y soles de turmalina. Nicles cruzados.



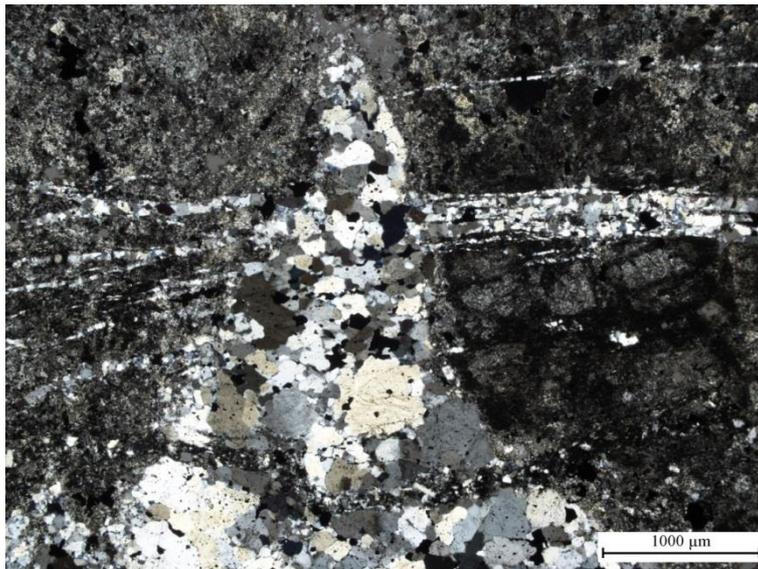
F. ALD 160 - Testigo 385 m. Calcopirita (amarillo) engloba a pirita (amarillo claro) asociada a la reapertura. Nicoles paralelos.



G. ALD 160 - Testigo 385 m. Cristal de calcopirita con inclusión de tenantita. Nicoles paralelos.



- H. ALD 160 - Testigo 385 m. Venilla de turmalina (verde oscuro) asociada a opacos, a lo largo del contacto entre la brecha polimíctica 2 y la venilla tipo A. Nícoles paralelos.



- I. ALD 160 - Testigo 385 m. Venillas tipo *sheeted* atraviesan a venilla tipo A. Hacia el borde inferior se observa relleno de filosilicatos entre fragmentos de la venilla. Nícoles cruzados.

ALD 160 - Testigo 235,5 m

Datos geoquímicos
(234-236m):

CuT %0.028

Au ppm 0.139

Ag ppm 0.9

Zn ppm 120

As ppm 165

Mo ppm 9

Pb ppm 11

Sb ppm 1.5

Roca original % 95

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa	→	Filosilicato	80		
Biotita(t)		Cuarzo	12,5		
		Biotita	1		
Magnetita	→	Hematita	0,5		
		Óxidos de Fe (t)			

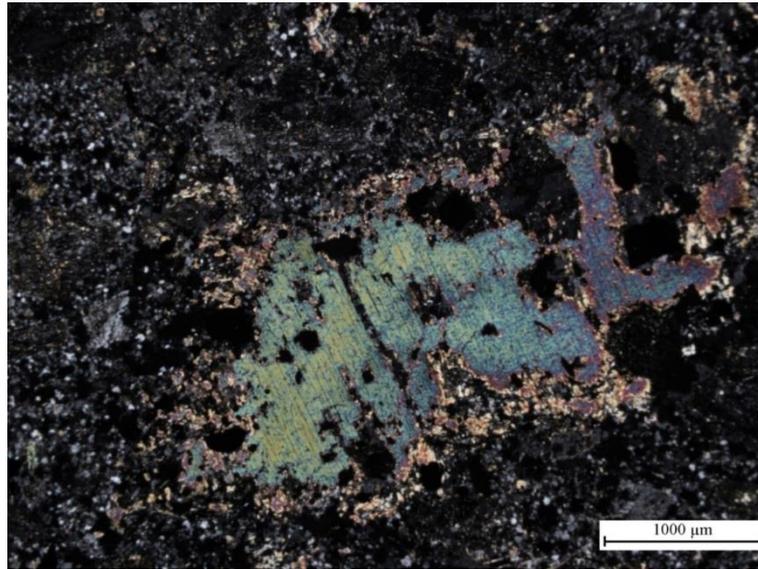
El pórfido presenta cristales fantasmas de plagioclasa alterados a filosilicato y cristales magmáticos de biotita (hasta 3mm espesor). La pasta está reemplazada por filosilicato y cuarzo subhedral de grano fino. Contiene cristales de magnetita de 50 um a 1 mm reemplazada por hematita. Óxidos de hierro tiñen la roca.

Venillas % 5

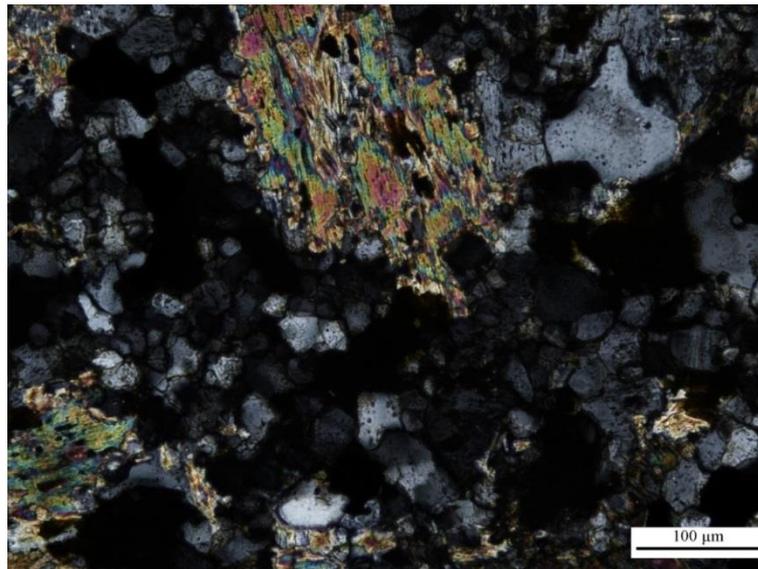
Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	4	Filosilicato	1	Hematita (t)	
		Óxidos de hierro (t)			

La roca está cortada por las siguientes venillas:

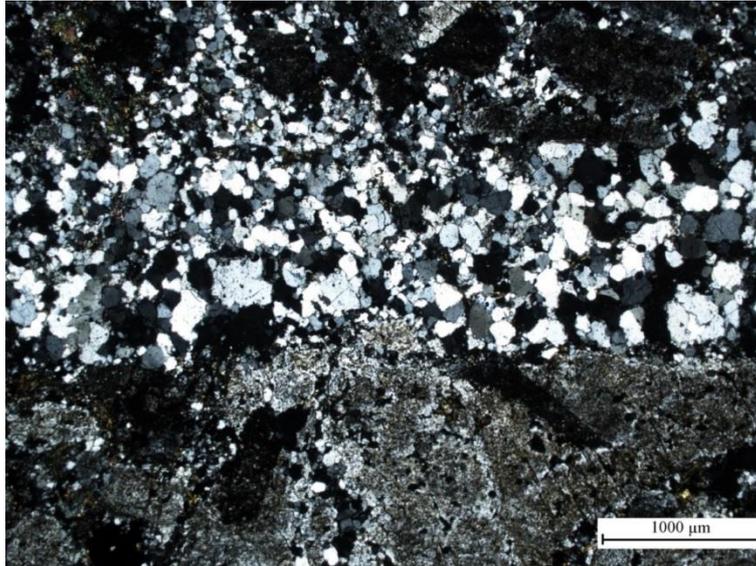
1. Venilla tipo A sinuosa de 1,3 mm de espesor, de cuarzo anhedral (20- 300 um) con filosilicatos, óxidos de hierro y trazas de hematita.
2. Venillas tipo *sheeted* de 300 um de espesor, de cuarzo anhedral (30-190 um) con filosilicatos, óxidos de hierro y trazas de hematita; que atraviesan la venilla tipo A.

Fotos:

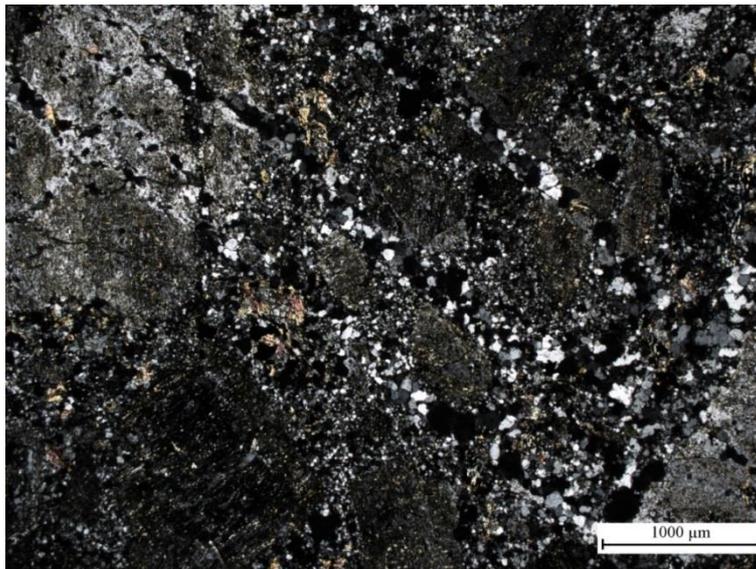
A. ALD 160- Testigo 235,5 m. Cristal magmático de biotita de 3 mm de espesor en pasta de grano fino reemplazada por cuarzo anhedral y filosilicato. Nícoles Cruzados.



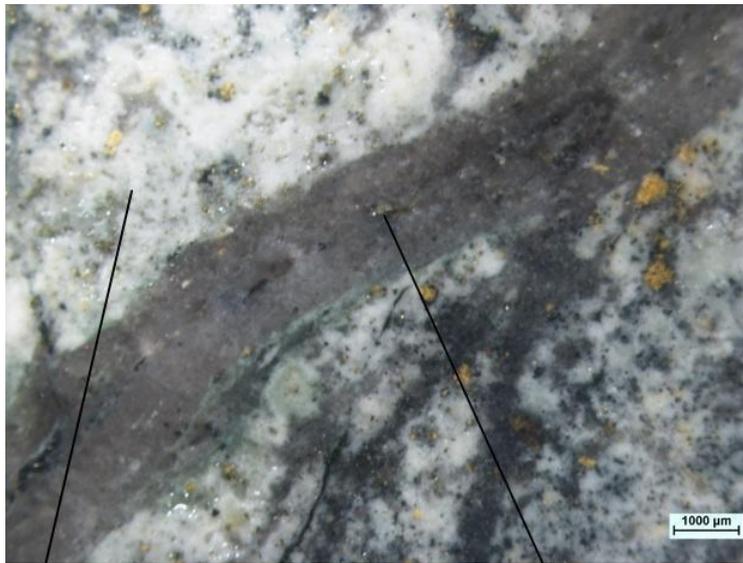
B. ALD 160- Testigo 235,5 m. Cristales de biotita secundaria en una pasta de cuarzo anhedral de grano fino. Nícoles cruzados.



C. ALD 160- Testigo 235,5 m. Venilla tipo A de cuarzo anhedral con filosilicato, óxidos de hierro y trazas de hematita. Nícoles cruzados.



D. ALD 160- Testigo 235,5 m. Venillas tipo *sheeted* de cuarzo anhedral con filosilicato y óxidos de hierro. Nícoles cruzados.

Sondeo 160 - testigo 342 m B

Pórfido con alteración fílica

Venilla de cuarzo

Datos geoquímicos
(342-344 m):

CuT %1.9**Au ppm 0.218****Ag ppm 3.1****Zn ppm 192**

As ppm 594

Mo ppm 12

Pb ppm 121

Sb ppm 4

Resumen: Pórfido con alteración fílica muy fuerte que oblitera la textura original. Contiene pirita, calcopirita, marcasita, esfalerita, tennantita, digenita y covelina diseminados en la roca y como relleno de venillas.

Mineralogía**Pórfido 70%**

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
		Filosilicato	35	Digenita	1,5
		Rutilo	0,1	Pirita	1
		Cuarzo	31,45	Calcopirita	0,5
				Marcasita	0,25
				Covelina	0,1
				Tennantita	0,1

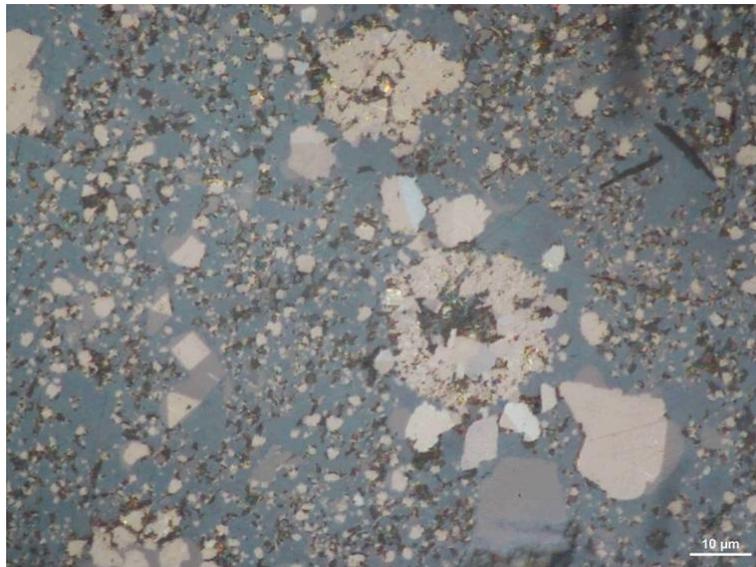
Venillas 30%

Mayoritarios	Est %	Minoritarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	27			Digenita/covelina	1
				Calcopirita	0,5
				Pirita	0,5
				Tennantita	0,5
				Esfalerita	0,25
				Marcasita	0,25

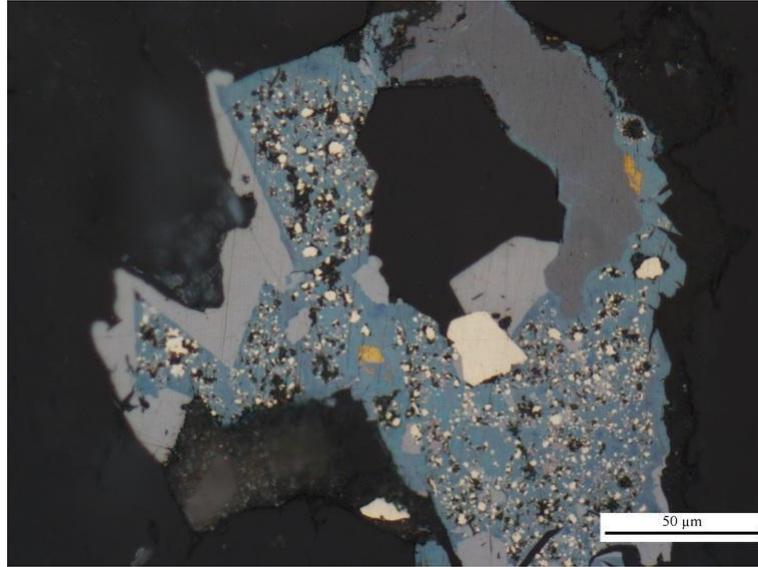
El pórfido con alteración fílica (filosilicatos + cuarzo ± rutilo ± leucoxeno) está cortado por las siguientes venillas:

1. Venilla de cuarzo (tipo A) en cristales anhedrales de 200 a 500 μm .
2. La venilla presenta reapertura y relleno por cuarzo de menor tamaño (50-80 μm) con pirita, esfalerita, tenantita, calcopirita y marcasita (venilla tipo "D").

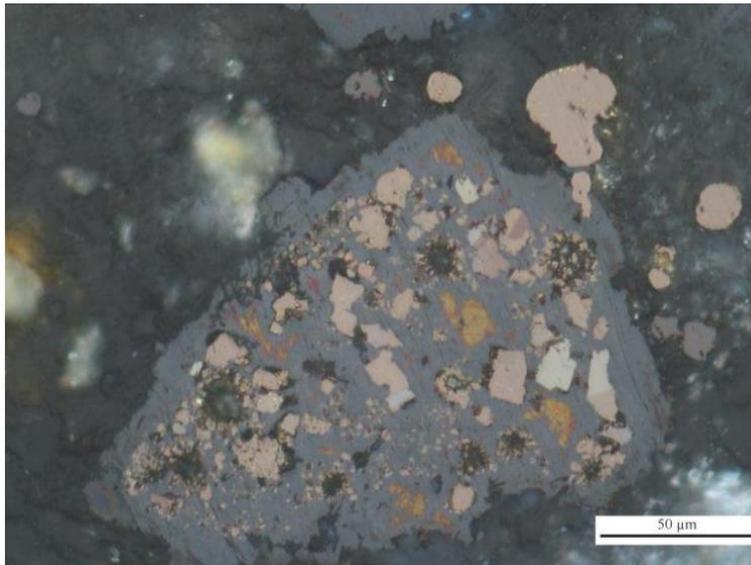
Fotos



A. Sondeo 160 -testigo 342 m B. Sol de marcasita rodeado por digenita, tenantita y pirita relíctica. La marcasita se distingue por su forma y fuerte anisotropía. Nícoles cruzados.



B. Sondeo 160 -testigo 342 m B. Relictos de pirita, rodeada por calcopirita, tenanita, esfalerita, y digenita. Nicoles paralelos.



C. Sondeo 160 -testigo 342 m B. Soles de marcasita-tenanita y cristales de pirita, rodeados por digenita (que reemplaza a calcopirita). Nicoles cruzados.

Sondeo 160 -testigo 342 m A

Datos geoquímicos
(342-344 m):

CuT %1.9

Au ppm 0.218

Ag ppm 3.1

Zn ppm 192

As ppm 594

Mo ppm 12

Pb ppm 121

Sb ppm 4

Pórfido con alteración fílica

Venilla de cuarzo

Resumen: Pórfido con alteración fílica (filosilicato + cuarzo \pm rutilo) muy fuerte que oblitera la textura original de la roca. Contiene mineralización diseminada de pirita, calcopirita y digenita. Está cortado por un stockwork de venillas de cuarzo y por escasas venillas de pirita. En las venillas se reconocen, además, marcasita, tenantita y esfalerita.

Mineralogía**Pórfido 50%**

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
		Filosilicatos	25	Pirita	1
		Cuarzo	22,8	Digenita	0,7
		Rutilo	0,2	Calcopirita	0,3

Venillas 50%

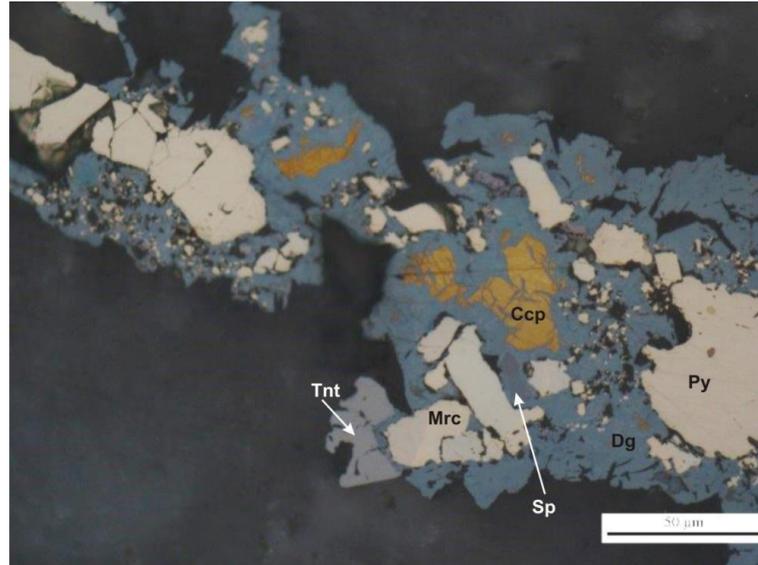
Mayoritarios	Est %	Minoritarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	47,5			Calcopirita	1
				Digenita	1
				Pirita	0,3
				Marcasita	0,1
				Tennatita	0,1
				Esfalerita(t)	
				Covelina (t)	

El pórfido con alteración fílica está cortado por las siguientes venillas:

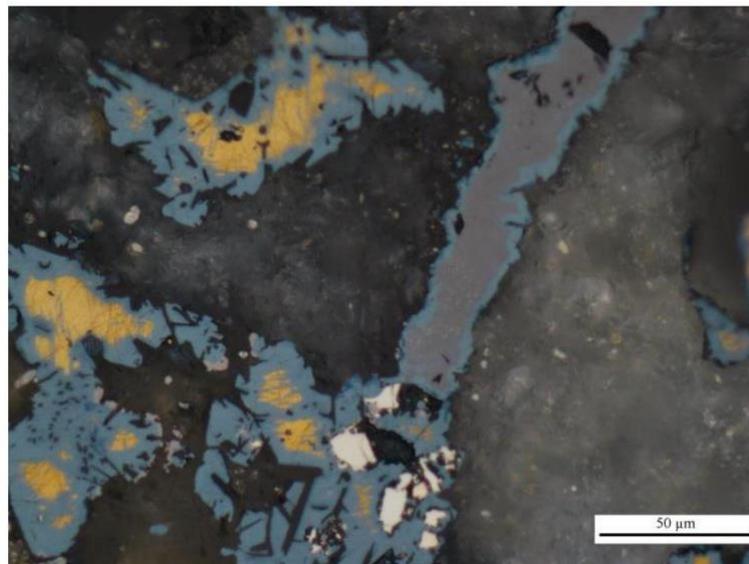
1. Stockwork de venillas (1- 5mm espesor) de cuarzo tipo “A” (en muestra de mano se observa cuarzo oscuro y cuarzo claro). Al microscopio presentan cristales anhedrales de cuarzo de grano grueso (160- 500 μm) y cristales de cuarzo de grano fino (40 μm , segunda generación). Estas venillas presentan mineralización de pirita y calcopirita.

2. Las venillas de cuarzo están cortadas por venillas de pirita de 0,1 mm de espesor (tipo “D”) asociada a tenantita y trazas de esfalerita. En la venilla de pirita hay dos tipos de pirita, una de grano fino (1-6 μm) fracturada por calcopirita y tenantita y otra de grano grueso (15-140 μm) subhedral con bordes definidos. La pirita de grano grueso se asocia a marcasita.

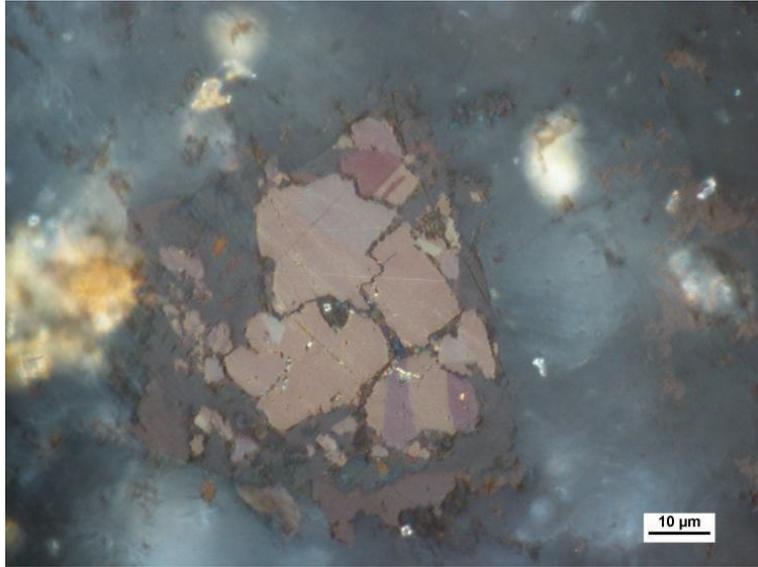
La digenita reemplaza casi totalmente a la calcopirita y débilmente a la tenantita, tanto en las venillas como en los cristales diseminados en la roca.



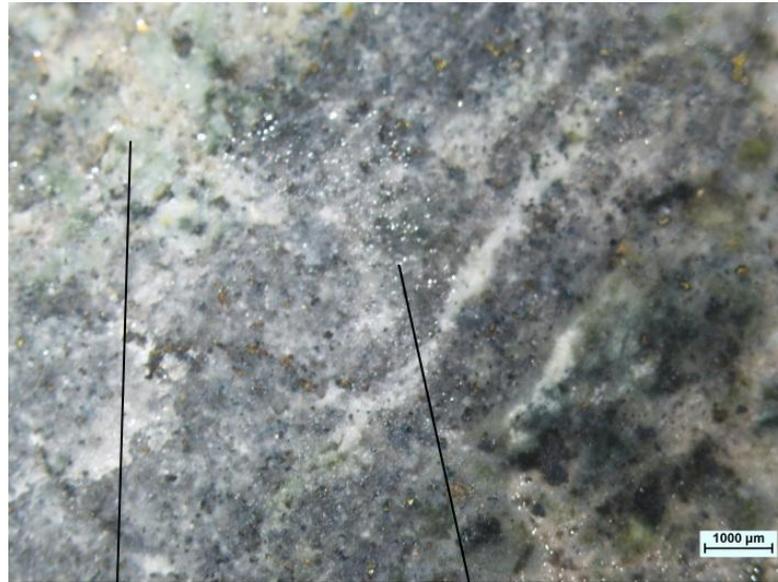
Sondeo 160 -testigo 342 m A. Marcasita (Mrc) pirita de grano grueso y fino (Py), rodeados por calcopirita (Ccp), tenantita (Tnt) y trazas de esfalerita (Sp). La calcopirita y en menor medida la tenantita están reemplazadas por digenita (Dg). Nícoles cruzados.



Sondeo 160 -testigo 342 m A. Esfalerita (gris oscuro, tinte morada), marcasita (amarillo claro), calcopirita (amarillo) y digenita (celeste) en venilla. Nícoles cruzados.



Sondeo 160 -testigo 342 m A. Cristales de marcasita en venilla. Nícoles cruzados.

Sondeo 160 -testigo 332 m

Datos geoquímicos
(332-334 m):
CuT %1.1
Au ppm 0.210
Ag ppm 2.6
Zn ppm 133
 As ppm 12
 Mo ppm 10
 Pb ppm 16
 Sb ppm 1.5

Pórfido con Alteración clorítica

Venillas de cuarzo granular

Resumen: Pórfido con alteración clorítica (clorita + hematita + filosilicato + cuarzo), cortado por venillas de cuarzo granular de 2 a 7 mm de espesor (tipo A). Se reconocen relictos aislados de biotita secundaria (relictos de alteración potásica). La mineralización de calcopirita ± bornita (reemplazada por digenita ± covelina) se asocia a la presencia de venillas de cuarzo.

Mineralogía**Pórfido 80%**

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
		Filosilicatos	32,5	Calcopirita	0,2
		Cuarzo	30	Digenita(t)	
		Clorita	15	Covelina (t)	
		Hematita	2		
		Turmalina	0,2		
		Biotita	0,1		

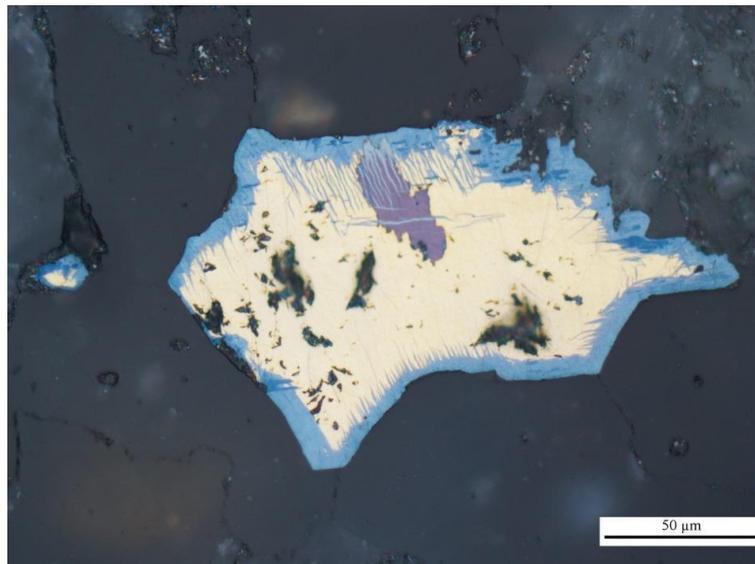
La cantidad de calcopirita disminuye al alejarse de las venillas de cuarzo.

Venilla 20%

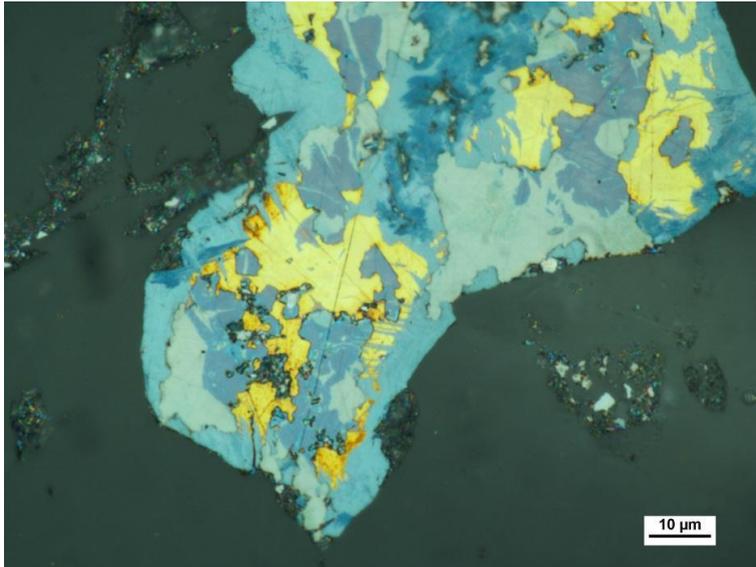
Mayoritarios	Est %	Minoritarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	17,8	Turmalina	0,1	Calcopirita	1,25
		Hematita (t)		Bornita	0,25
				Digenita	0,25
				Covelina	0,1
				Tenantita (t)	

El pórfido está cortado por venillas de cuarzo granular tipo “A” con mineralización de calcopirita asociada a bornita. Ambas están reemplazadas según sus bordes por digenita ± covelina. Trazas de mineral gris (tenantita?) reemplazan a calcopirita y bornita.

Fotos



Sondeo 160 332 m. Cristal de calcopirita con inclusión de bornita, reemplazado por digenita ± covelina según bordes y en venillas. Nícoles paralelos.



Sondeo 160 -testigo 332 m. Asociación de calcopirita (amarillo), bornita (rosa), reemplazados por tenantita (gris), y luego por digenita (celeste) y covelina (azul) en la venilla.
Nicoles paralelos.

Muestra GO 103**Roca 95%****Clastos 60%**

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa	45	Feldespato	4.5	Pirita (t)	
Magnetita	0.5	Carbonato	0,4	Calcopirita (t)	
Anfíbol		Biotita	3,5		
Apatito (t)		Rutilo	0.1		
Cuarzo	5	Hematita	1		

Roca de composición intermedia (andesítica) y textura porfírica, constituida por fenocristales de plagioclasa (10 mm- 258 μ m), minerales máficos (1mm a 280 μ m; biotita y anfíbol?) y magnetita +apatito (50 μ m) como accesorios, en una pasta de grano fino (25- 40 μ m). Contiene un *cluster* de plagioclasa fracturado e invadido por la pasta. Presenta alteración potásica incipiente a moderada con alteración supergénica superpuesta que consiste en: biotita secundaria en láminas finas que reemplaza a los mafitos, parches de feldespato alcalino± calcita que reemplazan a la plagioclasa, y silicificación incipiente de la pasta.

Matriz 40%

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasa		Filosilicato	5		
Biotita (t)		Cuarzo	35		

La matriz está formada por cuarzo hidrotermal, filosilicato y biotita.

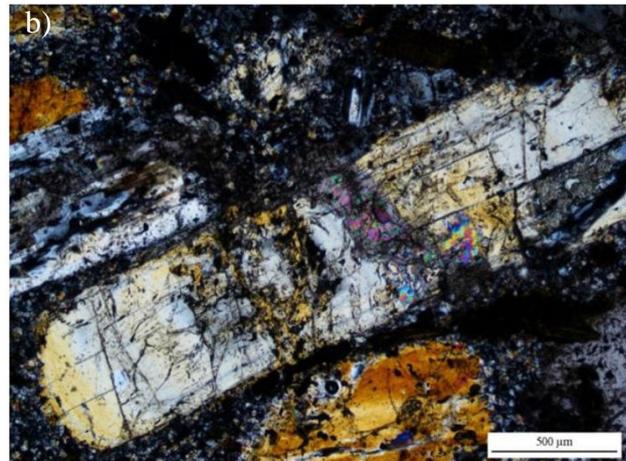
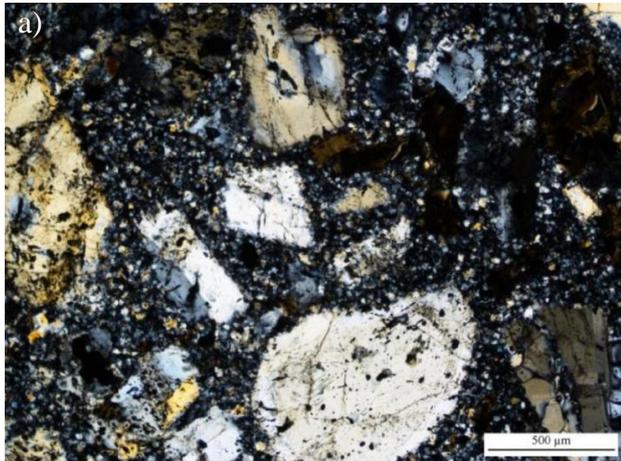
Venillas 5%

Mayoritarios	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est%
Cuarzo	1	Feldespato	0,3	Malaquita	1
		Biotita	0,2	Pirita (t)	
		Hematita	2		
		Magnetita	0,5		

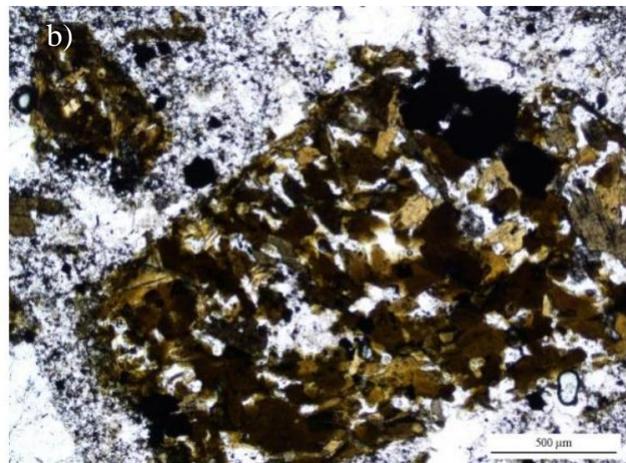
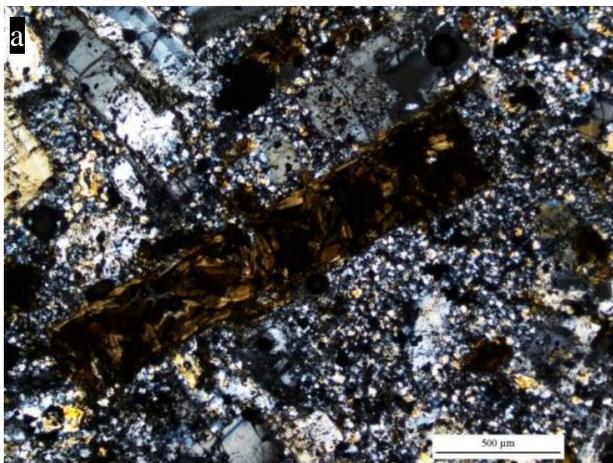
1) Venillas de 1 mm de espesor discontinuas e irregulares de cuarzo + biotita + magnetita con martitización + trazas de pirita. 2) Venilla de 3mm de espesor,

discontinua e irregular de hematita (relictos de magnetita) con malaquita que fracturan a las plagioclasas.

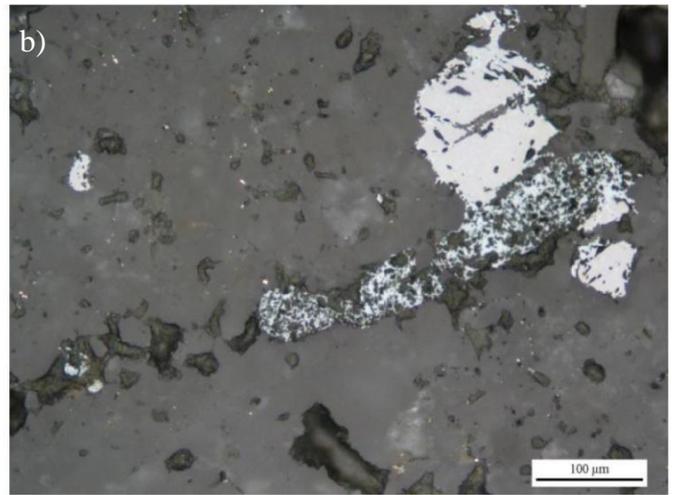
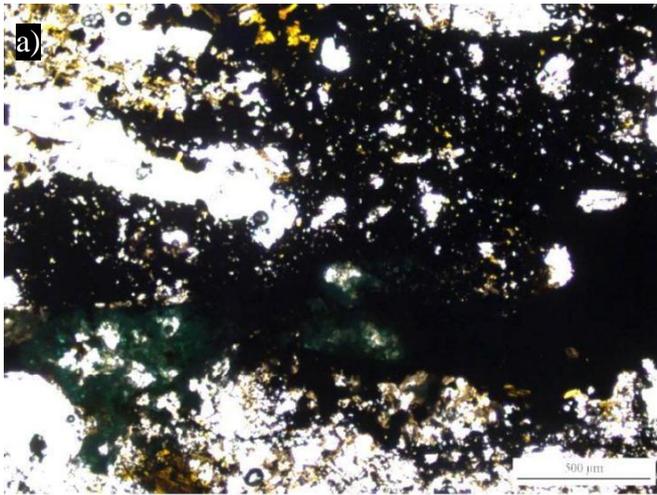
Fotos



Muestra GO 103. a) Andesita de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, biotita y cuarzo en una pasta de cuarzo de grano fino. Luz transmitida. Nicoles cruzados. b) Alteración potásica: Reemplazo de plagioclasas por feldespatos alcalinos. Luz transmitida. Nicoles cruzados.

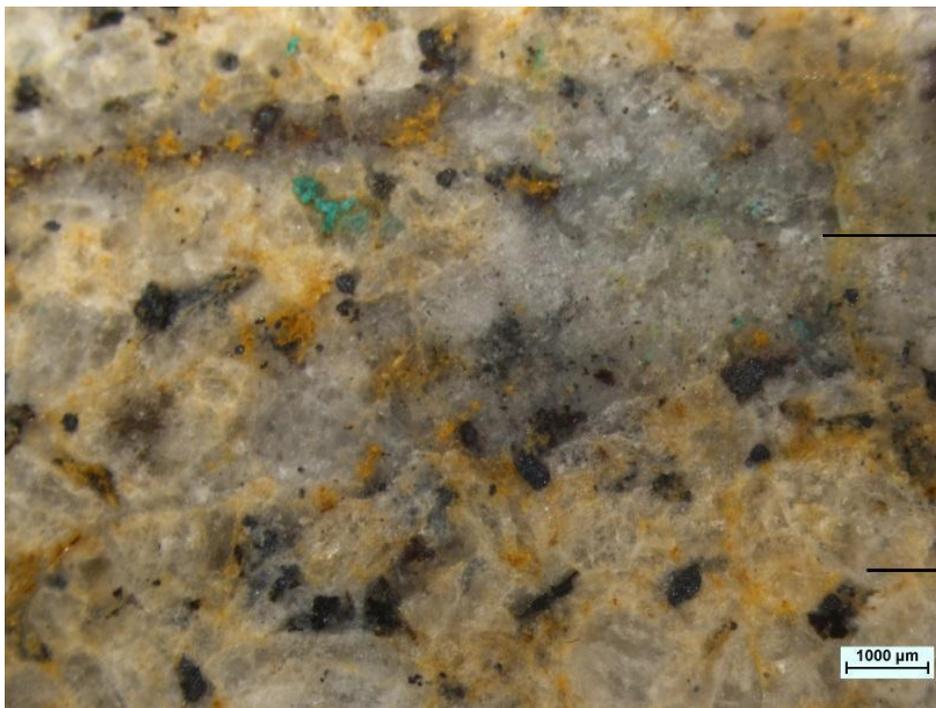


Muestra GO 103. a y b) Alteración potásica: Biotita secundaria reemplazando a minerales máficos.



Muestra GO 103: a) Venilla irregular de hematita + malaquita. Luz transmitida. Nícoles paralelos. b) Venilla de hematita atraviesa cristal de magnetita magmática. Luz reflejada. Nícoles paralelos.

Muestra GO 106



→ Venilla de cuarzo

→ Roca granular con alteración potásica

Roca 80%

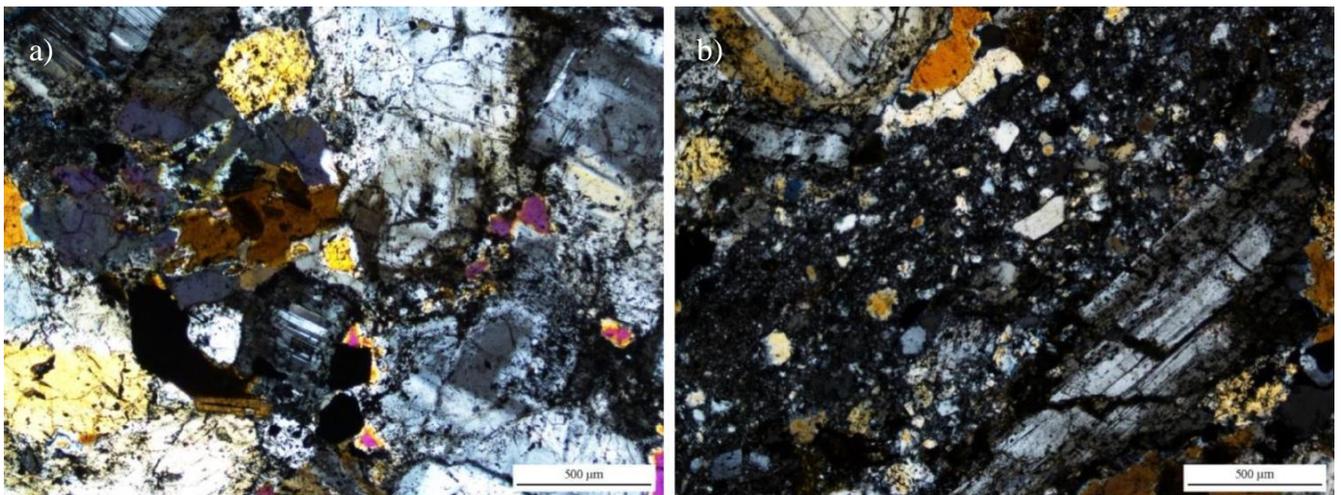
Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasas	52	Feldespato	4,5	Pirita (t)	
Cuarzo	10	Cuarzo	3	Malaquita (t)	
Biotita	6	Biotita	1		
Magnetita	1,5	Hematita	0,5		
Ilmenita	1	Calcita	0,5		
Apatito (t)					

Venillas 20%

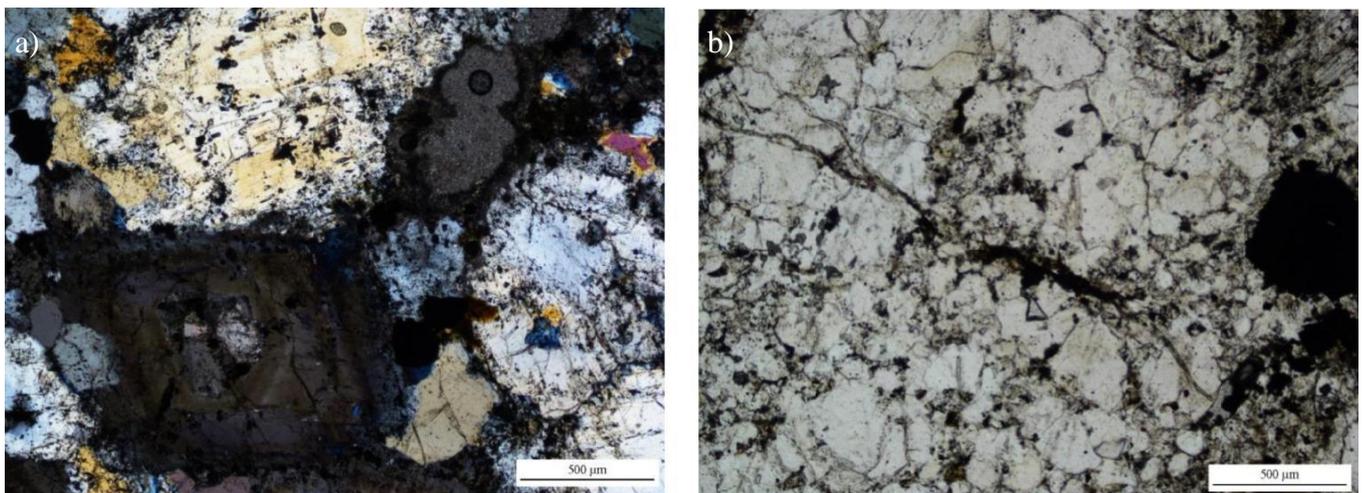
Mayoritarios	Est %	Minoritarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	11	Calcita	1	Malaquita	1
Feldespato	5			Pirita(t)	
Biotita	2				

Roca de composición intermedia (andesítica-diorítica), textura granular seriada con cristales de plagioclasa (2 mm a 0,5 mm), biotita (1,1 mm a 0,4 mm), cuarzo (660 a 250 μm) y magnetita con martitización (110 a 50 μm), ilmenita (400 a 120 m) y apatito (50 μm) como accesorios. Tiene una zona de 1mm de espesor triturada a lo largo de una fractura.

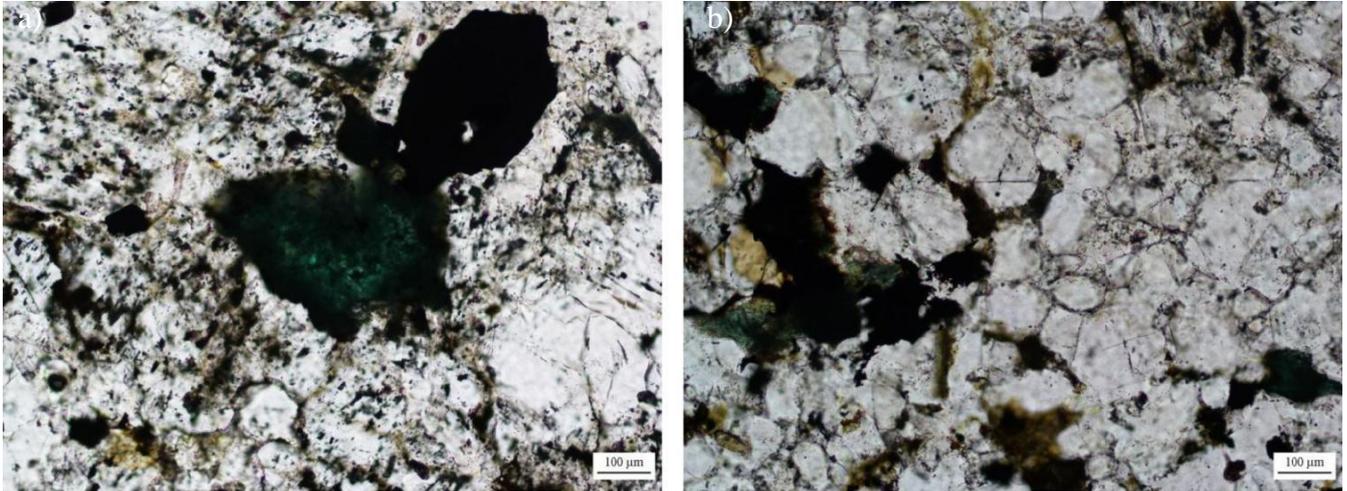
Presenta alteración potásica incipiente que consiste en: a) feldespato \pm calcita que reemplaza a las plagioclasas, b) silicificación, c) venillas de cuarzo granular (65- 500 μm) de hasta 4 mm de espesor y d) venillas de feldespato, biotita y calcita de 70 μm de espesor, discontinuas e irregulares.

Fotos

Muestra GO 106. a) Roca con fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. Luz transmitida. Nícoles cruzados. b) Sector con fragmentos de la roca triturada (zona de falla?). Luz transmitida. Nícoles cruzados.



Muestra GO 106. Alteración potásica: a) Cristales de plagioclasa alterados a calcita. Luz transmitida. Nicoles cruzados. b) Venilla de feldespato + biotita + calcita atraviesa a venilla de cuarzo granular. Luz transmitida. Nicoles paralelos.



Muestra GO 106. a) Cristales de malaquita diseminados en la roca. Luz transmitida. Nicoles paralelos. b) Cristales de malaquita en venilla de cuarzo granular. Luz transmitida. Nicoles paralelos. Malaquita es supergénica y reemplaza a un sulfuro de Cu.

Muestra 1314



Resumen: Roca de composición intermedia y textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa, relictos de mafito (biotita) en una pasta microgranular felsítica (30-40 µm).

Presenta alteración potásica (biotita+cuarzo+feldespato+filosilicato+ hematita) y venillas de cuarzo con calcopirita y trazas de pirita y bornita.

Mineralogía

Pórfido 80%

Fenocristales 48% Pasta 32 %

Magmáticos	Est %	Secundarios	Est %	Mineralización	Est %
Plagioclasas	36	Filosilicato	5	Pirita (t)	
Mafito	1	Biotita	10	Malaquita(t)	
Cuarzo (pasta)	20	Feldespato	5,5		
Ilmenita	0,5	Hematita	1,5		
Apatito	0,5				
Magnetita (t)					

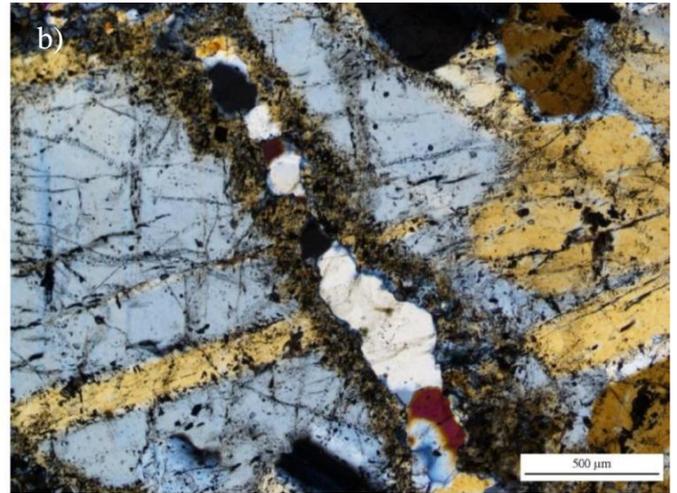
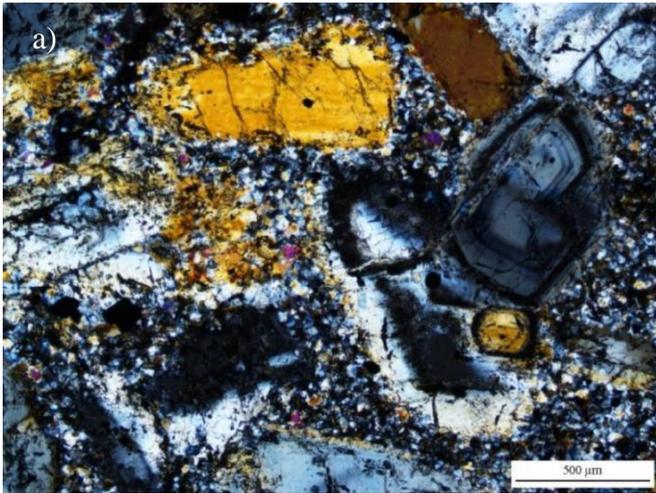
Venillas 20%

Mayoritarios	Est %	Minoritarios	Est %	Mineralización	Est %
Cuarzo	18	Goethita	1	Calcopirita (t)	
Feldespato	0,5	Rutilo (t)		Malaquita (t)	
Biotita	0,5			Pirita (t)	
				Bornita(t)	

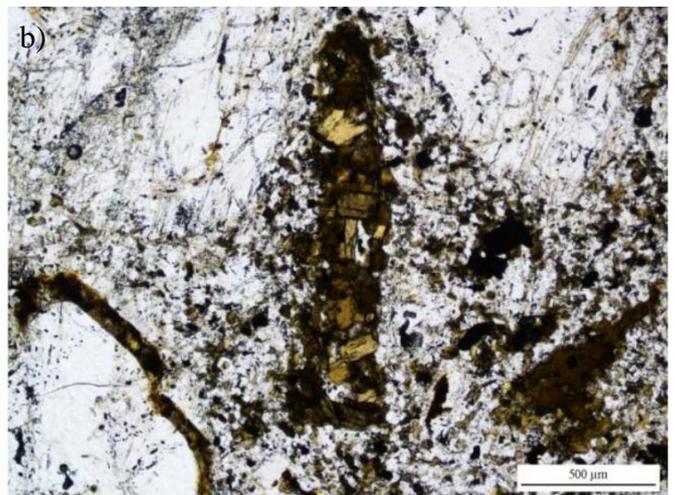
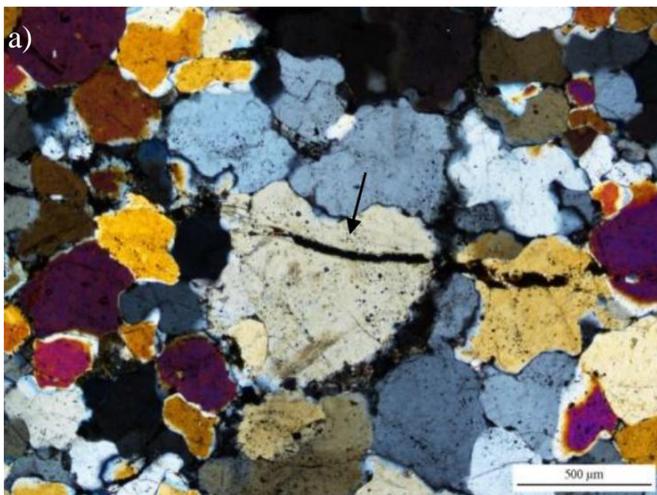
Descripción:

Roca de composición intermedia (andesítica) y de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa (470 μm - 30 mm), minerales máficos (900 μm - 1500 μm) y relictos de ilmenita, magnetita y apatito como minerales accesorios en una pasta microgranular (30-40 μm) felsítica.

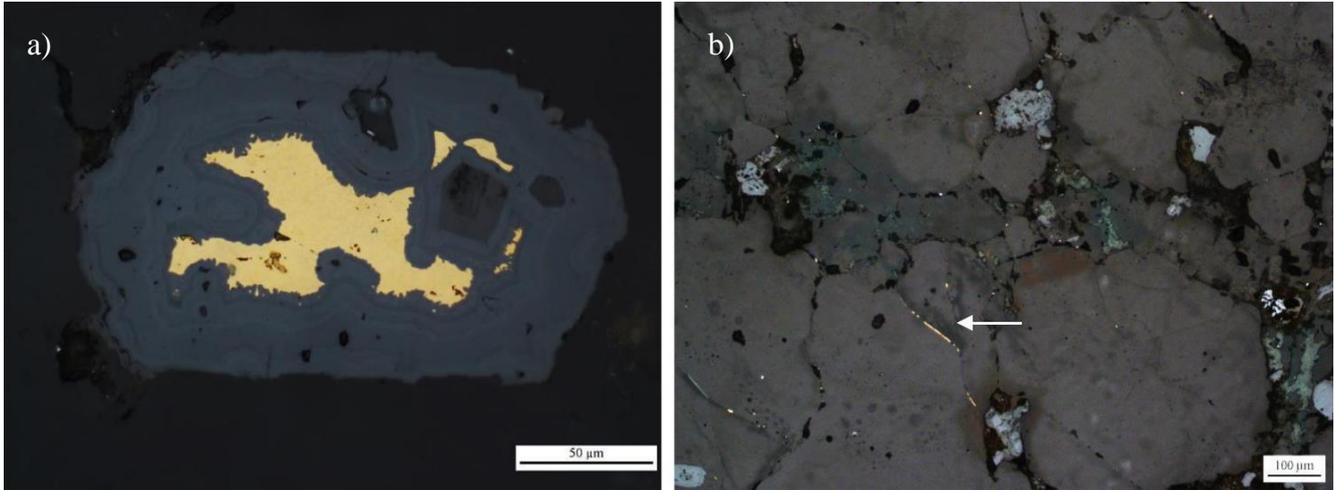
Presenta alteración potásica incipiente que consiste en: a) mafitos alterados a biotita secundaria, b) fenocristales de plagioclasa alterados a feldespato \pm filosilicato , c) ilmenita y magnetita reemplazados por hematita, d) venillas de cuarzo granular de hasta 6 mm de espesor con halo de feldespato potásico; una de estas venillas muestra reapertura y relleno con cuarzo \pm feldespato de grano fino (60 a 200 μm) y relictos de sulfuros (calcopirita, pirita, bornita) reemplazados por goethita y malaquita, y e) venillas irregulares de biotita secundaria de hasta 90 μm de espesor.

Fotos

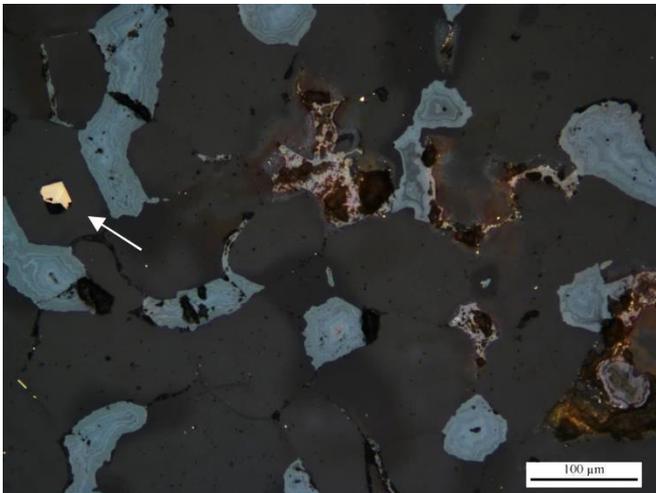
Muestra 1314. a) Roca con fenocristales de plagioclasa en una pasta de cuarzo y feldespato de grano fino. Luz transmitida. Nicoles cruzados. b) Alteración potásica: Salbanda de feldespato en bordes de venilla de cuarzo granular. Luz transmitida. Nicoles cruzados.



Muestra 1314. Alteración potásica: a) Venilla de biotita (flecha) atraviesa venilla de cuarzo tipo A. Luz transmitida. Nicoles cruzados. b) Reemplazo de minerales máficos por biotita *shreddy* y borde de alteración de biotita + filosilicatos en cristal de plagioclasa. Luz transmitida. Nicoles paralelos.



Muestra 1314. A) Goethita coloforme según calcopirita (relíctica) en venilla. Luz reflejada. Nícoles paralelos. B) Malaquita diseminada en sutura de venilla y trazas de calcopirita (flecha) entre cristales de cuarzo. Luz reflejada. Nícoles paralelos.



Muestra 1314. Cristales de goethita y bornita (flecha) en venilla. Luz reflejada. Nícoles paralelos.