

## **CAPÍTULO VI**

### **QUÍMICA MINERAL.**

### **ASOCIACIONES MINERALES EN EQUILIBRIO**

## 1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como propósito documentar las composiciones químicas y las variaciones en las composiciones de los minerales hidrotermales, entre los que se incluyen sulfuros y sulfosales, filosilicatos, feldespatos, turmalina, alunita y magnetita. Estos minerales se formaron en los numerosos estadios de alteración y mineralización descritos en el capítulo anterior.

También se analizan las condiciones de temperatura, pH, fugacidad del S y del O en las que probablemente se formaron estos minerales, teniendo en cuenta sus composiciones químicas y los minerales hidrotermales con los cuales se asocian en equilibrio en cada una de las alteraciones y mineralizaciones. Finalmente, se intenta dilucidar la naturaleza de los fluidos hidrotermales y la evolución del sistema en el tiempo y en el espacio. Además, se analiza la relación entre las mineralizaciones de tipo pórfido de Cu-(Au-Mo) y las vetas epitermales de Au-(Ag-Cu) del proyecto Altar.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Análisis químicos de los minerales hidrotermales

De los perfiles descritos en el capítulo anterior, se seleccionaron muestras representativas de los distintos pulsos de alteración y mineralización para realizar análisis químicos puntuales con microsonda de electrones. La mayoría de las muestras seleccionadas corresponde al perfil 6516700 N que contiene las leyes de cobre más altas del proyecto. Además, los sondeos de este perfil alcanzaron los niveles más profundos del sistema lo cual permitió observar transiciones entre los pulsos de alteración y mineralización del sistema hidrotermal. También se analizaron muestras de los perfiles ubicados al norte (6517000 N) y al sur (6516600 N) y de las vetas epitermales de Au-Ag-Cu situadas en los filos este del proyecto.

Las composiciones químicas de sulfuros y sulfosales ( $n = 155$ ), filosilicatos ( $n = 32$ ), feldespatos ( $n = 24$ ), turmalina ( $n = 9$ ) y alunita ( $n = 6$ ) se determinaron con una microsonda electrónica EPMA en dos laboratorios. Los análisis químicos de los minerales señalados con letra negrita en las tablas correspondientes, se realizaron con la microsonda electrónica Cameca SX-50 (EPMA) con cuatro espectrómetros multi-cristalinos, en el laboratorio del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Utah, en Estados Unidos de Norteamérica. Las condiciones analíticas fueron las siguientes: aceleración de corriente 15 Kv, intensidad de corriente 30 n Á y el diámetro del láser fue de 10  $\mu$ m. El tiempo de análisis

fue de 10 segundos en el pico y de 10 segundos en el “*background*”. Los patrones utilizados fueron: albita (Na), diópsido (Ca, Mg, Si), hematita (Fe), magnetita (Fe), sanidina (K, Al), rutilo (Ti), tetraedrita (Cu, Sb, S, Zn), tennantita (Cu, As, Fe), pirita (Fe, S) y calcopirita (Cu, Fe, S).

Los análisis químicos de los minerales señalados con un asterisco en las tablas, fueron realizados con la microsonda electrónica Jeol-JXA 8900-RL en el laboratorio de microanálisis del Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear (CDTN) de la Universidad Federal de Minas Gerais, en Belo Horizonte, Brasil. Las condiciones analíticas fueron las siguientes: aceleración de corriente 20 Kv, intensidad 25 n Á y diámetro analizado entre 1 y 10 µm. Se midió sobre las líneas espectrales K $\alpha$  del Fe y Mn con un cristal LIF; las K $\alpha$  del Mg, Si, Al y Na con un cristal TAP y las K $\alpha$  del Ca, Cr, Ti y K con un cristal PET. Los patrones utilizados fueron ortosa (Si, Al, K), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Fe), periclase (Mg), wollastonita (Ca), rodonita (Mn), rutilo (Ti), albita (Na), y Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Cr).

Se debe tener en cuenta que en ambos equipos el límite de detección de cada elemento es 500 ppm (equivalente a 0,05% en peso). En general se analizaron sectores libres de inclusiones minerales, a menos que esto se detalle en el texto. Los métodos empleados para el cálculo de las fórmulas minerales y los criterios de clasificación se detallan en las tablas correspondientes.

### **3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS MINERALES HIDROTERMALES**

#### **3.1 Magnetita**

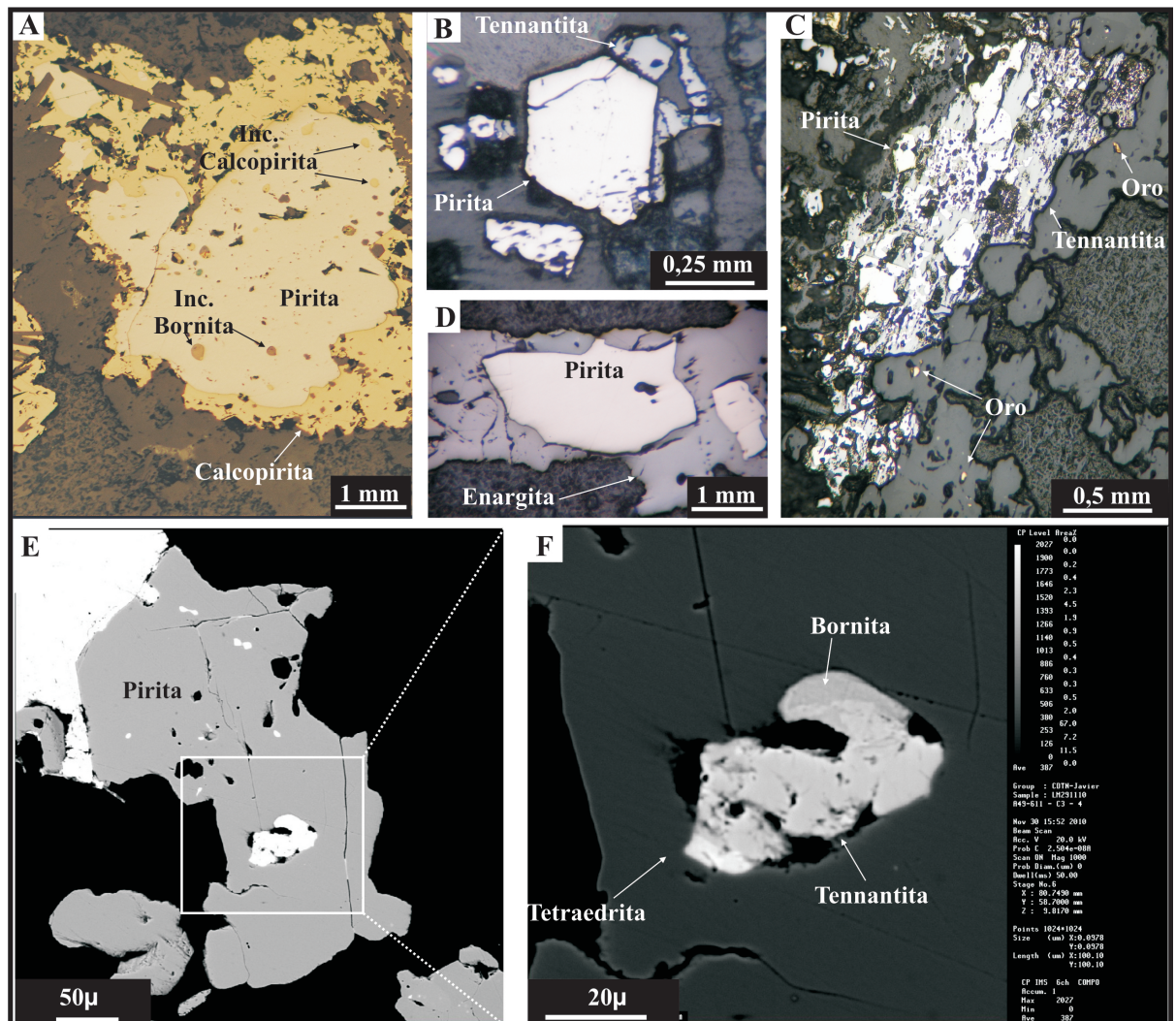
La magnetita de origen hidrotermal ha sido reconocida en escasos ejemplos acompañada de cuarzo como relleno de venillas irregulares que cortan al pórfido 2 con alteración potásica en profundidad (A-24-442 metros). En los ejemplos observados, la magnetita no es contemporánea con los sulfuros de la alteración potásica.

#### **3.2 Sulfuros y sulfosales**

Sulfuros de cobre, hierro, molibdeno, arsénico, zinc, plomo y sulfosales asociadas se presentan diseminados en las distintas alteraciones hidrotermales, como parte del relleno de las venillas formadas durante los múltiples estadios mineralizantes del depósito tipo pórfido de Cu-(Au-Mo) y en las vetas y diseminaciones epitermales de alta sulfuración de Au-(Ag-Cu).

##### **3.2.1. Pirita**

Pirita es el sulfuro más abundante y se encuentra desde los niveles profundos a los superficiales como cristales diseminados en las alteraciones potásica, flica y argílica avanzada y forma parte del relleno de numerosas generaciones de venillas (venillas tipos 2, 3, 5, 6 y 7). Los tipos texturales de pirita reconocidos se resumen en la figura 1. Los análisis químicos se detallan en las Tablas 1 a 4 y en la figura 2A se brinda la localización de las muestras con pirita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N. Otras tres muestras analizadas corresponden al perfil 6517000 N (101 m sondeo 16, 446 m del sondeo 1 y 249 m del sondeo 25) y tres al perfil 6516600 N (124 m del sondeo 19, 282 m del sondeo 33 y 110 metros del sondeo 53).



**Fig. 1.** Tipos texturales de pirita. A) Pirita subhedral con inclusiones de calcopirita y bornita diseminada en la alteración potásica. B) Pirita con hábito pentagonal dodecaédrico relicta y pirita de grano fino en la alteración argílica avanzada. C) Pirita del relleno de las venillas tipo 6a. D) Detalle de pirita subhedral de venilla 6c. E) Imagen BSE de venilla 6c. F) Detalle de una inclusión de tennantita ± tetraedrita (bornita) en pirita de venilla 6c.

Los cristales de pirita analizados exhiben contenidos variables de distintos elementos traza, pero se destacan el Cu (hasta 1,08 % en peso), el Zn (hasta 0,22 % en peso), el Pb

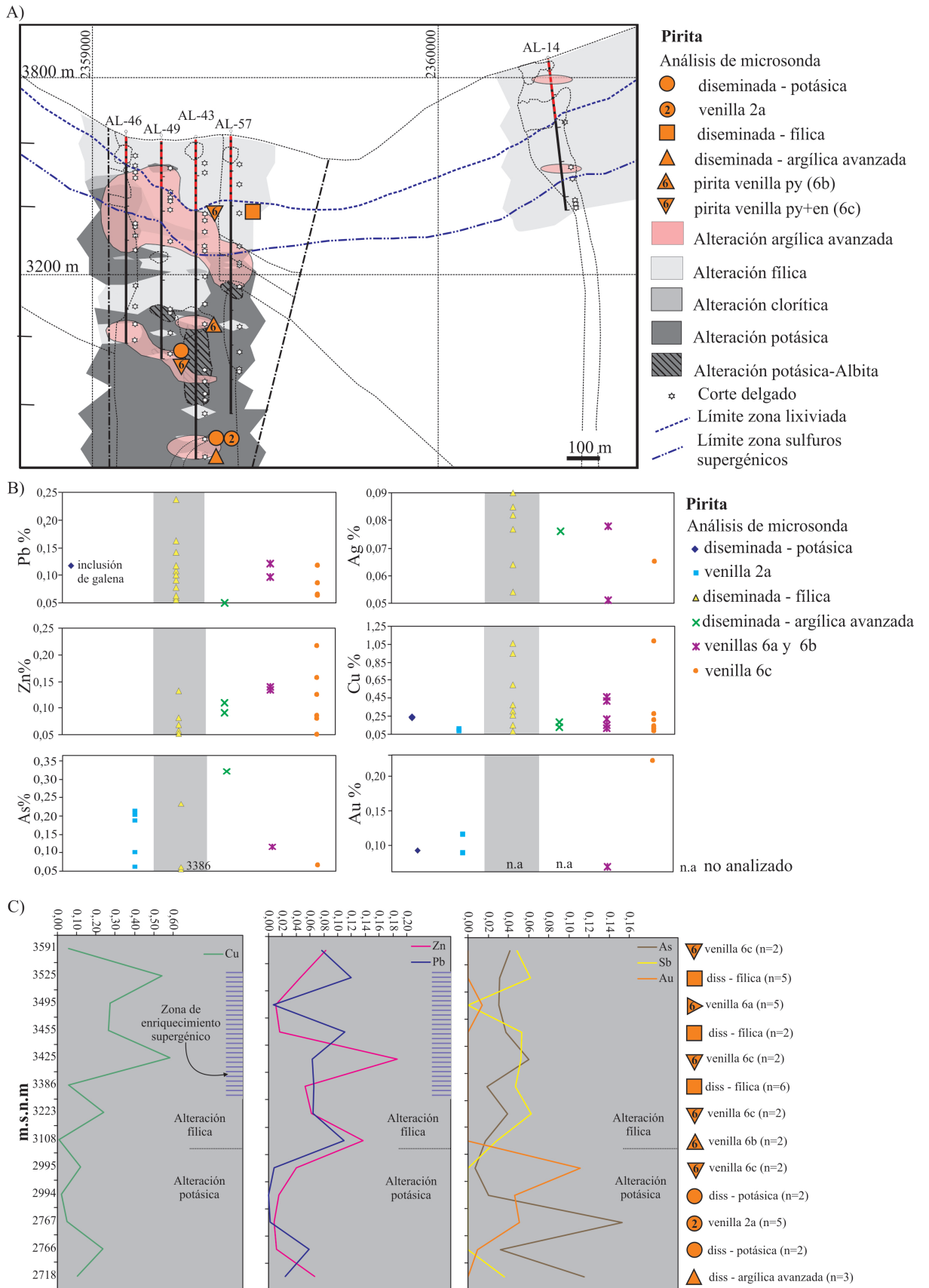


Fig. 2. A) Localización de las muestras con pirita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N. B) Diagramas de elementos traza (% en peso) para la pirita analizada en equilibrio con las distintas alteraciones y en el relleno de distintas generaciones de venillas. Se marca de color gris el campo correspondiente a la alteración filica, n.a = no analizado. C) Promedios de los elementos traza en pirita según las profundidades (altura en metros sobre el nivel del mar, m.s.n.m). Se indican las zonas de alteración potásica, filica y de enriquecimiento supergénico.

(hasta 0,24 % en peso) y el As (hasta 0,32 % en peso). También contienen Ag (hasta 0,09 % en peso), Au (hasta 0,22 % en peso) y Sb (hasta 0,11 % en peso).

Los cristales de pirita subhedrales diseminados en la alteración potásica contienen abundantes inclusiones de calcopirita y bornita (Fig. 1A). No obstante ello, la composición de la mayoría de los cristales analizados ( $n = 9$ ) (Tabla 1, Fig. 2B) se ajusta a la estequiométrica. Tienen escasos elementos traza, entre ellos tres análisis dieron Cu (hasta 0,24 % en peso) y Au (hasta 0,12 % en peso) y no contienen Zn, Pb y Ag. El valor puntual de Pb (0,12 % en peso) está asociado a una inclusión de galena. La pirita de la venilla tipo 2a registra contenidos de As (0,06 – 0,21 % en peso) en todos los análisis y los bordes de estos cristales (869m del sondeo 43) tienen trazas de Au (0,09 – 0,12 % en peso) (Fig. 2B).

La composición química de los cristales subhedrales de pirita diseminados en la alteración filica ( $n = 12$ ) difiere levemente de la estequiométrica y el rango de composición es el siguiente:  $\text{Fe}_{1-0,98}\text{Cu}_{0,02-0}\text{S}_2$  (Tablas 2 y 3). Muestran contenidos elevados de elementos traza, con Pb (hasta 0,24 % en peso) y Ag (hasta 0,09 % en peso) en la mayoría de los análisis (Fig. 2B) y valores de Zn de hasta 0,08 % en peso. Las concentraciones de Cu muy altas (hasta 1,06 % en peso) parecen estar vinculadas a inclusiones de sulfuros de cobre y tiene valores aislados de Sb (hasta 0,11% en peso) y As (0,23 % en peso). El Au no fue analizado.

Pirita con hábito pentagonal dodecaédrico (0,3 mm) y pirita de grano fino y porosa (<0,05 mm), ambas sin inclusiones minerales, se hallaron en la alteración argílica avanzada en profundidad; la primera es relíctica y la segunda acompaña a la tennantita (Fig. 1B, 917 m del sondeo 917). La composición de la pirita diseminada en la alteración argílica avanzada concuerda con la teórica (Tabla 3). Los contenidos de elementos traza en esta pirita ( $n = 3$ ) son inferiores a los de la pirita diseminada en la alteración filica. Sin embargo, se determinaron valores de As (0,32 % en peso), Cu (hasta 0,19% en peso), Zn (0,09 y 0,11% en peso) y Ag (0,08 % en peso) (Fig. 2B, Tabla 3). El Au no fue analizado.

La composición de la pirita que acompaña a tennantita en el relleno de las venillas tipo 6a ( $n = 5$ , 100 m de profundidad del sondeo 53, Fig. 1C) es  $\text{Fe}_{1-0,98}\text{Cu}_{0,02-0}\text{S}_2$ . Todos los análisis arrojaron contenidos significativos de Cu (0,1-0,46 % en peso) (Tabla 4, Fig. 2B) y un análisis también dio As (0,12 % en peso) y Au (0,07 % en peso). Cabe destacar que se hallaron numerosos granos de oro incluidos en el cuarzo de estas venillas (Fig. 1C). Los cristales de pirita que rellenan las venillas 6b ( $n = 2$ ) que cortan al pórfido 4 contienen trazas de Zn (0,14 % en peso), Pb (0,10% en peso) y Ag (0,08 % en peso) (Fig. 2B).

---

La pirita subhedral de las venillas 6c ( $n = 8$ ) (Fig. 1D) tiene el mismo rango de composiciones que la pirita de las venillas 6a. Exhibe contenidos de Cu (0,12-1,08 % en peso), Zn (0,08-0,22 % en peso) y Pb (hasta 0,12 % en peso) (Tabla 5, Fig. 2B). Además, se

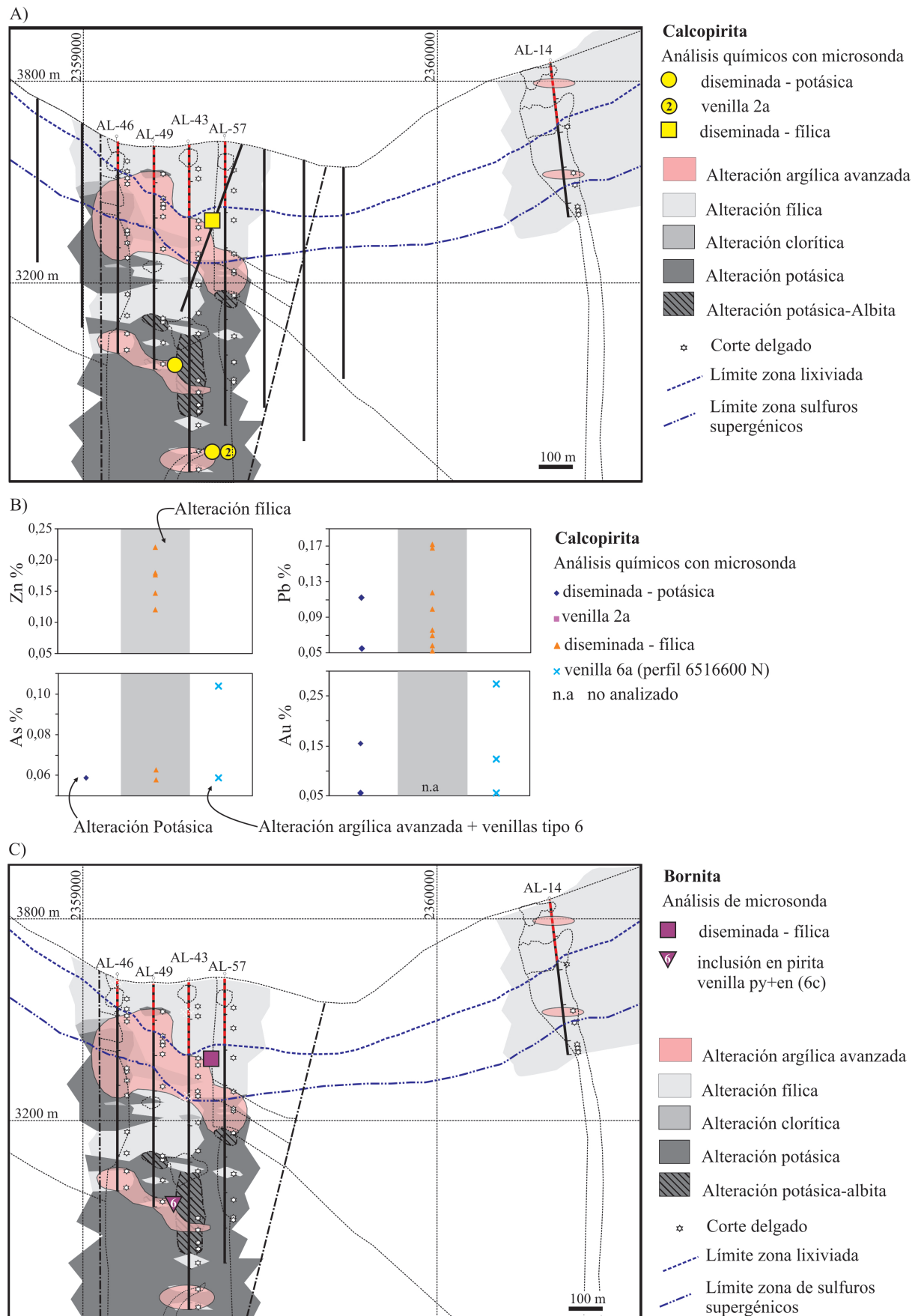


Fig. 3. A) Localización de las muestras con calcopirita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N. B) Diagramas de elementos traza (% en peso) para la calcopirita analizada en las distintas alteraciones y venillas. Se marca de color gris el campo correspondiente a la alteración filica, n.a = no analizado. C) Localización de las muestras con bornita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N.



determinó As (entre 0,07- 0,09 % peso) y un único análisis con Ag (0,07 % en peso). En otra muestra (611 metros del sondeo 49) contiene Au (0,22 % en peso) (Fig. 2B). Es importante destacar que esta pirita tiene inclusiones ( $<50\mu\text{m}$ ) de tennantita y bornita y microvenillas de tetraedrita (Fig. 1E y F).

En la figura 2C se han graficado los promedios de los elementos traza de las piritas analizadas según las profundidades (altura en metros sobre el nivel del mar, m.s.n.m). Ningún elemento traza muestra una tendencia lineal con la profundidad. Los valores de Cu en las piritas son altos entre los ~3400 y 3500 m.s.n.m, que coinciden con pirita disseminada en la alteración filica y con pirita en venillas tipo 6, ambas en la zona de enriquecimiento supergénico. Los valores de Pb y Zn aumentan por encima de los 3100 ms.n.m en la pirita disseminada en la zona de alteración filica y en venillas tipo 6. Valores elevados de Au se observan a mayores profundidades, entre los 2760 y 3000 m.s.n.m, en la zona con alteración potásica, donde se correlacionan con pirita disseminada en la alteración potásica y en venillas 6c. Los valores altos de As en pirita se observan en venillas 2a y en zonas de alteración argílica avanzada en profundidad.

### 3.2.2. Calcopirita

Calcopirita está en granos anhedrales ( $<0,5\text{ mm}$ ) disseminados en la alteración potásica y como parte del relleno de las venillas tipo 2a. En las zonas de alteración filica está disseminada, forma parte del relleno de las venillas tipo 5 y es un mineral relíctico en los sulfuros de las venillas tipo 6a. La ubicación de las muestras del perfil 6516700 N en las cuales se obtuvo la composición química de calcopirita se presenta en la figura 3A. El resto de las muestras analizadas corresponden al perfil 6516600 N (124 m del sondeo 19 y 110 m del sondeo 53).

La fórmula química calculada para calcopirita,  $\text{CuFeS}_2$ , coincide con la fórmula teórica. Los elementos traza más abundantes en los cristales analizados son el Zn (hasta 0,22 % en peso), el Pb (hasta 0,17% en peso), el Au y la Ag (hasta 0,27% y 0,13% en peso, respectivamente). Los valores de As son menores de 0,1% en peso, (ver Tablas 6, 7 y 8). Hay diferencias composicionales entre los cristales disseminados en las alteraciones potásica, filica y en los cristales que rellenan las venillas tipo 2a y 6. Los análisis de calcopirita disseminada en la alteración potásica ( $n = 9$ ) no indican contenidos significativos de elementos traza, a excepción de algunos valores esporádicos de Pb (0,11% en peso) y As (0,06% en peso) (Fig. 3B) y dos análisis con trazas de Au (0,06 y 0,15% en peso). En la calcopirita que rellena las venillas 2a, no se detectaron concentraciones de elementos traza superiores al límite de detección de la microsonda (0,05 %) (Tabla 6). Los cristales de calcopirita disseminados en la

alteración filica ( $n = 9$ ), contienen Zn (hasta 0,22 % en peso) y Pb (hasta 0,17 % en peso) en la mayoría de los análisis, que se correlaciona con la disminución del contenido del Fe. Además, exhiben valores aislados de As (hasta 0,06 % en peso) (Fig. 3B, Tabla 7). El Au no fue analizado.

Calcopirita relíctica en la tennantita de las venillas tipo 6a ( $n = 8$ ) presenta algunas trazas de As (hasta 0,06 % en peso) y tres análisis contienen Au (0,06, 0,12 y 0,27 % en peso) (Fig. 3B, Tabla 8).

### 3.2.3. Bornita

Bornita está en cantidades subordinadas a trazas en el depósito. Se la encuentra como inclusiones en los cristales de pirita y de calcopirita de la alteración potásica y diseminada en las salbandas de las venillas tipos 6a y 6b. Además, es un mineral relíctico en los sulfuros de las venillas 6a, y también está como inclusiones en los cristales de pirita de las venillas 6c. Los análisis químicos puntuales realizados en bornita se presentan en la Tabla 9 y la localización de las muestras analizadas del perfil 6516700 N se indica en la figura 3C. El resto de los análisis corresponden a una muestra del perfil 6516600 N (249 m del sondeo 25).

Los cristales de bornita analizados ( $n = 9$ ) proceden de los halos de las venillas tipo 6 y su composición se ajusta a la estequiométrica. Los análisis muestran contenidos de Ag (0,05-0,1% en peso) y valores esporádicos de Pb (hasta 0,17 % en peso) y de Zn (hasta 0,19% en peso). No se analizó Au, excepto por un análisis en bornita de la venilla 6c, que no detectó este elemento. (Tabla 9).

### 3.2.4. Tennantita

Tennantita de color gris está en granos diseminados ( $<0,5$  mm) en las alteraciones filica y argílica avanzada en profundidad, en las salbandas de las venillas tipo 6, forma parte del relleno de las venillas tipo 6a y es un mineral relíctico en las venillas 6c. La ubicación de las muestras con tennantita analizadas del perfil 6516700 N y los análisis químicos se presentan en la figura 4A y en las tablas 10 a 13, respectivamente. Dos muestras analizadas corresponden al perfil 6517000 N (249 m del sondeo 25 y 446 m del sondeo 1) y una muestra al perfil 6516600 N (110 m del sondeo 53).

Las tennantitas analizadas ( $n = 29$ ) presentan contenidos de Fe variables entre 0,08 y 6,54 %, hasta 5,35 % en peso de Sb y hasta 7,65 % en peso de Zn. El resto de los elementos, con concentraciones inferiores a 1%, son Pb (hasta 0,24 % en peso), Cd (hasta 0,11 % en peso), Ag (hasta 0,15 % en peso) y Au (hasta 0,09 % en peso). Hay diferencias en las

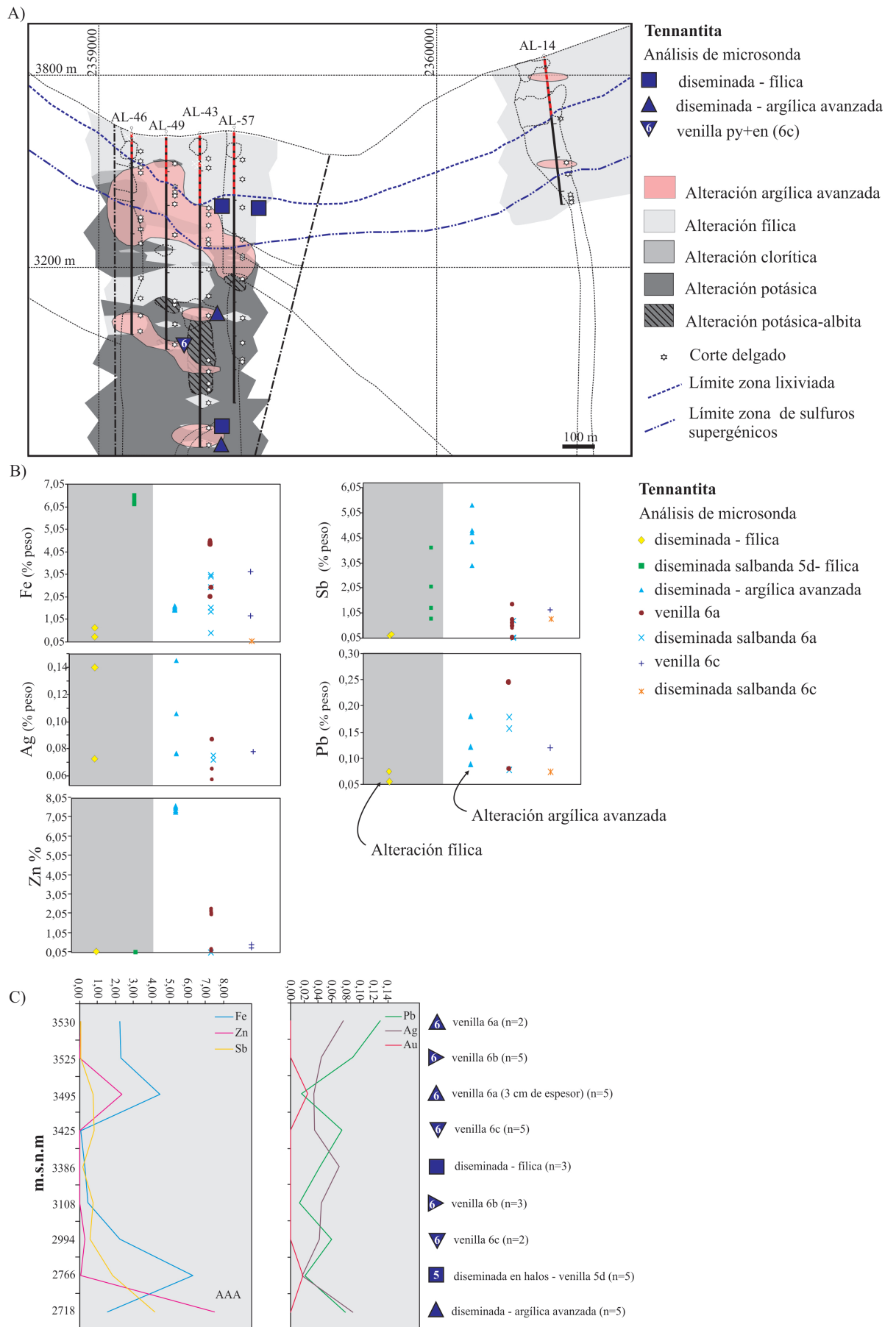


Fig. 4. A) Localización de las muestras con tennantita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N. B) Diagramas de elementos traza (% en peso) para la tennantita analizada en las distintas alteraciones y venillas. Se marca de color gris el campo correspondiente a la alteración filica. C) Promedios de los elementos traza en

tennantita según las profundidades (altura en metros sobre el nivel del mar, m.s.n.m). Se indica la localización de una zona profunda con AAA (alteración argílica avanzada).

composiciones químicas de tennantita según su yacencia (diseminada versus relleno de venillas).

La tennantita diseminada en la alteración filica ( $n = 3$ , 223 m de profundidad del sondeo 57) presenta el siguiente rango de composición:  $\text{Cu}_{10-97-11,10}\text{Fe}_{0,17-0,01}\text{As}_{3,76-3,7}\text{S}_{13}$ , que difiere de la fórmula teórica ( $\text{Cu}_{10}(\text{FeZn})_2\text{As}_4\text{S}_{13}$ ) por el contenido de Fe (hasta 0,63% en peso), Ag (hasta 0,14% en peso) y Sb (entre 0,11 y 0,18% en peso). En un análisis se detectó 0,07 % en peso de Pb y no contiene Zn. Tennantita diseminada en la salbanda de alteración filica de una venilla tipo 5d, tiene el rango de composición  $\text{Cu}_{10-10-9,89}(\text{Fe}_{1,75-0,44})(\text{As}_{3,86-3,43}\text{Sb}_{0,52-0,1})\text{S}_{13}$  ( $n = 5$ ), es decir que presenta altas concentraciones de Fe (6,15-6,54 % en peso) y sustitución entre el Sb (0,8-3,64% en peso) y el As (18,04-19,66) en su estructura. Esta tennantita no contiene Zn, Pb y Ag y en un análisis se detectó Au (0,09 % en peso). La figura 5 muestra imágenes del microscopio electrónico de barrido de un cristal de tennantita (869 m del sondeo 43) con zonación composicional: las bandas claras son ricas en Sb y las oscuras contienen As.

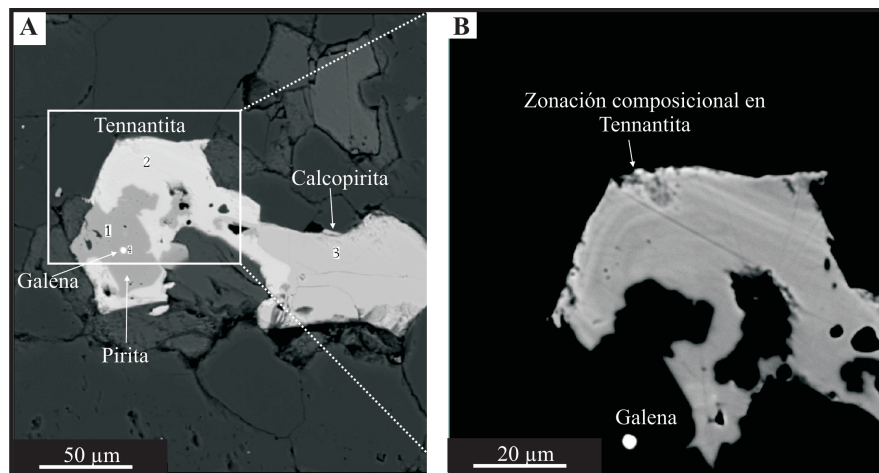


Fig. 5. A) Imagen BSE de tennantita en contacto con pirita en la alteración filica. B) Detalle de la imagen anterior donde tennantita exhibe zonación composicional con bandas claras ricas en Sb y bandas oscuras ricas en As.

Los cristales de tennantita diseminados en la alteración argílica avanzada ( $n = 5$ , 917 m del sondeo 43) exhiben el siguiente rango de composición:  $\text{Cu}_{10-10-9,93}(\text{Fe}_{0,45-0,4}\text{Zn}_{1,78-1,69})(\text{As}_{3,56-3,31}\text{Sb}_{0,68-0,36})\text{S}_{13}$ . Muestran contenidos de Fe que varían entre 1,49 y 1,66 % en peso y altos valores de Zn (7,33 -7,58 % en peso) y Sb (2,95-5,35 % en peso) (Fig. 4B). También tienen Pb (entre 0,09 y 0,18 % en peso) y todos los cristales analizados tienen Ag (0,08 – 0,15% en peso).

Los cristales de tennantita asociados a las venillas tipo 6a (n = 14, 249 m del sondeo 25, y 110 m del sondeo 53), tanto del relleno de las venillas como diseminados en las salbandas, tiene alto contenido de Fe (0,46-4,57 % en peso) (Fig. 4B). La composición de tennantita de las salbandas es similar a la teórica:  $\text{Cu}_{12,39-11,47} \text{Fe}_{0,42-0,8} \text{As}_{4,04-3,88} \text{S}_{13}$ . El Zn (<2,45 % en peso) sólo está presente en tennantita del interior de la vena que tiene una composición más compleja:  $\text{Cu}_{12-11-10,07} (\text{Fe}_{1,21-0,02} \text{Zn}_{0,55-0}) (\text{As}_{3,92-3,17} \text{Sb}_{0,17-0}) \text{S}_{13}$ . Las concentraciones de Pb (<0,18 % en peso), Sb (< 0,08 % en peso) y Ag (<0,09 % en peso) son inferiores (Fig. 4B) a las determinadas en tennantita diseminada en la alteración argílica avanzada.

Los cristales de tennantita relícticos en las venillas 6c (611 metros del sondeo 49) y diseminados en sus salbandas (n = 3) tienen la siguiente composición:  $\text{Cu}_{11,25-11,18} (\text{Fe}_{0,83-0,32} \text{Zn}_{0,1-0,04}) (\text{As}_{3,8} \text{Sb}_{0,1-0}) \text{S}_{13}$ . Exhiben contenidos de Fe entre 1,22 y 3,19 % en peso y un contenido muy bajo de elementos traza, con < 0,46% en peso de Zn y < 0,12 % en peso de Pb (Fig. 4B). Se determinó hasta 1,18 % en peso de Sb en cristales del interior de estas venillas y hasta 0,8 % en peso de Sb en las salbandas. Un sólo análisis indicó la presencia de Ag (0,08 % en peso).

En la figura 4C se han graficado los promedios de los elementos traza analizados en tennantita de los tres perfiles estudiados según las profundidades (altura en metros sobre el nivel del mar, m.s.n.m). Los contenidos más altos de Zn, Fe, Sb y Au en tennantita se determinaron en las venillas 6a a los ~3500m, en los halos de las venillas 5d (Fe, Sb, Au) y en los cristales diseminados en la alteración argílica avanzada (Zn, Sb), los dos últimos a profundidades comprendidas entre ~2700 y 2770 ms.n.m). Los valores de Pb y Ag más altos se determinaron en tennantita de las venillas 6a (~3550m), 6c (~2900-3500m) y diseminada en la alteración argílica avanzada (~2720m).

### 3.2.5. Tetraedrita

Tetraedrita en granos anhedrales de color blanco se encontró en cantidades trazas en los niveles profundos a intermedios de los perfiles estudiados. Está acompañando a tennantita diseminada en la alteración argílica avanzada, en las salbandas de las venillas tipo 6b y en microvenillas dentro de las venillas tipo 6c. La ubicación de las muestras con tetraedrita (n = 6) en el perfil 6516700 N se brinda en la figura 6A. Dos análisis corresponden al perfil 6517000 N (446 metros del sondeo 1).

La tetraedrita analizada presenta el siguiente rango de composiciones:  $\text{Cu}_{10,49-9,95} (\text{Fe}_{0,29-0,11} \text{Zn}_{1,71-1,53})_{12} (\text{Sb}_{2,16-1,83} \text{As}_{2,31-1,85}) \text{S}_{13}$ . Exhibe un menor contenido de Sb con respecto a la composición teórica ( $\text{Cu}_{10} (\text{FeZn})_2 \text{Sb}_4 \text{S}_{13}$ ), dado que se encuentra sustituido por As. Los análisis químicos presentan contenidos de Zn que varían entre 6,47 y 7,14 % en peso y de Fe

entre 0,40 y 1,02 % en peso. Además, se determinaron algunos valores de Mn (0,15% en peso), Bi (1,31% en peso) y Ag (0,18% en peso). No contiene Pb y Au (Tabla 14; Fig. 6B).

En la figura 7 se presentan los análisis químicos de sulfosales en varios diagramas triangulares (Fe-As-Cu, Bi-Sb-As, S-Cu-As y Cu-Sb-As) junto con otros sulfuros analizados. En el diagrama Bi-Sb-As (Nickel, 1992), las sulfosales de As, Sb y Cu se ubican en los campos de tetraedrita y de tennantita (Fig 7A), y tennantitas con altos contenidos de Fe (Fig. 7B) similares a las observadas en el depósito de alta sulfuración El Indio (ver Mavrogenes et al., 2010). Análisis próximos a la composición de tetraedrita pura se correlacionan con los valores más altos de Sb e inferiores del Cu y del As (Figs. 7C y D).

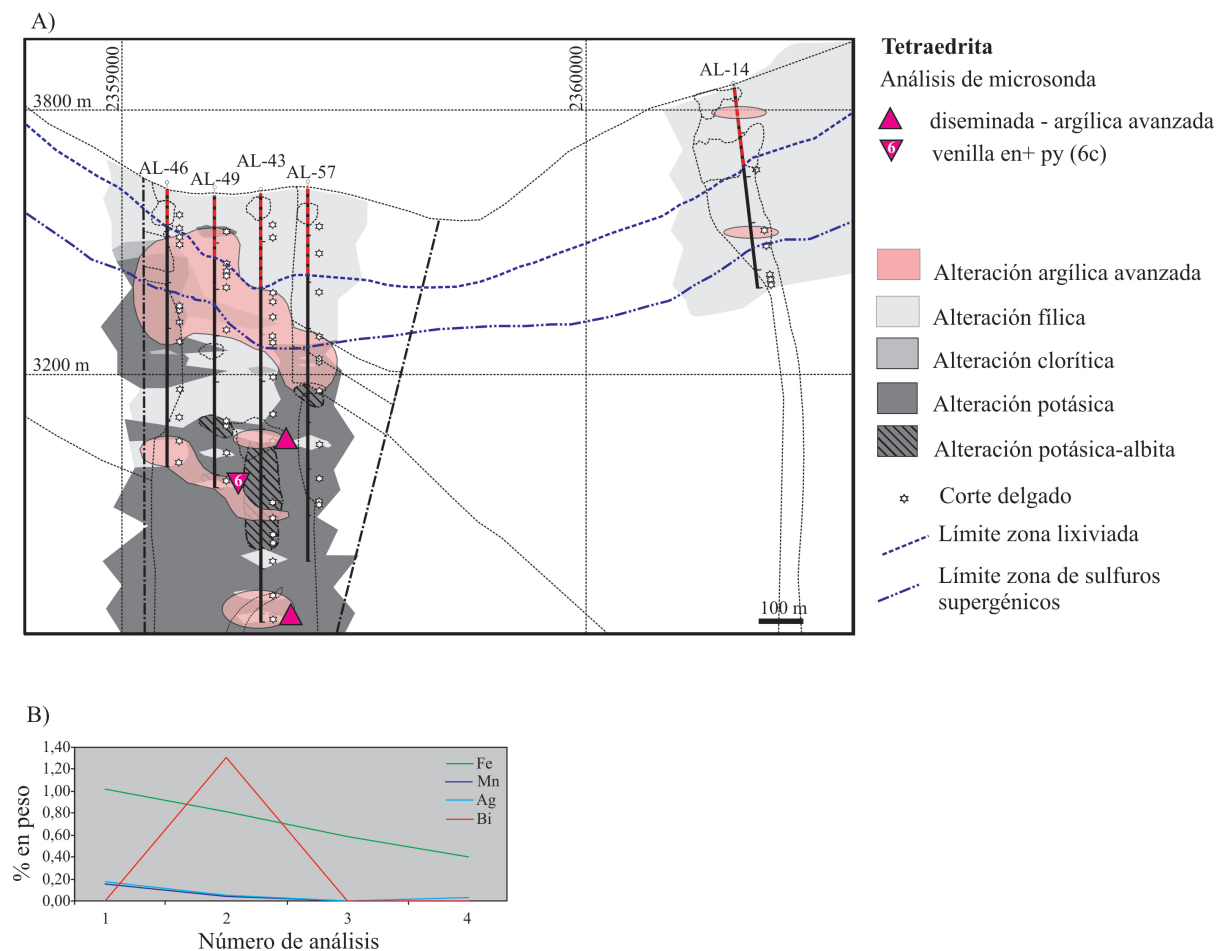


Fig. 6. A) Localización de las muestras con tetraedrita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N. B) Elementos traza (% en peso) en la tetraedrita.

### 3.2.6. Enargita

Enargita está en granos diseminados en la alteración filica, en diseminaciones en las salbandas de las venillas tipo 6 y formando parte del relleno de las venillas tipo 6c (Fig. 9). Además, es la mineralización de las vetas epitermales de los fillos este del proyecto. La distribución de las muestras con enargita analizadas del perfil 6516700 N se brinda en la figura 8A. El resto de los análisis corresponde a muestras del perfil 6517000 N (249 m del

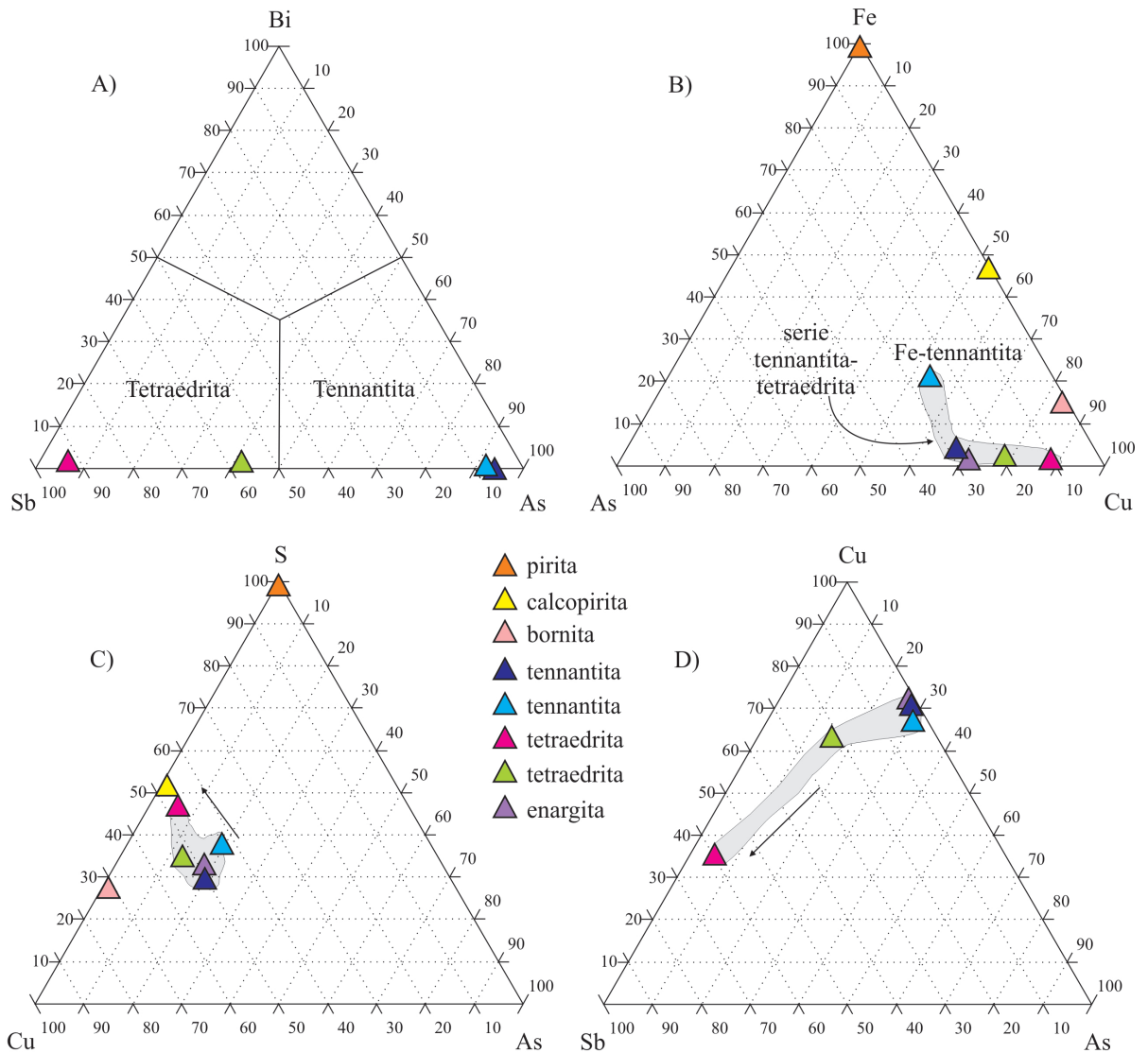


Fig. 7. Diagramas triangulares Fe-As-Cu, Bi-Sb-As, S-Cu-As y Cu-Sb-As con las composiciones de las sulfosales y otros sulfuros de Altar.

sondeo 25, 446 m del sondeo 1 y 101 m del sondeo 16) y de las vetas epitermales en superficie (A-30 y A-28).

En general los cristales de enargita analizados ( $n = 40$ ) exhiben contenidos variables de Fe (hasta 0,42 % en peso), Zn (hasta 0,24 % en peso), Pb (hasta 0,25 % en peso), Sb (hasta 2,18 % en peso) y Bi ( $<0,13$  % en peso). No se detectaron valores de Au (Tablas 15, 16, 17, 18 y 19). Suele presentar microvenillas e inclusiones de sulfoarseniuros de la serie tetraedrita-tennantita (Fig. 9B).

La composición química de la enargita diseminada en la alteración filica ( $n = 6$ ) es  $\text{Cu}_3\text{As}_{0,91-1}\text{Sb}_{0,07-0}\text{S}_4$ , similar a la composición estequiométrica ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ), excepto por la presencia de Sb sustituyendo al As. Entre los elementos traza, tiene concentraciones de Fe que oscilan entre 0,07 y 0,34 % en peso, algunos valores esporádicos de Zn ( $<0,22$  % en peso) y

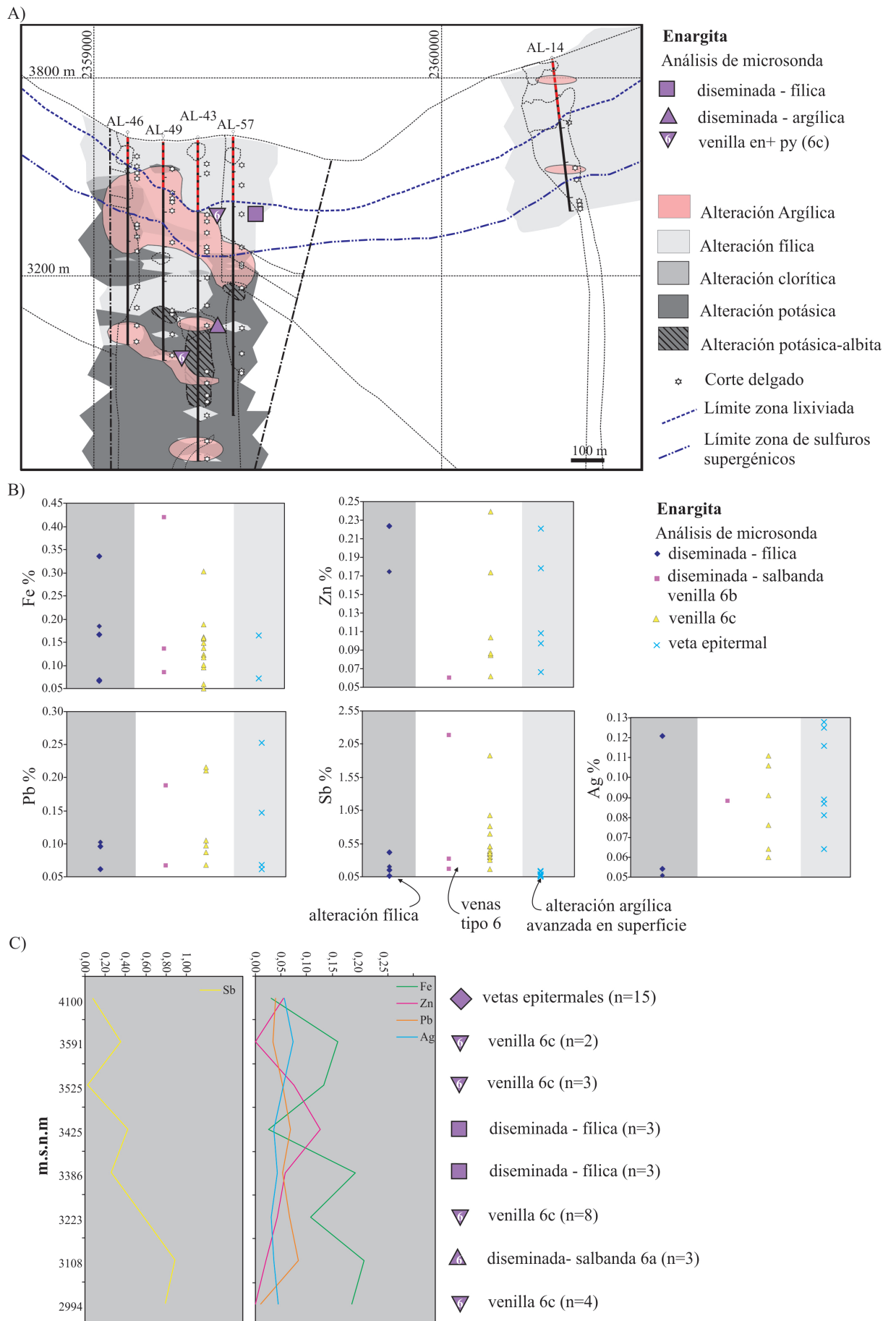


Fig. 8. A) Localización de las muestras con enargita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N. B) Diagramas de elementos traza (% en peso) para la enargita analizada en las distintas alteraciones, venillas y en las vetas epitermales. Se marca de color gris oscuro el campo correspondiente a la alteración filica y de color gris



claro el campo correspondiente a la alteración argílica avanzada en superficie. C) Promedios de los elementos traza en enargita según las profundidades (altura en metros sobre el nivel del mar, m.s.n.m).

Pb (0,1% en peso), contenidos de Sb entre 0,07 y 0,42 % en peso y en un único análisis se observó Ag (0,12 % en peso). El Au no fue analizado (Fig. 8B).

Enargita diseminada en las salbandas de las venillas 6b (n = 3) tiene similares contenidos de Fe (0,08- 0,42 % en peso) que enargita diseminada de la zona filica, el Zn disminuye (<0,06 % en peso), aunque se detectaron valores de Pb (0,07- 0,19 % en peso). Presenta mayor contenido de Sb (0,16- 2,18% peso) y se determinó Ag (0,09 % en peso) en un análisis (Fig. 8B).

El rango de composición de enargita de las venillas tipo 6c (n =17) (Figs. 9A y 9B) es  $Cu_3As_{0,95-1}Sb_{0,06-0}S_4$ . Entre los elementos traza, tiene concentraciones de Fe que varían entre 0,06 y 0,30 % en peso. Se detectaron Zn (hasta 0,24 % en peso), Pb (hasta 0,22 % en peso), Sb (hasta 1,88 % en peso) y Ag (hasta 0,11 % en peso) y no se encontró Au (Figs. 8A y 8B). Esta enargita suele contener inclusiones de tennantita y de tetraedrita.

La composición de los cristales de enargita con buen desarrollo cristalino de las vetas epitermales (Fig. 9C) (n = 15) se ajusta a la estequiométrica. El Sb es menor que en las anteriores (<0,14 % en peso), tiene bajos contenidos de Fe, valores aislados de Zn (hasta 0,22 % en peso) y de Pb (hasta 0,25 % en peso), <0,13 % en peso de Ag y no tienen Au (Fig. 8B). Los cristales tienen sus bordes reemplazados por escorodita (Fig. 9C), de acuerdo con los picos de O, Fe, As y H<sub>2</sub>O detectados con SEM-Edax.

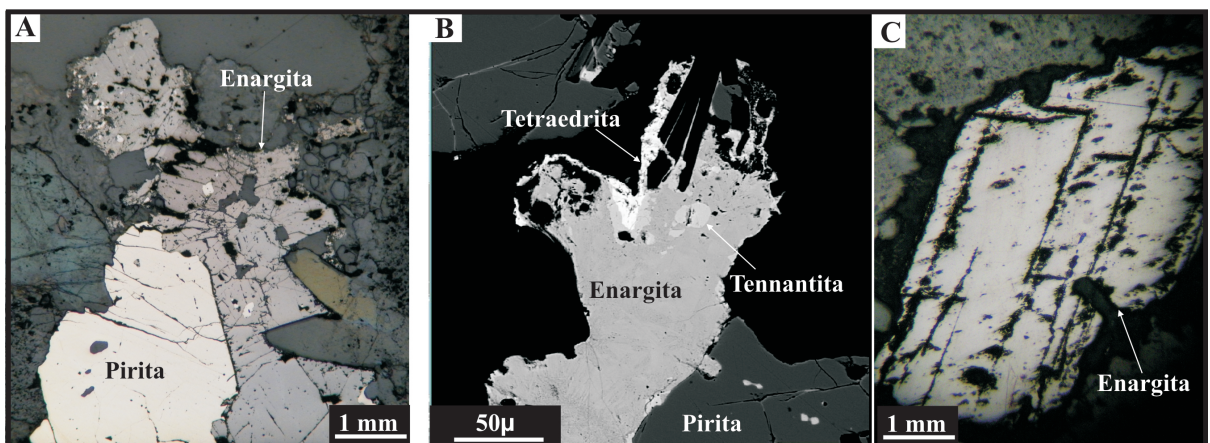


Fig. 9. Microfotografías e imagen BSE de enargita. A) Enargita de venilla 6c. B) Detalle de microvenillas e inclusiones de sulfoarseniuros de la serie tetraedrita-tennantita en la enargita de venilla 6c. C) Enargita con buen desarrollo cristalino de las vetas epitermales.

En la figura 8C se han representado los promedios de los elementos traza de las enargitas analizadas según las profundidades (altura en metros sobre el nivel del mar, m.s.n.m). En estos gráficos el Sb muestra una tendencia al aumento con la profundidad, con valores altos en enargitas de las venillas tipo 6 a los ~3100 m.s.n.m, mientras que la enargita

de las vetas epitermales (~4100 m.s.n.m) tiene muy bajos valores de este elemento. El Fe muestra valores altos en los niveles superficiales en venillas tipo 6 y en profundidad en enargitas diseminadas en la alteración filica y en las salbandas y el relleno de venillas tipo 6; en estos dos casos también presentan trazas de Pb. Valores altos de Zn se determinaron en enargitas diseminadas en la alteración filica, entre los ~ 3400 y 3500 ms.n.m. Trazas de Ag se observaron en las venillas 6c de los niveles superficiales (3591 m.s.n.m).

### 3.2.7. Galena

Galena se reconoció en pequeñas inclusiones en cristales de pirita diseminados en las salbandas de venillas tipo 5d, en pirita y en enargita de venillas tardías tipo 6c y como relleno de venas tipo 7. Los análisis corresponden a muestras del perfil 6516700 N (86 m del sondeo 43) y del perfil 6517000 N (101 m del sondeo 16 y 446 m del sondeo 4).

La galena analizada tiene una composición similar a la teórica  $\text{-Pb}_{1-0,98}\text{Cu}_{0,02-0}\text{S}$  - excepto porque contiene Cu (0,09 -1% en peso). De acuerdo con los resultados de los análisis químicos (n = 4) entre los elementos traza, tiene concentraciones significativas de Ag (0,06-0,15% en peso), Zn (0,08 % en peso) y Sb (0,08 % en peso) (Tabla 20, Fig. 10A).

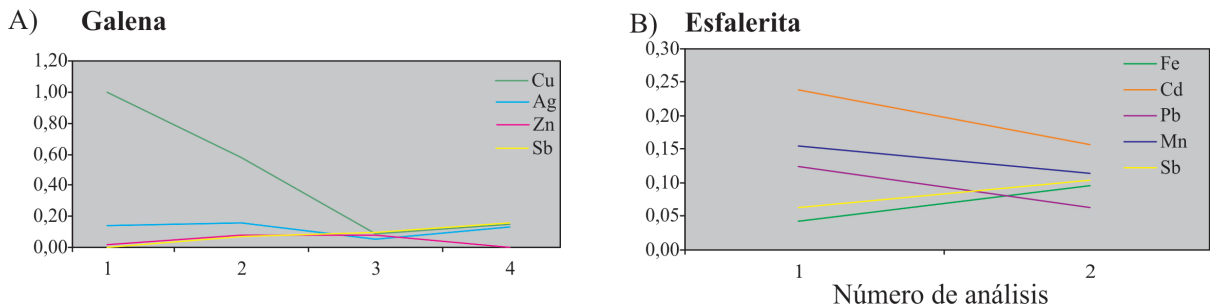


Fig. 10. A) Elementos traza (% en peso) en galena. B) Elementos traza (% en peso) en esfalerita.

### 3.2.8. Esfalerita

La muestra de esfalerita analizada corresponde a una vena tardía tipo 7 del perfil 6517000 N (446 metros del sondeo 4). Los análisis químicos exhiben valores de Zn inferiores a la composición teórica de la esfalerita  $(\text{Zn,Fe})\text{S}$ , a la vez que presentan contenidos de Cd (entre 0,16 y 0,24 % en peso), Mn (hasta 0,16 % en peso), Pb (entre 0,06 y 0,12 % en peso), Fe (< 0,1 % en peso) y Sb (0,06 y 0,1 % en peso) (Tabla 20, Fig. 10B).

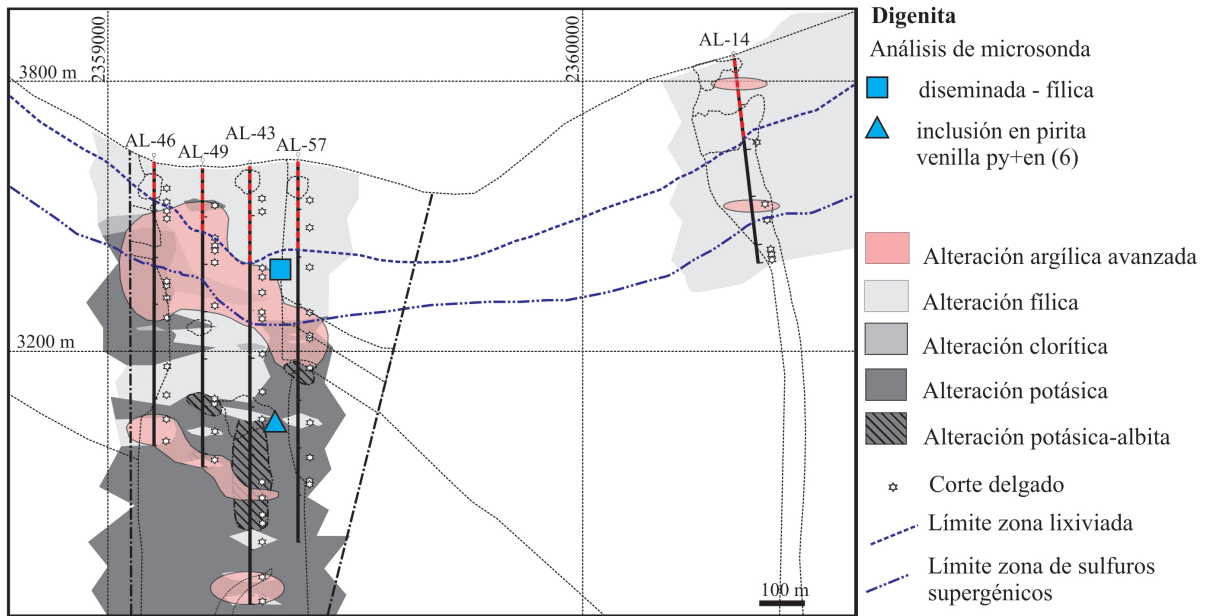
### 3.2.9. Digenita

Digenita (n = 26) es el sulfuro más abundante en la zona de enriquecimiento supergénico y reemplaza a calcopirita y a bornita y en menor grado a tennantita. La ubicación de las muestras con digenita (n = 26) en el perfil 6517600 N se brinda en la figura 11A. El

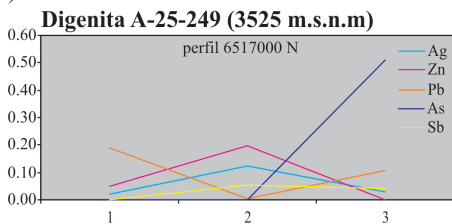
resto de las muestras analizadas corresponde a los perfiles 6517000 N (249 m del sondeo 25) y 6516600 N (124 m del sondeo 19).

El intervalo de composición de la digenita  $-\text{Cu}_{1,80-1,54}\text{Fe}_{0,1-0}\text{S}_{1,17-0,93}-$  difiere de la composición teórica por la presencia de Fe (<0,05 % hasta 3,69 % en peso). Presenta además concentraciones de As (hasta 0,51% en peso), Sb (hasta 0,43 % en peso), Bi (hasta 0,29 % en peso), Zn (hasta 0,25 % en peso) y Pb (hasta 0,23 % en peso). Se detectaron valores de Ag (hasta 0,12 % en peso) y escasos valores de Cd (hasta 0,1% en peso) (Tablas 21, 22 y 23).

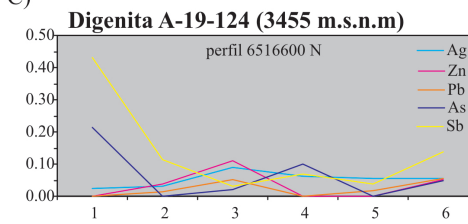
A)



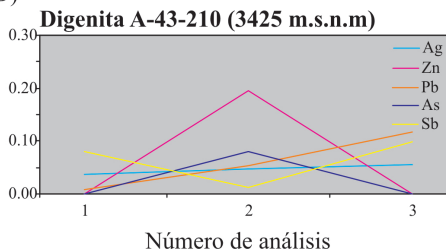
B)



C)



D)



E)

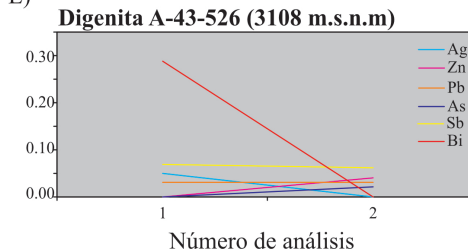


Fig. 11. A) Localización de las muestras con digenita seleccionadas para su estudio en el perfil 6517000 N. B, C, D, E) Elementos traza (% en peso) en digenita de distintas profundidades.

La digenita que reemplaza a enargita y a calcopirita de una venilla 6c (249 m del sondeo 25, 3525 m.s.n.m) muestra valores de Zn y Ag que se correlacionan inversamente con el Fe. También contiene As (0,51% en peso) (Fig. 11B)

En una muestra procedente de los 124 m del sondeo 19 (3455 m.s.n.m) (Fig. 11C), la digenita contiene As (hasta 0,21% en peso) y Sb (hasta 0,43 % en peso), que coinciden con el aumento del Fe (entre 2 y 3 % en peso). Por el contrario, la presencia de trazas de Zn y Ag se correlaciona inversamente con el contenido de Fe. En otra muestra (210 m del sondeo 43, 3425 m.s.n.m), la digenita tiene anomalías de Zn y As, que coinciden con una disminución del Fe (Fig. 11D).

A mayor profundidad (526 metros del sondeo 43, 3108 m.s.n.m), la digenita tiene Sb (0,07 en peso %) y un aumento en el contenido de Bi (hasta 0,29 % en peso) con la disminución del Fe (Fig. 11E)

### 3.2.10. Covelina

Covelina acompaña a digenita en la zona de enriquecimiento supergénico. Las muestras seleccionadas para análisis corresponden a los perfiles 6517000 N (249 m del sondeo 25) y 6516600 N (282 m del sondeo 33). Los análisis realizados (n= 3) indican la siguiente composición para este mineral:  $\text{Cu}_{1-1,04}\text{Fe}_{0,03-0,01}\text{S}_{0,99-0,82}$ . Se han determinado concentraciones de Fe (entre 0,47 y 1,09 % en peso), Ag (entre 0,14 y 0,27 % en peso) y Pb (entre 0,05 y 0,26% en peso). Un análisis detectó Zn (0,12 % en peso) y As (hasta 0,26 % en peso) y se observaron valores de Sb (0,07-0,08 % en peso) (Tabla 24, Fig. 12).

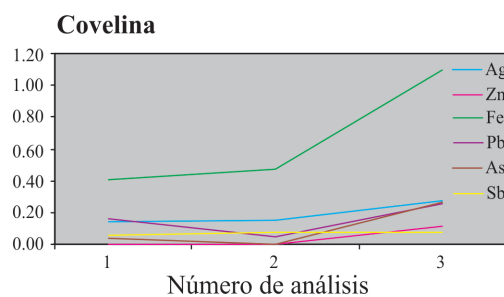


Fig. 12. A) Elementos traza (% en peso) en covelina.

## 3.3 Filosilicatos

En la figura 13 se muestra la distribución de filosilicatos en el perfil que contiene los sondeos más profundos del proyecto y que corta la zona mineralizada principal del filo central (6516700 N).

### 3.3.1. Biotita

Biotita hidrotermal en grupos de láminas muy finas (<1 mm) de color castaño se identificó en sectores profundos con alteración potásica tanto en los pórfidos como en las rocas de caja y en parches relícticos a menores profundidades. La distribución de los análisis

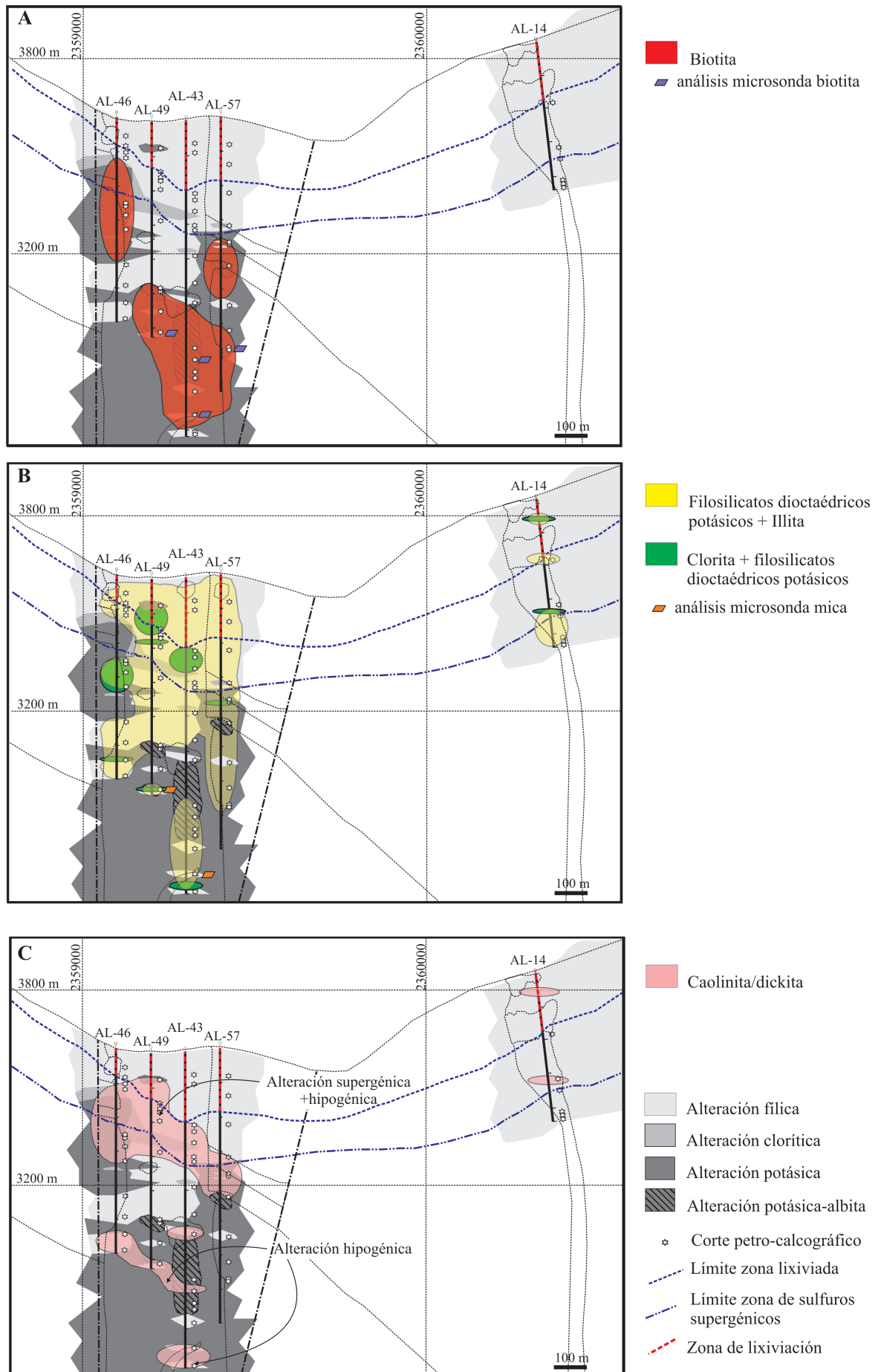


Fig. 13. Distribución de los filosilicatos en el perfil 6516700 N en base a los estudios de difracción de rayos X (capítulo V) y de análisis con microsonda de electrones. Se indican las distintas alteraciones

hidrotermales y los contornos de las litologías. A) Zonas con presencia de biotita hidrotermal y localización de los microanálisis químicos obtenidos en biotita. B) Zonas con presencia de filosilicatos dioctaédricos potásicos + illita y de clorita + filosilicatos dioctaédricos potásicos y localización de los microanálisis químicos en mica. C) Zonas con presencia de caolinita/dickita. Se indican zonas con alteración supergénica + hipogénica y zonas que muestran sólo alteración hipogénica.

realizados en biotita a lo largo del perfil 6516700 N se muestra en la figura 13A. El resto de los análisis corresponde al perfil 6516600 N (42 m del sondeo 53) y al pórfido 5 en superficie.

Los cálculos de las fórmulas estructurales de la biotita hidrotermal a partir de los análisis químicos obtenidos con la microsonda (27 análisis), se efectuaron sobre la base de 22 oxígenos (Moore y Reynolds; 1997) (Tablas 25, 26 y 27). Las biotitas presentan el siguiente rango de variación en sus formulas estructurales:  $K_{1,89-1,63} Na_{0,23-0,03} Ca_{0,16-0,00} (Al_{0,10-0,00} Mg_{4,56-3,18} Fe_{2,12-0,50} Ti_{0,63-0,19} Mn_{0,06-0,00}) (Si_{5,85-5,46} Al_{2,67-2,14}) O_{10} (OH)_4$ . El K es el principal catión en la intercapa, acompañado de Ca y Na en cantidades trazas. En el sitio octaédrico, el catión divalente más abundante es el Mg, en menor cantidad aparece el  $Fe^{2+}$  con trazas de Al, Ti y Mn.

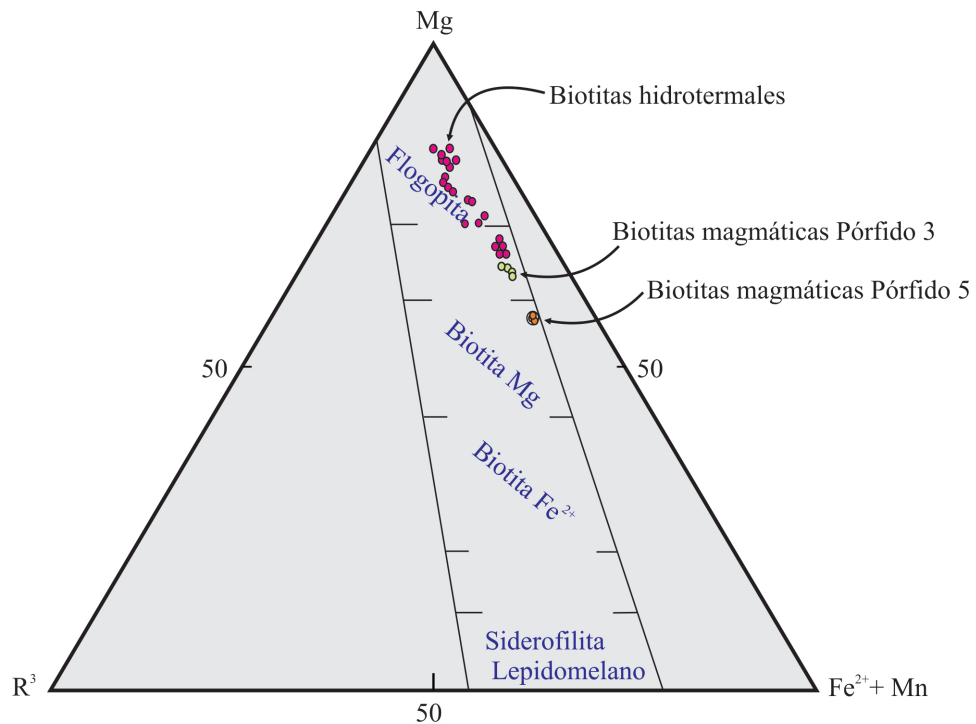


Fig. 14. Diagrama de Foster (1962) con composiciones de las biotitas magmáticas e hidrotermales analizadas.

En el diagrama Mg -  $R^{3+}$  -  $Fe^{2+} + Mn$  de la figura 14 (Foster, 1962) las biotitas hidrotermales analizadas se ubican en el campo de flogopita, con valores de Mg superiores a 4,4 y bajo contenido de  $Fe^{2+}$  en el sitio octaédrico. Con respecto a la fórmula teórica de flogopita, tienen menores concentraciones de  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$  y mayores de  $Al_2O_3$ . Para comparar se han agregado las composiciones de las biotitas magmáticas del pórfido 5 que corresponden a biotita magnésica con valores de Mg de 3,2 y de  $Fe^{2+}$  mayor que 2, y del

pórfido 3 que se ubican entre los campos de flogopita y de biotita magnésica (Fig. 14). Las biotitas hidrotermales (flogopita) tienen mayores concentraciones de MgO (18 a 20% en peso) y F (entre 1,7 y 2,94% en peso) y menores de FeO (6,5 a 8,79 % en peso) y de Na<sub>2</sub>O (hasta 0,22 % en peso) que las biotitas magmáticas. También contienen TiO<sub>2</sub> (hasta 3,81% en peso), MnO (hasta 0,18% en peso) y trazas de CaO.

En la figura 15 (Velde, 1985) se ha dibujado el diagrama triangular con las coordenadas  $MR^3-2R^3-3R^2$  y con la siguiente composición para cada vértice:  $MR^3 = Na + K + 2Ca$ ;  $2R^3 = ((Al + Fe^{3+}) - MR^3)/2$  y  $3R^2 = (Mg + Mn + Fe^{2+})/3$  (Velde, 1985). En este diagrama se comparan los análisis químicos de los filosilicatos hidrotermales de Altar con los rangos de las composiciones químicas de los filosilicatos biotita, feldespato alcalino, clorita, muscovita, illita, caolinita, montmorillonita y beidellita según la recopilación de Velde (1985) y Newman y Brown (1987). Como es típico de las biotitas hidrotermales, las biotitas analizadas tienen menos K y son más ricas en Al y en Ti que el campo de biotita.

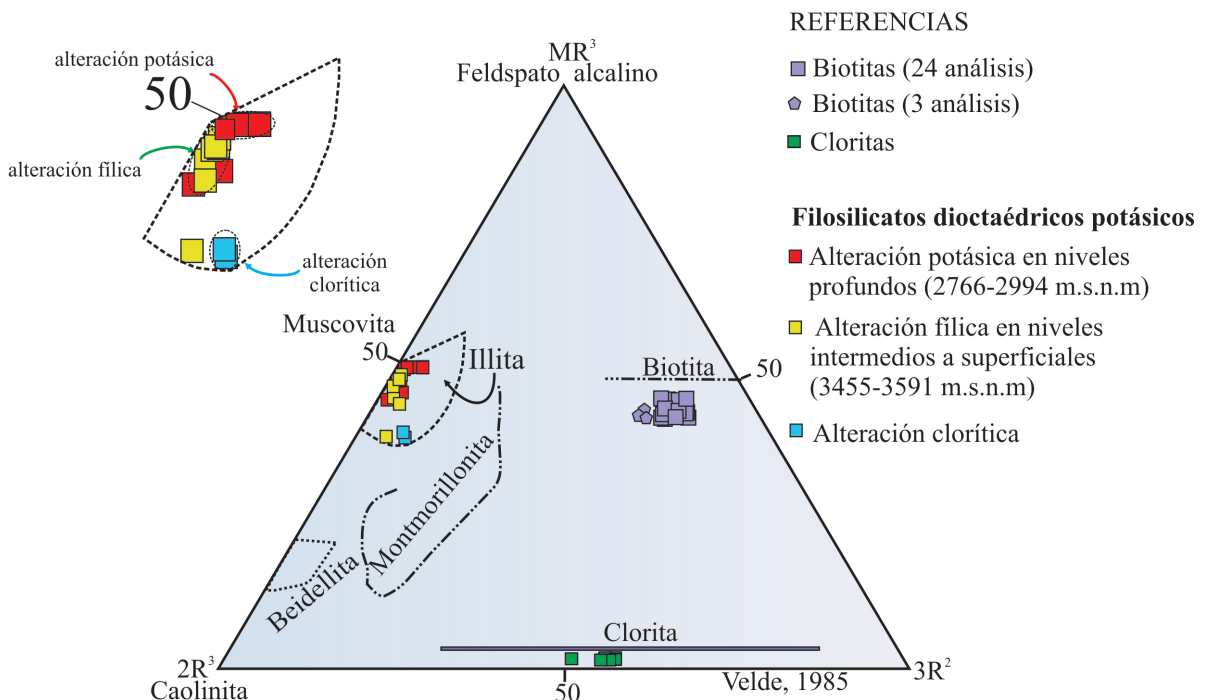


Fig. 15. Diagrama triangular  $MR^3-2R^3-3R^2$  que muestra las composiciones de los filosilicatos hidrotermales de Altar donde  $MR^3 = Na + K + 2Ca$ ;  $2R^3 = (Al + Fe^{3+}) - MR^3 / 2$  y  $3R^2 = (Mg + Mn + Fe^{2+})/3$  (Velde, 1985). El rango de composiciones de los filosilicatos más comunes se indica para comparación (biotita, feldespato alcalino, clorita, muscovita, illita, caolinita, montmorillonita y beidellita) (según Velde (1985) y Newman y Brown (1987)). Se muestra ampliado el campo de illita.

### 3.3.2. Clorita

Clorita se distribuye en parches o sectores en niveles profundos, intermedios y superficiales en el perfil 6517000 N (Fig. 13B). Este mineral caracteriza la zona de alteración clorítica, donde reemplaza a los minerales máficos, a los feldespatos y a la pasta de las rocas, tanto de los intrusivos como de las rocas de caja. Sin embargo, la clorita también se ha

reconocido en zonas de alteración potásica reemplazando a la biotita. También escasas láminas de clorita se preservan en sectores o parches de alteración filica con intensidad débil a moderada. Este filosilicato fue identificado al microscopio y con difracción de rayos X. En la Tabla 28 se brinda la composición química de la clorita analizada con microsonda de electrones en una muestra del perfil 6516600 N (250 m del sondeo 19). El cálculo de las fórmulas estructurales a partir del análisis químico es problemático debido a la incertidumbre en la distribución de las proporciones relativas de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  en la fórmula unidad y por la presencia de OH. En este trabajo el cálculo de la fórmula estructural se realizó en base a  $\text{O}_{20}$  ( $\text{OH})_{16}$  (Newman y Brown, 1987) y todo el hierro fue expresado como  $\text{Fe}^{2+}$  (Foster, 1962).

El intervalo de composición de la clorita es:  $(\text{Al}_{3,29-2,44} \text{Mg}_{7,41-5,69} \text{Fe}^{2+}_{2,44-1,95}) (\text{Si}_{6,03-5,62} \text{Al}_{2,38-1,97}) \text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$ . De acuerdo con estos rangos, la composición de los cationes tetraédricos varía entre  $(\text{Si}_{6,03} \text{Al}_{1,97})$  y  $(\text{Si}_{5,62} \text{Al}_{2,38})$  y la suma de los cationes octaédricos totales varían entre 11,93 y 11,44 por  $\text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$  por fórmula unidad. Por lo tanto, es una clorita trioctaédrica (Foster, 1962; Newman y Brown, 1987).

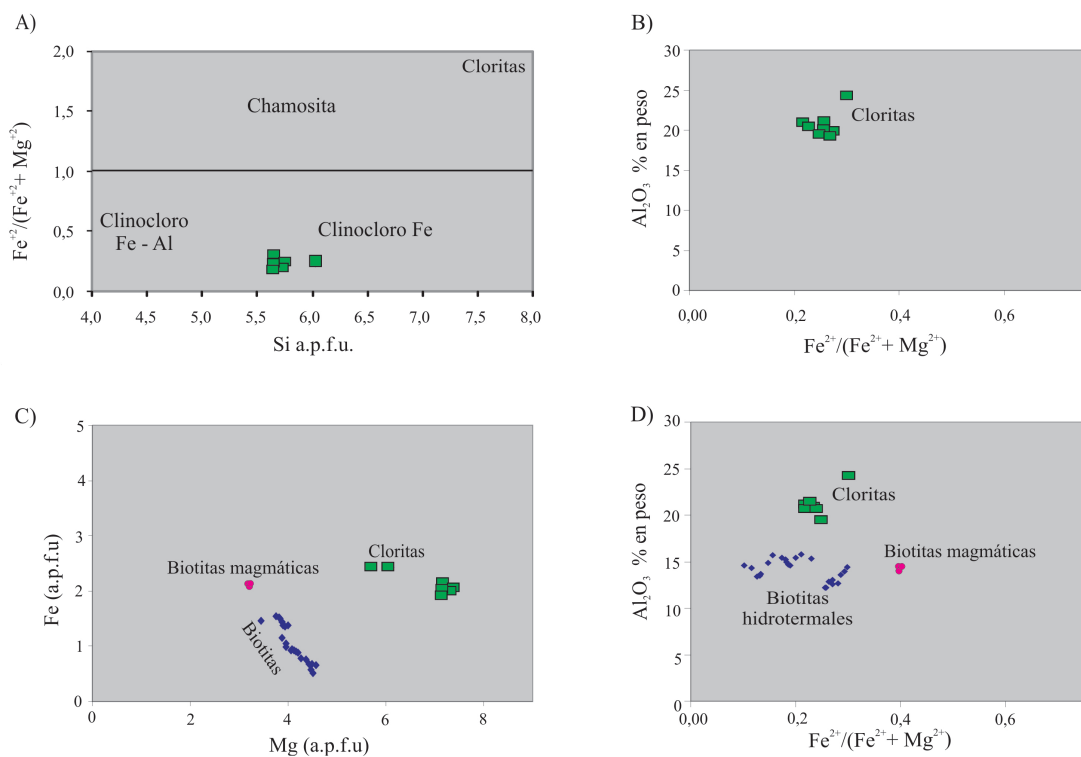


Fig. 16. Composiciones de los filosilicatos de Altar en términos de  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ , Si,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Fe y Mg (explicaciones en el texto).

Siguiendo las recomendaciones de Bayliss (1975), el Subcomité de Nomenclatura AIPEA (Bailey, 1980) y McLeod y Stanton (1984), las cloritas se clasificaron de acuerdo con la razón  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  versus el contenido de Si (Fig. 16A). Teniendo en cuenta que las razones  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  de la clorita analizada están comprendidas en el rango 0,22-0,30 y



el contenido de Si varía entre 5,62 y 6,03, su composición corresponde a clinocloro intermedio, entre los campos del clinocloro-Fe y del clinocloro-Fe-Al. Estos datos confirman la composición de la clorita obtenida con rayos X, con reflexiones propias de clinocloro (ver capítulo V; Fig. 16B). En las figuras 16C y D se comparan el contenido de  $\text{Fe}^{+2}$  versus Mg y de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  versus  $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$  de cloritas y biotitas analizadas. Clorita presenta mayores concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y de Mg que biotita. El contenido de  $\text{Fe}^{+2}$  en clorita es mayor que el de la biotita hidrotermal, en tanto que la biotita magmática tiene valores de  $\text{Fe}^{+2}$  mayores que 2 y similares a la clorita hidrotermal (Tabla 28).

### 3.3.3. Filosilicatos dioctaédricos potásicos

Los filosilicatos dioctaédricos tipo mica ( $>2 \mu\text{m}$ ) e illita ( $<2 \mu\text{m}$ ) se determinaron en las alteraciones potásica, clorítica y filica. Mediante análisis de difracción de rayos X (en roca total y en la fracción arcilla,  $<2 \mu\text{m}$ ) se determinó que en las alteraciones potásica y clorítica la fracción arcilla está en bajas proporciones (fracción arcilla  $<$  cuarzo  $<$  plagioclasa) y consiste de illita (100 %) y clorita (35-100%)  $\pm$  illita (0-55%), respectivamente. En la alteración filica hay un aumento de la fracción arcilla (cuarzo  $>$  arcilla  $>$  plagioclasa) que está constituida por illita (100%) (ver Tablas 3 y 4, capítulo V).

La distribución de los análisis químicos en micas a lo largo del perfil 6516700 N se muestra en la figura 13B. El resto de los análisis químicos corresponde al perfil 6517000 N (101 m del sondeo 16) y al perfil 6516600 N (250 m del perfil 19).

Los cálculos de las formulas estructurales de micas incoloras se hicieron en base a los resultados analíticos obtenidos con la microsonda de electrones (14 análisis) y que se calcularon para 22 oxígenos (Moore y Reynold, 1997; Tablas 29 y 30). Presentan el siguiente intervalo de variación:  $\text{K}_{1,86-1,21}\text{Na}_{0,13-0,06} (\text{Al}_{3,93-3,36}\text{Mg}_{0,65-0,04}\text{Fe}_{0,25-0,00}\text{Ti}_{0,03-0,0}) (\text{Si}_{6,61-6,18}\text{Al}_{1,87-1,40})\text{O}_{10}(\text{OH})_4$ . Con estas composiciones se puede caracterizar a estos filosilicatos como micas dioctaédricas. A diferencia de lo que ocurre en muscovita, la carga total de estas micas es menor a 2 y el Si total en el sitio tetraédrico excede el valor de 6. Esta diferencia de carga es compensada por la pérdida de K. Con respecto a la composición teórica de muscovita, las micas analizadas tienen mayores concentraciones de  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO, MgO, FeO,  $\text{TiO}_2$  y trazas de Cl. Por otra parte, estas composiciones químicas no pueden ser consideradas como típicas de la illita definida por Meunier y Velde (1989) y Patrier et al. (2003) y referencias allí citadas), dado que los valores de la carga en la intercapa son más dispersos y satisfechos por Na, además de K y contienen Mg e Fe en el sitio octaédrico, además de Al.

En el diagrama  $\text{MR}^3\text{-}2\text{R}^3\text{-}3\text{R}^2$  de la figura 15 todos los análisis caen en el campo de illita y muy próximos a muscovita. Las micas dioctaédricas presentes en la alteración potásica

en profundidad, se hallan muy próximas a la composición de muscovita, las de la alteración fílica localizadas a menores profundidades muestran un rango mayor de variación dentro del campo de illita. Tres análisis, dos de ellos procedentes de una muestra con alteración clorítica, se desplazan hacia el límite con el campo de montmorillonita, pero siempre dentro del campo de illita; esto es debido a que presentan menor contenido de K en la intercapa.

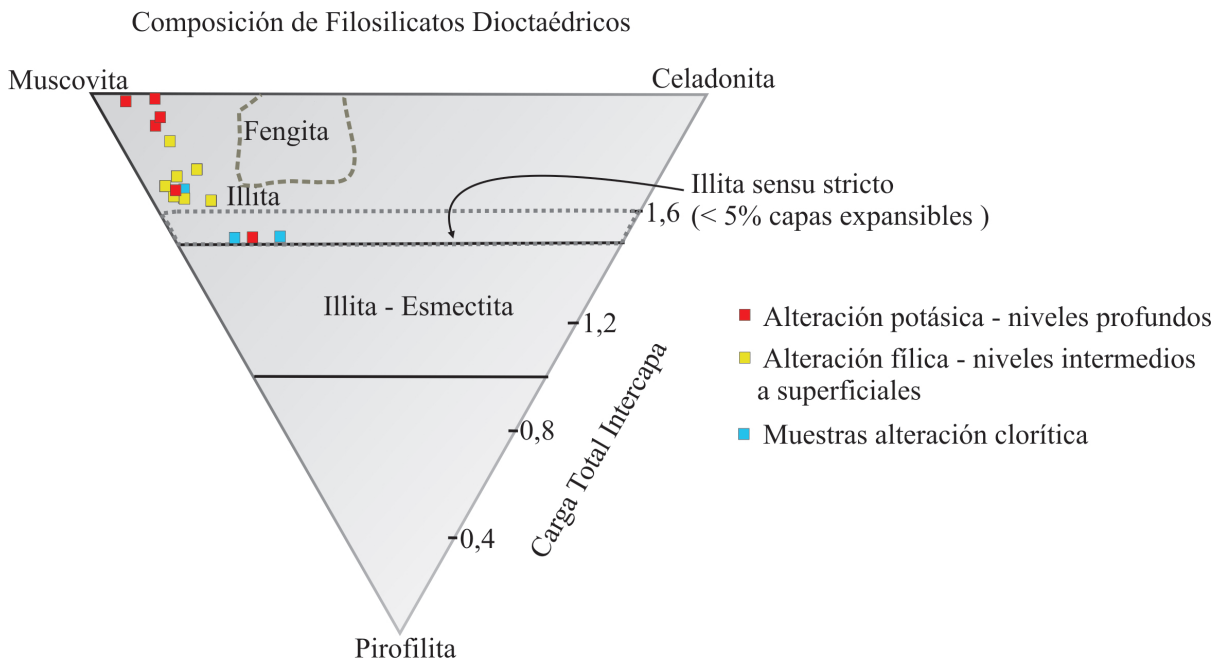
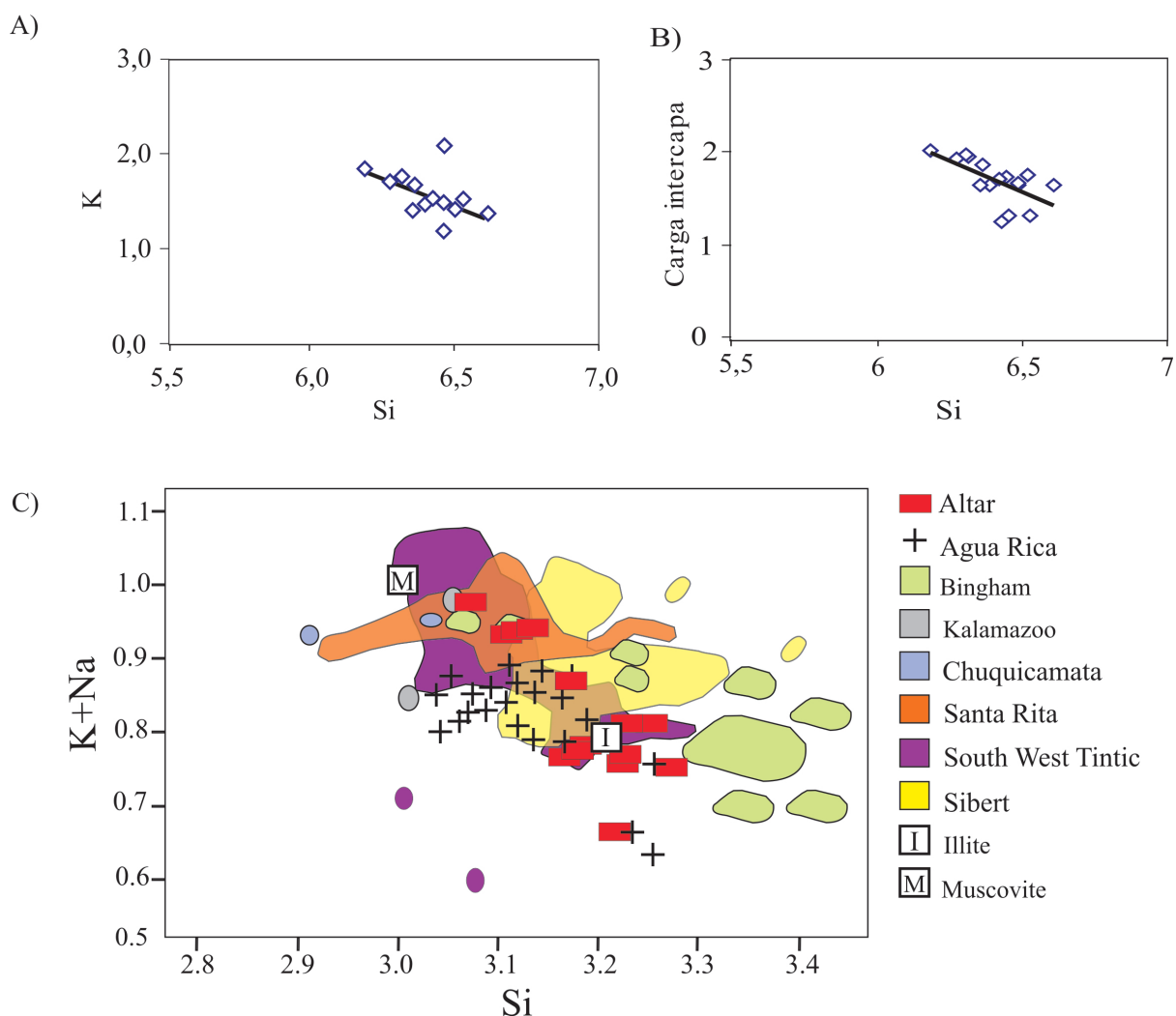


Fig. 17. Diagrama de clasificación de los filosilicatos dioctaédricos de Altar según la variación en Muscovita-Celadonita-Pirofilita y la carga de la intercapa (Newman y Brown, 1987). Los filosilicatos dioctaédricos de la alteración potásica, en profundidad, están próximos al vértice de muscovita. Los procedentes de las alteraciones fílica y clorítica están en los campos de illita y de illita *sensu stricto*.

En la figura 17 se brinda la clasificación de los filosilicatos dioctaédricos según la variación en Muscovita-Celadonita-Pirofilita y la carga de la intercapa (Newman y Brown, 1987). De acuerdo con la distribución de los datos, se observa que los filosilicatos dioctaédricos de la alteración potásica en profundidad están próximos al vértice de muscovita porque tienen una carga en la intercapa próxima a 2. Los restantes datos, procedentes de las alteraciones fílica y clorítica a menores profundidades, están en los campos de illita y de illita *sensu stricto*.

En las figuras 18A y B se han graficado los valores de Si versus K y la carga de la intercapa observándose una correlación directa entre el aumento del Si tetraédrico con la disminución tanto del K como de la carga de la intercapa. Esta relación inversa obedece a que al aumentar el contenido de sílice tiende a disminuir la carga en la capa tetraédrica y esta diferencia se ve compensada por la pérdida de K lo que produce una disminución de la carga en la intercapa.

En la figura 18C se representa el contenido de Si versus K + Na de micas incoloras e illita de Altar y se comparan con la composición de micas incoloras de varios depósitos de cobre del mundo, incluyendo a Bingham, Chuquicamata y Kalamazoo (Guilbert y Schafer, 1979), Santa Rita, Bingham y southwest Tintic (Parry y Wilson, 2002), Silbert (Beaufort y Meunier, 1983) y Agua Rica (Franchini et al., 2011). Las muestras exhiben una amplia variación porque algunas están en el extremo más alejado del campo de illita, con contenidos elevados de K y próximos a muscovita.



**Fig. 18.** A) Diagrama de K versus Si y B) Diagrama de la carga de la intercapa versus Si para los filosilicatos dioctaédricos potásicos de Altar. C) Diagrama de Si versus K + Na de las micas incoloras e illita de Altar. Para comparar se indica la composición de micas incoloras de los depósitos de cobre de Bingham, Chuquicamata y Kalamazoo (Guilbert y Schafer, 1979), Santa Rita, Bingham y southwest Tintic (Parry y Wilson, 2002), Silbert (Beaufort y Meunier, 1983) y Agua Rica (Franchini et al., 2011).

### 3.3.4. Dickita/caolinita

Dickita y/o caolinita (no diferenciadas por DRX) se encuentran en las salbandas de las venillas tipo 6 con alteración argílica avanzada que cortan al pórfido en profundidad (entre los niveles 2728 y 3064 m.s.n.m) y reemplazan a los filosilicatos previos. En estas muestras se determinaron en la fracción arcilla porcentajes de dickita/caolinita que varían entre trazas a

56%. Estos minerales también se hallaron a menores profundidades reemplazando de forma penetrativa a las rocas en las zonas afectadas por la alteración supergénica. La presencia de dickita/caolinita se determinó con difracción de rayos X en agregados orientados a partir de la reflexión del pico 001 a los 7,16 Å y el pico 002 a los 3,56 Å, que desaparecieron al calcinar la muestra a 550 °C (ver Tablas 3 y 4 del capítulo V).

### 3.4 Feldespatos

#### 3.4.1. Albita

El feldespato secundario más abundante en la zona de alteración potásica es albita. Este mineral reemplaza los márgenes y núcleos de los fenocristales de plagioclasa magmáticos, genera bordes irregulares y aumenta sus tamaños. Las composiciones químicas de la albita hidrotermal se presentan en las Tablas 31, 32 y 33 y la ubicación de las muestras analizadas a lo largo del perfil 6516700 N se brinda en la figura 19. El resto de los análisis corresponde al perfil 6516600 N (42 metros del sondeo 53 y 250 m del sondeo 19). La composición promedio de las albitas hidrotermales es:  $(\text{Na}_{0,94} \text{Ca}_{0,05} \text{K}_{0,01}) \text{Al Si}_3 \text{O}_8$ . En el diagrama triangular Or-Ab-An de la figura 20 se han graficado las composiciones químicas de las albitas analizadas con microsonda de electrones.

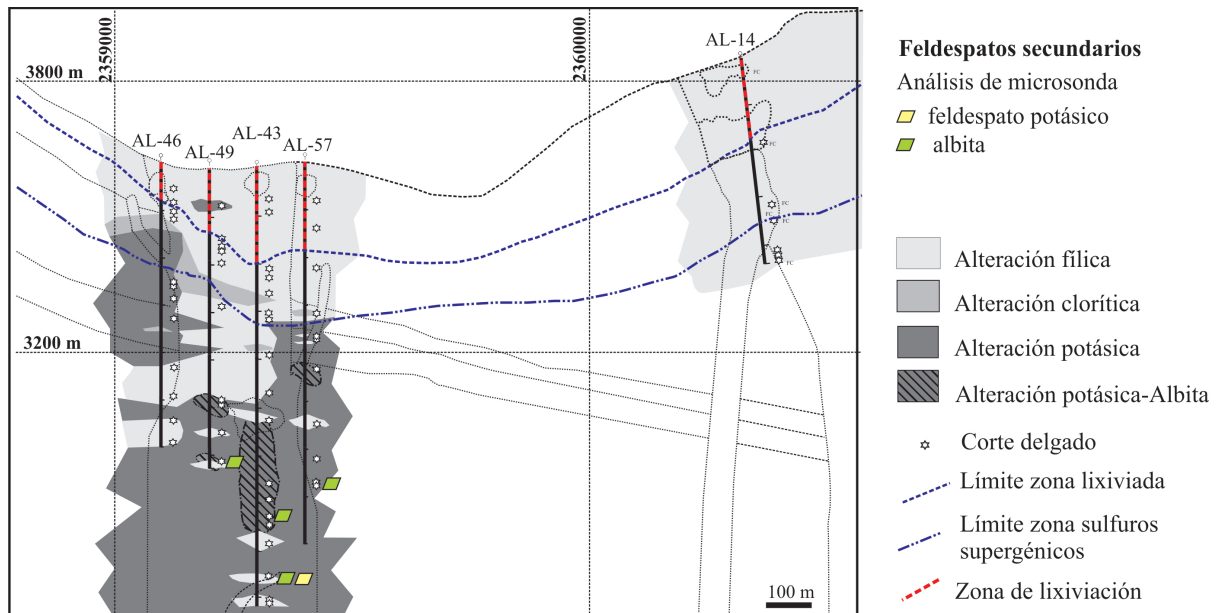


Fig. 19. Distribución de los análisis químicos de feldespato potásico y albita en el perfil 6516700 N.

#### 3.4.2. Feldespato potásico

Feldespato potásico también está presente en la alteración potásica pero en cantidades menores a trazas (ver Tablas 3 y 4 capítulo V). Los análisis químicos de feldespato potásico obtenidos corresponden al relleno de una venilla hidrotermal tipo 2a que corta al pórfido con alteración potásica en profundidad (ver Figs. 19 y 20). La composición promedio calculada

para feldespato potásico es  $(K_{0,92} Na_{0,08}) Al Si_3 O_8$ . En la Tabla 33 se detallan las composiciones químicas obtenidas para este mineral.

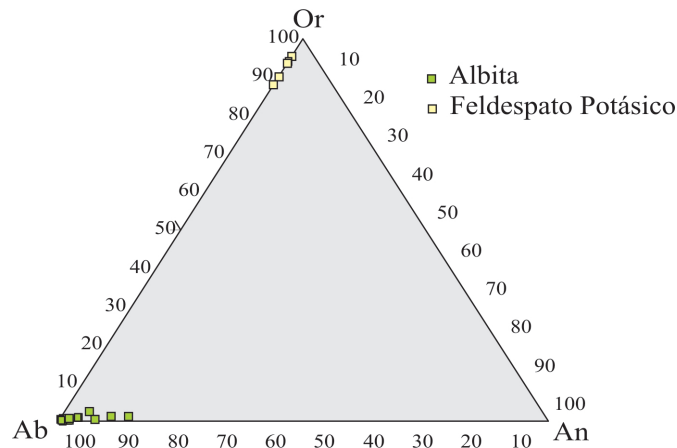


Fig. 20. Diagrama triangular Or-Ab-An con las composiciones químicas de albita y feldespato potásico de Altar.

### 3.5 Turmalina

Turmalina forma parte del cemento de las brechas hidrotermales (ver capítulo V) observadas en los sondeos a niveles superficiales. También está en agregados de cristales aciculares radiados en las rocas con alteración filica y rellena las venillas tipo 5d con salbandas de alteración filica. La cantidad de turmalina en brechas y en venillas parece aumentar hacia los niveles superficiales. Los análisis químicos de turmalina de una venilla tipo 5d que corta al pórfido en profundidad (869 m del sondeo 43) se presentan en la Tabla 34. Son análisis semi-cuantitativos dado que no se determinaron las concentraciones de  $H_2O$  y del B.

### 3.6 Alunita

Alunita es abundante en la zona de alteración argílica avanzada asociada a las vetas epitermales de cuarzo  $\pm$  enargita del sector este del proyecto. Este mineral ocurre en agregados de cristales tabulares (100-200  $\mu m$ ) que reemplazan a los fenocristales de plagioclasa de las rocas. Las alunitas analizadas (200 a 400 $\mu m$ ) corresponden a una muestra de las vetas epitermales en superficie (A-30). No se obtuvieron buenos resultados químicos debido a la baja dureza de este mineral (Tabla 35), a pesar de que los análisis se efectuaron con un haz de electrones de mayor diámetro (10 $\mu m$ ) y se cambió el orden de medición de los elementos para evitar una mayor pérdida del Al y del K. La alunita difiere de la composición teórica  $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$  porque presenta concentraciones menores de  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$  y F.

## 4. DISCUSION

### 4.1. Condiciones de formación de las asociaciones minerales en equilibrio

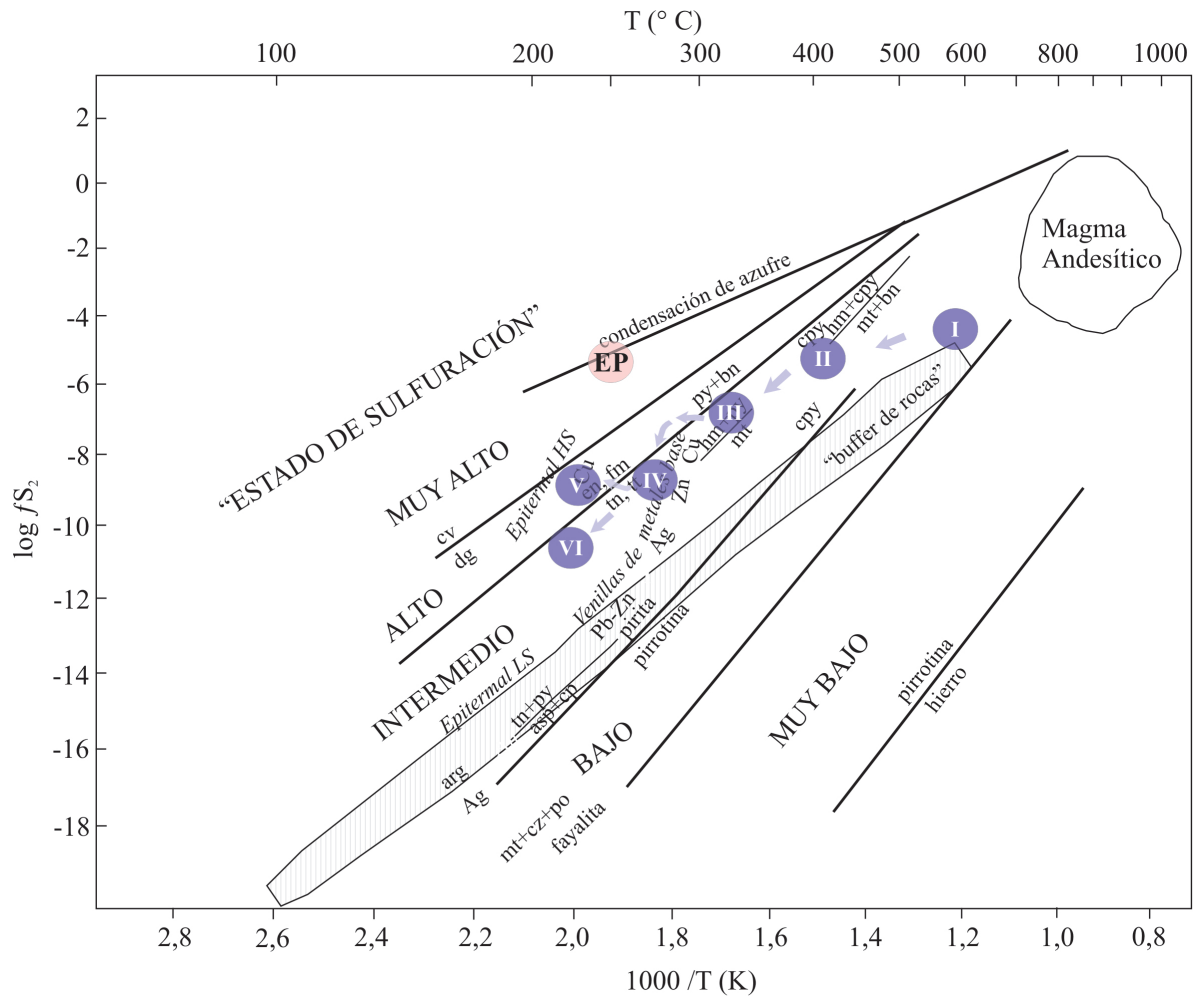
En los párrafos siguientes se analizan las condiciones en las que posiblemente se formaron las asociaciones minerales hidrotermales en equilibrio determinadas para las alteraciones, mineralizaciones diseminadas y en venillas del pórfido de Cu-(Au-Mo) y para las vetas epitermales de Au-(Ag-Cu). Dado que el estado de sulfuración proporciona un marco conveniente para estudiar la evolución del sistema hidrotermal (Seedorff et al., 2005), los datos de las distintas asociaciones de sulfuros y de óxidos en equilibrio se han graficado en el diagrama de fugacidad del  $S_2$  versus temperatura (Fig. 21) (modificado de Einaudi et al., 2003). En este diagrama se muestran los campos correspondientes a los estados de sulfuración de las asociaciones minerales que dependen de la  $fS_2$  y de la temperatura (muy baja, baja, intermedia, alta y muy alta) (Barton et al., 1960; Barton y Skinner, 1967; Barton, 1970). En la figura 22 se han dibujado los diagramas de fugacidad del  $S_2$  versus la fugacidad del  $O_2$  con los campos de estabilidad de sulfuros, óxidos y silicatos en el ambiente hidrotermal para distintas temperaturas (modificados de Losada Calderón y McPhail, 1996). Este análisis se realiza sobre la base de los datos presentados en este capítulo y datos termodinámicos de la literatura específica.

#### 4.1.1 Depósito tipo pórfido de Cu-(Au-Mo)

*Alteración potásica- Mineralización diseminada-Venillas tipos 1, 2 (a-b) y 3.* La asociación cuarzo + biotita  $\pm$  anhidrita  $\pm$  albita  $\pm$  feldespato potásico  $\pm$  rutilo  $\pm$  magnetita caracteriza a la zona de alteración potásica y a las venillas tempranas tipo 1 (biotita + cuarzo  $\pm$  magnetita  $\pm$  rutilo; feldespato potásico  $\pm$  cuarzo  $\pm$  anhidrita; magnetita  $\pm$  cuarzo). La mineralización de calcopirita + pirita  $\pm$  molibdenita está diseminada y en las venillas reabiertas tipo 2a (cuarzo  $\pm$  anhidrita  $\pm$  feldespato potásico), en las tipo 2b (cpy  $\pm$  ksp  $\pm$  cz  $\pm$  bio  $\pm$  anh  $\pm$  py) y en las venillas tipo 3 (cz  $\pm$  mo  $\pm$  cpy  $\pm$  py).

La biotita magmática del pórfido 3 tiene composiciones intermedias entre flogopita y biotita magnésica y la biotita magmática del pórfido 5 corresponde a biotita magnésica. La biotita hidrotermal tiene mayores concentraciones de MgO y F y menores de FeO y  $Na_2O$  y corresponde a flogopita. Flogopita hidrotermal en los pórfidos de Altar reemplaza a biotita magnésica magmática y a edenita (clinoanfíbol magmático) de los pórfidos de Altar. Biotita con mayores contenidos de Mg es estable a  $fO_2$  más elevadas que biotita rica en Fe y en varios pórfidos de Cu, tanto las biotitas magmáticas como las hidrotermales tienen valores de

la razón  $X_{Mg}/X_{Fe}$  más altos que las biotitas magmáticas de los intrusivos estériles (Vikre, 2010). El porcentaje elevado de  $TiO_2$  en la mayoría de los análisis de biotita hidrotermal de Altar (Tablas 25, 26 y 27) indica su formación a temperaturas altas (Selby y Nesbitt, 2000 y referencias allí citadas).



#### REFERENCIAS

- I** - Alteración potásica- Mineralización diseminada-Venillas tipos 1, 2 (a-b) y 3
- II** - Alteración clorítica- Venillas tipo 4
- III** - Alteración filica-Mineralización diseminada y en venillas tipo 5 (a-b-c-d)
- IV** - Alteración Argílica Avanzada. Venillas tipo 6 (a-b)
- V** - Venillas tipo 6c
- VI** - Venillas tipo 7 y 8
- EP** - Alteración argílica avanzada- Cuarzo “poroso”-vetas epitermales de Au-(Ag-Cu)- azufre nativo

**Fig. 21.** Diagrama de la fugacidad del  $S_2$  versus temperatura (modificado de Einaudi et al., 2003) en el que se indican con los números I, II, III, IV, V y VI de color lila, las distintas asociaciones minerales hidrotermales en equilibrio determinadas para alteraciones, mineralizaciones diseminadas y en venillas del pórfido de Cu-(Au-Mo) y como EP de color rosa, la asociación mineral para el depósito epitermal de Au-(Ag-Cu) de Altar. Las flechas muestran la evolución interpretada para los fluidos hidrotermales en Altar. Se muestran los campos correspondientes a los estados de sulfuración de las asociaciones minerales que dependen de la  $f_{S_2}$  y de la temperatura (muy baja, baja, intermedia, alta y muy alta) (Barton et al., 1960; Barton y Skinner, 1967; Barton, 1970).

En el diagrama de la figura 23 se muestran los campos de estabilidad de edenita, flogopita y clinocloro en relación a la actividad de distintas especies acuosas en presencia de cuarzo + anhidrita (modificado de [Brimhall et al., 1985](#)). Flogopita puede formarse a partir de edenita magmática por un aumento de la actividad del  $K_2SO_4$  o bien del  $H_2SO_4$  (o de ambos) en los fluidos hidrotermales. Este cambio químico tiende a fijar  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ , y  $K^+$  en la asociación mineral de biotita y anhidrita, mientras que el fluido acuoso se enriquece en  $Fe^{2+}$  y  $SiO_2$ , que pueden precipitar luego como parte del cuarzo y de piritita y calcopiritita.

La preponderancia de albita ( $Na_{0,94} Ca_{0,05} K_{0,01}$ ) $AlSi_3O_8$  sobre feldespato potásico acompañando a biotita pudo estar controlada por la composición de las plagioclasas magmáticas ricas en Na (oligoclasa y albita) de los pórfidos ([ver Seedorff et al., 2005](#)). En las andesitas del CVI se ha reconocido una mayor proporción de feldespato potásico en el relleno de las venillas tipo 1 y en los halos de las venillas tipo 2a. Es de destacar que las andesitas sin alterar tienen valores de las razones  $Na_2O/K_2O$  (1,2 a 2,4% en peso) inferiores a las que presentan los pórfidos sin alterar ( $Na_2O/K_2O$  de 3,1-3,4% en peso) ([ver capítulos III y IV](#)).

Magnetita hidrotermal es un mineral muy subordinado en esta asociación y se encuentra en sectores con alteración potásica débil y como relleno de venillas irregulares; en general los óxidos están reemplazados por rutilo, mineral que indica fluidos con alta fugacidad del oxígeno ([Seedorff et al., 2005](#)).

Si bien no se han considerado parte de esta asociación mineral, los filosilicatos dioctaédricos potásicos identificados en la alteración potásica, que reemplazan los núcleos de plagioclasas, tienen una composición muy próxima a muscovita ([Figs. 15 y 17](#)). De acuerdo con el campo de estabilidad de muscovita (~550 a 360 °C en el sistema  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-KCl-H_2O$  a 1 kbar de presión y con presencia de cuarzo; [ver Seedorff et al., 2005](#)) este mineral pudo haberse formado durante este estadio de alteración. No así illita que se forma a temperaturas de <300°C ([Seedorff et al., 2005](#)).

Las venillas 2a más profundas tienen formas muy irregulares que reflejan condiciones de presión litostática, temperaturas mayores de 400°C y el comportamiento plástico de las rocas ([Fournier, 1999](#)). En las inclusiones fluidas analizadas en estas venillas ([ver capítulo VII](#)) se han medido temperaturas mínimas de entrapamiento de >550°C.

La presencia de anhidrita indica un ambiente hidrotermal con alto contenido de S total ([Seedorff et al., 2005](#)) y predominio de  $SO_4^{2-}$  sobre  $H_2S$  en los fluidos derivados del magma ([Einaudi et al., 2003](#); [Seedorff et al., 2005](#)). El Ca puede ser suministrado por las reacciones hidrolíticas que destruyen los silicatos ferromagnesianos cálcicos y las plagioclasas (componente anortítico) durante la alteración. En el pórfido Butte, los datos isotópicos han



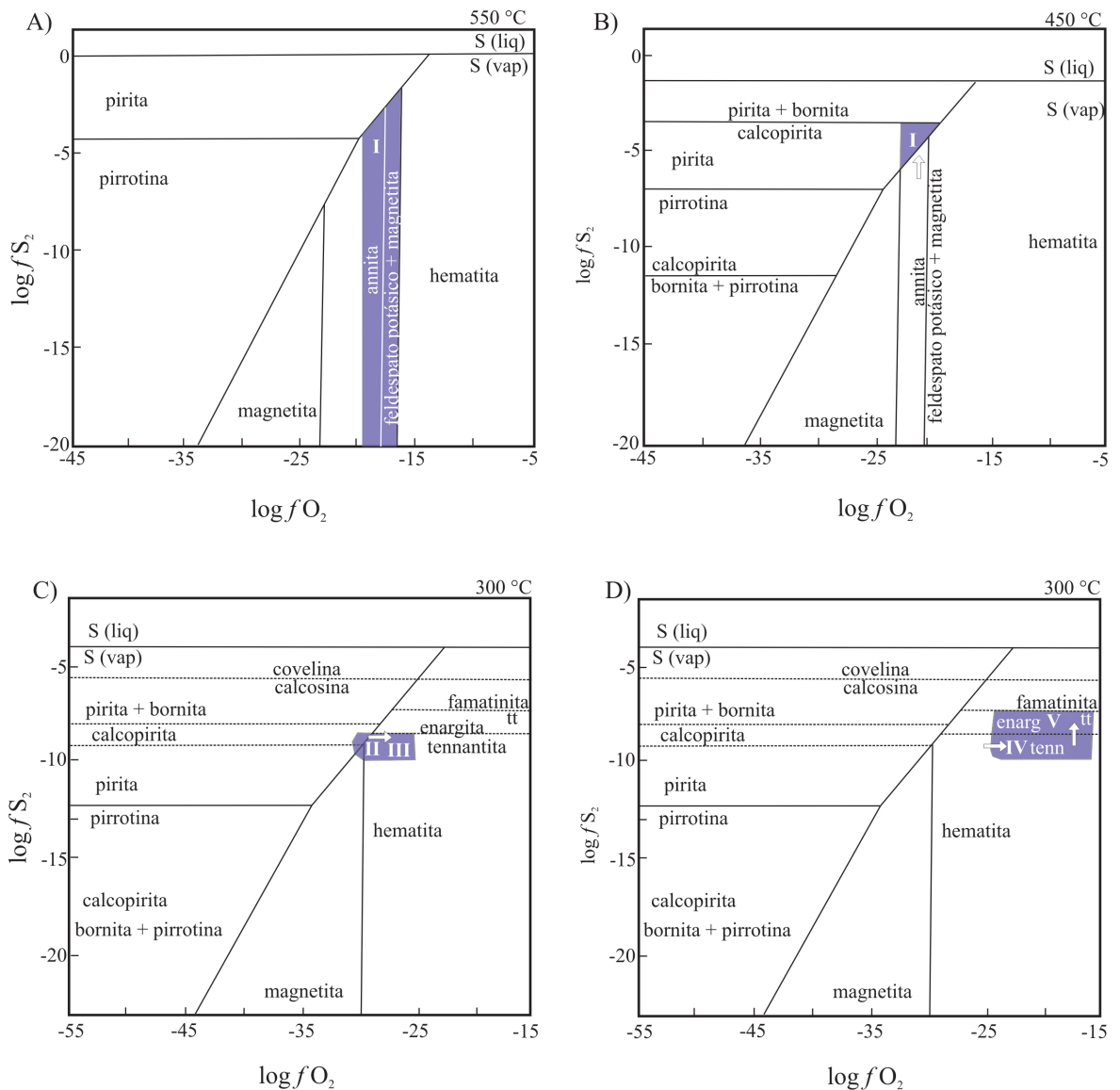
demostrado que el sulfato en solución es más abundante que el sulfuro a  $\sim 600^\circ\text{C}$  (e.j. [Field et al., 2005](#)). Por otro lado, la solubilidad de anhidrita en presencia de fluidos salinos decrece con la disminución de la temperatura ([Cobert y Leach, 1998](#) y referencias allí citadas).

Las venillas tempranas (2a, 2b y 3) muestran re-aperturas, disolución de los cristales de cuarzo y rellenos de nuevas generaciones de cuarzo ([ver capítulo V](#)) que podrían haberse originado debido a las fluctuaciones de la presión entre litostática e hidrostática a altas temperaturas (p. ej. en Butte, [Rusk y Reed, 2002](#)). Los sulfuros en estas venillas de Altar están en contacto con la generación de cuarzo más joven de baja luminescencia. En otros sistemas hidrotermales analizados (p.ej., en Butte; [Rusk et al., 2006](#)) la baja intensidad de luminescencia del cuarzo coincide con una disminución en la concentración de Ti, que suele estar acompañado por un aumento en el Al, y que se correlaciona con una menor temperatura de precipitación que el cuarzo de alta luminescencia ([Rusk et al., 2006](#)).

La calcopirita y la pirita tienen composiciones minerales que se ajustan a las teóricas, sin embargo se han determinado trazas de Cu y Au (hasta 0,12% en peso) en la pirita y de Au (0,15 % en peso) en calcopirita. No se ha reconocido oro nativo en esta asociación, por lo que se infiere que las anomalías de Au determinadas en la zona potásica ([ver Capítulo V](#)) se correlacionan con el oro hallado en pirita y en calcopirita. Cuando el S es extraído de los fluidos durante la precipitación de los sulfuros de cobre-hierro, el oro -que por lo general es transportado como bisulfuro u otro complejo del S- también precipita ([Williams-Jones y Heinrich, 2005](#)) como solución sólida en bornita y menos común en calcopirita ([Kesler et al., 2002](#)). La asociación calcopirita  $\pm$  pirita -ambas con trazas de Au- diseminadas y en venillas tipo 2b representan el primer estadio de mineralización de Cu-Au.

La asociación molibdenita  $\pm$  calcopirita  $\pm$  pirita está en las venillas tipo 3 que tienen paredes rectas, como las venillas 2a en los niveles superficiales y las venillas 2b, y señalan el comportamiento frágil de las rocas y temperaturas de formación inferiores a las de las venillas 2a profundas. Estudios experimentales recientes han demostrado que el Mo es transportado como un complejo de hidróxido de Mo a temperaturas altas ([Ulrich y Mavrogenes, 2008](#)). En consecuencia, el aumento del  $\text{H}_2\text{S}$  en el fluido hidrotermal y un pH algo más ácido, reducen las concentraciones del hidróxido en el fluido y favorecen la precipitación de molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ). Esto explicaría la cronología de las venillas tipo 3 en Altar, formadas luego del estadio principal de mineralización de Cu-Fe-Au y probablemente en la transición potásica-fílica, por lo cual los grados más altos de Cu y Mo no tienen igual distribución en el proyecto. Además, molibdenita en estas venillas tipo 3 está asociada a la generación más tardía de cuarzo.

Es probable que la reacción continua de los fluidos con las rocas de caja y la disminución de la temperatura, hayan producido un incremento en la proporción de  $\text{H}_2\text{S}$  versus  $\text{SO}_4^{2-}$  en solución, necesario para que precipiten los sulfuros ( $\text{SO}_2$  reacciona con agua para formar ácido sulfúrico y  $\text{H}_2\text{S}$ ; Seedorff et al., 2005). En condiciones hidrostáticas este proceso se inicia cuando la temperatura desciende a  $\sim 400^\circ\text{C}$  (e.j Ohmoto y Rye, 1979). En el diagrama de temperaturas versus  $f\text{S}_2$ , las asociaciones pirita + calcopirita (Au) y molibdenita  $\pm$  calcopirita  $\pm$  pirita de los primeros pulsos mineralizadores de Altar representan un estado de sulfuración intermedio (ver I, Fig. 21).



#### REFERENCIAS

- I** - Alteración potásica- Mineralización diseminada-Venillas tipos 1, 2 (a-b) y 3
- II** - Alteración clorítica- Venillas tipo 4
- III** - Alteración filica-Mineralización diseminada y en venillas tipo 5 (a-b-c-d)
- IV** - Alteración Argílica Avanzada. Venillas tipo 6 (a-b)
- V** - Venillas tipo 6c

**Fig. 22.** Diagramas de la fugacidad del  $\text{S}_2$  versus fugacidad del  $\text{O}_2$  que muestra los campos de estabilidad de sulfuros, óxidos y silicatos en el ambiente hidrotermal para distintas temperaturas: A)  $550^\circ\text{C}$ , B)  $450^\circ\text{C}$

°C, C) 300 °C, D) 300 °C (modificados de Losada Calderón y McPhail, 1996). En los mismos se indican con los números I, II, III, IV y V las distintas asociaciones minerales hidrotermales en equilibrio determinadas para alteraciones, mineralizaciones diseminadas y en venillas del pórfido de Cu-(Au-Mo). Se indica con flechas la posible evolución del fluido hidrotermal.

*Alteración Clorítica- Venillas tipo 4.* Los minerales clorita, filosilicatos dioctaédricos potásicos, cuarzo, rutilo y hematita (Tabla 36) caracterizan a la alteración clorítica (chl + fdp + cz ± rt ± hm) y a las venillas tipo 4 (chl + hm ± rt). La composición de clorita ( $Al_{3,29-2,44}Mg_{7,41-5,69}Fe^{2+}_{2,44-1,95}(Si_{6,03-5,62}Al_{2,38-1,97})O_{20}(OH)_{16}$ ) corresponde a clinocloro.

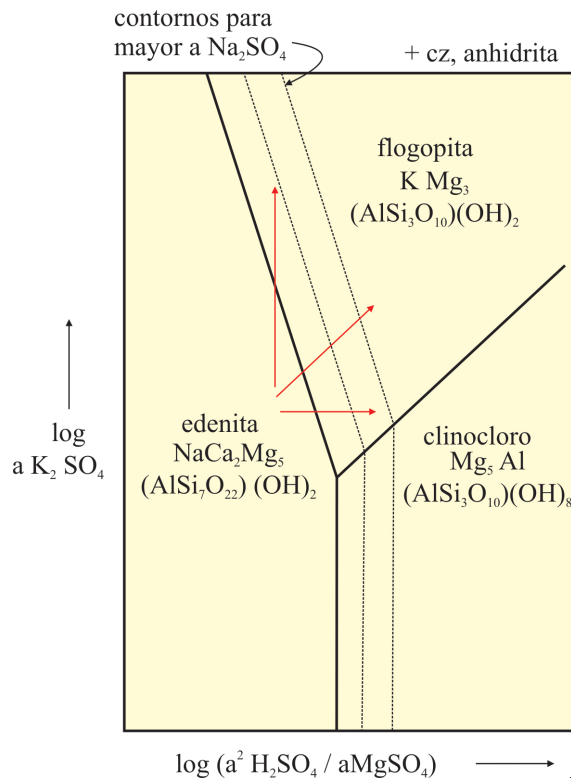


Fig. 23. Diagrama de  $K_2SO_4$  versus  $\log (a^2 H_2SO_4 / aMgSO_4)$  con los campos de estabilidad de edenita, flogopita y clinocloro, en presencia de cuarzo + anhidrita (modificado de Brimhall et al., 1985). Flogopita puede formarse a partir de edenita magmática por un aumento de la actividad del  $K_2SO_4$  o bien del  $H_2SO_4$  (o de ambos) en los fluidos hidrotermales.

La formación de clorita pudo haber resultado de la desestabilización de flogopita por la disminución de la actividad del  $K_2SO_4$  en los fluidos hidrotermales (Fig. 23) a valores intermedios de la  $a(K^+)/a(H^+)$  en la medida en que el sistema se enfriaba (cf. Seedorff et al., 2005). El amplio rango de temperaturas y salinidades (ver capítulo VII) obtenidos de la población de inclusiones fluidas salinas de las venillas de cuarzo de la zona potásica (venillas 2a), son consecuencia de las reaperturas y los rellenos de estas venillas por minerales precipitados de flujos episódicos de fluidos.

Los cambios químicos durante el reemplazo de biotita por clorita se ilustran en el

diagrama  $MR^3-2R^3-3R^2$  (Fig. 15). Como es típico en las biotitas hidrotermales, las biotitas de Altar tienen menos K y son más ricas en Al que las biotitas ígneas (Beaufort y Meunier, 1983; Velde, 1985). La pérdida de K en biotita se explica por la formación de filosilicatos dioctaédricos contemporáneos y es acompañado por un aumento de Al y disminución de la razón  $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$  en clorita (ver Fig. 16D).

La composición de los filosilicatos dioctaédricos potásicos (mica, mayores de 2  $\mu m$ ) se brinda en la figura 17. En la fracción arcilla (< 2  $\mu m$ ) se identificaron clorita (35 a 100 %) e illita (0 a 55%). Los filosilicatos dioctaédricos potásicos (> 2  $\mu m$ ) se forman a temperaturas superiores a 300°C, pero illita en la fracción arcilla refleja una disminución de la temperatura por debajo de los 300 °C (Seedorff et al., 2005), es decir que estos filosilicatos (mica e illita) no son coetáneos y es factible que haya transiciones desde clorita, clorita + mica a clorita + illita. La asociación mineral en equilibrio clorita + mica incolora señala fluidos con un pH neutro (5-6; Reyes, 1990).

La transformación de biotita en clorita y la composición de los filosilicatos dioctaédricos potásicos, reflejan una disminución de la temperatura en este estadio en tanto que la fugacidad del  $S_2$  en los fluidos es similar a la del estadio previo (ver II, Fig. 21). Hematita reemplaza a los óxidos magmáticos de las rocas (ulvoespinelo) y a magnetita hidrotermal y en general se preservan los sulfuros (calcopirita y pirita). La incursión de aguas meteóricas con alta  $fO_2$  en el sistema y su mezcla con los fluidos hidrotermales puede desestabilizar los óxidos que contienen  $Fe^{2+}$  y favorecer su reemplazo por hematita. Sin embargo, es poco factible que agua meteórica (< 3 % en peso de sales) haya accedido a las partes centrales del sistema hidrotermal durante este estadio, ya que las temperaturas eran aún mayores de 350°C (Dilles, 2010). Es más probable que esta transformación haya tenido lugar debido a una disminución de la temperatura (Ohmoto, 2003) de los fluidos magmáticos.

*Alteración filica-Mineralización diseminada y en venillas tipo 5 (a-b-c-d).* Los minerales cuarzo, filosilicatos dioctaédricos potásicos, turmalina, rutilo, pirita, calcopirita y anhidrita (Tabla 36) caracterizan a la alteración filica (cz + ms/ill  $\pm$  rt  $\pm$  tour), a la mineralización diseminada en esta alteración (py  $\pm$  cpy) y a las venillas tipo 5a (cz + py + cpy  $\pm$  ms/ill  $\pm$  tour), tipo 5b (py + cz  $\pm$  ms/ill  $\pm$  anh  $\pm$  cpy), tipo 5c (anh  $\pm$  cz  $\pm$  cpy  $\pm$  py) y tipo 5d (tour  $\pm$  cz).

La alteración filica forma halos de unos pocos centímetros de ancho a lo largo de las venillas tipo 5 en profundidad, donde suele gradar a un halo externo de clorita > filosilicatos dioctaédricos potásicos y es penetrativa en los niveles menos profundos donde la densidad de estas venillas es mayor. El enfriamiento progresivo de los fluidos hidrotermales parece haber

sido el proceso que controló la formación del halo fílico. Asimismo, la presencia de abundante pirita (pirita > calcopirita diseminada y en venillas, en especial en las 5b), tiene que haber ocasionado la disminución del pH del fluido a menos de 4,5, el detenimiento de la formación de clorita a expensas de biotita (Schardt et al., 2001) y el reemplazo de biotita de la zona potásica por mica dioctaédrica potásica e illita. El pH y la temperatura inferiores a las de los fluidos más tempranos fijaron el Al y el K en los silicatos y lixiviaron otros componentes. Estos cambios se muestran en el diagrama  $2R^3$ - $MR^3$ - $3R^2$  (Fig. 15), en el cual el Al y el K de los componentes  $MR^2$  y  $2R^3$  de biotita se fijan en las asociaciones minerales fílicas y se liberan el Mg y el Fe del componente  $3R^2$ . La composición de los filosilicatos dioctaédricos potásicos (> 2  $\mu$ m) de esta asociación varía desde muscovita a illita (Fig. 15), mientras que la fracción menor de 2  $\mu$ m está constituida por illita (> 90%). Como se estableció previamente, esta mineralogía permite inferir la influencia de al menos dos estadios de formación de los filosilicatos (Seedorff et al., 2005) superpuestos.

Pirita y calcopirita de la alteración fílica (diseminadas) tienen concentraciones elevadas de elementos traza, entre ellos Pb, Zn, Ag con As y Sb y es probable que estos elementos hayan sido incorporados en los sulfuros al disminuir sus solubilidades con la disminución de la temperatura de los fluidos. Estos sulfuros indican condiciones de la fugacidad del  $S_2$  similares a las del estadio previo (ver III, Fig. 21). La distribución de los sulfuros en las venillas y en sus halos fílicos es variable y las características más sobresalientes son las siguientes: 1) las venillas 5a con mineralización de Cu son muy escasas y sólo se encontraron en profundidad, 2) las venillas 5b (con pirita dominante) y 5d (con turmalina) son las más abundantes y mejores distribuidas en las tres secciones, 3) las venillas 5c son escasas y están en los niveles intermedios cortando al pórfido 4, 4) en algunos halos fílicos de las venillas 5a y 5d hay pirita + tennantita  $\pm$  oro, enargita (bornita)  $\pm$  tetraedrita reemplazando a pirita + calcopirita y 5) en varios halos fílicos de las venillas 5b los sulfuros han sido disueltos.

La reacción:  $Cu^+ + Fe^{2+} + 2H_2S + 0,25O_2 = CuFeS_2 + 3H^+ + 0,5H_2O$  permite ilustrar las variaciones en la distribución de los sulfuros de Cu-Fe. La disminución del pH del fluido tiende a mantener el Cu y el Fe en solución y para que dichos sulfuros precipiten en estas condiciones es necesario el descenso de la temperatura (Dilles, 2010). Al inicio de este estadio, los fluidos más ácidos y aún calientes que circulaban a través de las fracturas reaccionaron con las paredes de las venillas, dado que no estaban en equilibrio con la alteración clorítica. Esto habría ocasionado la disolución de los sulfuros en las zonas próximas a las fracturas y su precipitación posterior al disminuir la temperatura, ya sea en los halos más externos o en otros lugares del sistema. Las sulfosales que reemplazan a pirita y calcopirita en

algunas salbandas representan la transición al estadio de alteración argílica avanzada y su mineralización.

En Altar hay una asociación espacial y temporal entre las brechas magmáticas-hidrotermales y la alteración filica de los pórfidos y rocas de caja (ver capítulo V). Es posible que durante este estadio la actividad magmática se haya renovado a menor profundidad, con la exsolución de volátiles que precipitaron abundante turmalina en brechas y en venillas tardías.

*Alteración Argílica Avanzada. Venillas tipo 6 (a-b-c).* Los minerales tennantita, pirita, cuarzo, tetraedrita, enargita y oro forman las venillas tipo 6a ( $tn \pm py \pm cz \pm td \pm Au$ ), 6b ( $py \pm cz$ ) y 6c ( $py + en \pm cz$ ). La asociación dickita/caolinita  $\pm$  cuarzo  $\pm$  rutilo caracteriza a la alteración argílica avanzada de los halos de las venillas 6a y b. Fluidos hidrotermales con menor temperatura y pH y mayor  $fO_2$  que en el estadio anterior, deben haber ocasionado la alteración hidrolítica y el lavado de los cationes alcalinos de los filosilicatos al reaccionar con las paredes de las fracturas. La temperatura debió haber descendido por debajo de 300 °C para formar dickita o de 200 °C para formar caolinita, con un pH de los fluidos  $<4$  (Reyes, 1990).

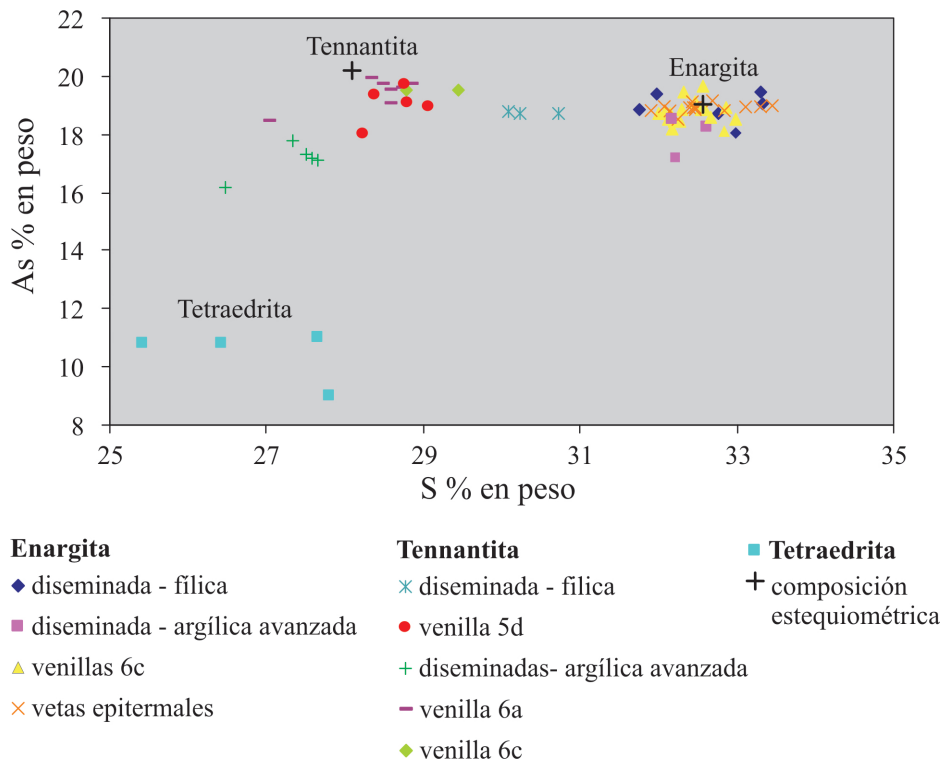


Fig. 24. Composiciones de sulfosales de Cu, As y Sb de Altar según sus contenidos de As (% en peso) y de S (% en peso). Se indican las composiciones teóricas de tennantita y de enargita.

En la figura 24 se han graficado las composiciones de sulfosales de Cu, As y Sb según sus contenidos de As (% en peso) y de S (% en peso), junto a las composiciones teóricas de

tennantita y de enargita. La tennantita muestra contenidos de As inferiores al teórico indicando un alto grado de sustitución en su estructura cristalina así como un amplio rango de porcentajes de S. Presenta, además, composiciones variables en los análisis de distintas venillas y mineralizaciones. En los niveles profundos (entre ~2700 y 2800 ms.n.m) hay tennantitas ricas en Zn, Fe y Sb diseminadas en la alteración argílica avanzada y en una vena tipo 6a superficial de 3 cm de espesor tennantita contiene Au, además de Zn y Fe. La pirita diseminada en la alteración argílica avanzada en profundidad tiene una composición que se ajusta a la teórica, mientras que la pirita de las venillas tipo 6a tiene Cu. Abundantes granos de oro (0,05 mm de diámetro promedio) han sido reconocidos en cuarzo de las venillas tipo 6a, y es la primera vez que se lo identificó petrográficamente en equilibrio con la asociación tennantita + pirita  $\pm$  cuarzo que corresponde a un estado de sulfuración intermedio (ver IV, Fig. 21, ver Einaudi et al., 2003).

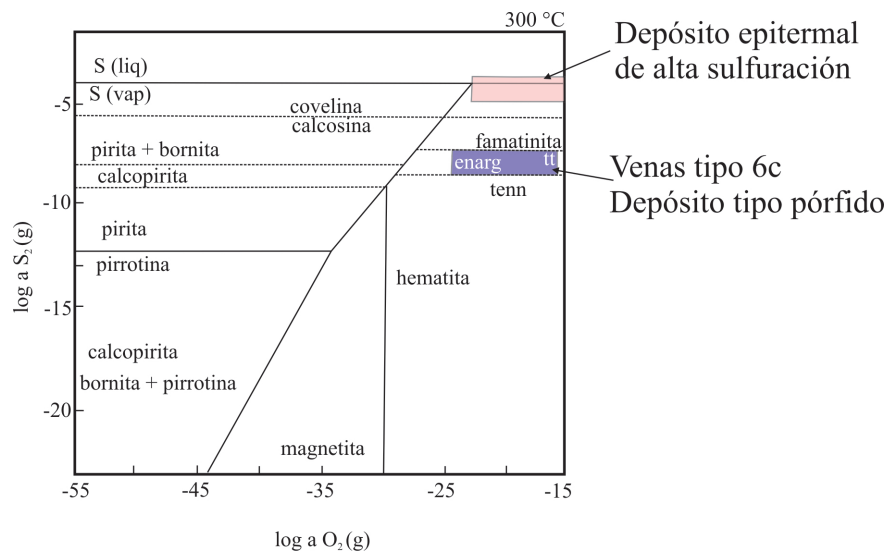


Fig. 25. Diagramas de fugacidad del  $S_2$  versus fugacidad del  $O_2$  con los campos de estabilidad de sulfuros, óxidos y silicatos en el ambiente hidrotermal a 300 °C (modificados de Losada Calderón y McPhail, 1996). Se muestran los campos determinados para las asociaciones minerales en equilibrio correspondientes a las venillas tipo 6c del depósito tipo pórfido (color lila) y al depósito epitermal de alta sulfuración (color rosa).

Algunas salbandas de las venillas tipo 6a y 6b contienen bornita + pirita, asociación que indica mayor  $fS_2$  (Fig. 21). Sin embargo, estos sulfuros están parcialmente reemplazados por tennantita. Bornita es también un mineral relictico en los sulfuros de las venillas 6a y forma inclusiones en pirita de las venillas 6c. Bornita relictica diseminada en las salbandas de venillas 6a tiene trazas de Ag, Pb y Zn. En calcopirita relictica de las venillas 6a se han identificado trazas de oro. La desestabilización de la asociación bornita + pirita en la transición filica-argílica avanzada, y su reemplazo por tennantita debió obedecer a procesos que generaron el aumento de la  $fO_2$  y una leve disminución de la  $fS_2$  de los fluidos

hidrotermales. Estos fluidos estaban enriquecidos en Au, Sb y As, además de Cu y fueron capaces de precipitar la mayor concentración de Au en el sistema pórfido. Tanto la disminución del pH como el aumento de la  $fO_2$  promueven la precipitación del oro transportado en los fluidos como bisulfuro (Corbett y Leach, 1998 y referencias allí citadas).

En la figura 24 se puede observar que todas las enargitas de las venillas tipo 6c analizadas contienen As y S en cantidades similares a la composición teórica de este mineral. El Sb aumenta con la profundidad en enargitas del relleno y de las salbandas de las venillas. La asociación mineral de estas venillas refleja un aumento de la fugacidad del  $S_2$  en los fluidos con respecto a la asociación de las venillas 6a y 6b a similares valores de la fugacidad del  $O_2$  (ver V, Fig. 21; Fig. 22D).

*Venillas tipo 7 y 8.* Los minerales cuarzo, esfalerita, galena, pirita caracterizan a las venillas tipo 7. La galena de esta asociación tiene una composición similar a la teórica aunque con contenidos de Cu (0,09 - 1% en peso) y trazas de Ag, Zn y Sb. La baja concentración de Fe (inferiores a 0,1% en peso) en la esfalerita de estas venillas señala un estado de sulfuración aún alto y/o alta fugacidad del oxígeno de los fluidos (ver VI, Fig. 21; Einaudi et al., 2003; Czamanske 1974). Estos metales -que son transportados como complejos clorurados (Barnes, 1979)- debieron precipitar en las venas como esfalerita y galena debido a la disminución de la temperatura, de la presión y/o de la dilución de los fluidos magmáticos con aguas meteóricas (Hemley y Hunt, 1992; Heinrich et al., 1999).

Los minerales de las venillas 7 y la asociación calcita + anhidrita (Tabla 36) de las venillas 8 que suelen asociarse y secundar a las anteriores, se formaron en zonas de fallas tardías. La precipitación de calcita en estos espacios abiertos, pudo obedecer a la exsolución rápida (ebullición?) de  $CO_2$  desde los fluidos (ver Simmons y Christenson, 1994) tardíos que aún tenían elevados contenidos de S total y eran oxidados para formar anhidrita. La solubilidad de estos minerales disminuye con el descenso de la temperatura de los fluidos magmáticos (Corbett y Leach, 1998 y referencias allí citadas). Es probable que un leve ascenso del pH ( $pH > 4$  también haya favorecido la precipitación de estos minerales (Corbett y Leach, 1998 y referencias allí citadas).

#### 4.1.2 Depósito epitermal de Au-(Ag-Cu)

*Alteración argílica avanzada- Cuarzo "poroso"-vetas epitermales de Au-(Ag-Cu)-azufre nativo.*



Cuarzo “poroso” y la asociación cuarzo + alunita + azufre nativo (Tabla 36) caracterizan a la alteración argílica avanzada que afecta a las rocas de los filos altos del proyecto Altar en los halos de las vetas epitermales.

Los núcleos de cuarzo “poroso” o “vuggy” (EP) resultaron de la lixiviación ácida de las rocas de caja por fluidos con temperaturas  $< 250^{\circ}\text{C}$  y muy ácidos ( $\text{pH} < 2$ ; Stoffregen, 1987) que ascendieron a través de fallas desde el centro hidrotermal del pórfido 2 (ver capítulo V). Estos fluidos por lo general se originan durante la adsorción de los volátiles magmáticos de baja densidad que contienen  $\text{SO}_2$  y  $\text{HCl}$  (ver Stoffregen, 1987; Rye, 1993) por aguas meteóricas (ver Williams-Jones y Heinrich 2005).

La asociación cuarzo + alunita + S nativo de los halos próximos a las vetas indica rangos de temperatura inferiores a  $\sim 360\text{-}375^{\circ}\text{C}$ ,  $f\text{O}_2$  y  $f\text{S}$  muy altas y  $\text{pH}$  ácidos ( $\text{pH} < 3$  (Reyes, 1985; Stoffregen, 1987; Giggenbach, 1997) (Figs. 21 y 22).

La alteración argílica avanzada está rodeada de un halo intermedio de cuarzo + caolinita y un halo externo de alteración propilítica, que reflejan la progresiva neutralización de los fluidos por las rocas de caja y su enfriamiento (Sillitoe, 2000).

El relleno de las vetas epitermales está constituido por cuarzo (calcedonia) y por enargita  $\pm$  cuarzo  $\pm$  alunita; ésta última asociación también está en microvenillas que cortan al cuarzo “poroso” y rellenan sus oquedades (Tabla 36). A diferencia de la enargita en venillas y diseminada en el depósito tipo pórfido, la enargita con buen desarrollo cristalino de las vetas epitermales no contiene elementos tales como Sb, Fe, Zn, Pb y Ag o están en muy baja concentración. Su composición se ajusta a la estequiométrica.

La asociación enargita  $\pm$  cuarzo  $\pm$  alunita que rellenan las vetas y las oquedades del cuarzo “poroso” se habrían formado a partir de sucesivos fluidos diluidos (por mezcla con agua meteórica) con temperatura de  $\sim 250^{\circ}\text{C}$  (Stoffregen, 1987; Hedenquist, 1987), en la que disminuye de manera considerable la solubilidad del Cu y el Au (Seward, 1981). Cuarzo de grano fino de baja cristalinidad (calcedonia) habría precipitado a partir de fluidos de baja temperatura ( $< 150^{\circ}\text{C}$ , ver Corbett y Leach, 1998).

#### 4.1.3. Alteración supergénica

Los minerales yeso, digenita y covelina se forman en el proceso de alteración supergénica (Tabla 36; yeso, SUP;  $\text{dg} \pm \text{cv}$ , SUP). En la zona de lixiviación, la meteorización de pirita habría liberado ácido sulfúrico y hierro a las aguas meteóricas, originando condiciones muy ácidas ( $\text{pH} < 2$ ) (Chávez, 2000). En este ambiente los sulfuros hipogénicos fueron disueltos, reemplazados por óxidos e hidróxidos de Fe y el Cu liberado fue transportado por los fluidos oxidantes descendentes (Chávez, 2000). Cuando estos fluidos

alcanzaron un ambiente con presencia de S en estado reducido, habrían precipitado el Cu en la zona actual de enriquecimiento supergénico formando digenita  $\pm$  covelina según los sulfuros hipogénicos de cobre.

Los rangos de composición de digenita y covelina difieren de las composiciones teóricas debido a sus concentraciones variables de Fe. La asociación digenita + covelina, característica del enriquecimiento supergénico, representa un estado de sulfuración muy alto (Fig. 21, ver Einaudi et al., 2003) y alta fugacidad del S<sub>2</sub>.

## 5. CONCLUSIONES

La secuencia de las asociaciones minerales en equilibrio descritas para el pórfido de Cu-(Au-Mo) indica una tendencia evolutiva general de los fluidos hidrotermales hacia menores temperaturas y pH y mayores fugacidades de S y de O, si bien el contenido de azufre total del sistema fue alto.

La composición flogopítica de la biotita hidrotermal, su elevado contenido de TiO<sub>2</sub> y su asociación con anhidrita, magnetita, rutilo, muscovita y con las venillas irregulares estériles (2a), indican que la alteración potásica que afectó a los pórfidos y rocas de caja en condiciones dúctiles y bajo presiones litostáticas, se originó a expensas de fluidos hidrotermales con temperaturas altas (>550°C), fugacidad de oxígeno elevada y alto contenido de S total, con predominio de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> sobre H<sub>2</sub>S.

Las fluctuaciones de la presión, entre litostática e hidrostática, por la repetitiva propagación de las fracturas y sus sellados (Ulrich et al., 2002) y las reacciones de los fluidos con las rocas durante la alteración, debieron provocar la disminución de la temperatura (< 400°C) y la disolución-precipitación de cuarzo en las venillas. A estas nuevas temperaturas, en las que las rocas son frágiles, las sucesivas venillas rellenaron fracturas de paredes rectas (2a superficiales, 2b y 3). También debió aumentar el H<sub>2</sub>S en los fluidos al desproporcionarse el SO<sub>2</sub>, provocando la precipitación de los metales en la asociación de sulfuros de Fe-Cu de sulfuración intermedia más el Au. El predominio de H<sub>2</sub>S en el fluido hidrotermal y quizá un pH algo más ácido que el inicial por la generación de ácido sulfúrico de la reacción del SO<sub>2</sub> con el agua, también debieron reducir las concentraciones del hidróxido de Mo en el fluido y hacer precipitar molibdenita, ya en la transición potásica-filica (venillas 3).

La formación progresiva de clorita-micas dioctaédricas potásicas-hematita y micas dioctaédricas-cuarzo-pirita-turmalina señala la interacción de las rocas alteradas con fluidos hidrotermales cada vez más fríos y con pH más ácidos y cuya circulación fue controlada por el “*stockwork*” de venillas previo. En esta etapa no hubo mineralización de Cu significativa, precipitó pirita y es difícil discernir si el contenido de sulfuro de Cu-Fe es heredado del

estadio previo. Hay evidencias de remobilización de sulfuros de los halos, que debieron luego precipitar al disminuir la temperatura. En este intervalo de enfriamiento no precipitó Au, tal vez debido a un grado intermedio de reacción con la caja y el pH de la asociación de alteración, pero es notorio el enriquecimiento de los sulfuros en los elementos traza Pb, Zn, Ag con As y Sb cuyas solubilidades deben de haber disminuido con el enfriamiento.

El cambio brusco observado entre la precipitación de las venillas 5 y las 6a, que desestabilizó la asociación de bornita + pirita a favor de tennantita + pirita  $\pm$  tetraedrita  $\pm$  oro, pudo obedecer a la incursión en el sistema de fluidos externos oxidados luego del brechamiento, que produjeron la alteración hidrolítica y el lavado de los cationes alcalinos de los filosilicatos a menores temperaturas ( $<300$  °C), pH y  $fS_2$  y mayor  $fO_2$  que en el estadio anterior. Estos fluidos estaban enriquecidos en Au, Sb y As, además de Cu y fueron capaces de precipitar la mayor concentración de Au en el sistema pórfido. La mineralogía de las venillas 6c, reflejan nuevamente el aumento de la fugacidad del  $S_2$  en los fluidos con respecto a la asociación de las venillas 6a y 6b a similares valores de la fugacidad del  $O_2$ . En zonas de fallas tardías, el enfriamiento y la dilución de los fluidos portadores de Zn y Pb, hicieron precipitar esfalerita y galena con anhidrita y calcita.

En el pórfido de Cu (Au-Mo) los fluidos hidrotermales no alcanzaron condiciones de pH tan ácidas como los fluidos que generaron la lixiviación de las rocas y la precipitación de alunita + azufre nativo acompañando a la mineralización de Au-(Ag-Cu) en las vetas epitermales que circundan al distrito.

## REFERENCIAS

- Bailey, S.W., 1980. Summary and recommendations of AIPEA Nomenclature Committee: Clays and Clay Minerals, 28, 73-78.
- Barnes, H.L., 1979. Geochemistry of hydrothermal ore deposits: New York, Holt, Rinehart & Winston, 236-333.
- Barton, P. B., Jr., 1970. Sulfide petrology: Mineralogical Society of America, Special Paper No. 3, 187-198.
- Barton, P. B., Jr., y Skinner, B. J., 1967. Sulfide mineral stabilities, in Barnes, H. L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits: New York, Holt, Rinehart and Winston, 236-333.
- Bayliss, P., 1975. Nomenclature of the trioctahedral chlorites: Canadian Mineralogist, v.13, 178-180.

- Beaufort, D., Meunier A., 1983. A petrographic study of phyllic alteration superimposed on potassic alteration: The Sibert porphyry copper deposit (Rhône, France). *Economic Geology*, 78, 1514-1527.
- Brimhall, G.H., Jr., Agee, C., y Stoffregen, R.E., 1985. The hydrothermal conversion of hornblende to biotite: *Canadian Mineralogist*, 23, 369–379.
- Chávez, W.X., Jr., 2000. Supergene oxidation of copper deposits—Zoning and distribution of copper oxide minerals: *Society of Economic Geologists Newsletter* 41, 1, 10–21.
- Corbett, G.J., y Leach, T.M., 1998. Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration and mineralisation: *Economic Geology, Special Publication* 6, 238, Society of Economic Geologists.
- Czamanske, G. K., 1974. The FeS content of sphalerite along the chalcopyrite-pyrite-bornite sulfur fugacity buffer: *Economic Geology*, 69, 1328-1334.
- Dilles, J., 2010. Hydrothermal Alteration. In: John D.A., (Ed.) *Porphyry Copper Deposit Model*, U.S. Geological Survey. Scientific Investigation Report 2010-5070-B.
- Einaudi M.T., Hedenquist J.W., Inan E.E., 2003. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments. In: Simmons SF, Graham I (Eds) *Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the earth*. *Economic Geology Special Publication* 343.
- Field, C.W., Zhang, L., Dilles, J.H., Rye, R.O., y Reed, M.H., 2005. Sulfur and oxygen isotope record in sulfate and sulfide minerals of early, deep, pre-Main Stage porphyry Cu-Mo and late Main Stage base-metal mineral deposits, Butte district, Montana: *Chemical Geology*, 215, 61–93.
- Foster, M.D., 1962. Interpretation of the composition and a classification of the chlorites: U.S Geological Survey Professional Paper 414-A, 1-33.
- Fournier R.O., 1999. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic–epithermal environment. *Economic Geology*, 94, 1193–1211.
- Franchini, M., Impiccini, A., Lentz, D., Ríos, J., O'Leary, S., Pons, J., Schalamuk, A., 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, 49–74.
- Giggenbach, W. F., 1997. The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems, in Barnes, H. L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, Third Edition: New York, John Wiley & Sons, 737-796.

- Guilbert, J.M., Schafer, R.W., 1979. Preliminary geochemical characterization of muscovites in porphyry base-metal alteration assemblages. Nevada Bureau of Mines and Geology Report 33, 57–68
- Hedenquist, J. W., 1987. Volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin and their potential for mineralisation: *Mining Geology (Kozan Chishitsu)*, 37, 347-364.
- Heinrich C.A., Gunther D., Audetat A., Ulrich T., Frischknecht R., 1999. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions. *Geology* 27,8, 755–758.
- Hemley, J. J., y Hunt, J. P., 1992. Hydrothermal ore-forming processes in the light of studies in rock-buffered systems: II. Some general geologic applications: *Economic Geology*, 87, 23-43.
- Kesler, S.E., Chryssoulis, S.L., y Simon, G., 2002. Gold in porphyry copper deposits: its distribution and fate: *Ore Geology Reviews*, 21, 103–124.
- Losada-Calderón, A. J., y McPhail, F. C., 1996. Porphyry and high-sulfidation epithermal mineralization in the Nevados del Famatina mining district, Argentina, in Camus, F., Sillitoe, R. H., and Petersen, R., eds., *Society of Economic Geology Special Publication*, 5, 91-117.
- Mavrogenes J., Henley, R.W., Reyes, A., Berger, B., 2010. Sulfosalt Melts: Evidence of High-Temperature Vapor Transport of Metals in the Formation of High Sulfidation Lode Gold Deposits. *Economic Geology*, 105, 257–262.
- McLeod, R.L., y Stanton, R.L., 1984. Phyllosilicates and associated minerals in some Paleozoic stratiform sulfide deposits of Southwestern Australia: *Economic Geology*, 79, 1-23.
- Meunier, A., y Velde, B., 1989. Solid solutions in I/S mixed-layer minerals and illite. *American Mineralogist*, 74, 1106-1112.
- Moore, D. M., y Reynolds, R. JR., 1997. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, New York, Oxford University Press, 378 p.
- Newman, A., Brown, G., 1987. The chemical constitution of Clays, in: Newman, A, (Ed.), *Chemistry of Clays and Clay Minerals*. Mineralogical Society Monograph N° 6, 129 p.
- Nickel, E.H., 1992. Solid solutions in mineral nomenclature: *Canadian Mineralogist*, 30, 231-234.
- Ohmoto, H., 2003. Non redox transformation of magnetite-hematite in hidrothermal systems. *Scientific Communications, Economic Geology*, 98: 157-161.

- Ohmoto, H., y Rye, R. O., 1979. Isotopes of sulfur and carbon, in Barnes, H. L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, Second Edition: New York, Holt, John Wiley & Sons, 517-611.
- Parry, W.T., Jasumback, M., Wilson, P.N. 2002. Clay Mineralogy of Phyllic and Intermediate Argillic Alteration at Bingham, Utah. *Economic Geology* 97, 221-239.
- Patrier P., Beaufort D., Laverret E., Bruneton P., 2003. High-Grade Diagenetic Dickite and 2m1 Illite From The Middle Proterozoic Kombolgie Formation (Northern Territory, Australia). *Clays And Clay Minerals*, Volume 51, Number 1, 1, 102-116.
- Reyes, A.G., 1990. Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 43, 279–309.
- Rusk, B.G., y Reed, M.H., 2002. Scanning electron microscope-cathodoluminescence of quartz reveals complex growth histories in veins from the Butte porphyry copper deposit, Montana: *Geology*, 30, 727–730.
- Rusk, B.G., Reed, M.H., Dilles, J.H., y Kent, A.J.R., 2006. Intensity of quartz cathodoluminescence and trace-element content in quartz from the porphyry copper deposit at Butte, Montana: *American Mineralogist*, 91, 1300–1312.
- Rye, R.O., 1993. The evolution of magmatic fluids in the epithermal environment: The stable isotope perspective: *Economic Geology*, 88, 733–752.
- Schardt, C., Cooke, D., Gemmill, B., y Large, R., 2001. Geochemical modeling of the zoned footwall alteration pipe, Helley volcanic-hosted massive sulfide deposit, western Tasmania, Australia: *Economic Geology*, 96, 1037–1054.
- Seedorff, E., Dilles, J., Proffett, J., Einaudi, M., 2005. Porphyry Deposits: Characteristics and Origin of Hypogene Features, *Economic Geology 100th anniversary volume*, 251-298.
- Selby D. y Nesbitt B., 2000. Chemical composition of biotite from the Casino porphyry Cu-Au-Mo mineralization, Yukon, Canada: evaluation of magmatic and hydrothermal fluid chemistry. *Chemical Geology*, 171, 1-2, 77-93.
- Seward, T.M., 1981. Metal complex formation in aqueous solutions at elevated temperatures and pressures, in Rickard D.T., and Wickman, F.E., (Eds.), *Chemistry and Geochemistry of solutions at elevated temperatures and pressures*. Oxford, England, Pergamon Press, 113-132.
- Sillitoe, R.H., 2000. Styles of high-sulphidation gold, silver, and copper mineralization in porphyry and epithermal environments: *The AusIMM Proceedings*, 305, 19–34.
- Simmons S.F., y Christenson, B.W., 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system : *American Journal of Science*, 294, 361-400.

- Stoffregen, R. E., 1987. Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado: *Economic Geology*, 82, 1575-1591.
- Ulrich, T., Günter, D., y Heinrich, C.A., 2002. The evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions—Bajo de la Alumbraera, Argentina: *Economic Geology*, 97, 1889–1920.
- Ulrich, T., y Mavrogenes, J., 2008. An experimental study of the solubility of molybdenum in H<sub>2</sub>O and KCl-H<sub>2</sub>O solutions from 500 degrees C to 800 degrees C, and 150 to 300 MPa: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, 2316–2330.
- Velde, B., 1985. *Clay Minerals: A physico-chemical explanation of their occurrence: Developments in Sedimentology*: Amsterdam, Elsevier, 427 p.
- Vikre, P., 2010. Hypogene Ore Characteristics. In: John D.A., (Ed.) *Porphyry Copper Deposit Model*, U.S. Geological Survey. Scientific Investigation Report 2010-5070-B.
- Williams-Jones, A.E., y Heinrich, C.A., 2005. Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits: *Economic Geology*, v. 100, p. 1287–1312.

Tabla 1. Composición química de cristales de pirita

Nº de muestra	A49-611	A49-611	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5
Análisis	C4-52*	C4-53*	C3-23*	C3-25*	C4-3*	C4-4*	C4-5*	C4-6*	C4-7*
Alteración	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	cpy ± py ± mo ± bn (t)								
Venillas					2a	2a	2a	2a	2a
Asociación					cz ± anh ± ksp, cpy ± py ± bn				
Cristal				inc. de gl	centro	centro	margen	margen	margen
% en peso									
Fe	45.82	44.48	43.67	44.23	45.76	44.94	45.94	45.05	44.14
S	53.74	53.73	53.65	53.67	54.28	53.45	54.33	53.86	53.24
Cu	0.02	0.03	0.24	0.24	0.04	0.09	0.11	0.02	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.12	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.04	0.05	0.02	0.06	0.20	0.10	0.19	0.21
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.04
Au	0.09	0.00	0.00	0.02	0.00	0.05	0.09	0.12	0.00
Sum	53.85	53.86	54.09	53.96	54.39	53.84	54.64	54.19	53.50
3 átomos									
S	2.01	2.03	2.04	2.03	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.99	0.97	0.95	0.96	0.98	0.97	0.98	0.97	0.97
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 2. Composición química de cristales de pirita

Nº de muestra	19-124-1.6	19-124-1.5	25-249-20.1	25-249-7.0	25-249-20.0	25-249-4.1	25-249-4.0	33-282-1.3
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización	diseminada	diseminado	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy
Venillas								
Asociación								
Halo								
Cristal								
% en peso								
Fe	45.74	45.86	46.03	45.96	46.21	46.24	46.31	46.31
S	53.65	53.86	53.45	53.43	53.31	52.82	52.68	53.21
Cu	0.15	0.38	0.01	1.06	0.08	0.61	0.95	0.30
Mn	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03
Zn	0.03	0.00	0.06	0.08	0.05	0.02	0.02	0.03
Pb	0.06	0.16	0.09	0.02	0.24	0.11	0.14	0.10
Cd	0.00	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.02	0.05	0.04	0.00	0.06	0.05	0.01	0.23
Sb	0.04	0.06	0.05	0.08	0.04	0.06	0.08	0.02
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.09	0.01	0.08	0.03	0.06	0.09
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Sum	99.70	100.51	99.86	100.65	100.06	99.93	100.28	100.32
3 átomos								
S	2.01	2.01	2.00	1.99	2.00	1.99	1.98	1.99
Cu	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01
Fe	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abreviaturas: ab: albита; anh: anhídrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespató potásico; fdp: filossilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraédrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negra fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.



Tabla 3. Composición química de la pirita

Nº de muestra	57-223-1.85	57-223-1.8	57-223-1.5	57-223-1.4	57-223-1.6	43-917-2.4	43-917-2.3	43-917-1.3
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	argilica avanz	argilica avanz	argilica avanz
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py + tt-tn	py + tt-tn	py + tt-tn
Venillas								
Asociación								
Halo								
Cristal						centro	borde	
% en peso								
Fe	44.73	44.30	45.00	44.79	44.60	46.85	46.41	45.93
S	52.92	52.74	52.43	52.31	52.11	53.66	53.15	52.72
Cu	0.00	0.01	0.03	0.00	0.26	0.00	0.19	0.13
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
Zn	0.02	0.02	0.13	0.07	0.02	0.09	0.00	0.11
Pb	0.02	0.06	0.12	0.08	0.06	0.02	0.00	0.05
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.03	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.02	0.32
Sb	0.05	0.02	0.05	0.00	0.11	0.00	0.06	0.05
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.05	0.00	0.02	0.05	0.08	0.04	0.08	0.03
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Sum	97.82	97.14	97.83	97.31	97.28	100.68	99.90	99.33
3 átomos								
S	2.02	2.02	2.01	2.01	2.01	2.00	1.99	1.99
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 4. Composición química de la pirita

Nº de muestra	A53-110-C1-60	A53-110-C1-61	A53-110-C1-62	A53-110-C2-69	A53-110-C2-70	43-526-3.0	43-526-3.1
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	argilica avanz	argilica avanz
Mineralización							
Asociación			tn (cpy, bn) ± py ± cz ± td ± oro			py ± cz	py ± cz
Venillas	6a	6a	6a	6a	6a	6b	6b
Asociación							
Halo							
Cristal							
% en peso							
Fe	45.65	44.91	46.63	46.37	44.84	45.95	43.99
S	53.76	53.58	53.44	53.85	53.39	53.47	52.60
Cu	0.46	0.15	0.22	0.11	0.42	0.00	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01
Zn	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.14	0.14
Pb	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.10	0.12
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.12	0.00	0.01	0.03	0.00	0.04	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.08
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	n.a.	n.a.
Sum	99.99	98.64	100.32	100.40	98.78	53.84	53.00
3 átomos							
S	2.01	2.02	2.00	2.01	2.02	2.01	2.02
Cu	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Fe	0.98	0.97	1.00	0.99	0.97	0.99	0.97
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filosilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 5. Composición química de la pirita

Nº de muestra	A49-611-C3-38	A49-611-C3-39	1-446-1.0	1-446-1.1	16-101-3.0	16-101-3.1	43-210-2.1	43-210-2.0
Alteración	filica	filica	argílica avanz	argílica avanz	argílica avanz	argílica avanz	filica	filica
Mineralización								
Asociación								
Venillas	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c
Asociación	py + en (cpy, bn, tn) ± cz							
Halo								
Cristal			centro	margen	centro	borde		
% en peso								
Fe	45.21	44.62	46.77	46.26	46.45	46.68	45.05	45.27
S	53.86	54.23	52.92	53.01	53.51	53.52	53.78	54.10
Cu	0.10	0.14	0.20	0.28	0.00	0.12	1.08	0.09
Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Zn	0.03	0.05	0.00	0.13	0.09	0.08	0.22	0.16
Pb	0.00	0.02	0.09	0.04	0.04	0.12	0.06	0.06
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.03	0.00
As	0.00	0.01	0.07	0.01	0.08	0.00	0.03	0.09
Sb	0.00	0.00	0.08	0.04	0.04	0.06	0.03	0.08
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.01	0.03	0.04	0.00	0.01	0.07
Au	0.22	0.00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Sum	99.43	99.07	100.14	99.80	100.28	100.61	100.29	99.92
3 átomos								
S	2.02	2.04	1.99	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02
Cu	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
Fe	0.97	0.96	1.01	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 6. Composición química de la calcopirita

Nº de muestra	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	A49-611	A49-611	A49-611	A49-611	A43-869	A43-869
Análisis	C3-26 *	C3-27 *	C3-28 *	C4-48 *	C4-49 *	C4-50 *	C4-51 *	C4-1 *	C4-2 *
Alteración	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	cpy ± py ± mo ± bn								
Venillas								2a	2a
Asociación								cz ± anh ± ksp, cpy ± py ± bn	
Cristal								centro	centro
% en peso									
S	35.12	35.17	35.18	34.91	35.34	34.96	35.06	35.61	35.72
Cu	33.08	33.65	32.98	33.57	34.28	33.23	34.32	34.94	35.22
Fe	28.38	28.32	28.16	29.63	30.61	29.65	30.45	28.91	29.26
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.02	0.11	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.06	0.02	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.02	0.00	0.05	0.05	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Suma	96.60	97.16	96.39	98.45	100.27	97.92	99.91	99.48	100.21
Para 4 átomos									
S	2.06	2.06	2.07	2.03	2.01	2.03	2.01	2.04	2.03
Cu	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	1.01	1.01
Fe	0.96	0.95	0.95	0.99	1.00	0.99	1.00	0.95	0.96
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filosilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetradrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas. Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil. Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 7. Composición química de la calcopirita

Nº de muestra	43-210-3.2	43-210-3.0	43-210-3.1	43-210-4.0	19-124-3.1	19-124-3.0	19-124-3.3	19-124-2.4	19-124-2.0
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy	py ± cpy
Venillas									
Halo									
Cristal									
% en peso									
S	35.28	35.10	34.94	34.68	34.91	34.76	34.69	34.47	34.46
Cu	34.48	34.00	33.64	34.14	34.40	33.74	33.85	34.94	34.84
Fe	29.93	30.08	30.55	29.84	30.39	30.80	29.81	28.91	28.41
Mn	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01
Zn	0.18	0.01	0.00	0.00	0.18	0.12	0.22	0.15	0.01
Pb	0.17	0.05	0.07	0.17	0.08	0.06	0.03	0.10	0.12
Cd	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.06	0.06	0.01	0.01	0.04	0.03	0.00	0.02	0.04
Sb	0.02	0.03	0.04	0.01	0.00	0.10	0.05	0.04	0.04
Bi	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
Ag	0.01	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05	0.01	0.04	0.13
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	100.21	99.37	99.27	98.90	100.04	99.65	98.71	98.70	98.06
Para 4 átomos									
S	2.02	2.02	2.01	2.01	2.00	2.00	2.01	2.00	2.01
Cu	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	0.98	0.99	1.02	1.03
Fe	0.98	0.99	1.01	0.99	1.00	1.02	0.99	0.96	0.95
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

Tabla 8. Composición química de la calcopirita

Nº de muestra	A53-110-74*	A53-110-75*	A53-11076*	A53-110-77*	A53-110-66*	A53-110-67*	A53-110-68*	A53-110-73*
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización								
Asociación								
Venillas	6a	6a	6a	6a	6a	6a	6a	6a
Asociación	tn (cpy, bn) ± py ± cz ± td ± oro							
Halo								
% en peso								
S	34.72	34.89	34.51	34.99	34.60	34.84	34.63	34.80
Cu	33.97	34.62	33.10	33.59	34.13	34.09	33.39	34.02
Fe	29.37	30.09	29.23	29.26	29.19	29.60	29.19	29.78
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Pb	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.02	0.05	0.10	0.02	0.01	0.03	0.01	0.06
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.02	0.02	0.02
Au	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.27	0.06	0.12
Suma	98.08	99.67	96.97	97.87	98.03	98.87	97.31	98.80
Para 4 átomos								
S	2.02	2.00	2.03	2.04	2.02	2.02	2.03	2.01
Cu	1.00	1.00	0.98	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99
Fe	0.98	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filossilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 9. Composición química de la bornita

Nº de muestra	43-210-4.2	25-249-12.4	25-249-12.5	25-249-13.1	25-249-17.0	25-249-9.0	25-249-9.1	25-249-9.3	A49-611-59
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	py + en (cpy, bn, tn)								
Venillas						6a	6a	6a	6c
Asociación						tn (cpy, bn) ± py ± cz ± td ± oro	py + en		
Cristal									
% en peso									
Cu	54.04	61.87	63.67	63.52	63.82	64.29	64.28	66.88	60.44
Ag	0.05	0.09	0.06	0.04	0.10	0.09	0.02	0.07	0.06
Zn	0.00	0.19	0.02	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02
Fe	17.70	11.40	12.05	11.74	10.89	11.16	10.86	9.14	12.84
Cd	0.00	0.06	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.01	0.05	0.09	0.04	0.00	0.17	0.15	0.00
Mn	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
As	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
Sb	0.07	0.05	0.04	0.04	0.00	0.05	0.04	0.04	0.00
Bi	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	28.10	24.07	25.02	25.33	25.00	25.29	25.23	24.62	26.01
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.00
Suma	100.00	97.85	100.97	100.85	99.91	100.92	100.60	101.01	99.36
Para 10 átomos									
Cu	4.16	5.03	5.01	4.99	5.07	5.05	5.07	5.30	5.07
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	1.55	1.06	1.08	1.05	0.98	1.00	0.97	0.82	0.98
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	4.29	3.88	3.90	3.95	3.94	3.94	3.95	3.86	3.94

Tabla 10. Composición química de los minerales de la serie tennantita-tetraedrita

Nº de muestra	57-223-1.0	57-223-1.2	57-223-1.3	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	A43-869.5	43-917-1.0
Análisis	filica	filica	filica	C3-20*	C3-21*	C3-22*	C3-29*	C3-30*	argílica avanz.
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	py ± tn-td			py (2) + tt-tn + cpy					py + tt-tn
Halos	cristales próximos a venilla 5d								
Asociación									
Cristal									
% en peso									
Cu	46.67	47.05	46.99	42.40	42.54	42.34	43.39	43.25	42.39
S	30.24	30.72	30.10	28.21	28.36	29.05	28.79	28.76	27.58
As	18.72	18.71	18.79	18.04	19.38	18.96	19.12	19.66	17.18
Fe	0.63	0.24	0.03	6.23	6.54	6.15	6.38	6.20	1.63
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
Zn	0.00	0.03	0.00	0.03	0.05	0.02	0.00	0.06	7.56
Pb	0.07	0.00	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.04	0.09
Cd	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.18	0.11	0.17	3.64	1.24	2.10	1.25	0.80	4.26
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.07	0.14	0.00	0.04	0.01	0.03	0.00	0.00	0.08
Au	n.a.	n.a.	n.a.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	n.a.
Suma	96.58	97.00	96.25	98.62	98.14	98.64	98.94	98.86	100.84
Para 29 átomos									
Cu	10.97	10.98	11.10	10.02	10.00	9.89	10.10	10.08	9.98
Ag	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Zn	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	1.73
Fe	0.17	0.06	0.01	1.67	1.75	1.63	1.69	1.64	0.44
Cd	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
As	3.73	3.70	3.76	3.62	3.86	3.76	3.77	3.88	3.43
Sb	0.02	0.01	0.02	0.45	0.15	0.26	0.15	0.10	0.52
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	14.09	14.21	14.09	13.22	13.22	13.45	13.28	13.28	12.87

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filosilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 11. Composición química de los minerales de la serie tennantita-tetraedrita

Nº de muestra	43-917-1.1	43-917-2.2	43-917-1.2	43-917-2.0	25-249-15.1	25-249-15.0	25-249-11.3	25-249-11.2	25-249-11.1
Alteración	argílica avanz.	argílica avanz.	argílica avanz.	argílica avanz.	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	py + tt-tn				en (s/bn, cpy, py) + py				
Venillas									
Halos					halo 6	halo 6	halo 6	halo 6	halo 6
Asociación									
% en peso									
Cu	42.22	41.97	42.79	41.57	52.23	52.52	49.78	50.50	49.21
S	27.50	27.65	27.32	26.47	26.70	26.39	28.00	26.71	27.17
As	17.33	17.10	17.78	16.14	19.47	19.40	20.09	19.77	20.35
Fe	1.49	1.57	1.66	1.45	1.57	1.38	3.03	2.47	2.94
Mn	0.05	0.08	0.08	0.10	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Zn	7.65	7.33	7.43	7.58	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
Pb	0.18	0.00	0.01	0.12	0.04	0.16	0.00	0.08	0.18
Cd	0.00	0.00	0.02	0.08	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00
Sb	3.88	4.36	2.95	5.35	0.08	0.04	0.02	0.07	0.08
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.15	0.11	0.05	0.08	0.04	0.02	0.08	0.07	0.01
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	100.43	100.16	100.08	98.94	100.13	99.93	100.99	99.77	99.94
Para 29 átomos									
Cu	9.97	9.93	10.10	10.06	12.26	12.39	11.47	11.89	11.53
Ag	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Zn	1.76	1.69	1.71	1.78	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fe	0.40	0.42	0.45	0.40	0.42	0.37	0.80	0.66	0.78
Cd	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Pb	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
Mn	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	3.47	3.43	3.56	3.31	3.88	3.88	3.93	3.95	4.04
Sb	0.48	0.54	0.36	0.68	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	12.87	12.96	12.79	12.70	12.43	12.34	12.79	12.46	12.62

Tabla 12. Composición química de minerales de la serie tennantita-tetraedrita

Nº de muestra	43-526-1.1	43-210-1.1	A53-110-71	A53-110-72	A53-110-63	A53-110-64	A53-110-65	25-249-11.0	25-249-18.1
Alteración	argílica avanz.	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización	diseminada								
Asociación									
Venillas			6a	6a	6a	6a	6a	6a	6a
Asociación	tn (cpy, bn) ± py ± cz ± td ± oro								
Halos	halo 6								
% en peso									
Cu	49.20	48.60	43.46	43.41	44.93	43.56	45.83	49.09	51.43
S	29.66	30.75	28.59	28.86	28.59	28.72	28.50	28.34	27.04
As	15.77	18.84	19.52	19.74	19.04	19.59	19.70	19.94	18.47
Fe	0.46	0.08	4.57	4.48	4.41	4.40	4.38	2.47	2.04
Mn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	2.33	2.21	2.45	2.19	2.40	0.08	0.06
Pb	0.01	0.07	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.24
Cd	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.76	0.81	0.45	0.66	1.38	0.54	0.80	0.09	0.04
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.05	0.04	0.06	0.02	0.01	0.02	0.07	0.09	0.07
Au	n.a.	n.a.	0.00	0.00	0.05	0.02	0.05	n.a.	n.a.
Suma	95.98	99.21	99.05	99.37	100.86	99.04	101.72	100.11	99.39
Para 29 átomos									
Cu	11.66	11.18	10.13	10.07	10.35	10.14	10.48	11.37	12.11
Ag	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Zn	0.00	0.00	0.53	0.50	0.55	0.50	0.53	0.02	0.01
Fe	0.12	0.02	1.21	1.18	1.16	1.17	1.14	0.65	0.55
Cd	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	3.17	3.68	3.86	3.89	3.72	3.87	3.82	3.92	3.69
Sb	0.09	0.10	0.05	0.08	0.17	0.07	0.10	0.01	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	13.93	14.02	13.21	13.28	13.05	13.26	12.92	13.01	12.61

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespató potásico; fdp: filosilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 13. Composición química de los minerales de la serie tennantita-tetraedrita

Nº de muestra	A49-611	A49-611	1-446	1-446	1-446	1-446	1-446	1-446	1-446	1-446	1-446	1-446
Análisis	40	43	1.12	1.70	1.80	1.11	1.60	1.50	2.20	1.16	2.30	1.15
Alteración			arg. av.	arg. av.	arg. av.	arg. av.	arg. av.	arg. av.	arg. av.	arg. av.	arg. av.	arg. av.
Mineralización												
Asociación												
Venillas	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c
Asociación	py + en (cpy, bn, tn)						py + en (cpy, bn, tn) ± cz					
Cristal	inc. en py inc. en en											
% en peso												
Cu	49.08	48.57	37.12	37.06	36.72	36.61	36.61	36.48	36.27	36.16	36.11	35.92
S	28.79	29.45	32.33	32.69	31.66	31.83	32.35	32.78	32.26	32.76	32.67	32.42
As	19.51	19.53	15.21	16.32	17.17	17.04	15.66	14.35	15.56	15.87	15.18	15.56
Fe	3.19	1.22	15.99	15.54	11.92	12.59	15.85	16.48	15.23	15.48	16.84	16.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00
Zn	0.16	0.46	0.00	0.18	0.43	0.23	0.00	0.00	0.14	0.21	0.06	0.26
Pb	0.12	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.11	0.12	0.02
Cd	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
Sb	0.00	1.18	0.85	0.51	2.61	2.46	0.97	0.96	1.04	1.17	0.76	0.41
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.01	0.08	0.07	0.04	0.09	0.05	0.04	0.08	0.02	0.08	0.00	0.03
Au	0.00	0.00	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Suma	100.85	100.48	101.62	102.39	100.60	100.95	101.51	101.14	100.56	101.85	101.77	100.61
Para 29 átomos												
Cu	11.25	11.18	2.79	2.77	2.84	2.81	2.76	2.74	2.76	2.72	2.71	2.72
Ag	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.04	0.10	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02
Fe	0.83	0.32	1.37	1.32	1.05	1.10	1.36	1.41	1.32	1.32	1.44	1.38
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	3.79	3.81	0.97	1.03	1.13	1.11	1.00	0.92	1.00	1.01	0.96	1.00
Sb	0.00	0.14	0.03	0.02	0.11	0.10	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.02
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	13.08	13.44	4.83	4.84	4.85	4.85	4.84	4.89	4.86	4.88	4.85	4.87

Tabla 14. Composición química de los minerales de la serie tetraedrita-tennantita

Nº de muestra	43-917-2.1	43-526-1.2	A49-611-C3-41	A49-611-C3-42	1-446-1.9	1-446-1.10
Alteración	argílica avanz.	argílica avanz.			filica fuerte	filica fuerte
Mineralización	diseminada	diseminada				
Asociación						
Venillas			6c	6c	6c	6c
Asociación	py + tt-tn		py + en (cpy, bn, tn) ± cz			
Halos		halo 6b				
% en peso						
S	26.41	25.42	27.80	27.65	25.98	25.65
Cu	41.38	41.69	41.00	40.06	26.22	25.77
Sb	12.66	11.91	17.03	14.39	43.21	44.81
As	10.83	10.84	8.98	11.04	3.65	2.54
Zn	7.14	6.52	6.47	6.81	0.00	0.15
Fe	1.02	0.82	0.58	0.40	0.00	0.06
Cd	0.11	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00
Pb	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.13
Mn	0.15	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.18	0.05	0.00	0.03	0.01	0.15
Au	n.a.	n.a.	0.00	0.00	n.a.	n.a.
Suma	99.88	98.62	101.86	100.38	99.09	99.25
Para 29 átomos						
Cu	10.17	10.49	9.95	9.78		
Ag	0.03	0.01	0.00	0.00		
Zn	1.71	1.59	1.53	1.61		
Fe	0.29	0.23	0.16	0.11		
Cd	0.01	0.00	0.00	0.00		
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00		
Mn	0.04	0.01	0.00	0.00		
As	2.26	2.31	1.85	2.28		
Sb	1.62	1.56	2.16	1.83		
Bi	0.00	0.10	0.00	0.00		
S	12.87	12.68	13.36	13.38		

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filosilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 15. Composición química de enargita

Nº de muestra	57-223-1.7	57-223-1.9	57-223-1.10	25-249-12.2	25-249-13.3	25-249-17.1	43-526-1.3	43-526-2.0	43-526-2.1
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	argilica avanz.	argilica avanz.	argilica avanz.
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada			
Asociación	py + en (s/ cpy, py) ± tn-td			en (s/bn, cpy, py) + py					
Venillas									
Halo							halo 6a	halo 6a	halo 6a
Asociación	py+ tt-tn (bn) + enr (bn)								
% en peso									
S	32.98	31.98	31.75	33.31	33.32	32.76	32.22	32.17	32.62
Cu	47.44	47.22	47.76	48.81	49.21	48.85	47.96	48.64	48.65
As	18.06	19.36	18.84	19.47	19.03	18.70	17.15	18.50	18.28
Fe	0.19	0.34	0.07	0.07	0.17	0.17	0.14	0.42	0.08
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Zn	0.18	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.06	0.00	0.00
Pb	0.01	0.10	0.05	0.10	0.00	0.06	0.00	0.19	0.07
Cd	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.05	0.01
Sb	0.20	0.15	0.42	0.07	0.00	0.00	2.18	0.32	0.16
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.05	0.05	0.02	0.12	0.02	0.03	0.09	0.02	0.00
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	99.13	99.20	98.91	101.95	101.99	100.59	99.82	100.32	99.87
Para 8 átomos									
Cu	2.95	2.96	3.01	2.97	2.99	3.01	3.00	3.02	3.02
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.95	1.03	1.01	1.00	0.98	0.98	0.91	0.97	0.96
Sb	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.01
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	4.06	3.98	3.96	4.01	4.01	4.00	4.00	3.96	4.01

Tabla 16. Composición química de enargita

Nº de muestra	25-249-1.1	A49-611-C3-35A	49-611-C3-36A	49-611-C3-37	43-210-1.0	43-210-1.2	43-210-1.3	1-446-1.2	1-446-1.3
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica fuerte	filica fuerte
Mineralización									
Asociación									
Venillas	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c
Asociación	py + en (cpy, bn, tn) ± cz								
Halo									
% en peso									
S	32.84	32.18	32.86	32.29	32.47	32.58	32.32	32.00	32.12
Cu	48.63	47.46	49.54	49.61	48.18	48.18	47.64	47.56	48.69
As	18.10	18.16	18.93	18.88	19.09	19.65	19.43	18.74	18.53
Fe	0.12	0.30	0.12	0.14	0.06	0.00	0.02	0.16	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00
Zn	0.09	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.24	0.00	0.00
Pb	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.09	0.00
Cd	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Sb	0.03	1.88	0.34	0.16	0.40	0.43	0.45	0.50	0.70
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.06	0.11	0.03	0.00	0.09	0.01	0.00	0.06	0.04
Au	n.a.	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	99.99	100.11	101.82	101.07	100.32	101.19	100.10	99.12	100.08
Para 8 átomos									
Cu	3.01	2.97	3.02	3.09	2.99	2.97	2.96	2.99	3.03
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Fe	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.95	0.96	0.98	0.98	1.00	1.03	1.02	1.00	0.98
Sb	0.00	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	4.02	3.98	3.98	3.91	3.99	3.98	3.98	3.98	3.97

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filosilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraédrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 17. Composición química de enargita

Nº de muestra	1-446-1.4	1-446-1.13	1-446-1.14	1-446-1.17	1-446-2.0	1-446-2.1	16-101-1.0	16-101-1.1
Alteración	filica fuerte	filica fuerte	filica fuerte	filica fuerte	filica fuerte	filica fuerte	filica fuerte	filica fuerte
Mineralización								
Asociación								
Venillas	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c	6c
Asociación				py + en (cpy, bn, tn) ± cz				
Halo								
% en peso								
S	32.59	32.20	32.08	32.99	32.55	32.14	32.27	32.66
Cu	48.51	48.87	48.64	48.48	48.17	47.54	48.44	49.05
As	18.86	18.48	18.71	18.50	18.86	18.74	18.47	18.58
Fe	0.12	0.10	0.19	0.15	0.05	0.10	0.16	0.16
Mn	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.06	0.17	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00
Pb	0.10	0.03	0.00	0.00	0.22	0.10	0.07	0.00
Cd	0.06	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03
Sb	0.40	0.81	0.51	0.98	0.41	0.36	0.30	0.40
Bi	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.04	0.00	0.00	0.08	0.01	0.00	0.11	0.04
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	100.69	100.58	100.33	101.30	100.32	99.07	99.83	100.91
Para 8 átomos								
Cu	3.00	3.03	3.02	2.98	2.99	2.98	3.02	3.02
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Fe	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.99	0.97	0.99	0.96	0.99	1.00	0.98	0.97
Sb	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	3.99	3.96	3.95	4.01	4.00	4.00	3.98	3.98

Tabla 18. Composición química de enargita

Nº de muestra	30-1.0	30-1.1	30-1.2	30-1.3	30-1.7	30-1.8	30-2.0	30-2.1	30-2.2
Alteración	arg. avanz.	arg. avanz.	arg. avanz.	arg. avanz.	arg. avanz.	arg. avanz.	arg. avanz.	arg. avanz.	arg. avanz.
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en
Vetas	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales
Asociación									
Halo									
% en peso									
S	32.69	32.38	32.46	32.24	31.90	32.84	32.40	32.08	32.36
Cu	49.04	49.10	48.79	48.24	48.47	48.38	48.92	48.93	48.85
As	19.10	18.91	18.87	18.47	18.80	18.76	19.18	18.89	18.87
Fe	0.00	0.02	0.00	0.02	0.07	0.16	0.04	0.02	0.02
Mn	0.00	0.03	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00
Zn	0.02	0.00	0.00	0.03	0.11	0.10	0.03	0.18	0.04
Pb	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.15	0.06	0.00
Cd	0.08	0.00	0.02	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Sb	0.13	0.14	0.02	0.07	0.07	0.06	0.06	0.09	0.07
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.09	0.00	0.06	0.13	0.00	0.05	0.09	0.04	0.13
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	101.15	100.65	100.22	99.28	99.44	100.39	100.86	100.30	100.32
Para 8 átomos									
Cu	3.01	3.03	3.02	3.01	3.03	2.98	3.02	3.04	3.03
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	1.00	0.99	0.99	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	0.99
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	3.98	3.97	3.98	3.99	3.96	4.01	3.96	3.95	3.97

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filosilicato dioctáedrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.



Tabla 19. Composición química de enargita

Nº de muestra	A30-C2-86	A30-C2-87	A30-C2-88	28-1.0	28-1.1	28-1.2
Alteración	argílica avanz.	argílica avanz.	argílica avanz.	argílica avanz.	argílica avanz.	argílica avanz.
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en	cz ± en
Vetas	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales	epitermales
Asociación						
Halo						
% en peso						
S	33.44	33.31	33.10	32.42	32.15	32.35
Cu	50.00	50.00	50.14	48.29	48.18	49.38
As	18.96	19.00	18.89	18.91	18.77	18.89
Fe	0.00	0.02	0.04	0.00	0.04	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.02	0.00	0.07	0.22	0.00
Pb	0.04	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.09	0.04	0.08	0.08	0.08	0.04
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ag	0.02	0.00	0.03	0.02	0.08	0.12
Au	0.00	0.00	0.00	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	102.56	102.39	102.29	99.78	99.78	100.80
Para 8 átomos						
Cu	3.02	3.03	3.04	3.00	3.01	3.05
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.97	0.98	0.97	1.00	0.99	0.99
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	4.00	4.00	3.98	3.99	3.98	3.96

Tabla. 20 Composición química de galena y esfalerita.

Mineral	Galena	Galena	Galena	Esfalerita	Esfalerita
Nº de muestra	16-101-2.0	4-446-1.3	4-446-1.2	4-446-1.0	4-446-1.1
Alteración	fílica	fílica	fílica	fílica	fílica
Mineralización					
Asociación					
Venillas	6c	7	7	7	7
Asociación	py + en	cz ± sl ± ga ± py		cz ± sl ± ga ± py	
Cristal	inclusión en enr				
% en peso					
Cu	0.57	0.09	0.15	0.04	0.00
Ag	0.15	0.06	0.13	0.00	0.04
Zn	0.08	0.08	0.00	65.28	66.61
Fe	0.03	0.00	0.00	0.04	0.10
Cd	0.00	0.03	0.00	0.24	0.16
Pb	85.57	85.36	86.29	0.12	0.06
Mn	0.04	0.00	0.03	0.16	0.11
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.07	0.10	0.15	0.06	0.10
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	13.34	12.97	12.74	32.22	32.81
Suma	99.86	98.67	99.49	98.16	100.00
Para 2 átomos					
Cu	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.99	0.99
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.98	1.00	1.02	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	0.99	0.99	0.97	1.00	1.00
Au					

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filossilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 21. Composición química de Digenita

Nº de muestra	25-249-16.1	25-249-12.0	25-249-12.1	25-249-12.3	25-249-13.0	25-249-13.2	25-249-1.40	25-249-15.2	25-249-15.3
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización		diseminada	diseminada	diseminado	diseminada	diseminada	diseminado	diseminado	diseminado
Asociación	dg + cv (cpy, bn)								
Venillas									
Asociación									
Halos									
% en peso									
Cu	75.02	74.40	75.71	78.32	74.49	75.15	78.04	77.12	78.21
S	23.41	22.41	21.96	21.33	22.10	22.12	21.72	21.26	21.35
Ag	0.09	0.03	0.04	0.10	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05
Zn	0.09	0.02	0.00	0.14	0.25	0.06	0.00	0.00	0.07
Fe	0.71	3.64	2.43	0.72	2.69	3.15	0.01	1.01	0.75
Cd	0.00	0.04	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	0.03	0.00
Pb	0.00	0.06	0.00	0.04	0.23	0.00	0.00	0.12	0.20
Mn	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Sb	0.01	0.04	0.02	0.03	0.02	0.07	0.03	0.03	0.05
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	99.33	100.65	100.18	100.70	99.85	100.58	99.83	99.67	100.71
Para 2,8 átomos									
Cu	1.84	1.69	1.74	1.80	1.71	1.72	1.80	1.79	1.80
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.02	0.09	0.06	0.02	0.07	0.08	0.00	0.03	0.02
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	1.14	1.01	1.00	0.97	1.00	0.99	1.00	0.98	0.97

Tabla 22. Composición química de Digenita

Nº de muestra	25-249-16.0	25-249-16.1	25-249-17.2	43-210-3.4	43-210-3.5	43-210-4.1	19-124-2.2	19-124-1.7	19-124-1.0
Alteración	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica	filica
Mineralización	diseminado	diseminado	diseminada	diseminado	diseminado	diseminado	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	dg + cv (cpy, bn)								
Venillas									
Asociación									
Halos									
% en peso									
Cu	77.60	77.76	74.68	78.29	78.64	77.58	74.04	69.25	76.24
S	21.46	20.91	21.64	20.79	20.32	19.87	21.41	26.49	22.72
Ag	0.06	0.07	0.07	0.04	0.05	0.06	0.02	0.03	0.09
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.04	0.11
Fe	1.01	0.00	3.09	1.27	0.41	1.59	2.14	3.22	0.75
Cd	0.00	0.02	0.00	0.00	0.10	0.02	0.00	0.00	0.07
Pb	0.06	0.11	0.04	0.01	0.05	0.12	0.00	0.01	0.05
Mn	0.00	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.21	0.00	0.02
Sb	0.05	0.01	0.04	0.08	0.01	0.10	0.43	0.12	0.03
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	100.25	98.90	99.60	100.47	99.86	99.34	98.27	99.16	100.09
Para 2,8 átomos									
Cu	1.79	1.82	1.73	1.81	1.84	1.83	1.74	1.54	1.74
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.03	0.00	0.08	0.03	0.01	0.04	0.06	0.08	0.02
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	0.98	0.97	1.06	0.95	0.94	0.93	1.17	1.03	1.02

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; kps: feldespato potásico; fdp: filosilicato dioctaédrico potásico; ga: galena; mo: molibdenita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 23. Composición química de digenita

Nº de muestra	19-124-1.1	19-124-1.2	19-124-3.4	43-526-2.2	43-526-1.4	25-249-5.0	25-249-6.0	25-249-2.0
Alteración	filica	filica	filica	filica intensa	filica intensa	filica	filica	filica
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada			
Asociación	dg + cv (cpy, bn)							
Venillas						6c	6c	6c
Asociación Halos								
% en peso								
Cu	76.69	77.34	77.21	74.75	71.36	72.47	75.77	73.75
S	22.29	21.34	21.24	22.59	22.61	22.43	21.82	22.21
Ag	0.06	0.05	0.05	0.05	0.00	0.02	0.12	0.03
Zn	0.00	0.00	0.05	0.00	0.04	0.05	0.20	0.00
Fe	0.66	0.48	0.65	3.09	3.69	3.68	1.54	2.48
Cd	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.02	0.06	0.03	0.03	0.19	0.00	0.11
Mn	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02
As	0.10	0.00	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.51
Sb	0.07	0.04	0.14	0.07	0.06	0.00	0.06	0.04
Bi	0.00	0.13	0.01	0.29	0.00	0.01	0.00	0.00
Au	n.a.	n.a.		n.a.		n.a.	n.a.	n.a.
Suma	99.87	99.45	99.48	100.88	97.85	98.88	99.52	99.15
Para 2,8 átomos								
Cu	1.76	1.80	1.65	1.70	1.66	1.67	1.75	1.70
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.02	0.01	0.02	0.08	0.10	0.10	0.04	0.07
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	0.98	0.99		1.04	0.99	1.03	1.00	1.02

Tabla 24. Composición química de la covelina

Nº de muestra	25-249-22.0	25-249-19.0	25-249-22.1	33-282-1.1
Alteración	filica	filica	filica	filica
Mineralización	diseminada	diseminada	diseminada	diseminada
Asociación	dg + cv (cpy, bn)	dg + cv (cpy, bn)	dg + cv (cpy, bn)	dg + cv (cpy, bn)
% en peso				
Cu	65.45	65.20	64.92	64.55
Ag	0.14	0.15	0.27	0.08
Zn	0.00	0.00	0.12	0.00
Fe	0.41	0.47	1.09	1.69
Cd	0.00	0.00	0.00	0.05
Pb	0.16	0.05	0.26	0.00
Mn	0.01	0.03	0.01	0.00
As	0.04	0.00	0.26	5.10
Sb	0.05	0.07	0.08	0.20
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00
S	32.68	32.39	31.94	26.62
Au	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Suma	98.95	98.35	98.95	98.29
Para 2,8 átomos				
Cu	1.00	1.00	1.00	1.04
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.01	0.01	0.02	0.03
Cd	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.07
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	0.00	0.00	0.00	0.00
S	0.99	0.97	0.82	0.83

Abreviaturas: ab: albita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cz: cuarzo; dick: dickita; en: enargita; hm: hematita; ill: illita; kps: feldespato potásico; ga: galena; mo: molibdenita; ms: muscovita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetraedrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 25. Composición química de la Biotita

Muestra	57-672	43-730	43-730	43-730	57-672	A49-611	A49-611	A43-869.5	A43-869.5
Análisis	2.6	1.7	1.5	1.6	2.5	C4-54 *	C4-55 *	C3-13 *	C3-14 *
Litología	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4
Origen cristal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal centro	hidrotermal centro
% en peso									
SiO <sub>2</sub>	38.60	38.66	38.48	38.72	40.37	39.86	40.65	39.42	38.00
TiO <sub>2</sub>	4.30	2.56	2.84	2.91	1.71	3.22	3.45	3.60	3.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.35	13.42	13.50	13.67	14.91	14.58	14.32	15.19	14.96
<sup>1</sup> FeO	9.50	5.21	5.37	5.35	6.21	4.16	4.83	7.59	7.46
MnO	0.33	0.30	0.29	0.34	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	17.94	20.23	19.86	19.69	20.20	20.80	20.89	19.41	18.81
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00	1.01
Na <sub>2</sub> O	0.21	0.21	0.20	0.22	0.18	0.20	0.32	0.21	0.22
K <sub>2</sub> O	9.61	8.60	8.59	8.66	9.95	10.19	9.82	9.87	9.46
F	1.77	2.94	3.14	2.98	1.99	3.22	3.39	2.32	2.29
Cl	0.11	0.11	0.08	0.09	0.12	0.08	0.11	0.17	0.11
cor.,F,Cl	-0.77								
SO <sub>3</sub>						0.05	0.04	0.03	1.56
Total	96.95	92.22	92.35	92.63	95.99	95.00	96.38	96.78	96.48
Formula estructural basada en 22 átomos de oxígeno									
Cationes									
Si	5.58	5.85	5.83	5.84	5.85	5.79	5.82	5.67	5.59
Al	2.62	2.39	2.41	2.43	2.55	2.50	2.42	2.58	2.59
Ti	0.47	0.29	0.32	0.33	0.19	0.35	0.37	0.39	0.40
Fe	1.15	0.66	0.68	0.68	0.75	0.50	0.58	0.91	0.92
Mn	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	3.87	4.56	4.49	4.43	4.36	4.50	4.46	4.16	4.13
Σ Oct.	5.73	5.80	5.78	5.75	5.74	5.64	5.65	5.72	5.63
K	1.77	1.66	1.66	1.67	1.84	1.89	1.79	1.81	1.78
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.16
Na	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.09	0.06	0.06
Σ Interlayer	1.83	1.72	1.72	1.73	1.90	1.95	1.89	1.87	2.16

Tabla 26. Composición química de la Biotita

Muestra	57-672	57-672	57-672	57-672	A43-869.5	A43-869.5	A156	A156	A156
Análisis	1.1	1	2.1	2.7	C3-15 *	C3-16 *	C2-114*	C2-115 *	C2-116*
Litología	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 4	Porfido 5	Porfido 5	Porfido 5
Origen cristal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal margen	hidrotermal margen	magmático centro	magmático centro	magmático margen
(% en peso)									
SiO <sub>2</sub>	39.99	39.90	39.09	37.98	39.44	39.69	37.52	37.01	37.13
TiO <sub>2</sub>	3.06	3.25	3.78	5.84	3.59	3.33	3.68	3.74	3.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.63	14.70	15.79	15.46	15.44	15.66	14.42	14.36	14.07
<sup>1</sup> FeO	7.87	7.65	8.79	8.19	7.43	6.58	17.13	16.89	16.89
MnO	0.30	0.30	0.31	0.32	0.00	0.00	0.04	0.02	0.05
MgO	18.97	18.82	18.56	18.46	19.75	20.08	14.39	14.43	14.50
CaO	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.00	0.02	0.01	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.20	0.15	0.16	0.20	0.24	0.22	0.81	0.78	0.73
K <sub>2</sub> O	10.02	9.91	9.85	9.60	10.04	10.03	9.07	9.03	9.09
F	1.52	1.74	1.94	2.04	2.27	2.20	0.47	0.29	0.56
Cl	0.11	0.09	0.11	0.12	0.12	0.09	0.11	0.13	0.13
cor.,F,Cl	-0.67	-0.76	-0.84	-0.89			-0.22	-0.15	-0.26
SO <sub>3</sub>					0.01	0.00			
Total	96.03	95.75	97.57	97.35	97.38	96.94	97.44	96.55	96.60
Formula estructural basada en 22 átomos de oxígeno									
Cationes									
Si	5.78	5.78	5.60	5.46	5.64	5.67	5.56	5.53	5.56
Al	2.49	2.51	2.67	2.62	2.60	2.64	2.52	2.53	2.48
Ti	0.33	0.35	0.41	0.63	0.39	0.36	0.41	0.42	0.42
Fe	0.95	0.93	1.05	0.98	0.89	0.79	2.12	2.11	2.11
Mn	0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mg	4.09	4.06	3.96	3.96	4.21	4.27	3.18	3.22	3.23
Σ Oct.	5.68	5.67	5.73	5.69	5.72	5.72	5.79	5.81	5.81
K	1.85	1.83	1.80	1.76	1.83	1.83	1.72	1.72	1.74
Ca	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.06	0.04	0.04	0.06	0.07	0.06	0.23	0.23	0.21
Σ Interlayer	1.91	1.88	1.86	1.83	1.91	1.89	1.95	1.95	1.95

1. Todo el hierro como Fe<sup>2+</sup>

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA. Los análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais Brasil.

Tabla 27. Composición química de la Biotita

Muestra	53-42	53-42	53-42	53-42	53-42	53-42	53-42	53-42	53-42
Análisis	1.12	1.9	1.7	1.1	1.8	1.1	1.2	1	1.11
Litología	Porfido 3	Porfido 3	Porfido 3	Porfido 3	Porfido 3	Porfido 3	Porfido 3	Porfido 3	Porfido 3
Origen	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	hidrotermal	magmático	magmático	magmático	hidrotermal
crystal									
% en peso									
SiO <sub>2</sub>	39.10	39.66	38.83	38.79	38.70	37.71	38.08	39.56	39.43
TiO <sub>2</sub>	4.18	3.39	3.81	3.65	4.25	3.98	3.90	3.85	3.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.21	12.83	13.01	12.60	12.66	13.61	13.99	14.43	12.25
<sup>II</sup> FeO	10.99	11.24	11.56	11.47	12.05	12.24	12.61	12.03	11.15
MnO	0.38	0.36	0.39	0.35	0.43	0.43	0.46	0.41	0.39
MgO	17.73	17.70	17.58	17.47	17.38	17.23	17.15	15.90	18.13
CaO	0.03	0.06	0.17	0.05	0.04	0.02	0.01	0.24	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.15	0.14	0.12	0.14	0.21	0.23	0.72	0.15
K <sub>2</sub> O	9.14	9.13	8.64	9.45	8.94	9.36	9.45	8.81	9.36
F	0.67	0.84	0.63	0.45	0.67	0.56	0.58	0.49	0.82
Cl	0.19	0.17	0.18	0.18	0.19	0.18	0.19	0.18	0.18
cor.,F,Cl	-0.32	-0.39	-0.31	-0.23	-0.33	-0.28	-0.29	-0.25	-0.39
SO <sub>3</sub>									
Total	94.40	95.13	94.62	94.35	95.12	95.26	96.35	96.39	95.13
Formula estructural basada en 22 átomos de oxígeno									
Cationes									
Si	5.81	5.85	5.76	5.79	5.74	5.61	5.60	5.76	5.83
Al	2.14	2.23	2.27	2.22	2.21	2.39	2.43	2.48	2.13
Ti	0.47	0.38	0.42	0.41	0.47	0.44	0.43	0.42	0.41
Fe	1.37	1.39	1.43	1.43	1.49	1.52	1.55	1.47	1.38
Mn	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
Mg	3.93	3.89	3.89	3.89	3.84	3.82	3.76	3.45	4.00
Σ Oct.	5.76	5.77	5.82	5.77	5.81	5.83	5.83	5.62	5.79
K	1.73	1.72	1.63	1.80	1.69	1.77	1.77	1.64	1.77
Ca	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00
Na	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.07	0.20	0.04
Σ Interlayer	1.78	1.78	1.73	1.85	1.74	1.84	1.84	1.92	1.81

1. Todo el hierro como Fe<sup>2+</sup>

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 28. Composición química de Clorita

Muestras	19-250-2.5	19-250-2.6	19-250-1.2	19-250-2.9	19-250-1.3	19-250-2.17	19-250-1.1
(% en peso)							
SiO <sub>2</sub>	28.79	28.47	29.02	28.58	29.11	28.81	28.58
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.04	0.00	0.42	0.04	0.19	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.80	20.95	20.87	20.61	21.06	19.58	24.34
<sup>II</sup> FeO	12.39	12.61	12.10	12.96	11.95	13.93	14.78
MnO	0.09	0.13	0.02	0.15	0.07	0.12	0.12
MgO	25.35	24.71	24.63	24.43	24.42	24.06	19.35
CaO	0.04	0.02	0.02	0.03	0.00	0.02	0.07
Na <sub>2</sub> O	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00	0.04	0.08
K <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.34
F	0.43	0.45	0.69	0.57	0.45	0.62	0.24
Cl	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02
Total	87.98	87.41	87.38	87.80	87.12	87.40	87.92
Numeros de cationes en base a O <sub>20</sub> (OH) <sub>16</sub>							
Cationes							
Si	5.65	5.62	5.72	5.64	5.67	6.03	5.64
<sup>IV</sup> Al	2.35	2.38	2.28	2.36	2.33	1.97	2.36
<sup>VI</sup> Al	2.46	2.50	2.56	2.44	2.71	2.86	3.29
Ti	0.01	0.01	0.00	0.06	0.01	0.03	0.00
Fe <sup>2+</sup>	2.03	2.08	1.99	2.14	1.95	2.44	2.44
Mn	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.02
Mg	7.41	7.28	7.24	7.19	7.09	6.11	5.69
Σ Oct.	11.93	11.89	11.80	11.85	11.76	11.46	11.44
K	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
Σ Intercapa	0.02	0.06	0.06	0.06	0.05	0.08	0.15
Fe+2/(Fe+2+ Mg+2)	0.22	0.22	0.22	0.23	0.22	0.25	0.30

1. Todo el FeO expresado como Fe<sup>2+</sup> (Foster, 1962)

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 29. Composición química de los fosilicatos dioctaédricos potásicos

Muestras	16-101-1.3	19-25-1.0	16-101-1.4	16-101-1.7	16-101-1.5	16-101-1.6	16-101-1.9	A49-611-C3-44
Análisis	133	38	134	137	135	136	139	24
% en peso								
SiO <sub>2</sub>	47.68	47.53	49.23	51.99	49.70	49.76	49.77	45.96
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.05	0.10	0.23	0.01	0.04	0.06	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.35	31.62	34.50	36.11	35.81	33.64	35.42	33.22
<sup>1</sup> FeO	2.01	1.25	0.89	0.66	0.43	0.22	0.02	0.55
MnO	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00
MgO	0.93	1.12	0.65	0.66	0.52	0.23	0.19	3.24
CaO	0.12	0.13	0.08	0.11	0.12	0.19	0.15	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.31	0.41	0.50	0.31	0.31	0.43	0.43	0.38
K <sub>2</sub> O	9.96	8.90	9.12	9.30	9.31	8.37	8.73	10.86
F	0.23	0.30	0.23	0.00	0.13	0.14	0.00	0.84
Cl	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02
Total	94.70	91.38	95.32	99.38	96.36	93.05	94.80	94.79
Formula estructural sobre la base de 22 átomos de oxígenos								
Cationes								
Si	6.36	6.52	6.45	6.49	6.42	6.61	6.49	6.18
Al	5.24	5.11	5.33	5.31	5.45	5.27	5.44	5.27
Ti	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe	0.20	0.13	0.09	0.06	0.04	0.02	0.00	0.06
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.18	0.23	0.13	0.12	0.10	0.05	0.04	0.65
Σ Oct.	3.80	3.87	3.91	3.95	3.97	3.93	3.98	4.11
K	1.69	1.56	1.52	1.48	1.53	1.42	1.45	1.86
Ca	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00
Na	0.08	0.11	0.13	0.08	0.08	0.11	0.11	0.10
Σ Intercapa	1.81	1.71	1.68	1.59	1.64	1.58	1.60	1.96

1. Todo el FeO expresado como Fe<sup>3+</sup>

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA. Los análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais Brasil.

Tabla 30. Composición química de los fosilicatos dioctaédricos potásicos

Muestras	A49-611-C3-45	A43-869.5-C1-5	A43-869.5-C1-6	A43-869.5-C1-7	A43-869.5-C1-8	19-250-2.11	19-250-1.4	19-250-2.15
Análisis	25*	6*	7*	Mica 8*	Mica 9*	54	42	57
% en peso								
SiO <sub>2</sub>	47.47	50.94	52.30	48.43	48.19	47.98	47.80	47.28
TiO <sub>2</sub>	0.19	0.21	0.30	0.22	0.29	0.00	0.00	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33.35	36.53	36.89	35.89	34.86	29.71	33.16	29.92
<sup>1</sup> FeO	0.54	0.48	0.56	0.50	0.59	2.57	2.46	2.42
MnO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02	0.02
MgO	2.30	1.14	1.46	0.98	1.10	3.83	1.73	4.79
CaO	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.27	0.02	0.36
Na <sub>2</sub> O	0.36	0.34	0.26	0.49	0.51	0.63	0.51	0.10
K <sub>2</sub> O	10.62	9.40	7.69	10.55	10.62	5.95	8.52	6.28
F	0.71	0.56	0.23	0.23	0.41	0.40	0.16	0.54
Cl	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02
SO <sub>3</sub>	0.00	0.07	0.03	0.01	0.00	-	-	-
Total	95.25	99.47	99.62	97.20	96.41	91.40	94.39	91.78
Si	6.31	6.39	6.45	6.27	6.31	6.52	6.35	6.42
Al	5.23	5.40	5.37	5.48	5.38	4.76	5.19	4.79
Ti	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00
Fe	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.26	0.25	0.25
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.46	0.21	0.27	0.19	0.21	0.78	0.34	0.97
Σ Oct.	4.02	4.03	4.12	3.96	3.93	4.06	3.89	4.19
K	1.80	1.50	1.21	1.74	1.77	1.03	1.45	1.09
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.05
Na	0.09	0.08	0.06	0.12	0.13	0.17	0.13	0.03
Σ Intercapa	1.90	1.59	1.27	1.87	1.91	1.28	1.58	1.22

1. Todo el FeO expresado como Fe<sup>3+</sup>

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA. Los análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais Brasil.

Tabla 31. Composición química de los Feldespatos

Muestra	A49-611	A49-611	A49-611	A49-611	43-730	43-730	53-42	53-42
Análisis	C4-56*	C4-57*	C4-58*	C4-59*	1.1	1	2.5	2
Mineral	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita
Alteración	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica
% en peso								
SiO <sub>2</sub>	67.57	67.76	63.93	68.93	68.05	68.01	66.11	65.74
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.62	19.42	17.94	19.82	19.61	19.29	21.10	21.64
CaO	0.38	0.27	0.07	0.23	0.11	0.06	2.14	2.97
MgO	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.16	0.15	0.03	0.18	0.00	0.00	0.17	0.20
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.15	0.18	0.22	0.20	0.26	0.19	0.31	0.34
Na <sub>2</sub> O	10.27	10.26	9.62	10.29	11.66	11.66	10.05	9.99
Cl	0.01	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	98.17	98.06	92.02	99.68	99.69	99.20	99.88	100.89
Si	11.98	12.02	12.08	12.02	11.94	11.98	11.63	11.49
AlIV	4.10	4.06	4.00	4.08	4.06	4.01	4.37	4.46
	16.08	16.08	16.08	16.10	16.00	15.99	16.00	15.95
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.07	0.05	0.01	0.04	0.02	0.01	0.40	0.56
Na	3.53	3.53	3.53	3.48	3.97	3.98	3.43	3.39
K	0.03	0.04	0.05	0.04	0.06	0.04	0.07	0.08
Or	0.93	1.15	1.49	1.23	1.44	1.04	1.77	1.90
Ab	97.11	97.43	98.13	97.54	98.04	98.67	87.90	84.27
An	1.97	1.42	0.38	1.22	0.52	0.29	10.34	13.83

Tabla 32. Composición química de los Feldespatos

Muestra	43-730	43-730	43-730	43-730	43-730	57-672	57-672	57-672
Análisis	1.2	1.8	1.3	1.9	1.4	1.2	2.4	2.8
Mineral	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita	Albita
Alteración	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica
% en peso								
SiO <sub>2</sub>	68.52	68.58	68.05	67.42	68.09	69.16	68.06	64.95
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.77	19.64	19.70	19.89	19.86	19.83	20.33	18.13
CaO	0.16	0.13	0.32	0.40	0.44	0.18	0.70	0.17
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.05	0.03	0.17	0.17	0.06	0.00	0.04	0.02
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.23	0.15	0.21	0.22	0.23	0.22	0.29	0.21
Na <sub>2</sub> O	11.53	11.47	11.24	11.20	11.10	11.40	10.90	10.08
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO <sub>3</sub>								
TOTAL	100.25	100.00	99.68	99.29	99.78	100.80	100.32	93.57
Si	11.95	11.97	11.93	11.88	11.92	11.98	11.86	12.08
AlIV	4.06	4.04	4.07	4.13	4.10	4.05	4.18	3.97
	16.01	16.02	16.00	16.01	16.02	16.03	16.04	16.05
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.03	0.02	0.06	0.08	0.08	0.03	0.13	0.03
Na	3.90	3.88	3.82	3.83	3.77	3.83	3.68	3.64
K	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.05
Or	1.26	0.86	1.19	1.25	1.34	1.22	1.68	1.33
Ab	97.99	98.52	97.29	96.84	96.56	97.91	94.97	97.76
An	0.75	0.62	1.53	1.91	2.11	0.87	3.36	0.91

Análisis en negrita fueron realizados en los laboratorios de la Universidad de Utah, USA.

Tabla 33. Composición química de los Feldespatos

Muestra	A43-869 C4-8 *	A43-869 C4-9*	A43-869 C4-10*	A43-869 C4-11*	A43-869 C4-12 *	A43-869 C3-17*	A43-869 C3-18*	19-250 2.4
Mineral	feldespato K	feldespato K	feldespato K	feldespato K	feldespato K	Albita	Albita	Albita
Alteración	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	potásica	filica
Cristal	venilla 2a	venilla 2a	venilla 2a	venilla 2a	venilla 2a	margen	margen	
% en peso								
SiO <sub>2</sub>	66.623	67.221	66.392	63.459	65.266	71.25	66.39	66.90
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.04	0.01	0.04	0.02	0.02	0.02	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.85	18.94	18.91	18.06	18.61	17.94	20.10	20.90
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.95	1.52
MgO	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.049	0.011	0.091	0.023	0	0.17	0.06	0.26
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	15.52	16.11	14.92	15.44	16.16	0.24	0.50	0.20
Na <sub>2</sub> O	1.06	0.61	1.26	0.63	0.45	9.02	9.46	10.46
Cl	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00
F	0.01	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.06	0.20
SO <sub>3</sub>	0.019	0.004	0.004	0.015	0.027	0.04	0.00	0.00
TOTAL	102.16	102.94	101.57	97.86	100.54	99.33	97.51	100.45
Si	12.00	12.02	12.00	11.95	11.99	12.39	11.87	11.68
AlIV	4.00	3.99	4.03	4.01	4.03	3.68	4.24	4.30
	16.00	16.02	16.03	15.96	16.02	16.06	16.10	15.98
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti	0.004	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.007	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03
Mn		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.18	0.28
Na	0.369	0.21	0.44	0.23	0.16	3.04	3.28	3.54
K	3.566	3.68	3.44	3.71	3.79	0.05	0.11	0.04
Or	90.63	94.60	88.63	94.16	95.95	1.62	3.19	1.15
Ab	9.37	5.40	11.36	5.82	4.03	94.65	91.72	91.50
An	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	3.72	5.09	7.35

Tabla 34. Composición química semi-cuantitativa de la Turmalina

Muestra	A43-869 C1-1*	A43-869 C1-2*	A43-869 C1-3*	A43-869 C1-4 *	A43-869 C2-32*	A43-869 C2-33*	A43-869 C2-34 *	A49-611 C3-46 *	A49-611 C3-47 *
crystal	centro	centro	márgen	márgen					
% en peso									
SiO <sub>2</sub>	38,31	37,78	38,07	37,552	37,45	37,76	37,285	37,98	38,21
TiO <sub>2</sub>	0,25	0,29	0,38	0,454	0,18	0,25	0,141	0,11	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,77	34,13	33,24	33,495	34,04	34,27	34,345	35,04	35,91
<sup>1</sup> FeO	4,30	2,87	2,21	2,364	3,73	4,06	5,482	2,22	1,17
MgO	8,54	9,08	9,49	9,361	7,60	7,65	6,974	8,88	8,54
CaO	0,00	0,04	0,02	0,016	0,04	0,021	0,024	0,03	0,00
Na <sub>2</sub> O	2,34	2,28	2,41	2,419	2,06	2,08	2,033	2,38	2,20
K <sub>2</sub> O	0,05	0,02	0,03	0,008	0,11	0,03	0,024	0,01	0,02
F	0,22	0,31	0,41	0,177	0,31	0,30	0,16	0,27	0,09
Cl	0,01	0	0,00	0	0,00	0,06	0,008	0,01	0,00
SO <sub>3</sub>	0	0	0,01	0,014	0,01	0,00	0	0	0
Total	87,53	86,70	86,13	85,78	85,43	86,38	86,40	86,83	86,20

1. Todo el hierro como Fe<sup>2+</sup>

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.



Tabla 35. Composición química de Alunita

Muestra	A30-C1-81 *	A30-C1-82 *	A30-C1-83 *	A30-C1-84 *	A30-C1-85 *
% en peso					
SiO <sub>2</sub>	0.21	0.52	0.46	0.00	0.28
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.02	0.04	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.18	36.16	35.31	36.75	35.80
<sup>1</sup> FeO	0.00	0.00	0.04	0.03	0.06
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	0.01	0.06	0.08	1.76	3.21
Na <sub>2</sub> O	0.44	0.87	0.83	0.77	0.75
K <sub>2</sub> O	3.42	4.08	4.19	2.51	1.66
F	0.83	0.93	2.06	0.64	1.67
Cl	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03
SO <sub>3</sub>	36.15	37.60	37.01	33.21	36.98
Total	75.90	79.84	79.13	75.45	79.75
Cationes sobre la base de 11 (O,OH)					
Si	0.02	0.04	0.03	0.00	0.02
Al	3.12	3.03	2.98	3.28	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Ca	0.00	0.00	0.01	0.14	0.24
Na	0.06	0.12	0.12	0.11	0.10
K	0.32	0.37	0.38	0.24	0.15
F	0.19	0.21	0.47	0.15	0.37
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	2.00	2.01	1.99	1.89	1.97

<sup>1</sup> Todo el hierro como Fe<sup>3+</sup>

Análisis indicados con asterisco fueron realizados en el CDTN, Universidad de Minas Gerais, Brasil.

Tabla 36. Resumen de las asociaciones minerales en equilibrio del proyecto Altar

	Alteraciones	Sulfuros diseminados	Venillas
<b>Depósito tipo Pórfido de Cu-(Au-Mo)</b>			
Alteración potásica	I- cz + bio ± anh ± ab ± ksp ± ms ± rt	I- cpy ± py	I- bio + cz ± mt ± rt (tipo 1) I- cz ± anh ± ksp (tipo 2a) I- cpy ± ksp ± cz ± bio ± anh ± py (tipo 2b) I- cz ± mo ± cpy ± py (tipo 3)
Alteración clorítica	II- chl + ms/ill + cz ± rt ± hm		II- chl + hm ± rt, cpy ± py (tipo 4)
Alteración filica	III- cz + ms/ill ± rt ± tour	III- py ± cpy	III- cz + py + cpy ± ms/ill ± tour (tipo 5a) III- py + cz ± ms/ill ± anh ± cpy (tipo 5b) III- anh ± cz ± cpy ± py (tipo 5c) III- tour ± cz (tipo 5d)
Alteración argílica avanzada	IV- dick/caol ± cz ± rt		IV- tn (cpy, bn) ± py ± cz ± td ± oro (tipo 6a) IV- py ± cz (tipo 6b) V- py + en (cpy, bn, tn) ± cz (tipo 6c)  VI- cz ± sl ± ga ± py (tipo 7) VI- ca + anh (tipo 8)
<b>Depósito tipo Epitermal de Au-(Ag-Cu)cz "poroso", cz + alun</b>			cz; en ± cz ± alun azufre nativo
<b>Enriquecimiento supergénico</b>		dg ± cv	yeso (tipo 10)

Abreviaturas: ab: albita; alun: alunita; anh: anhidrita; bio: biotita; bn: bornita; ca: calcita; caol: caolinita; chl: clorita; cpy: calcopirita; cv: covelina; cz: cuarzo; dick: dickita; dg: digenita; en: enargita; hm: hematita; ill: illita; kps: feldespato potásico; ga: galena; mo: molibdenita; ms: muscovita; mt: magnetita; py: pirita; rt: rutilo; sl: esfalerita; td: tetradrita; tn: tennantita; tour: turmalina; t: trazas.