

5. GEOQUÍMICA DEL COBRE, MOLIBDENO, ORO, ARSÉNICO, ZINC Y PLOMO

La información geoquímica obtenida de los testigos del proyecto permitió reconocer dos núcleos mineralizados en el filo central y en valle este separados por una zona central con bajo grado de mineralización ubicada debajo del valle del arroyo Altar (ver Fig. 10). Estos núcleos mineralizados coinciden con la ubicación de dos zonas de “*stockwork*” de venillas en intrusivos y en las rocas de caja y que cortan y rodean a las dos zonas de alteración potásica en el distrito (Fig. 46A). Sin embargo, de acuerdo con las mediciones “IP” (polarización inducida) realizadas en profundidad, las dos zonas podrían estar unidas definiendo un área mineralizada de 2,9 km. x 1,7 km. (Figs. 46B y C) (Peregrine Metals Ltd., 2006).

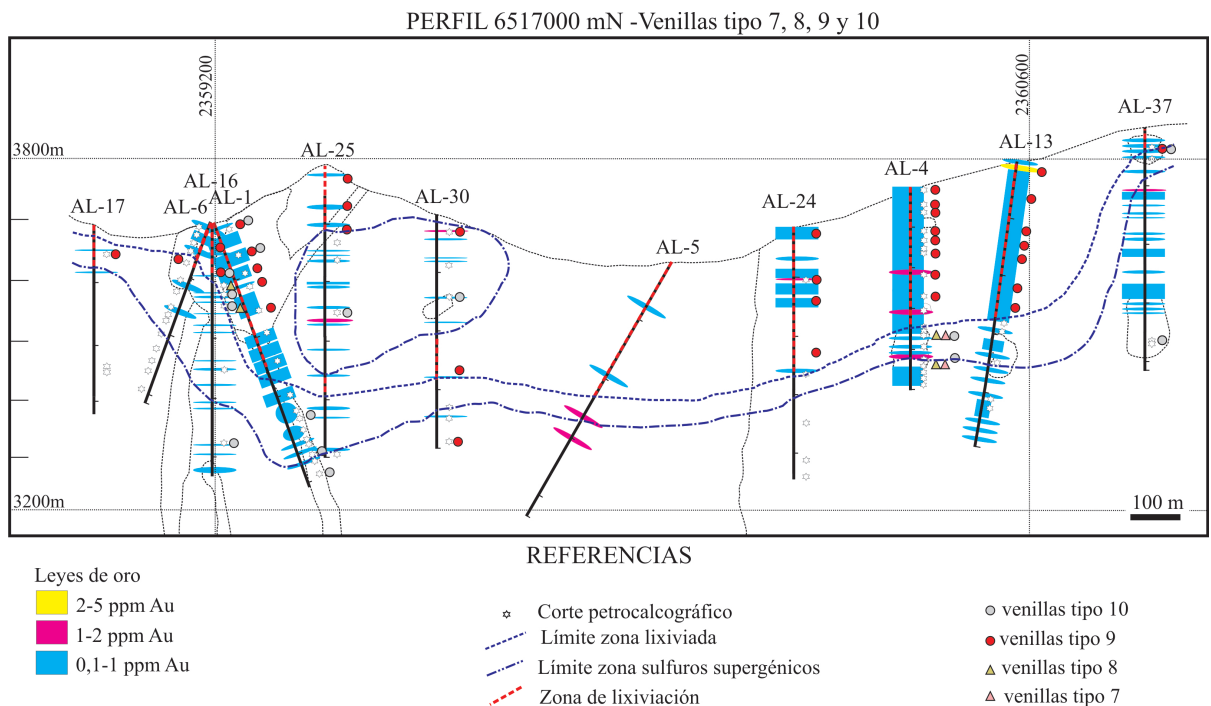


Figura 42. Distribución de las venillas 7, 8, 9 y 10 en el perfil 6517000 N y leyes de Au.

La empresa minera Peregrine Metals Ltd realizó un modelo de bloques en tres dimensiones, considerando bloques de 15m³ para los que se calcularon las leyes de Cu, Au y Mo sobre la base de la geoquímica de los sondeos y la densidad de cada una de las litologías. Se utilizó el programa Surpac Vision Software (Peregrine Metals Ltd., 2010). La figura 47 muestra la distribución de los valores de cobre de los primeros 15 m mineralizados de cada sondeo extrapolados a la superficie (Peregrine Metals Ltd., 2010). Dos centros principales con zonación de leyes de Cu se localizan en el valle este y en el filo central y están asociados espacialmente al pórfido 2 y al pórfido 4, respectivamente. Otro centro con zonación de leyes de Cu pero menos mineralizado, parece estar controlado por el pórfido 3 en el filo central. El centro mineralizado con leyes más altas se asocia al pórfido 4 (Fig. 47).

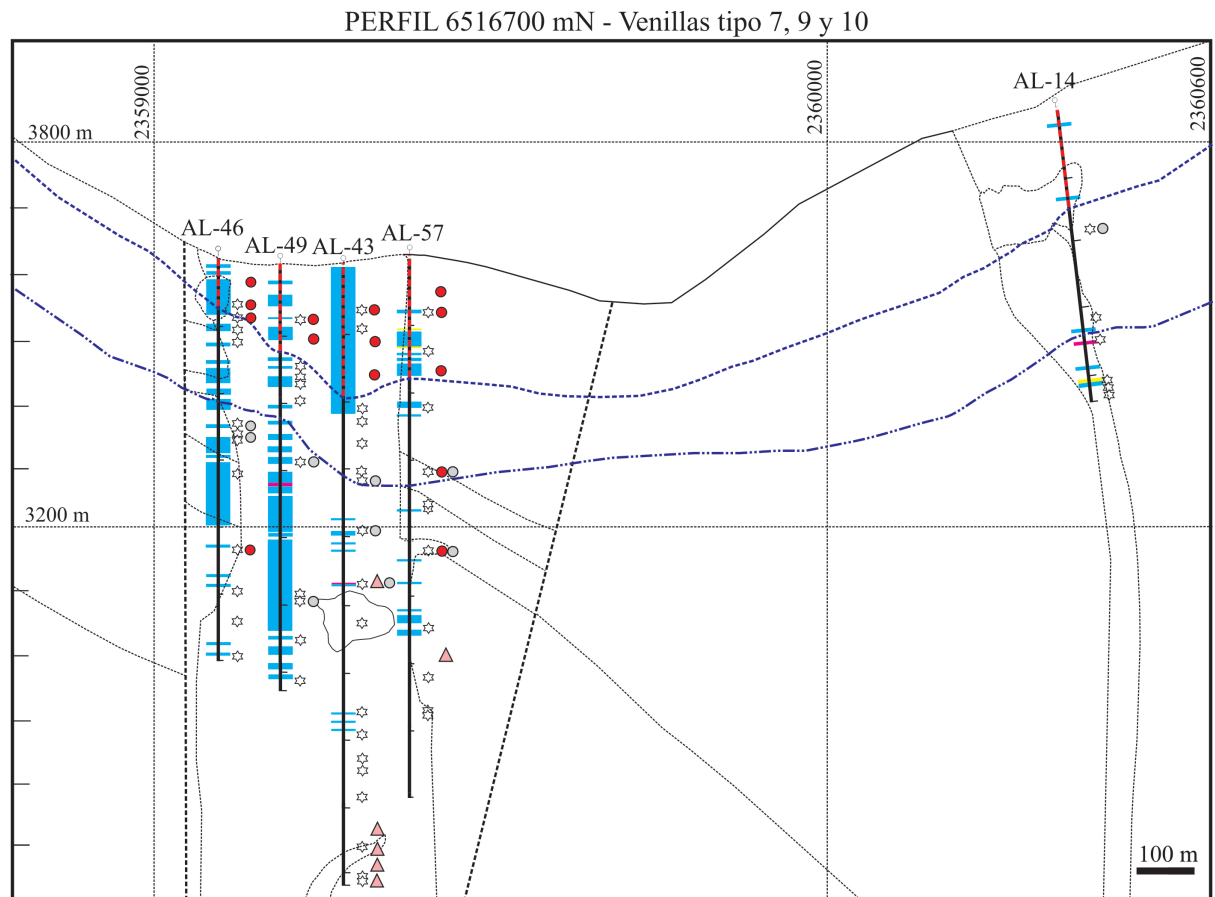


Figura 43. Distribución de las venillas 7, 8, 9 y 10 en el perfil 6516700 N y leyes de Au.

De acuerdo con la distribución de la geoquímica en el perfil 6517000 N, los pórfidos 3, 4 y la brecha magmática 2 del filo central, tienen valores de Cu que varían entre 0,2 -0,5 % y 0,5% -1,5 % y las rocas de caja en contacto con ellos tienen entre 0,2 y 0,5% de Cu (Fig. 10). Hacia el sur, en el filo central (perfiles 6517600N y 6516600 N), los valores de Cu de 0,2-0,5 % y de 0,5-1,5 % se distribuyen sobre un área mayor que incluye no sólo a los pórfidos sino también a las rocas de caja interceptadas por los sondeos (Figs. 11 y 12). En el perfil 6517000 N, el pórfido 2 del valle este presenta anomalías de Cu en el rango de 0,2 a 0,5% (Fig. 10). En el perfil 6517000 N, las zonas con alteración potásica y mineralización hipogénica presentan anomalías de 0,2-1,5 % de Cu, 10 -40 ppm de Mo y 0,02 -0,09 ppm de Au. El pórfido 4 con alteración potásica y con calcopirita > pirita, presenta valores de Cu de 0,5-1,5% (Fig. 11).

En los sectores profundos, la alteración clorítica preserva la mineralización hipogénica de la zona potásica, excepto por la transformación de magnetita en hematita.

Las zonas con alteración filica y mineralización hipogénica disseminada con pirita > calcopirita se correlacionan con valores de Cu de 0,2-0,5% (Fig. 10 y 11). En profundidad, las zonas con alteración argílica avanzada y mineralización de tennantita (calcopirita), pirita, tetraedrita (calcopirita), bornita y enargita (calcopirita) disseminada y en venillas tienen valores de Cu de 0,2 a 1,5 %.

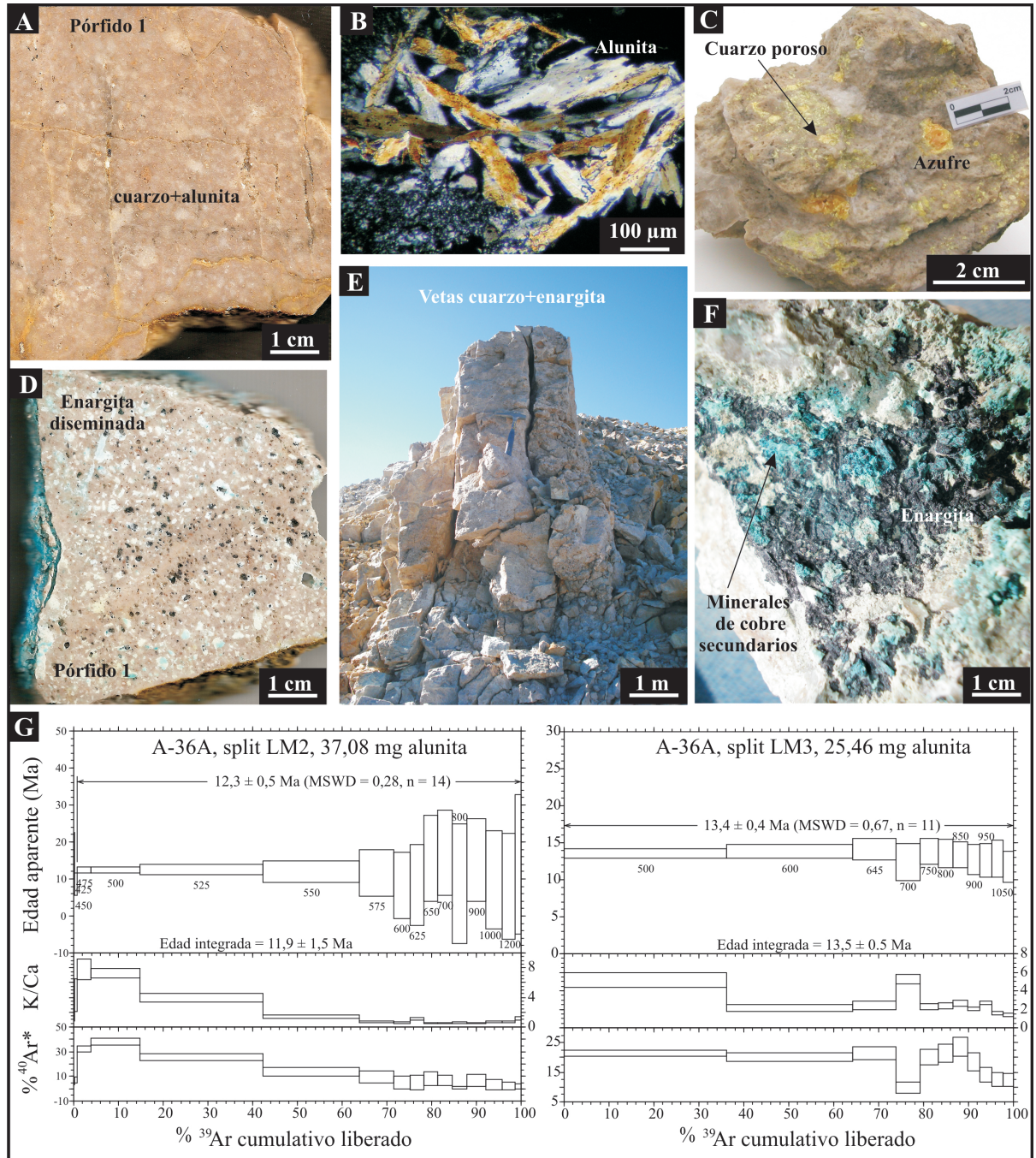


Figura 44. Fetas de rocas, fotos y microfotografías representativas de la alteración argílica avanzada en superficie y de las vetas mineralizadas. A) Pórfido 1 con alteración argílica avanzada. B) Detalle de cristales tabulares de alunite. C) Cuarzo “poroso” con oquedades rellenas por azufre. D) Enargita disseminada en el pórfido 1 con alteración argílica avanzada. E) Foto de veta epitermal de cuarzo en superficie. F) Detalle de enargita parcialmente reemplazada por minerales secundarios de Cu. G) Datación Ar-Ar en alunite de la muestra A-36a (ver explicación en el texto).

El halo de enriquecimiento supergénico con digenita + covelina diseminadas en los pórfidos tiene valores de Cu de 0,5-1,5% (Fig. 54) y disminuyen en la toba (0,2-0,5% Cu) (Fig. 54). En el perfil 6516700 N, la parte superior de la zona de enriquecimiento supergénico presenta anomalías de 1,5 a 3,5% de Cu. En las andesitas del CVI en este mismo perfil, la zona de enriquecimiento supergénico presenta sectores con anomalías de 0,5 a 1,5% Cu.

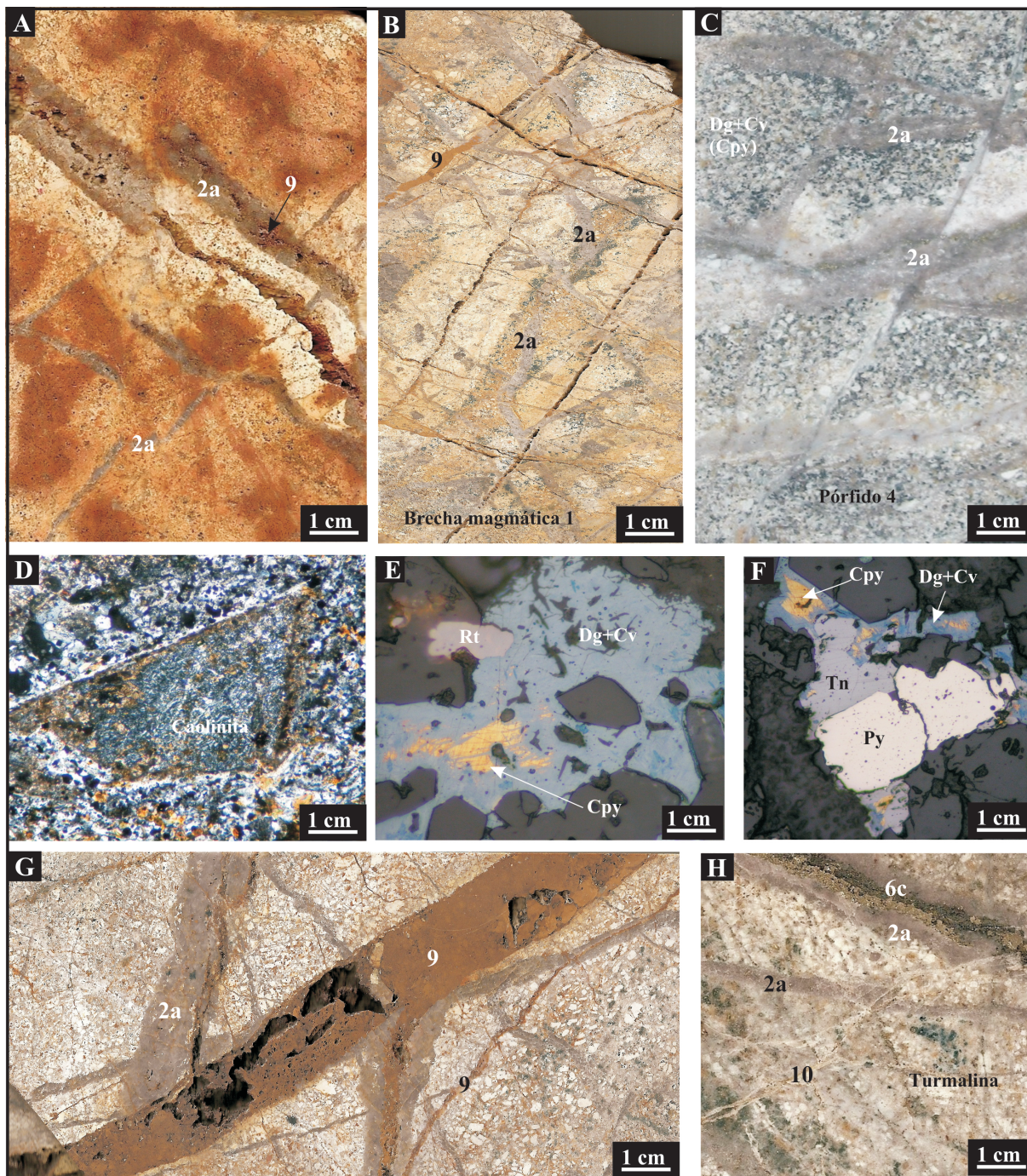


Figura 45. Fetas y microfotografías representativas de la alteración y enriquecimiento supergénicos. A) Jarosita ± goethita en la zona de lixiviación del pórfido 4. B) Venillas 9 corta a venillas 2a en la brecha magmática 1. C) Muestra de la zona de enriquecimiento supergénico en el pórfido 4. D) Detalle de caolinita según feldespato en la zona de lixiviación. E) Detalle de digenita + covelina según calcopirita. F) Digenita + covelina reemplazan selectivamente a calcopirita y en menor medida a tennantita. G) Venillas 9 cortan a venillas 2a. H) Venillas 10 cortan a venillas 2a y 6c en el pórfido con alteración filica.

En los perfiles estudiados (Figs. 21 y 22 y 23), las anomalías de Mo (50 a 200 ppm) se distribuyen en el pórfido 4 del filo central y en las rocas de caja. Se encuentran de manera muy esporádica en el pórfido 2 del valle este. En las tres secciones analizadas las anomalías de Mo coinciden con la presencia de las venillas tipo 3 con molibdenita que cortan a los pórfidos y a las rocas de caja. Algunos sondeos (ej. el sondeo 37 del perfil 6517000 N) interceptaron sectores del pórfido muy fracturado sin venillas tipo 3 pero con altos valores de Mo y se infiere que podrían correlacionarse con molibdenita diseminada de grano muy fino.

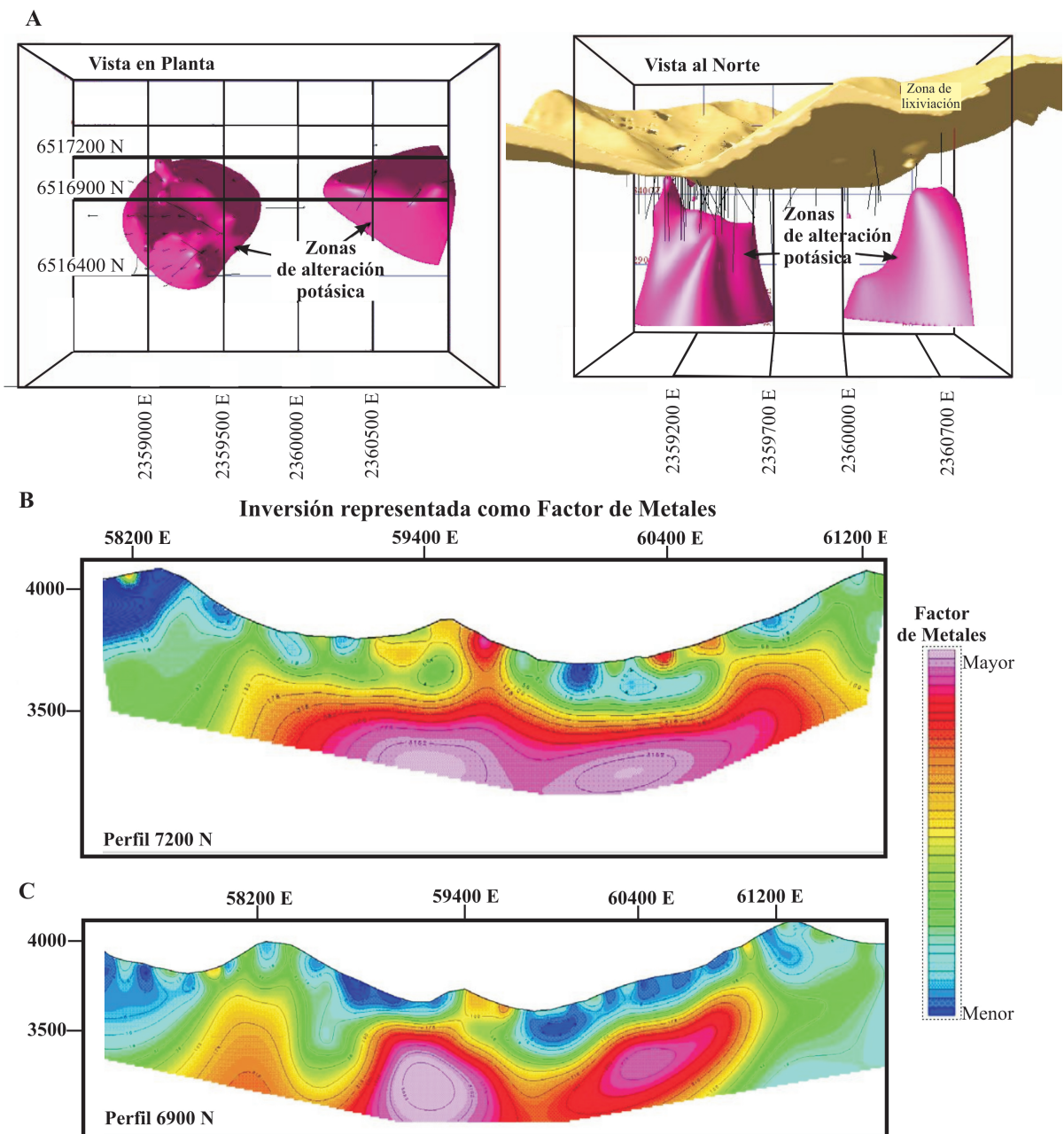


Figura 46. A) Zonas de alteración potásica en el valle este y en el filo central del distrito Altar. Vistas en planta y hacia el norte. B) Mediciones “IP” en los perfiles O-E 6517200 N y 6516900 N representados como factores de metales.

La figura 48 muestra en tres dimensiones las zonas con leyes de Cu mayores de 0,1% y de Mo mayores de 0,0025%. En la figura 49 se extrapolaron a la superficie los bloques de 15m³ reconocidos en profundidad (“modelo de bloques”; Peregrine Metals Ltd., 2010), con valores geoquímicos elevados de Mo y de Au, junto con los contornos de los afloramientos de los distintos pórfidos y las rocas de caja. Dos centros con mineralización de Mo de dimensiones reducidas se encuentran en el valle este. En el filo central el Mo forma un halo de mineralización más amplio y continuo que incluye al pórfido 4 y a las rocas de caja que lo rodean (Fig. 49).

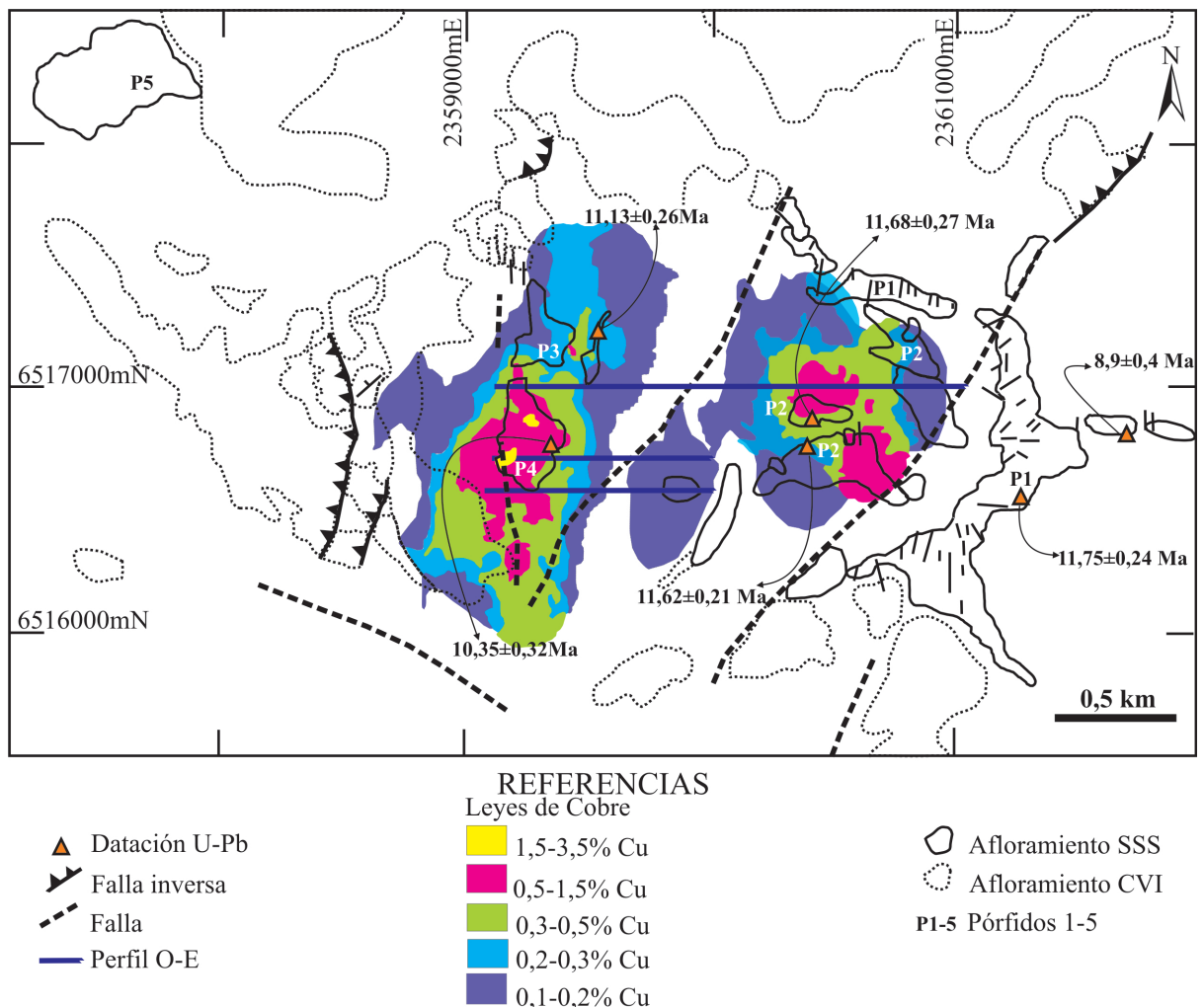


Figura 47. Distribución del Cu en los primeros 15 metros de cada sondeo extrapolado a superficie. Se señalan los contornos de los afloramientos del CVI y de la SSS, los tres perfiles analizados y la localización de las dataciones U-Pb. Modificado de Peregrine Metals (2010).

Los valores de Au, en planta, se relacionan espacialmente con los distintos pórfidos mineralizados (Fig. 49). Centros con mineralización de Au se hallan en el pórfido 2, el pórfido 3, el pórfido 4 y también en el pórfido “intra-mineral indiferenciado” localizado al este del pórfido 4. En los perfiles analizados, los valores de oro de 0,1 a 1 ppm están bien distribuidos en los pórfidos y rocas de caja del filo central y en los pórfidos del valle este. Hacia el sur, las anomalías de Au en los sondeos del valle este son esporádicas (perfil

6516700 N) (Figs. 27 y 28). Anomalías de Au de 0,1-1 ppm, 1-2 ppm y 2-5 ppm se determinaron en muestras de pórfidos y de toba con alteración filica que contienen venillas tipo 6b (Figs. 38, 39 y 40). Las venillas 6a y 6c se correlacionan con anomalías de Cu (0,2-1,5% y 1,5-3,5% Cu), además de Au (0,1-1ppm, 1-2 y 2-5 ppm). Las zonas con venillas tipo 9 (jarosita + limonita) presentan anomalías de Au (2-5 ppm de Au) (Figs. 42 y 43).

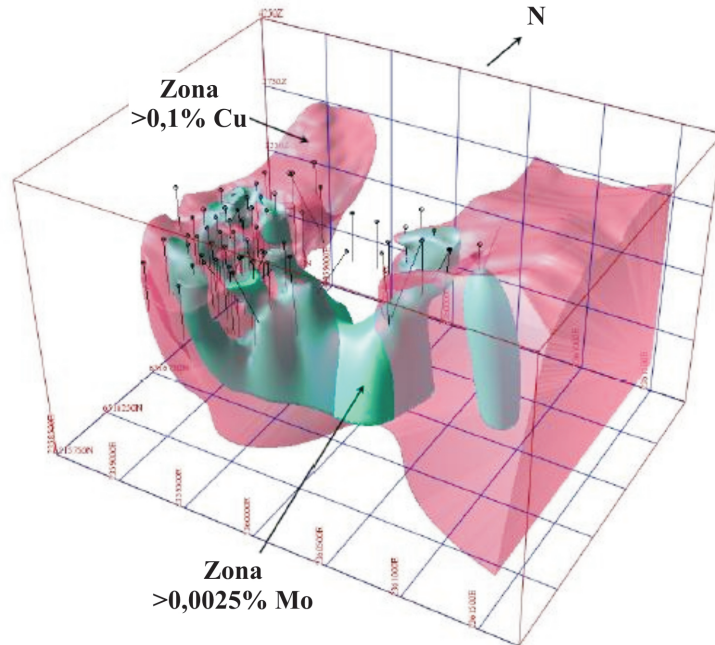


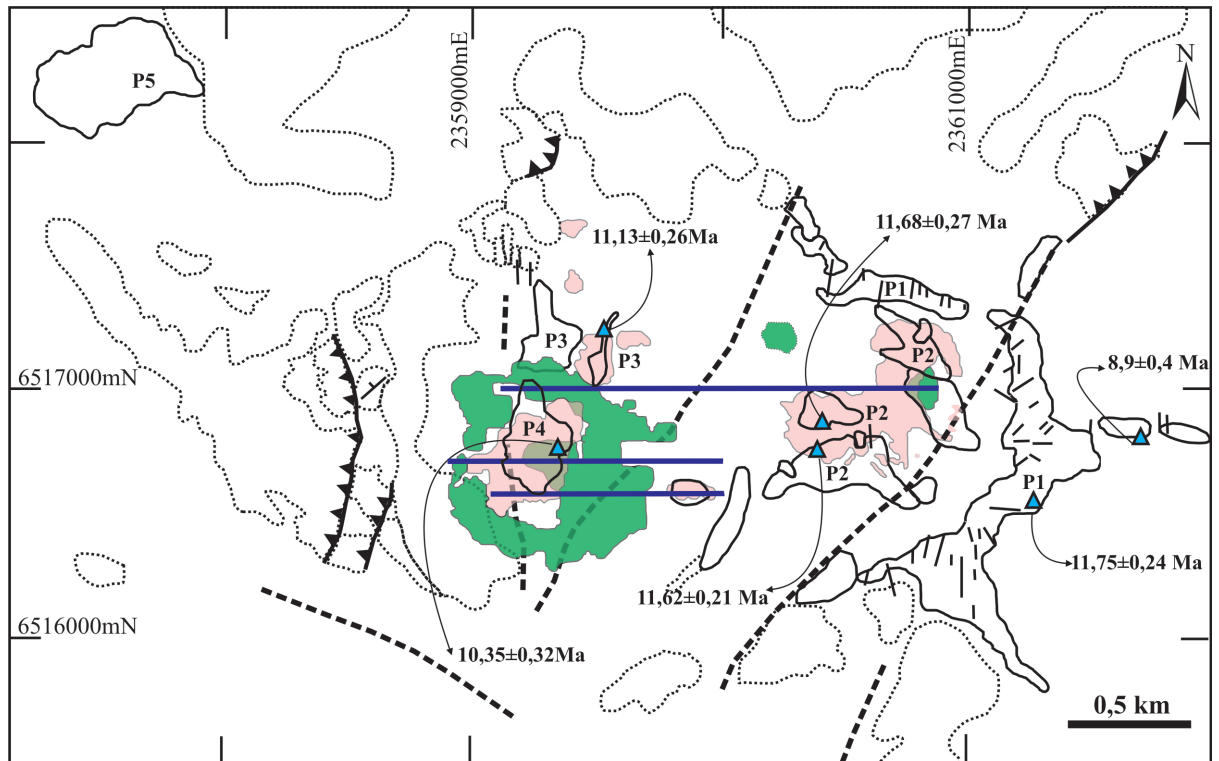
Figura 48. Modelo en tres dimensiones con la ubicación en el espacio de la zona con leyes > 0,1 % de Cu y > 0,0025 ppm de Mo. Modificado de Peregrine Metals (2010).

Las anomalías de As (0,2-0,5 % As y 0,5 – 1,5 % As) se distribuyen en los pórfidos 3 y 4 y en las rocas de caja en los niveles intermedios y superficiales (Fig. 50). Son esporádicas en la toba del valle central y en el pórfido 2 del valle este (Fig. 50). En ambos sectores se correlacionan con las venillas 6a y 6b o con las venillas tipo 9, producto de la alteración supergénica de las primeras (Fig. 50).

Las anomalías de Pb (200 a 3000 ppm Pb) y de Zn (200 a 3000 ppm Zn) se localizan en el valle este cortando al pórfido 2 (Fig. 51). Valores de Zn muy esporádicos se observan en el valle central cortando a la toba y en el filo central (Fig. 51). Coinciden con la presencia de venillas tipo 7 de cuarzo ± esfalerita ± galena ± pirita. Por ejemplo, una venilla 7 (1,01% Zn y 0,28% Pb) fue interceptada por el sondeo AL-4 a los 444m de profundidad cortando al pórfido fragmentado con alteración filica (Fig. 42). El intervalo de 916-918 m del sondeo 43 del filo central tiene anomalías de Zn y Pb (2833 ppm Zn y 1123 ppm Pb) que se correlacionan con una venilla tipo 7 (Figs. 52 y 53).

La empresa Peregrine Metals realizó un muestreo y análisis geoquímico de las vetas de cuarzo y de enargita ± cuarzo ± alunita epitermales de los fillos este del prospecto

(concesiones Río Cenicero; Peregrine Metals Ltd., 2010). Los análisis arrojaron valores de hasta 14,1 g/t Au, 400,5 g/t Ag, 12,4% Cu y 111,8 ppm Mo (Peregrine Metals Ltd., 2010).



REFERENCIAS

- | | | |
|-----------------|-----------------|--------------------|
| ▲ Datación U-Pb | ● >0,1 gr/Tn Au | ○ Afloramiento SSS |
| ↘ Falla inversa | ● >30 ppm Mo | ○ Afloramiento CVI |
| - - - Falla | | |
| — Perfil O-E | | |

Figura 49. Mapa con los valores geoquímicos elevados de Mo y de Au reconocidos en profundidad extrapolados a la superficie. Se señalan los afloramientos del CVI y de la SSS, los tres perfiles analizados y la localización de las dataciones U-Pb. Modificado de Peregrine Metals (2010).

6. DISCUSIÓN

6.1. Geocronología de los eventos magmáticos e hidrotermales

En muchos depósitos de los Andes Centrales, el emplazamiento de los cuerpos intrusivos en cada distrito ocurrió en un período de 2 a 5 Ma, lo cual implica que transcurrieron intervalos de tiempo considerables (0,5–1,5 Ma) entre la intrusión de las distintas facies ígneas (e.j., Ballard et al., 2001; Makshev et al., 2004; Padilla-Garza et al., 2004; Jones et al., 2007; Perelló et al., 2007; Harris et al., 2008). En el pórfido de Cu El Salvador (Chile), dos períodos de actividad ígnea produjeron centros de mineralización múltiples y parcialmente superpuestos, separados por un intervalo de ~ 3 Ma (Gustafson et al., 2001). Por otra parte, los estudios geocronológicos de las zonas de alteración argílica avanzada de algunos pórfidos de cobre indican lapsos extendidos de duración de la actividad hidrotermal (1 a >1,5 Ma en el Cerro de Pasco y Colquijirca, Perú, BendeZú et al., 2008;