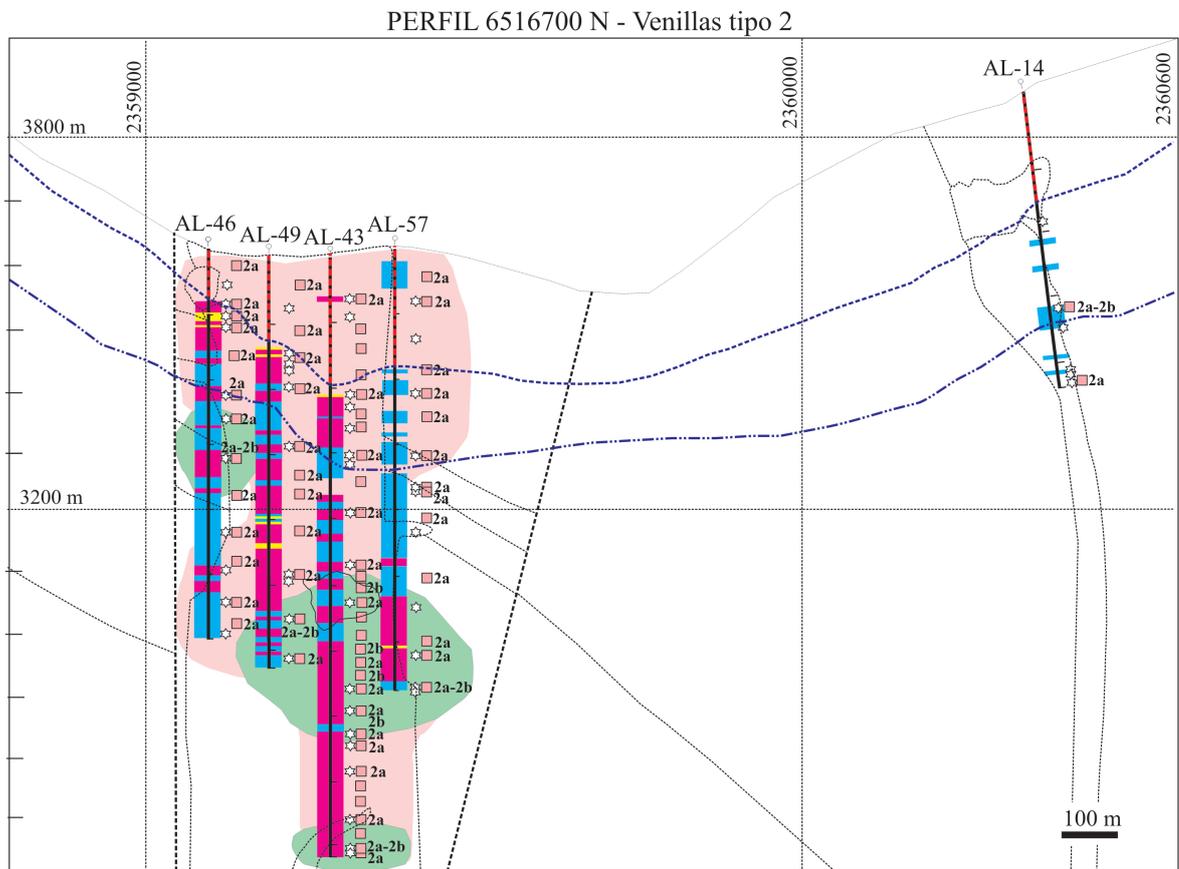


4.2. Alteración clorítica

La alteración clorítica ha sido definida por la asociación mineral en equilibrio clorita + filosilicatos dioctaédricos potásicos + cuarzo \pm rutilo. Las plagioclasas están reemplazadas por filosilicatos dioctaédricos potásicos \pm albita \pm clorita, los máficos por clorita \pm rutilo (Figs. 24A, B y C), la pasta por un agregado microgranular de cuarzo \pm clorita \pm illita \pm anhidrita y rutilo según opacos. Si el grado de alteración clorítica es débil, sólo los máficos están reemplazados por clorita \pm rutilo y se preservan los fenocristales de plagioclasa frescos, relictos de ilmenita y la pasta ígnea felsítica. En las tobas se ha reconocido una asociación mineral en equilibrio de illita + cuarzo + filosilicatos dioctaédricos potásicos, que se interpreta como un equivalente de la alteración clorítica y le confiere una tonalidad oscura debido a la abundancia de hematita de grano fino diseminada en la roca (Fig. 24D).



Ley de Cobre
 1,5-3,5% Cu
 0,5-1,5% Cu
 0,2-0,5% Cu

REFERENCIAS

- * Corte petro-calcográfico
- Límite zona lixiviada
- Límite zona sulfuros supergénicos
- Zona de lixiviación
- venillas tipo 2, subtipos: 2a/2b
- stockwork moderado a fuerte (2a)
- stockwork débil (2a)
- 2a + 2b

Figura 16. Distribución de las venillas 2a y 2b en el perfil 6516700 N, localización de zonas de *stockwork* débil y moderado a fuerte de venillas 2a, zonas con venillas 2a y 2b y leyes de Cu.

4.2.1 Mineralización asociada a la alteración clorítica

La mineralización en equilibrio con alteración clorítica está caracterizada por sulfuros y óxidos en granos muy finos diseminados y formando parte de venillas muy finas.

La mineralización consiste de hematita (0,5-2% en vol.), además de calcopirita (~2% en vol., 0,1-0,5 mm) + pirita (<1,5% en vol., 0,5 mm) ± bornita (trazas) que se preservan del estadio previo (potásica). La hematita está en cristales subhedrales según un opaco previo (<0,7 mm) y en cristales finos aciculares (0,1-0,5 mm).

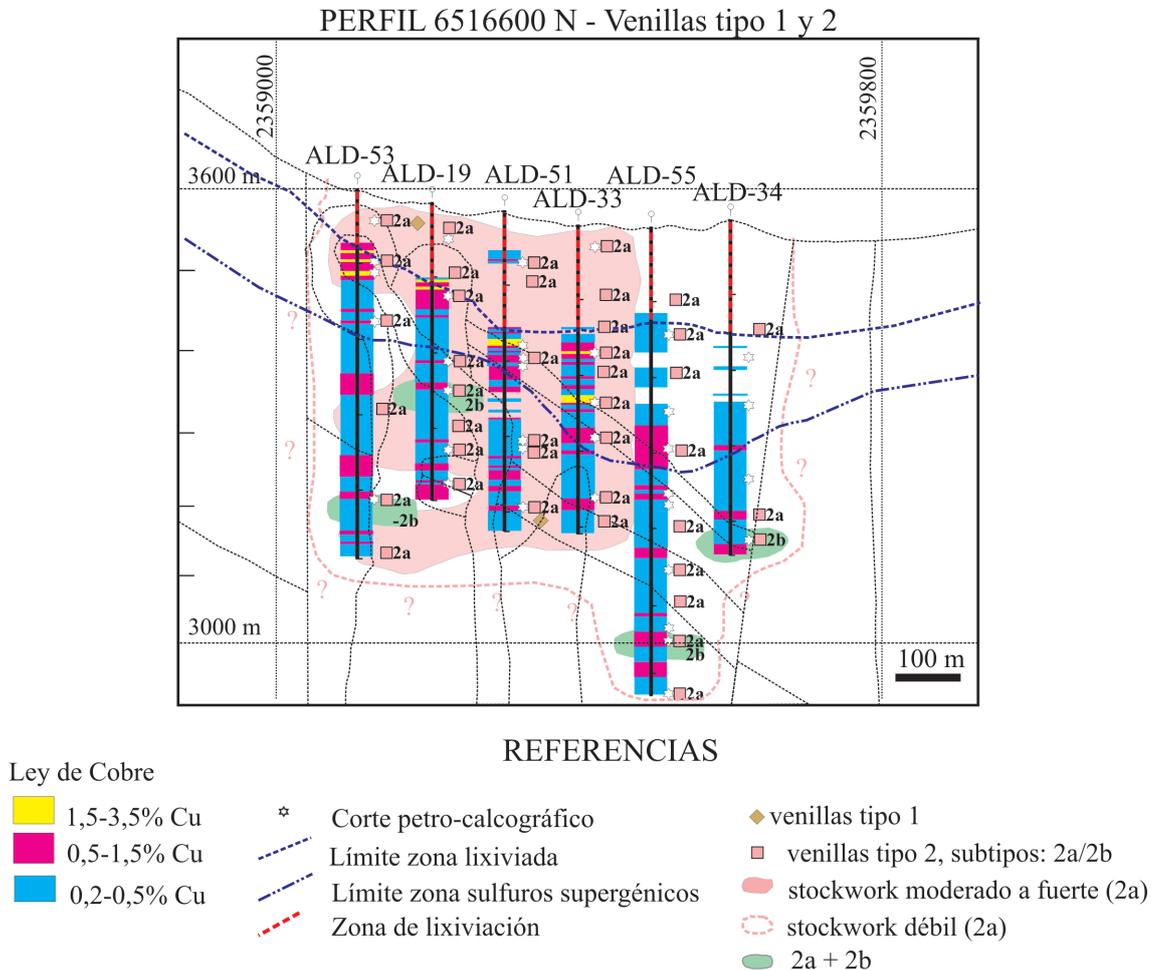


Figura 17. Distribución de las venillas 2a y 2b en el perfil 6516600 N, localización de zonas de *stockwork* débil y moderado a fuerte de venillas 2a, zonas con venillas 2a y 2b y leyes de Cu.

Venillas tipo 4

Son venillas finas (<1 mm) e irregulares de clorita + hematita ± rutilo, calcopirita ± pirita (Tabla 1; Fig. 24A); localmente la hematita es el mineral más abundante (Fig. 24B). Su mineralogía y distribución se asocia a zonas con alteración clorítica (Fig. 14). Estas venillas se formaron por la alteración de algunos minerales de las venillas tipo 1 (biotita a clorita; magnetita a hematita), por eso suelen estar cortadas por las venillas tipo 2a, generando relaciones de corte de tipo inverso (Tabla 2).

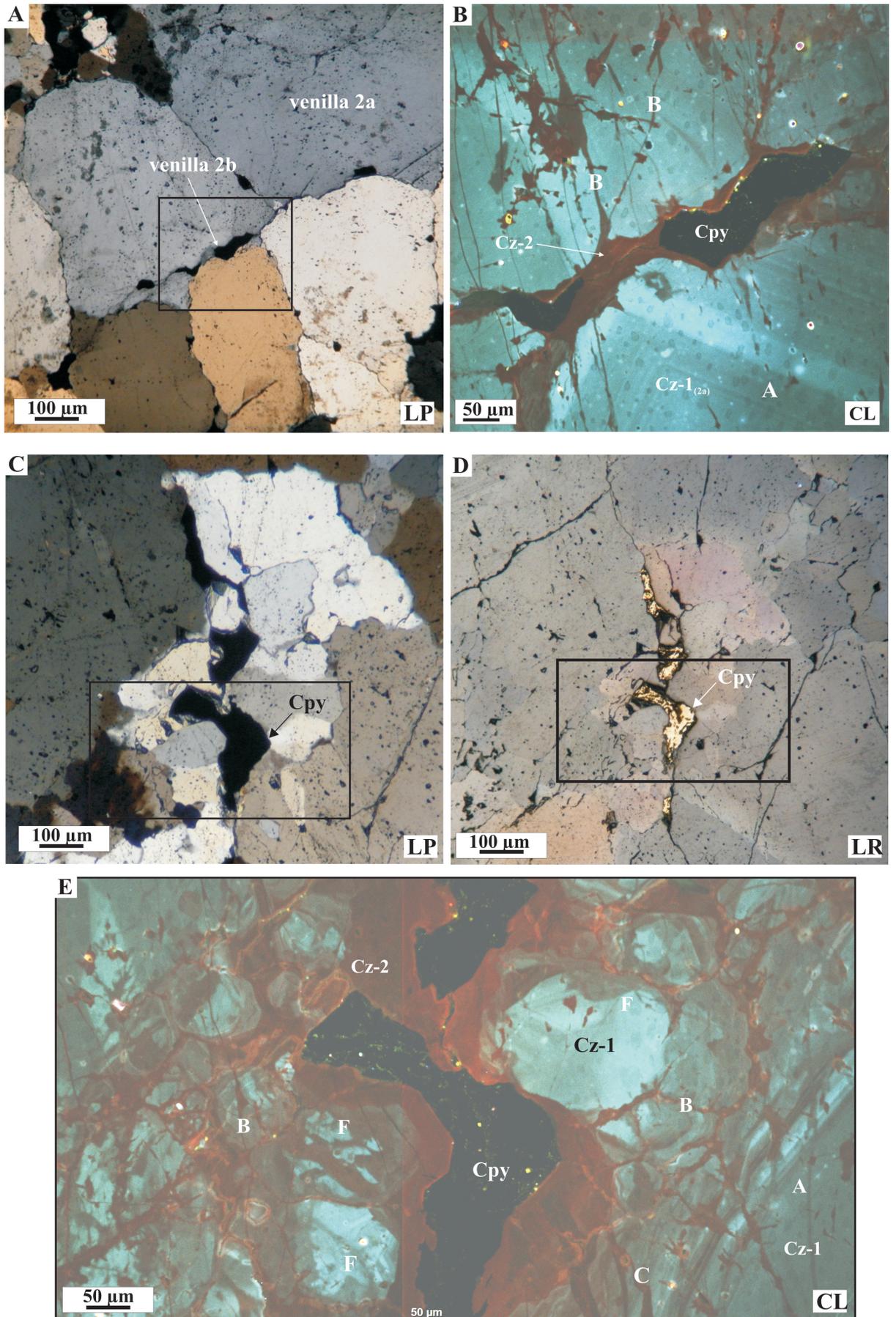


Figura 18. A) Microfotografía con luz polarizada a nicoles cruzados de venilla 2a cortada por venilla fina 2b. B) Imagen CL correspondiente al recuadro en A. El cuarzo Cz-1 de la venilla 2a está cortado por el cuarzo Cz-2 de la venilla 2b. C) Microfotografía con luz polarizada de venilla 2a cortada por venilla 2b. D) Microfotografía correspondiente al recuadro en C pero con luz reflejada. E) Imagen CL de la zona indicada con un recuadro en C y D, que muestra generaciones de cuarzo con las siguientes texturas: “A”: zonación de crecimiento euhedral, “B”: textura en “tela de araña”, “C”: banda de baja luminescencia corta a cuarzo previo, “F”: cuarzo CL oscuro alrededor de núcleos de cuarzo CL brillante.

Las venillas tipo 4 se asocian a parches de alteración clorítica localizados en los pórfidos (Fig. 7) y en las rocas volcánicas próximas a los mismos al oeste y en un halo que envuelve al núcleo potásico en el sector este (ver Fig. 6), cerca o en el contacto entre las alteraciones potásica y filica.

4.3. Alteración filica

La alteración filica afecta a todas las litologías. Forma un halo continuo que envuelve al núcleo potásico y a los parches de alteración clorítica. En profundidad está controlada por fracturas y se encuentra sólo en los halos de las venillas tipo 5. Ha sido definida por la asociación de minerales en equilibrio cuarzo + filosilicatos dioctaédricos potásicos \pm turmalina \pm rutilo y es la más ubicua en los pórfidos y en las rocas volcánicas y piroclásticas. Se manifiesta por el reemplazo del feldespato por illita, de los máficos por filosilicato dioctaédrico potásico \pm rutilo y de la pasta por microcristales de cuarzo (0,1- 0,4 mm) con illita (Figs. 25A y B). El rutilo está en grupos de cristales euhedrales formando ramilletes (< 0,4 mm) y en agregados de cristales muy finos y orientados pseudomórficos según un opaco. Hay agregados prismáticos (<0,6 mm) radiales de turmalina incolora a verdosa y de birrefringencia moderada a alta que reemplazan al feldespato y a la pasta (Fig. 25C). En las tobas, las trizas vítreas y las fiames están alteradas a illita + cuarzo.

En los sectores transicionales hacia las zonas con alteraciones clorítica y potásica, esta alteración tiene clorita según los minerales máficos, hematita subhedral y acicular diseminada (1-6% en vol., 0,05-0,2 mm) y anhidrita.

Los fragmentos de rocas y la matrix de la brecha magmática 1 y de la brecha hidrotermal 1 del valle este están siempre afectadas por alteración filica, al igual que la brecha magmática 2 y la brecha hidrotermal 2 del filo central.

4.3.1 Mineralización asociada

La mineralización en la alteración filica consiste de piritita con calcopiritita subordinada que forma parte de un “*stockwork*” de venas y venillas de cuarzo, turmalina y anhidrita de paredes sinuosas a rectas con salbandas de alteración filica, y también en diseminaciones de grano muy fino en las rocas alteradas.

La mineralización disseminada en la alteración filica es pirita (~2-7% en vol., <0,8 mm, cristales subhedrales) + calcopirita (0,2-2% en vol., <1,2 mm, cristales anhedrales), siempre la pirita es más abundante que la calcopirita (ver Figs. 10, 11 y 12). En la toba del CVI con

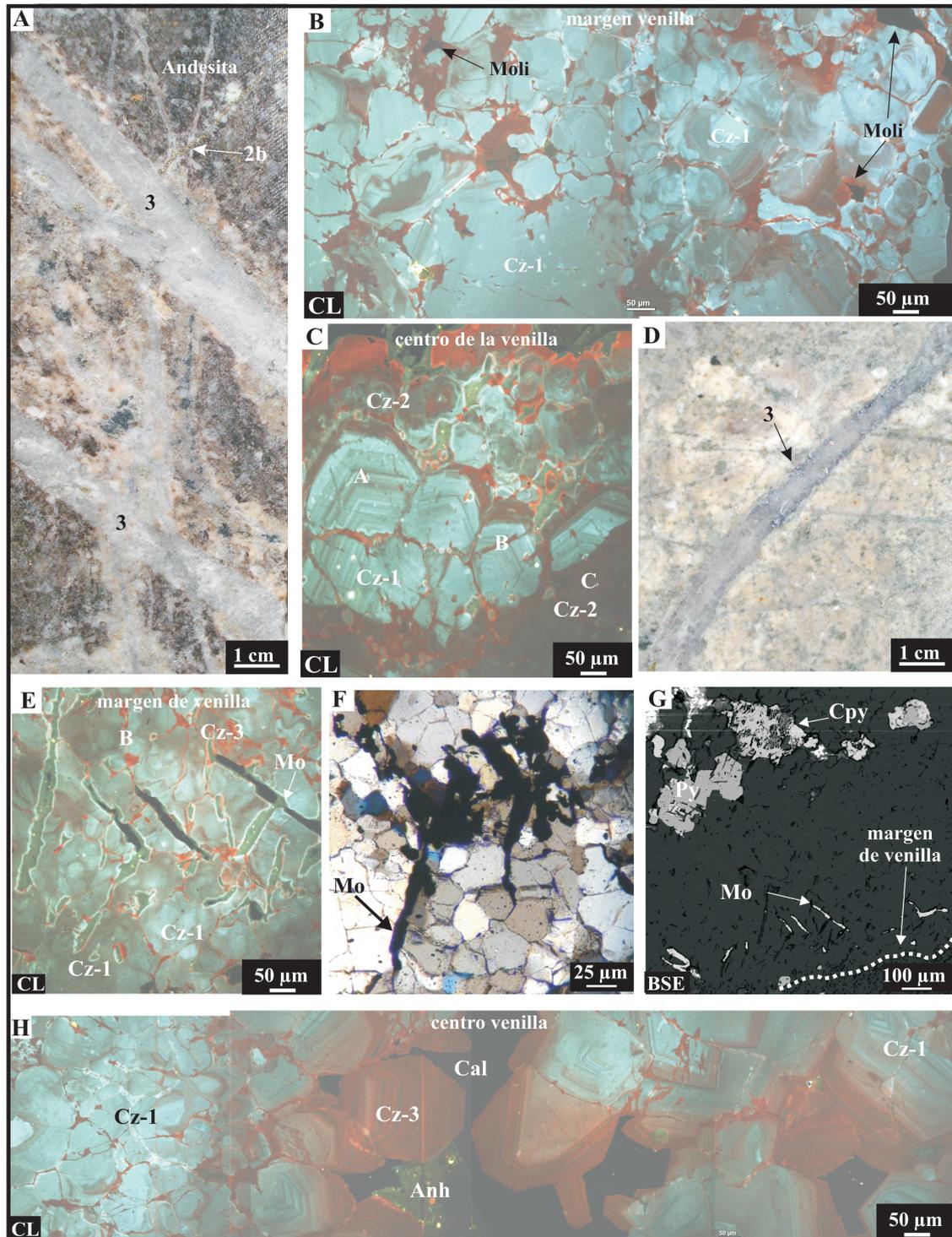


Figura 19. Fetas de rocas, imágenes CL y BSE representativas de las venillas tipo 3. A) Venillas tipo 3 cortan andesitas del CVI. B) Imagen CL de cuarzo Cz-1 en el margen de la venilla tipo 3. C) Imagen CL de los cuarzos Cz-1 y Cz-2 en el centro de la venilla; se señalan las texturas “A”, “B” y “C” reconocidas en el cuarzo. D) Bandas de molibdenita en los márgenes de estas venillas. E) Imagen CL de cristales de molibdenita que cortan al cuarzo Cz-1 en el margen de la venilla. F) Mismo sector de la imagen anterior pero con luz polarizada. G) Imagen BSE de la zona del margen de la venilla tipo 3. H) Imagen CL de la zona del centro de la venilla tipo 3.

Imagen BSE de láminas de molibdenita en el margen de la venilla. H) Imagen CL de venilla de calcita y anhidrita tardías en el centro de una venilla 3, en contacto con el cuarzo Cz-3.

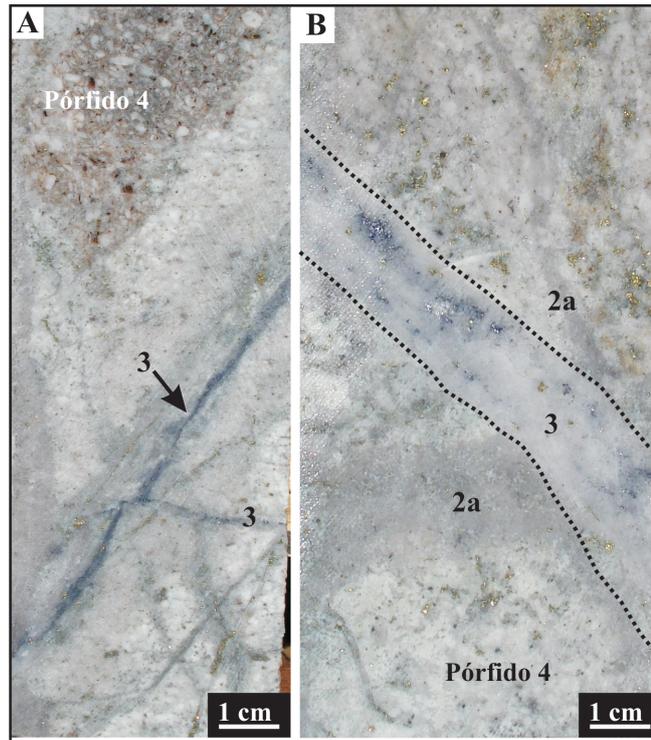


Figura 20. A) Venilla de molibdenita con una salbanda de alteración filica en el pórfido 4. B) Venilla tipo 3 corta a vena 2a en el pórfido 4.

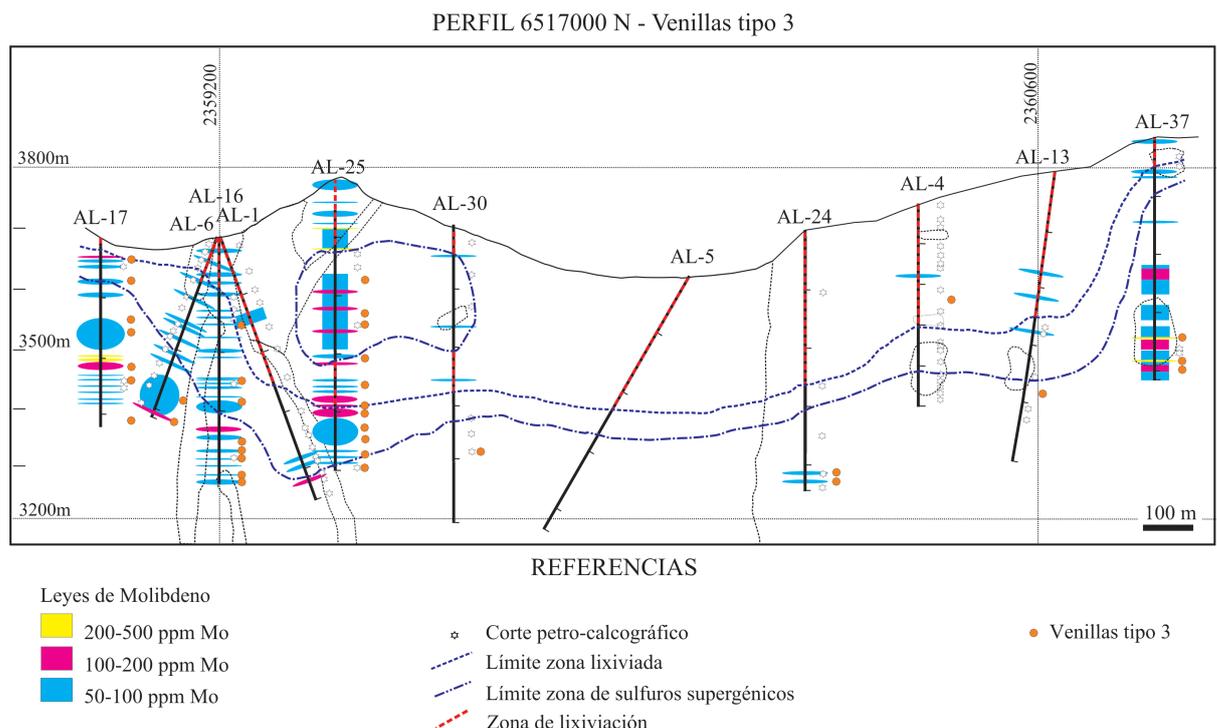


Figura 21. Distribución de venillas tipo 3 en el perfil 6517000 N y leyes de Mo.

alteración filica próxima a los intrusivos, los contenidos de calcopirita son menores (~1% en vol., <0,5 mm). En las andesitas del CVI con alteración filica contiguas a los intrusivos, los

contenidos de calcopirita diseminada son mayores (~2% en vol.). La brecha magmática 1 en el sector este (~200 a 400 m de profundidad del sondeo 14) con alteración filica tiene calcopirita (<1,5% en vol.) y pirita (hasta 6% en vol.) diseminadas, tanto en los fragmentos como en la pasta ígnea porfírica. La brecha hidrotermal 1 tiene pirita diseminada en los fragmentos y en la pasta.

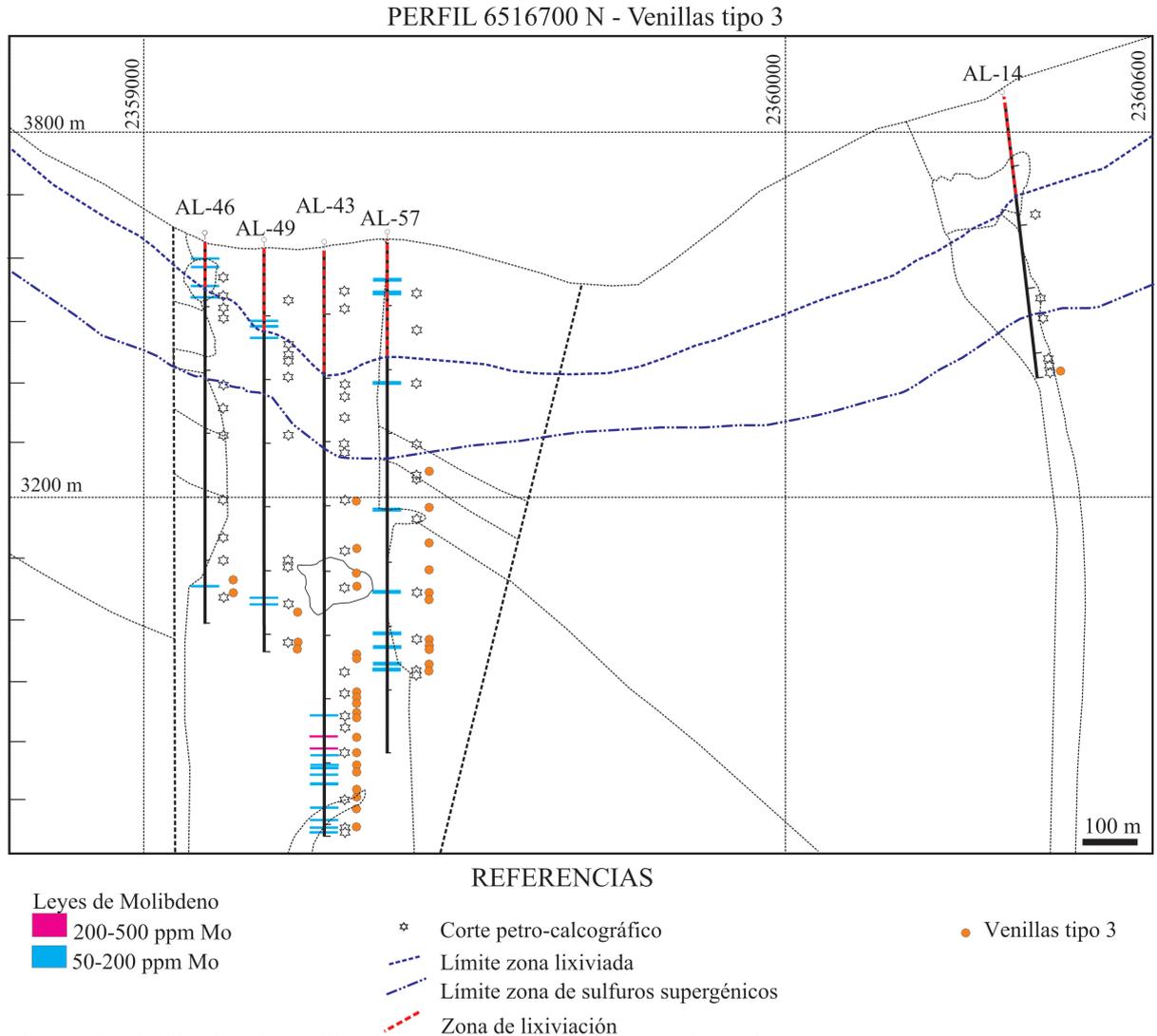


Figura 22. Distribución de venillas tipo 3 en el perfil 6516700 N y leyes de Mo.

Venillas tipo 5

Estas venillas están caracterizadas por una mineralogía de pirita + cuarzo + illita + anhidrita + calcopirita + turmalina y por presentar halos de alteración filica. Se reconocieron 4 subtipos: 5a, 5b, 5c y 5d (Tabla 1). Son comunes en todas las profundidades de los sondeos, donde cortan a los pórfidos y a las rocas de caja. Siempre están asociadas a zonas o fracturas con alteración filica y cortan a las venillas 1, 2a, 3 y 4. Suelen rellenar el interior de venillas previas y son comunes las venillas tipo 2a con reapertura y relleno de venillas 5.

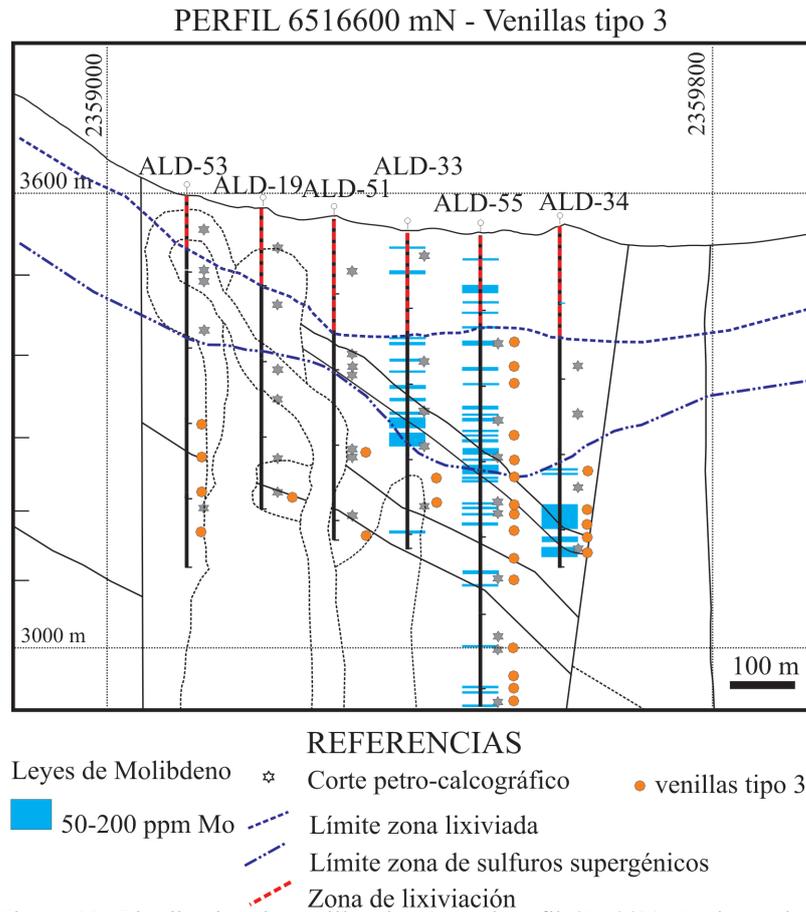


Figura 23. Distribución de venillas tipo 3 en el perfil 6516600 N y leyes de Mo.

Subtipo 5a con cuarzo + pirita + calcopirita ± illita ± turmalina. Presentan un espesor de hasta 2 mm. Los cristales de cuarzo son subhedrales (0,2-1,2 mm) y sus longitudes mayores perpendiculares a las paredes de la venilla. Pueden presentar illita y cristales de turmalina aciculares. Tienen un halo de alteración filica que a veces está lavado de mineralización pero en otros casos preserva los sulfuros (pirita y calcopirita). Cuando cortan a las andesitas, suelen mostrar un halo interno filico seguido por un halo externo de clorita con pirita y calcopirita diseminadas (Figs. 26A y B). Cortan a los pórfidos 2 y 4 en los niveles profundos a intermedios de los sondeos, donde estas rocas tienen alteraciones potásica y clorítica, y en menor proporción a las rocas volcánicas del CVI afectadas por estas mismas alteraciones (Figs. 27, 28 y 29). Cortan a las venillas 2a (ver Fig. 26A).

Subtipo 5b con pirita + cuarzo ± illita ± anhídrita ± calcopirita. Son venas y venillas (0,1 a 6 cm de espesor) de paredes rectas (Fig. 26C). La pirita (0,4-3 mm) subhedra es el mineral más abundante. El cuarzo está en granos límpidos, subhedrales (0,1-4 mm) y con sus longitudes mayores perpendiculares a las paredes de la venilla. Contienen calcopirita subordinada, con menor illita y anhídrita (0,1-0,6 mm) y suelen estar reabiertas y rellenadas

por venillas tardías. Tienen halos de alteración filica constituidos por filosilicatos dioctaédricos potásicos + cuarzo con espesores que varían entre 0,1 y 2 cm; los sulfuros (calcopirita, pirita) y la turmalina están removilizados del halo (<0,5 % de pirita) y concentrados en su borde externo (Fig. 26C), donde a veces la turmalina forma agregados

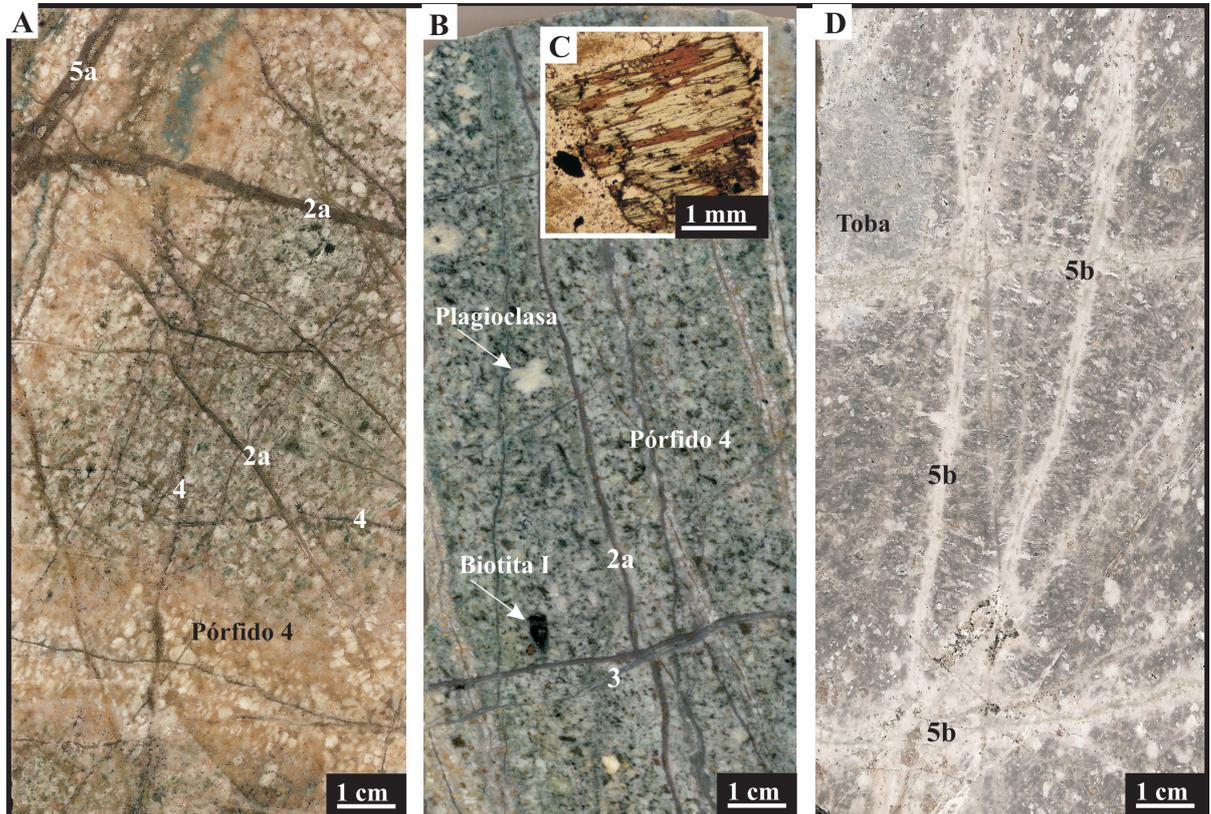


Figura 24. Fetas de rocas y microfotografías representativas de la alteración clorítica. A) Pórfido 4 con alteración clorítica cortado por venillas 2a, 4 y 5a. B) Pórfido 4 con alteración clorítica cortado por venillas 2a y 3. C) Detalle de un fenocristal de biotita reemplazado parcialmente por clorita. D) Toba con alteración de illita + cuarzo + filosilicatos dioctaédricos potásicos.

aciculares radiados. En otros casos, la turmalina está presente en los halos filicos de las venillas (Fig. 26D). Cuando estas venillas cortan a la roca de caja andesítica, los halos tienen zonación con una zona interna filica sin sulfuros que pasa a una zona externa clorítica con sulfuros (pirita y calcopirita) diseminados (Fig. 26E). En los niveles profundos del valle este se reconocieron venillas 5b con halos filicos que cortan al pórfido 2 y brecha magmática 1 con alteraciones potásica y clorítica (Figs. 27 y 28) y en los niveles superficiales cortan a la brecha hidrotermal 1. En los niveles profundos del filo central, las venillas 5b rellenan fracturas que cortan a los pórfidos 3, 4, brecha magmática 2 y brecha hidrotermal 2 y a las rocas de caja con alteración potásica y forman el halo filico, y también se encuentran a menor profundidad en zonas con alteración filica penetrativa (Figs. 27, 28 y 29). Cortan a las venillas 2a, 3 y 4 en los niveles profundos a superficiales de los pórfidos y rocas de caja del CVI (Figs. 30A, B, C y D) No se reconocieron relaciones de corte con las venillas 5a, pudiendo ser transicionales con las mismas (ver Fig. 28).

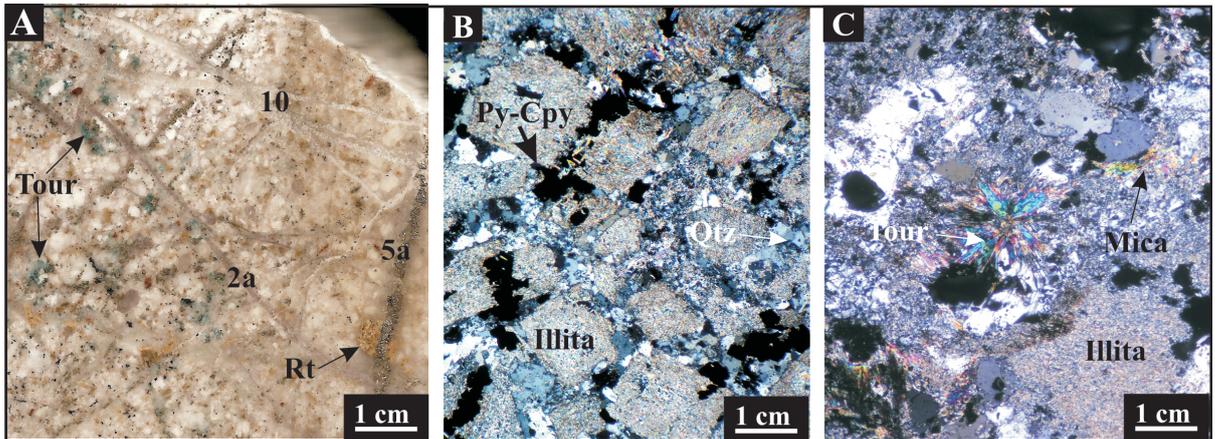


Figura 25. Fetas de rocas y microfotografías representativas de la alteración filica. A) Pórfido 4 con alteración filica cortado por venillas 2a y 5a. B) Alteración filica que preserva la textura original porfírica. C) Cristales aciculares de turmalina que forman un “sol” o penacho, cristales de mica incolora e illita según un feldespato previo.

Subtipo 5c con anhidrita ± cuarzo ± calcopirita ± pirita. Tienen espesores menores de 2 cm (Fig. 30E). Los cristales subhedrales de anhidrita (0,6-2 mm) rellenan el 95% de la venilla. Cristales subhedrales de cuarzo (0,2-0,4 mm) con sus longitudes mayores perpendiculares a las paredes de la venilla acompañan a la anhidrita junto con pirita y calcopirita subordinadas y tienen un halo de alteración filica. Estos halos a veces tienen abundante pirita (10 % en vol.) o calcopirita + pirita diseminadas (< 2 %, A-16-376 m), es decir, que a diferencia de las venillas 5b, los halos de este subtipo suelen no estar lavados de sulfuros (Fig. 30E). Se reconocieron estas venillas en los niveles profundos e intermedios del pórfido 4 con alteraciones potásica, clorítica y filica, y en la andesita del CVI con alteración potásica, donde cortan a las venillas 5a y 5b (Fig. 30F, ver Fig. 28).

Subtipo 5d con turmalina ± cuarzo. Son venillas irregulares y finas (0,1 a 1,5 cm) compuestas por agregados de turmalina acicular y radial (1 a 4 mm) y en menor cantidad cristales subhedrales de cuarzo de grano muy fino (<0,2 mm) y límpidos (Fig. 30H). Tienen halos de alteración filica (illita + mica incolora + cuarzo) lavados de mineralización. Cortan a los pórfidos, a la brecha magmática 1 del sector este y a las rocas de caja con alteraciones potásica, clorítica y filica, a niveles intermedios y superficiales, aún en zonas de lixiviación. En todos estos sectores cortan a las venillas 2a, 5a y 5b (Fig. 28).

En resumen, las venillas 5a, que contienen más calcopirita, se encuentran a mayores profundidades, las 5b se distribuyen desde los niveles profundos a los superficiales y podrían ser transicionales con las primeras. Las venillas 5c cortan a las venillas 5a y 5b en los niveles intermedios (Fig. 28). Las venillas 5d están en los niveles intermedios y superficiales cortando a las venillas 5a y en escasos ejemplos en profundidad cortan a las 5b.