

CAPÍTULO VII

ESTUDIO DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se brindan los resultados del estudio de las inclusiones fluidas presentes en las principales venillas mineralizadas del pórfido de Cu-(Au-Mo) que cortan al pórfido 4. El estudio de las inclusiones fluidas incluyó técnicas petrográficas apoyadas por imágenes de cátodo luminescencia, el análisis microtermométrico y espectrometría Ramman para determinar las temperaturas y salinidades de los fluidos hidrotermales que precipitaron los minerales y también inferir las presiones de entrapamiento.

El objetivo de estos estudios es conocer las características de los fluidos hidrotermales que originaron el depósito de tipo pórfido y los cambios químicos y físicos que ocurrieron durante su evolución. Finalmente se intenta correlacionar las características y evolución de los fluidos con la introducción y precipitación de los metales.

2. METODOLOGÍA

Se realizaron mediciones microtermométricas en inclusiones fluidas correspondientes a las venillas de los tres pulsos mineralizadores principales del pórfido 4. Se seleccionó este intrusivo, localizado en el filo central, por ser el que presenta las leyes más altas de Cu del proyecto.

El método de cátodo luminescencia permitió identificar diferentes generaciones de cuarzo en una misma venilla y asociar cada grupo de inclusiones fluidas presentes a una generación de cuarzo determinada. Las texturas del cuarzo de las venillas observadas por cátodo luminescencia se identifican con las siguientes letras: A) cuarzo con zonación de crecimiento euhedral, B) pequeñas zonas de baja luminescencia de cuarzo unidas por redes irregulares (textura en “tela de araña”; [Rusk y Reed, 2002](#)), C) banda de baja luminescencia que atraviesa cuarzo previo, D) cuarzo de baja luminescencia entre fragmentos de cuarzo más brillante, E) cuarzo de baja luminescencia en los bordes de granos de cuarzo de mayor brillo y F) cuarzo CL oscuro alrededor de núcleos de cuarzo CL brillante.

La petrografía de las inclusiones fluidas y subsecuentes determinaciones se efectuaron exclusivamente en asociaciones de inclusiones fluidas ([Goldstein y Reynolds, 1994](#)) (AIF, grupos o alineaciones de IF cercanas que muestran similares porcentajes de fases y formas). El análisis petrográfico de detalle de las muestras que presentaban más de una AIF, por otra parte, permitió determinar la relación temporal de los distintos eventos. Se efectuaron los estudios microtermométricos de las AIF seleccionadas para cuantificar las temperaturas y las composiciones de los fluidos y estimar las presiones. Las mediciones fueron realizadas en secciones doblemente pulidas (30-100 μm de espesor).

Los estudios termométricos de las inclusiones fluidas se realizaron en el Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur, en Bahía Blanca, con una platina Linkam computarizada que permite operar en el rango de -180° a $+600^{\circ}\text{C}$ por una combinación de un sistema de enfriamiento por nitrógeno líquido y una resistencia para calentamiento, instalada en un microscopio petrográfico Olympus BX50 con oculares x10 y x25 y objetivo Leitz UTK50/0.63. La platina fue calibrada con sustancias estándares puras, con punto de fusión conocido, desde $+400^{\circ}\text{C}$ hasta el punto de fusión del hielo, a 0°C . Otros análisis de inclusiones fluidas se realizaron en el Laboratorio de Inclusiones Fluidas del Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear (CDTN), en Belo Horizonte, Brasil, con la platina FTIR600-Linkam, con los controladores automáticos LNP 94/2 e TMS 94 y utilizando el software Linksys 32.

Los componentes volátiles de las inclusiones fluidas de las venillas fueron analizados con un microespectroscopio Raman en los laboratorios del Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear (CDTN), en Belo Horizonte, Brasil.

Para clasificar las inclusiones fluidas se siguieron los criterios genéticos de [Roedder \(1984\)](#) (Primarias-P, Seudo-secundarias-SS y Secundarias-S) y los de [Nash \(1976\)](#), basados en la composición de la IF a temperatura ambiente.

De acuerdo con la composición de las inclusiones fluidas estudiadas ([Nash, 1976](#)), se identificaron 5 tipos y para facilitar sus descripciones se han denominado de la siguiente manera:

- I- bifásicas acuosas ricas en líquido
- II- bifásicas acuosas ricas en vapor
- III- trifásicas
- IV- multifásicas
- V- monofásicas de vapor

El CO_2 está en bajas concentraciones y resulta difícil su reconocimiento petrográfico, por lo cual no fue considerado en la clasificación previa.

Las inclusiones han sido clasificadas en subtipos según los criterios petrográficos, tales como el tamaño de la burbuja, el contenido de las fases sólidas y las relaciones entre las distintas asociaciones de inclusiones fluidas. Para denominar a los subtipos de inclusiones se utilizó la terminología introducida por [Rusk et al. \(2008\)](#) que refleja el volumen de la inclusión rellena con vapor (“B” burbuja) a temperatura ambiente; esto significa que una inclusión denominada “B₃₀” contiene un 30% en volumen de vapor cuando es observada a temperatura ambiente. En las inclusiones fluidas saturadas, la identificación de los distintos sólidos se realizó utilizando el criterio de [Shepherd et al. \(1985\)](#).

Una estimación preliminar de las proporciones de los distintos tipos de inclusiones fluidas en cada muestra estudiada se realizó mediante una cámara clara, en cinco sectores de la venilla escogidas al azar, a partir de la descripción y el dibujo de un total de 200 inclusiones fluidas. La proporción de cada tipo de inclusión en la muestra se graficó en un diagrama circular.

Los cambios de fases a bajas temperaturas se midieron en primer lugar para minimizar la posibilidad de decrepitación de IF. Todas las muestras fueron inicialmente enfriadas a -120°C , luego lentamente calentadas para medir las temperaturas de la primer fusión (T_e) y de fusión final del hielo (T_m) (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985) y con ellas poder determinar el sistema salino al cual pertenece el fluido (por ejemplo NaCl-H₂O o NaCl-CaCl₂-H₂O) y su salinidad utilizando el programa FLINCOR (ecuación de Brown y Lamb, 1986, 1987, 1989). Se continuó con el calentamiento para determinar las temperaturas de homogeneización líquido-vapor (T_h) y de fusión de los minerales hijos (T_m).

La salinidad, el contenido de CO₂ y la densidad de las inclusiones que forman clatratos en el enfriamiento se calcularon utilizando el programa FLINCOR (fórmula de Brown y Lamb, 1986, 1987, 1989). Para las inclusiones con halita, la salinidad se determinó a partir de la temperatura de disolución de la halita, según la ecuación de Bodnar y Vityk (1994). Para las inclusiones que homogeneizaron por disolución de la halita este método subestima la salinidad hasta 3% en peso de NaCl equivalente. Las salinidades de las inclusiones que contenían halita y silvita fueron determinadas por las temperaturas de disolución de la halita y de la silvita usando el diagrama de fases triangular NaCl-KCl-H₂O (Roedder, 1984).

La información fue integrada y representada en histogramas de frecuencias y diagramas de salinidades versus temperaturas de homogeneización que facilitaron la interpretación de la evolución espacial y temporal de los fluidos hidrotermales. El análisis de estos diagramas permitió determinar los procesos físico-químicos que intervinieron en la evolución del sistema hidrotermal y analizar las condiciones que favorecieron la precipitación de la mineralización.

Los datos microtermométricos de las asociaciones de inclusiones fluidas en ebullición se compararon con las superficies de estabilidad de dos fases (“*solvus*”) del sistema NaCl-H₂O (isobaras de Driesner y Heinrich, 2007) para determinar las presiones de entrapamiento absolutas y estimar la profundidad de entrapamiento (Shepherd, 1985). Para los fluidos que no están en ebullición, permite inferir una profundidad mínima de entrapamiento. La fórmula general que relaciona presión con la profundidad es la siguiente: $P = H \cdot \rho \cdot g$, donde P es la presión, ρ es la densidad del material sobreyacente (1 g/cm^3 en

condiciones hidrostáticas; $2,7 \text{ g/cm}^3$ en condiciones litostáticas), g es la aceleración de la gravedad. Una simplificación de esta fórmula para obtener la profundidad (H) en metros y la presión (P) en bares es la siguiente: $P = H \cdot (2,7 \text{ o } 1) \cdot 0,0981$ (Shepherd, 1985) donde $0,0981$ representa la aceleración de la gravedad y se utiliza el factor $2,7$ o 1 como densidad del medio bajo condiciones litostática o hidrostática respectivamente.

3. RESULTADOS

3.1. Petrografía y microtermometría de las inclusiones fluidas

Un resumen de los tipos y subtipos de inclusiones fluidas reconocidos en las venillas estudiadas (tipos 2a, 3, 5d y 6a) se presentan en la [Tabla 1](#) y el detalle de todas las mediciones realizadas se muestra en los [Apéndices 1-10](#).

3.1.1 Venillas tipo 2a

En primer lugar, se examinaron las venillas tempranas tipo 2a (cuarzo \pm anhidrita \pm feldespato potásico, calcopirita \pm piritita \pm bornita) equilibradas con la alteración potásica. Estas venillas, junto a las venillas 2b y la calcopirita y piritita diseminadas de este estadio, representan el primer pulso de mineralización de Cu-Au.

En las venillas 2a, el cuarzo ocupa el 90% de la venilla y está en individuos anhedrales con bordes crenulados (0,1-0,8 mm). En las imágenes obtenidas por catodoluminiscencia, los núcleos de los granos de cuarzo anhedrales de las venillas 2a (Cz-1_(2a)) tienen luminescencia moderada a baja y exhiben una zonación de crecimiento euhedral (textura “A”) ([Figs. 1A](#)). El cuarzo más joven de baja luminiscencia, sin zonación y de tonalidad rojiza (Cz-2_(2b)), sólo visible con microscopía CL, es el que está en contacto con la mineralización de calcopirita, piritita y bornita y forma las microvenillas 2b irregulares que cortan al cuarzo Cz-1 ([Fig. 1A](#)).

El cuarzo joven también se encuentra en redes con textura en “tela de araña” (textura “B” en fotografía, [Rusk y Reed, 2002](#)) ([Fig. 1A](#)) que reflejan un proceso de corrosión del cuarzo previo ([Rusk y Reed, 2002](#)). Además, interrumpe las zonas de crecimiento del cuarzo Cz-1_(2a) y muestra contactos irregulares y difusos sobre el cuarzo Cz-1_(2a) ([Fig. 1A](#)). Estas texturas permitieron determinar que los sulfuros en estas venillas están asociados al cuarzo Cz-2_(2b) de las venillas tipo 2b, que precipitó en los huecos dejados por la disolución del cuarzo (Cz-1_(2a)) de la venilla 2a ([ver capítulo V](#)).

En los granos de cuarzo de las venillas tipo 2a, se pudieron distinguir abundantes asociaciones de inclusiones fluidas (AIF) primarias y pseudo-secundarias (15 a 60 μm) de forma regular a ovoide. Entre las primarias y las pseudo-secundarias hay inclusiones fluidas bifásicas ricas en líquido (Tipo I), inclusiones bifásicas ricas en vapor (Tipo II), inclusiones

trifásicas (Tipo III) e inclusiones multifásicas (Tipo IV) (Fig. 1B). Las inclusiones tipo II y tipo IV suelen formar parte de una misma asociación de inclusiones fluidas.

Entre las IF primarias y pseudo-secundarias del cuarzo de esta venilla predominan las de tipo III y IV (Fig. 1C), en cada tipo de inclusión se han encontrado subtipos que se describen con detalle en los párrafos siguientes. En cantidad subordinada con respecto a las primarias y pseudo-secundarias, se reconocieron inclusiones secundarias de tipo I, de forma ovoide alargada ($<10\mu\text{m}$).

Las inclusiones fluidas primarias tipo I (subtipo B_{20(2a)}) de estas venillas tienen burbujas de vapor que ocupan el 20 % del volumen de la inclusión. Se midieron Te variables de -63, -60, -54 y -48 °C, correspondientes a sistemas de fluidos químicamente complejos comparables a algunos de los descriptos por Borisenko (1977):

-H₂O-NaCl-CaCl₂, eutéctico teórico: -55 (-52 °C)

-H₂O-MgCl₂-CaCl₂, eutéctico teórico: -52,2 °C

-H₂O-CaCl₂, eutéctico teórico: -49,8 °C

Los valores de fusión cercanos a -56,6 °C indican contenidos de CO₂ en el fluido, cuya presencia se comprobó con microespectroscopía Raman (Tabla 2).

Las temperaturas de homogeneización de la fase CO₂ a líquido observadas estuvieron comprendidas entre 22 y 26 °C y las temperaturas de fusión del clatrato entre 6 y 8,2 °C. Estas inclusiones homogeneizaron a fase a líquida a temperaturas comprendidas entre los 425 y 540 °C. Utilizando los valores de las temperaturas de homogeneización del CO₂ y de la fusión del clatrato se determinaron salinidades en el rango de 3,5 a 7,3 % en peso de NaCl equivalente y densidad del CO₂ de ~0,19 (Tabla 1, Apéndice 1).

Algunas de las inclusiones primarias tipo II (Subtipo B_{80-90 (2a)}) presentan burbujas que ocupan entre el 80 y 90% del volumen de la inclusión y en ellas se identificó CO₂ con el microespectroscopio Raman (Tabla 2). Estas inclusiones homogeneizaron a CO₂ líquido a temperaturas comprendidas entre los 20 y 26°C, con temperaturas de fusión del clatrato entre los 6 y 8°C. La homogeneización final se produce a fase vapor entre 420 a 480 °C. Este intervalo de temperaturas indica salinidades del orden de 3,5 a 7,3 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Fig. 1D, Apéndice 2).

Otro grupo de inclusiones tipo II, con burbujas que ocupan entre el 50 y el 70% de la inclusión (Subtipo B_{50-70 (2a)}), no alcanzaron la homogeneización aún a los 550 °C. En estas

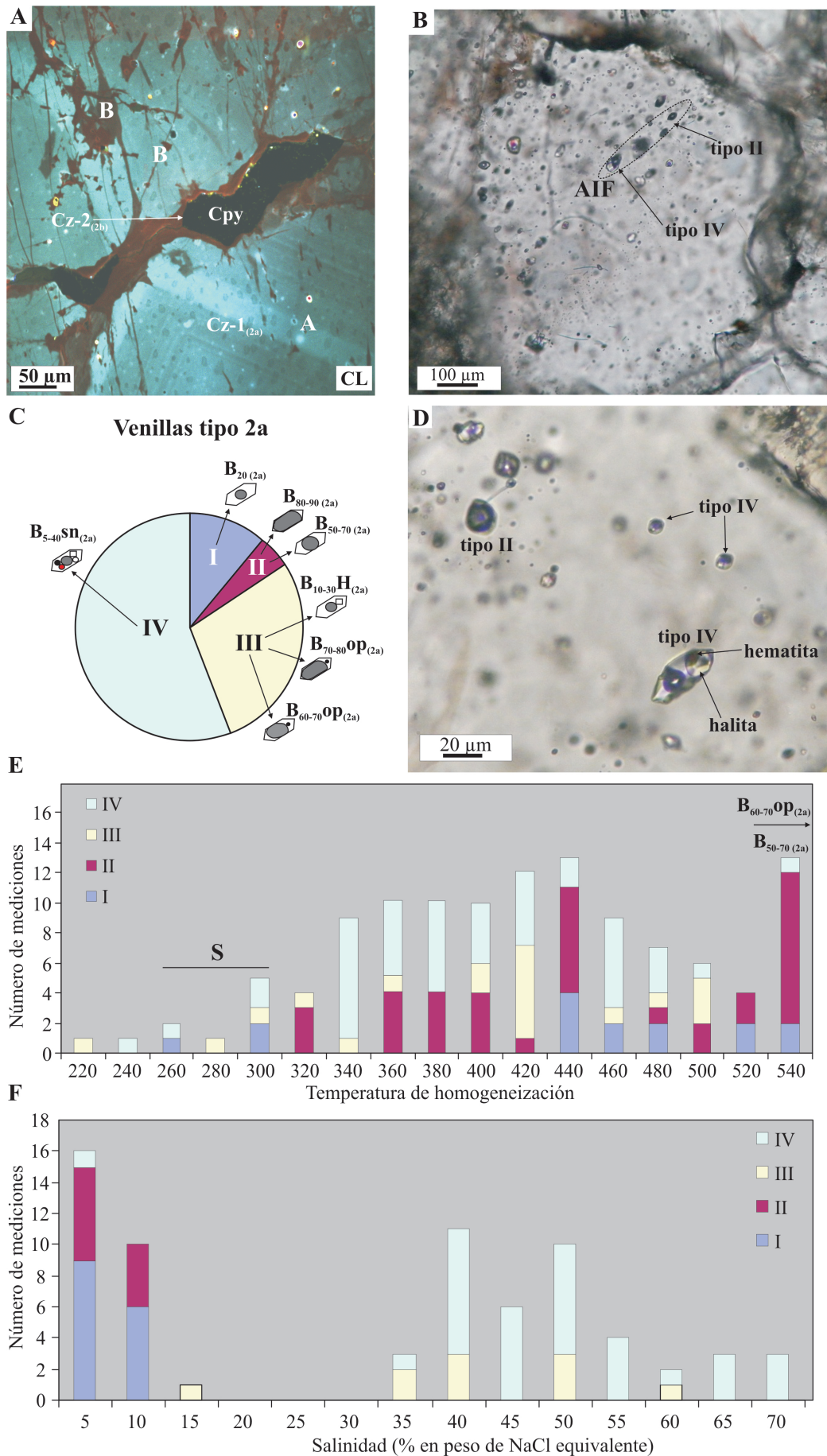


Figura 1. Inclusiones fluidas de las venillas tipo 2a. A) Imagen CL de cuarzo Cz-1_(2a) de una venilla 2a cortado por cuarzo Cz-2_(2b) con calcopirita de venilla 2b. texturas indicadas en las imágenes: “A” de zonación composicional y “B” textura de “tela de araña”. B) asociación de inclusiones fluidas tipo II y tipo IV en un núcleo del cuarzo. C) Proporción de los

distintos tipos de inclusiones fluidas en las venillas 2a obtenida mediante técnica estadística. Además se señalan los subtipos de inclusiones fluidas estudiados. D) Ejemplos de inclusiones fluidas tipo II y tipo IV con cristales de halita y hematita. E) Histograma de temperaturas de homogeneización para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 2a. Se destacan con una flecha los subtipos de inclusiones que no alcanzaron la homogeneización aún a los 550° C y el grupo de inclusiones fluidas secundarias (S). F) Histograma de salinidades expresadas en % en peso de NaCl equivalente para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 2a.

inclusiones a partir de la temperatura de homogeneización del CO₂ a fase líquida (22-24 °C) y la temperatura de fusión del clatrato (6,5-8 °C) se pudieron determinar la densidad de la fase CO₂ y la salinidad del sistema H₂O-CO₂ en el rango de 3,9 a 6,54 % en peso de NaCl equivalente y densidad de CO₂ entre 0,25 y 0,74 (Tabla 1, Apéndice 2).

Entre las inclusiones trifásicas, se determinaron tres subtipos: 1) el subtipo B₁₀₋₃₀H_(2a) con una burbuja de vapor que ocupa entre el 10 y el 30% de la inclusión y un cristal de halita; 2) el subtipo B₇₀₋₈₀op_(2a), con una burbuja de vapor que ocupa entre el 70 y el 80% de la inclusión y una fase sólida opaca no diferenciada y 3) el subtipo B₆₀₋₇₀op_(2a) con burbujas que ocupan entre el 60 y el 70% de la inclusión y un opaco indiferenciado (Tabla 1). Las Te medidas en las inclusiones trifásicas del subtipo B₁₀₋₃₀H fueron -44, -49, y -56°C, temperaturas eutécticas similares a los eutécticos de los siguientes sistemas acuosos salinos (Borisenko, 1977).

-H₂O-CaCl₂, eutéctico teórico: -49,8° C

-H₂O-CaCl₂-ClK, eutéctico teórico: - 50.5° C

-H₂O-MgCl₂-CaCl₂, eutéctico teórico: -52,2° C

-H₂O-NaCl-CaCl₂, eutéctico teórico:-55° C

No se descarta además la presencia de CO₂ (punto triple -56,6 ° C), si bien no pudieron observarse otros cambios de fase como el congelamiento de la fase sólida o la fusión del clatrato.

Algunas inclusiones del subtipo B₁₀₋₃₀H_(2a) homogeneizaron a fase líquida entre los 339 y 405° C, y a partir de las temperaturas de disolución del cristal de halita se determinan salinidades entre los 30,5 y 36 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 3). Sin embargo, la mayoría de las inclusiones de este subtipo homogeneizaron por disolución del cristal de halita a temperaturas comprendidas entre 289 y 469° C (Tabla 1, Apéndice 3). Estas últimas indican salinidades de 31,9 a 55,8 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 3) y su significado se analiza en la discusión.

Las inclusiones primarias trifásicas del subtipo B_{70-80op (2a)} homogeneizaron a fase vapor en el rango de temperaturas de 390 a 450° C y las inclusiones del subtipo B_{60-70op (2a)} no homogeneizaron aún a 550° C (Tabla 1, Apéndice 3).

En las inclusiones tipo IV, el porcentaje de la burbuja de vapor es de 5 a 40% (B_{5-40sn(2a)}). Los sólidos más frecuentes identificados son halita ± hematita ± calcopirita ± anhidrita ± silvita ± anhidrita (Fig. 1D). Las fases sólidas ocupan entre el 5 y el 40% de la inclusión. Se midieron Te variables tales como -63, -59, -57, -56 °C, similares a aquellas de sistemas de fluidos químicamente complejos (Borisenko, 1977).

-H₂O-NaCl-CaCl₂, eutéctico teórico:-55 (-52 °C)

Las temperaturas de fusión cercanas a -56,6 °C podrían indicar asimismo la presencia de CO₂.

Parte de estas inclusiones tipo IV homogeneizaron a fase líquida a temperaturas variables, entre los 242 y 540°C, la mayoría entre 350 y 390°C. A partir de sus temperaturas de disolución del cristal de halita y silvita se determinaron salinidades comprendidas entre 32 y 42,4 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 4). Otras homogeneizaron por disolución del cristal de halita entre los 260 y 454°C. De acuerdo a estas temperaturas se determinaron salinidades de 36 a 70 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 4) y su comportamiento se interpreta en la discusión.

Las inclusiones secundarias de tamaño muy pequeño (<5µm) en estas venillas son de tipo I (con burbujas de vapor que ocupan el 10 % del volumen de la inclusión; subtipo B_{10(2a)}). Homogeneizaron a fase líquida entre los 250 y 300° C y de acuerdo con las temperaturas de fusión final del hielo (-0,4 a -2,3°C) sus salinidades varían entre 0,66 y 3,7% en peso de NaCl equivalente (Tabla. 1, Apéndice 1).

En las figuras 1E y 1F se presentan los histogramas de temperatura de homogeneización y las salinidades expresadas en % en peso de NaCl equivalente para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 2a. Se destacan con una flecha los subtipos de inclusiones que no alcanzaron la homogeneización aún a los 550° C (Fig. 1F).

3.1.2. Venillas tipo 3

Las venillas tipo 3 se caracterizan por una mineralogía dominada por cuarzo con cantidades subordinadas de molibdenita ± calcopirita ± pirita, tienen las paredes rectas y están asociadas al pulso de mineralización de Mo.

En imágenes de catodoluminiscencia se reconocieron tres distintas generaciones de cuarzo en las venillas 3. La primera generación de cuarzo (Cz-1₍₃₎), que constituye el 90% de la venilla, se presenta como granos subhedrales (0,2-1 mm) con luminescencia moderada y débil zonación de crecimiento euhedral. En el centro de la venilla, el Cz-1₍₃₎ está afectado por disolución y corrosión en microfracturas y estos espacios han sido rellenados por un cuarzo más joven (Cz-2₍₃₎), de color gris oscuro en las imágenes CL y que carece de zonación de crecimiento. Los cristales laminares (<0,4 mm) de molibdenita se agrupan en una o varias bandas paralelas cerca de los márgenes de las venillas, donde cortan a Cz-1₍₃₎. La última generación de cuarzo de color rojizo está en zonas irregulares en el contacto entre los granos de cuarzo y forma redes que cortan a los cuarzos previos. Parece estar en contacto con la molibdenita (ver Fig. 19 en capítulo V).

La anhidrita tardía del centro de la venilla contiene inclusiones primarias y secundarias bifásicas ricas en líquido, tipo I, que no fueron analizadas (Figs. 2D y E).

Los núcleos de los granos de cuarzo contienen abundantes inclusiones primarias y pseudo-secundarias de formas regular a irregular de tipos I (B₂₀₍₃₎), II (B₈₀₋₉₀₍₃₎), III (B_{20-40S}₍₃₎) y IV (B_{20-30Sn}₍₃₎) (Fig. 2A), en tanto que el cuarzo en contacto con los sulfuros se caracteriza por ser límpido y contiene escasas inclusiones fluidas (Fig. 2B). En estas venillas predominan las inclusiones fluidas tipo I y tipo III (Fig. 2C), y las inclusiones tipo II, III y tipo IV suelen formar parte de una misma asociación. En las inclusiones analizadas con el microespectroscopio Raman, no se registraron picos de CO₂ o de H₂S (Tabla 2).

Las inclusiones tipo I (B₂₀)₍₃₎, con burbujas de vapor que ocupan el 20% de la inclusión, homogeneizaron a líquido entre los 220 y 264° C. Las temperaturas de fusión del hielo, entre -6,3 y -2,7°C indican salinidades en el rango de 4,3 a 9,5% en peso de NaCl equivalente (Tabla. 1, Apéndice 5). Se midieron Te variables: -48 y -62°C, correspondientes a sistemas de fluidos químicamente complejos (Borisenko, 1977) como:

-H₂O-CaCl₂, eutéctico teórico: -49.8 °C

-H₂O-NaCl-CaCl₂, eutéctico teórico:-55 °C

Las inclusiones fluidas tipo II (B₈₀₋₉₀)₍₃₎ tienen burbujas de vapor que ocupan el 80-90% de la inclusión y homogeneizaron a fase vapor entre los 380 y 450 °C. Las temperaturas de fusión final del hielo medidas (3,8 a 4° C) indican salinidades de ~6,3 % en peso de NaCl equivalente (Tabla. 1, Fig. 2F, Apéndice 5).

Las inclusiones fluidas tipo III, B_{20-40S}₍₃₎ tienen una burbuja de vapor que ocupa el 20 a 40% de la inclusión y presentan una fase sólida (halita, anhidrita). Estas inclusiones homogeneizaron a fase líquida a los ~380 °C (Tabla. 1, Apéndice 6). Las temperaturas

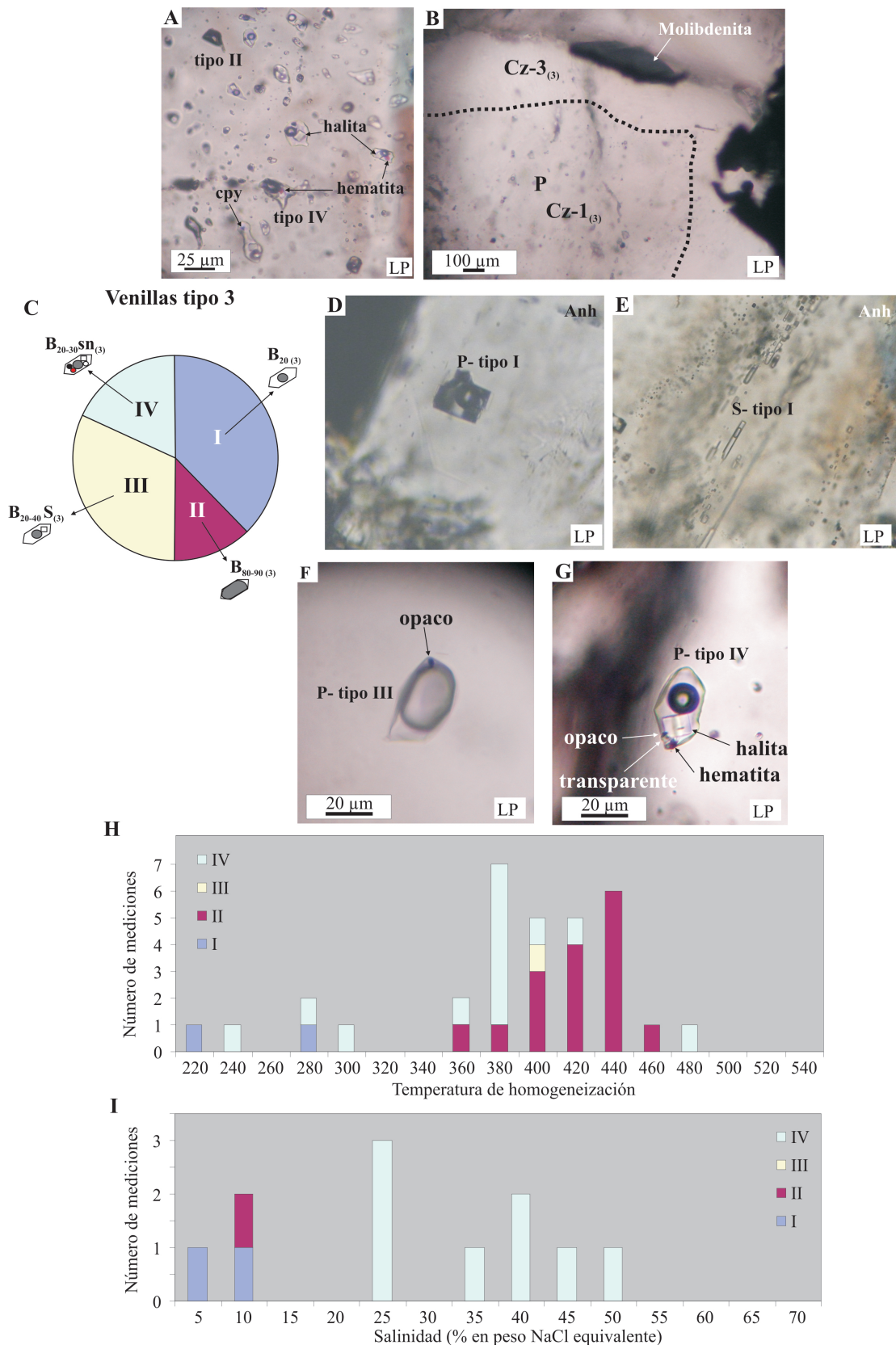


Figura 2. Inclusiones fluidas de las venillas tipo 3. A) Ejemplos de inclusiones fluidas tipo II y IV en núcleo de cuarzo Cz-1 de la venilla. B) Detalle de molibdenita en contacto con cuarzo límpido Cz-3 sin inclusiones fluidas. C) Proporción de los distintos tipos de inclusiones fluidas en las venillas 3. Se señalan los subtipos de inclusiones fluidas estudiados. D) Inclusión fluida primaria tipo I en anhidrita. E) Inclusiones fluidas secundarias tipo I en anhidrita. F) Inclusión fluida primaria tipo III en cuarzo. G) Inclusión fluida primaria tipo IV en cuarzo. H) Histograma de temperaturas de homogeneización y I) Histograma de salinidades expresadas en % en peso de NaCl equivalente obtenidas para los distintos tipos de inclusiones fluidas de las venillas 3.

eutécticas medidas: -46, -55, -62 indican que se trataría de un sistema geoquímico complejo (Borisenko, 1977):

-H₂O-CaCl₂, eutéctico teórico: -49,8 °C

-H₂O-NaCl-CaCl₂, eutéctico teórico:-55 °C

Asimismo, los valores de fusión cercanos a -56,6 °C podrían indicar la presencia de CO₂, sin embargo el mismo no fue identificado por microespectrometría Ramman (Tabla 2).

Las inclusiones tipo IV, B₂₀₋₃₀Sn₍₃₎, se caracterizan por presentar más de una fase sólida. Los sólidos más frecuentes identificados son halita ± anhidrita ± hematita ± silvita ± calcopirita. Las temperaturas eutécticas reconocidas (-63, -50, -48°C) son similares a las de las inclusiones tipo III y sugieren el mismo tipo de sistema geoquímico. Homogeneizaron a temperaturas variables a fase líquida (243-473 °C) y por disolución del cristal de halita (370 a 380 °C). A partir de las temperaturas de disolución de la halita para el primer grupo se calcularon salinidades comprendidas entre 22 y 39% en peso de NaCl equivalente (Tabla. 1, Fig. 2G, Apéndice 6). Para las que homogeneizaron por disolución del cristal de halita se determinan salinidades de ~44 % en peso de NaCl equivalente (Tabla. 1, Apéndice 6).

El las figuras 2H y 2I se presentan los histogramas con las temperaturas de homogeneización (°C) y las salinidades en % en peso de NaCl equivalente para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 3.

3.1.3. Venillas tipo 5b

Esta venilla sólo fue analizada por catodoluminiscencia y no se hicieron mediciones microtermométricas. En las imágenes CL de la venilla 5b se reconocieron tres generaciones de cuarzo. La primera generación está constituida por bandas de cuarzo de baja luminiscencia y zonación de crecimiento que rodean a los sulfuros (pirita). Una segunda generación de cuarzo CL-negro corta al cuarzo previo. Una tercera generación de cuarzo de tonalidad rojiza corta a los cristales previos en bandas irregulares, con texturas de “tela de araña” y también está en contacto con los sulfuros (pirita) (ver Fig. 31 del capítulo V).

3.1.4. Venillas tipo 5c

Las venillas tipo 5c, que cortan a las venillas 5a y 5b, están rellenas por la asociación mineral anhidrita ± cuarzo ± calcopirita ± pirita (<1 cm de espesor). Los cristales de anhidrita (0,6-2 mm) representan el 95% de la venilla y están acompañadas por cristales de cuarzo (0,2-

0,4 mm) con sus longitudes mayores perpendiculares a las paredes de la venilla, junto a pirita y calcopirita subordinadas.

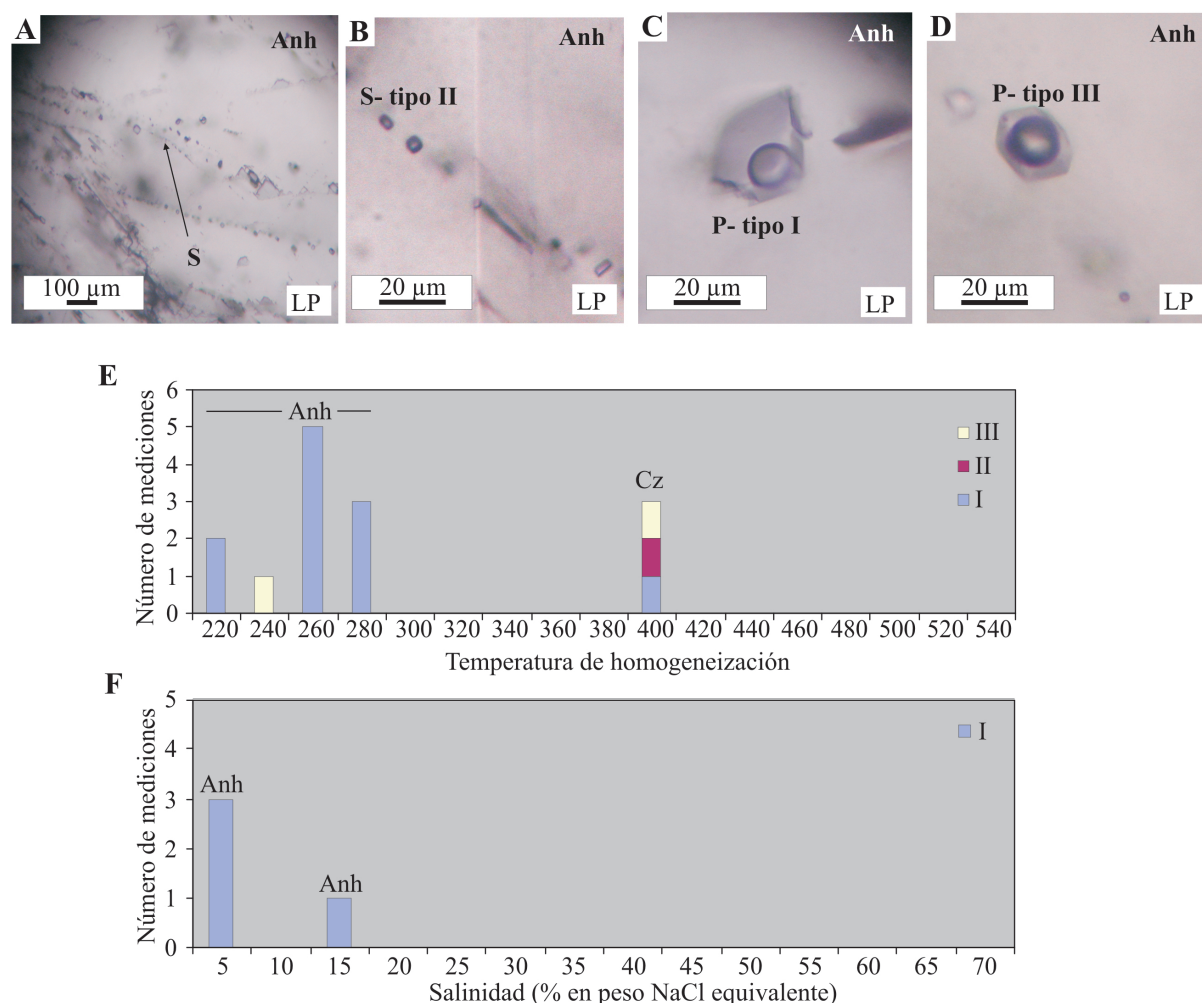


Figura 3. Inclusiones fluidas de las venillas tipo 5c. A) Inclusiones fluidas secundarias en anhidrita. B) Detalle de inclusiones secundarias tipo II en anhidrita. C) Inclusión primaria tipo I en anhidrita. D) Inclusión primaria tipo III en anhidrita. E) Histograma de temperaturas de homogeneización para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 5c. Se señalan inclusiones fluidas analizadas en cuarzo y anhidrita. F) Histograma de salinidades expresadas en % en peso de NaCl equivalente obtenidas para los distintos tipos de inclusiones fluidas de las venillas 5c.

En el cuarzo de la venilla se analizaron inclusiones fluidas primarias tipo I, II y III. Las inclusiones primarias tipo I homogeneizaron a fase líquida entre los 330 y 400° C (Tabla 1, Apéndice 7). Las inclusiones fluidas primarias tipo II (B_{80-90} ($5c$)) tienen burbujas de vapor que ocupan el 80-90% de la cavidad y homogeneizaron a fase vapor a los 385-388° C. Las temperaturas de fusión final del hielo en estas inclusiones (~1,6° C) permitieron determinar salinidades de ~2,8 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 8). Las inclusiones primarias tipo III (subtipos B_{10-20S} ($5c$)), con burbuja de vapor que ocupa el 10-20% en volumen de la cavidad y una fase sólida (halita, opaco indiferenciado; Fig. 3D), homogeneizaron a líquido a ~400° C. (Tabla 1, Apéndice 8). Sobre la base de las fases sólidas identificadas, estos fluidos se asignaron al sistema H₂O-NaCl. En el cuarzo también se

identificaron escasas inclusiones fluidas primarias tipo IV, con halita, anhidrita y opacos como fases sólidas, pero no fueron analizadas por microtermometría.

La anhidrita aloja escasas inclusiones fluidas primarias tipos I, II y III (10-20 μ m) y una mayor proporción de inclusiones fluidas secundarias alineadas tipo I (B₂₀_(5c)) y tipo II (B₈₀_(5c)) que atraviesan a los cristales (Figs. 3A y B). Las inclusiones secundarias son muy pequeñas para su descripción y análisis microtermométrico. Se analizaron las inclusiones fluidas primarias tipos I y III.

Entre las inclusiones primarias, predominan las de tipo I. Son de forma regular a rectangular y contienen una burbuja de vapor que ocupa entre el 10 y 20% de la cavidad (subtipo B₁₀₋₂₀_(5c)) (Fig. 3C). La mayor parte de las inclusiones fluidas tipo I homogeneizaron a fase líquida entre los 200 y 260° C. A partir de las temperaturas de fusión final del hielo (2-8 °C) se determinaron salinidades de 3,2 a 11,7% en peso de NaCl equivalente.

Las inclusiones primarias tipo III (subtipos B_{10-20S}_(5d)), con burbuja de vapor que ocupa el 10-20% en volumen de la cavidad y una fase sólida opaca indiferenciada; Fig. 3D), homogeneizaron a líquido a los 230° C. (Tabla 1, Apéndice 8).

En las figuras 3E y 3F se presentan los histogramas con las temperaturas de homogeneización (°C) y las salinidades estimadas como % en peso de NaCl equivalente para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 5c.

3.1.5. Venilla tipo 6a

La muestra analizada corresponde a una venilla tipo 6a de tennantita (calcopirita) \pm piritita \pm cuarzo \pm oro de 3 cm de espesor, localizada en los niveles superficiales del sondeo A-53. Tennantita está acompañada de cuarzo subhedral, límpido, de grano grueso (<5% de la venilla), con inclusiones de oro (0,05 mm). El cuarzo exhibe contactos netos con tennantita (Fig. 4A). Sin embargo, en el examen al microscopio se identificaron dos generaciones de cuarzo: los núcleos cristalinos con abundantes inclusiones fluidas primarias y pseudo secundarias (Cz-1_(6a)) están rodeados por una segunda generación de cuarzo con menor cantidad de inclusiones (Cz-2_(6a)) (Fig. 4B). Las inclusiones analizadas se hospedan en el núcleo (Cz-1_(6a)) y han sido clasificadas como primarias (20 μ m), tipos I, II, III, IV y V (Fig. 4C). El cuarzo Cz-2_(6a) en contacto con tennantita aloja escasas inclusiones fluidas secundarias tipo II.

Entre las inclusiones primarias alojadas en el cuarzo temprano (Cz-1) de esta venilla, predominan las I y II (Fig. 4D). La asociación de inclusiones fluidas tipo I y tipo II con diferentes proporciones de líquido-vapor, de inclusiones monofásicas de vapor (tipo V) e

inclusiones tipo IV que homogeneizan a similares temperaturas sugiere la desmezcla de los fluidos.

Las inclusiones tipo I ($B_{20(6a)}$), con una burbuja de vapor que ocupa el 20% de la cavidad, homogeneizaron a fase líquida entre los 360 y 390°C. A partir de las temperaturas de fusión final del hielo (-10 a -6 °C) se determinaron salinidades comprendidas entre 9,1 y 13,9 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 9).

Las inclusiones tipo II ($B_{80-90(6a)}$), con una burbuja de vapor que ocupa el 80-90% de la cavidad, homogeneizaron a fase vapor a temperaturas entre 380 y 440° C. Las temperaturas de fusión final del hielo (-2 °C) indican salinidades de los fluidos de ~3,2 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 9). La temperatura eutéctica media (-63 °C) correspondería a un sistema salino complejo (Borisenko, 1977).

Las inclusiones tipo III presentan una burbuja de vapor (10-40% en volumen) (Figs. 4E, F y G) y una fase sólida (halita, hematita, opaco). Algunas inclusiones homogeneizaron a fase líquida entre los 280 y 368° C, pero la mayoría homogeneizaron por disolución del cristal de halita entre los 318 y 395° C. A partir de estas temperaturas se determinan salinidades de 39,8 a 46,4 % en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 10). La temperatura eutéctica medida (-49° C) es similar a la del eutéctico $-H_2O-CaCl_2$ (-49.8 °C, Borisenko, 1977).

Todas las inclusiones tipo IV con múltiples fases sólidas (halita, silvita, anhidrita, fases minerales opacas y transparentes no identificadas), homogeneizaron por disolución del cristal de halita entre los 250 y 386° C. Estas temperaturas de disolución de la halita permitieron determinar salinidades comprendidas entre 34 y 45% en peso de NaCl equivalente (Tabla 1, Apéndice 10). Las temperaturas eutécticas (-50, -56, -61, -63° C) son similares a los eutécticos de los siguientes sistemas acuosos salinos (Borisenko, 1977):

$-H_2O-CaCl_2-ClK$, eutéctico teórico: - 50.5 °C

$-H_2O-NaCl-CaCl_2$, eutéctico teórico:-55 (-52 °C)

Los valores de fusión cercanos a -56,6 °C, indican la presencia de CO_2 , que fue confirmada por microespectroscopía Ramman y también se determinaron anhidrita, hematita y H_2S en las inclusiones tipo III y IV de estas venillas (Tabla 2).

En las figuras 4H y 4I se presentan los histogramas de frecuencias con las temperaturas de homogeneización (°C) y las salinidades expresadas en % en peso de NaCl equivalente para los distintos tipos de inclusiones alojadas en los núcleos de los cristales de cuarzo de las venillas tipo 6a.

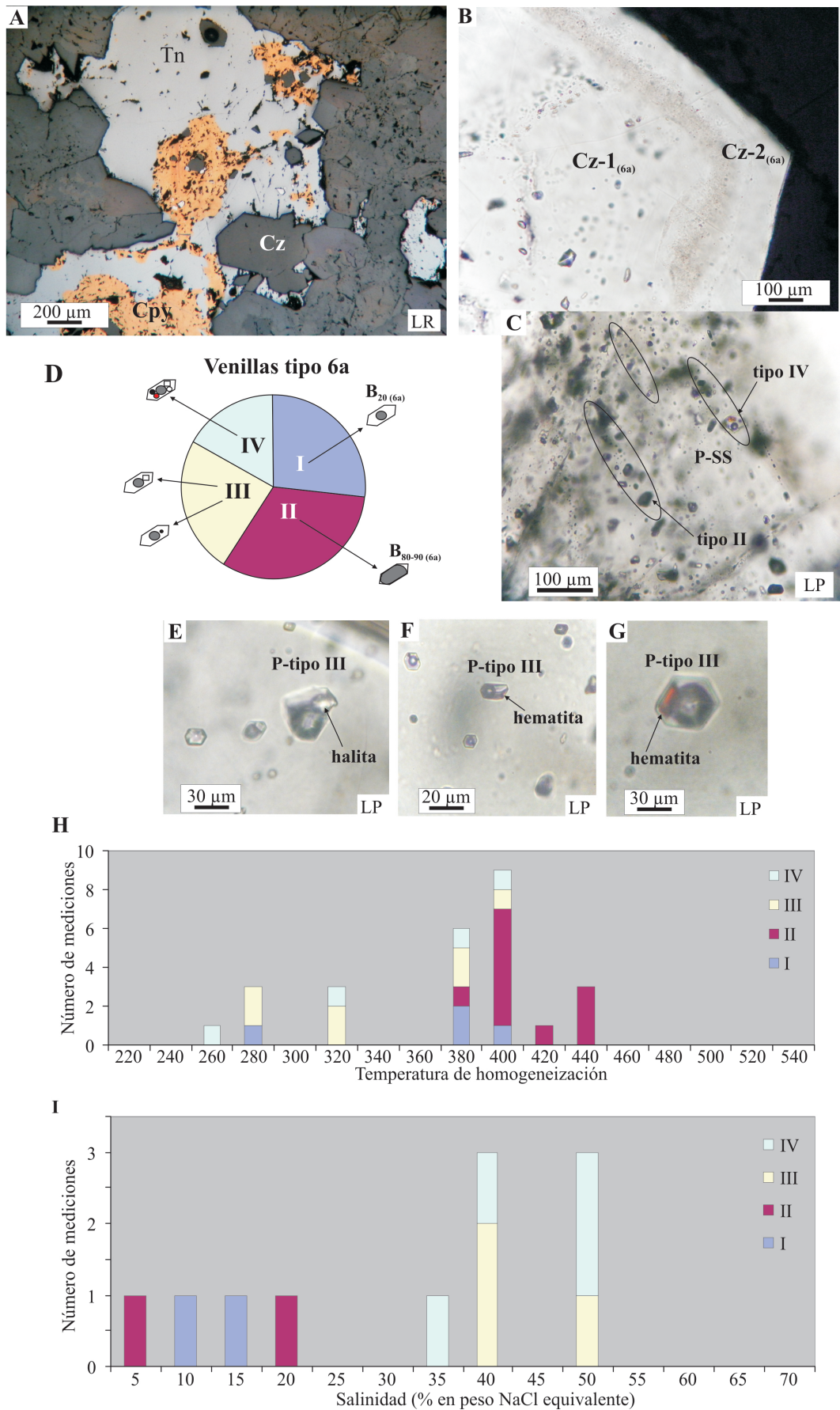


Figura 4. Inclusiones fluidas de las venillas tipo 6a. A) Microfotografía a luz reflejada de venilla 6a con tennantita (Tn), calcopirita (cpy) y cuarzo. B) Fotografía con luz polarizada del núcleo de cuarzo Cz-1 con inclusiones fluidas rodeado del cuarzo Cz-2 límpido y este último en contacto con la tennantita. C) Asociaciones de inclusiones fluidas en las que coexisten inclusiones tipo II y

tipo IV. D) Proporción de los distintos tipos de inclusiones fluidas en las venillas 6a obtenida mediante técnica estadística. Se señalan los subtipos de inclusiones fluidas estudiados. E, F, G) Ejemplos de inclusiones fluidas primarias tipo III en cuarzo. H) Histograma de temperaturas de homogeneización para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 6a. I) Histograma de salinidades expresadas en % en peso de NaCl equivalente para los distintos tipos de inclusiones de las venillas 6a.

4. DISCUSIÓN

La [figura 5](#) presenta la secuencia paragenética y correlación entre las generaciones y texturas de cuarzo observadas por catodoluminescencia, las inclusiones fluidas analizadas y los pulsos de mineralización en las venillas analizadas del pórfido 4.

4.1 Estimación de presiones de entrapamiento

En la [figura 6](#) se presenta una síntesis de las mediciones realizadas. Los datos microtermométricos de las inclusiones ricas en vapor y de las inclusiones multifásicas de salinidad elevada, pueden ser comparados con las superficies de estabilidad de dos fases (“*solvus*”) del sistema NaCl-H₂O (isobaras de [Driesner y Heinrich, 2007](#)) para determinar las presiones de entrapamiento. Las asociaciones de ebullición reflejan la temperatura real de entrapamiento del fluido ([Roedder, 1984](#)) y la presión fue calculada a partir de las temperaturas de homogeneización de las inclusiones ricas en sales tipos III y IV asociadas a las inclusiones tipo II. En las asociaciones de inclusiones fluidas sin evidencia de ebullición, las presiones también se determinaron a partir de las temperaturas de homogeneización pero en este caso representan sólo valores mínimos. A continuación se interpretan los datos microtermométricos obtenidos en las distintas venillas.

4.1.1 Venillas tipo 2a

Los rangos amplios de temperaturas de homogeneización de las inclusiones fluidas de las venillas tempranas 2a (desde 350° C a >550° C en las inclusiones tipo II; desde 350° C a >450° C en las tipo III y IV) indican fluctuaciones en la presión y en la temperatura de los fluidos hidrotermales que las formaron y que precipitaron el cuarzo y los sulfuros del primer pulso de mineralización de Cu-Au.

Algunas inclusiones fluidas de baja salinidad 3-11% NaCl eq.; subtipos B_{20(2a)}, B_{50-70(2a)} y B_{60-70op(2a)} en estas venillas homogeneizaron a temperaturas muy altas (425 a >550 °C) y no se reconocieron inclusiones fluidas salinas (tipos III y IV) con estas temperaturas de homogeneización. Las primeras podrían representar el primer fluido acuoso exsuelto del magma a presiones litostáticas (>450 a >650 bares) y temperaturas (>425 a >550 °C) sobre la

curva del solvus del fluido. Este fluido era químicamente complejo y contenía CO₂, además de otras sales disueltas (H₂O-NaCl-CaCl₂-MgCl₂).

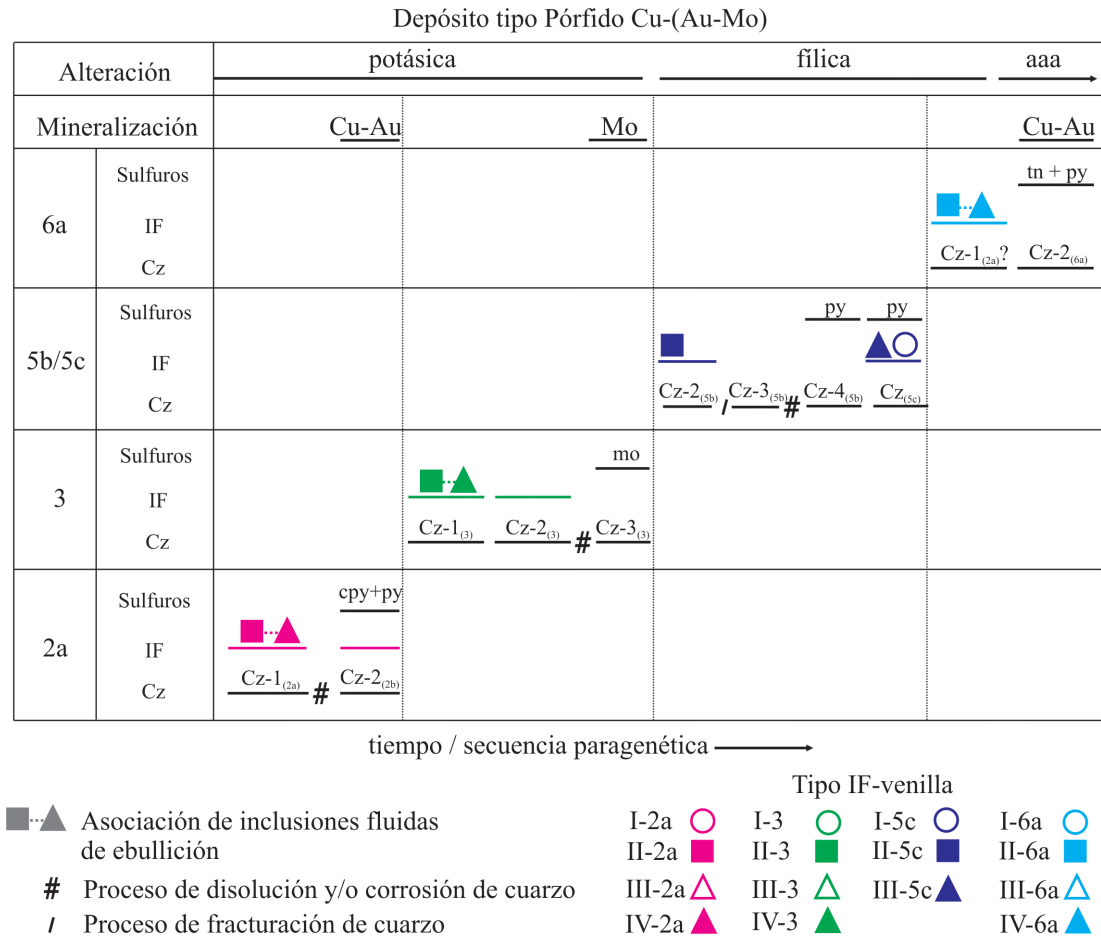


Figura 5. Secuencia paragenética preliminar de las venillas del pórfido 4. Se ubican en el tiempo y correlacionan: las distintas generaciones de cuarzo de cada venilla estudiada, los procesos de fracturas, corrosión/disolución y de precipitación de cuarzo, los tipos de inclusiones fluidas en cada venilla, las asociaciones de inclusiones fluidas que evidencian episodios de separación de fases/ebullición, las alteraciones hidrotermales y los pulsos de mineralización.

Al ascender este fluido magmático de baja salinidad y descender su temperatura y presión, habría experimentado procesos de desmezcla en un fluido salino (“brine”) y en un vapor de baja densidad (Burnham, 1979; Bodnar et al., 1985; Cline y Bodnar, 1991; Bodnar, 1995). El proceso de desmezcla se ha reconocido a partir de la asociación de inclusiones fluidas ricas en vapor (tipo II) e inclusiones de elevada salinidad (tipo III y IV) que homogeneizaron a temperaturas similares. Comúnmente se produce en los estadios iniciales de alteración de los pórfidos de Cu, dando lugar a la alteración potásica (Hedenquist et al., 1998) en condiciones de presión litostática y comportamiento plástico de las rocas debido a las temperaturas mayores de 400°C (Fournier, 1999). En este escenario los fluidos magmáticos hidrotermales tempranos habrían precipitado el cuarzo (Cz-1) en las venillas 2a.

Las asociaciones de inclusiones fluidas tipo II, III y IV hospedadas en el cuarzo de estas venillas, que homogeneizaron a vapor o por disolución de cristal de halita entre los 420° y

450 °C, también indicarían la separación local de vapor y un fluido salino a estas temperaturas, a una presión de entrapamiento de ~300 bares. Otras asociaciones de inclusiones fluidas tipo II y tipo IV que homogeneizaron a fase vapor y a fase líquida a temperaturas similares entre los 350° y 370°C, indicarían otro proceso de desmezcla del fluido a presiones de ~150 bares.

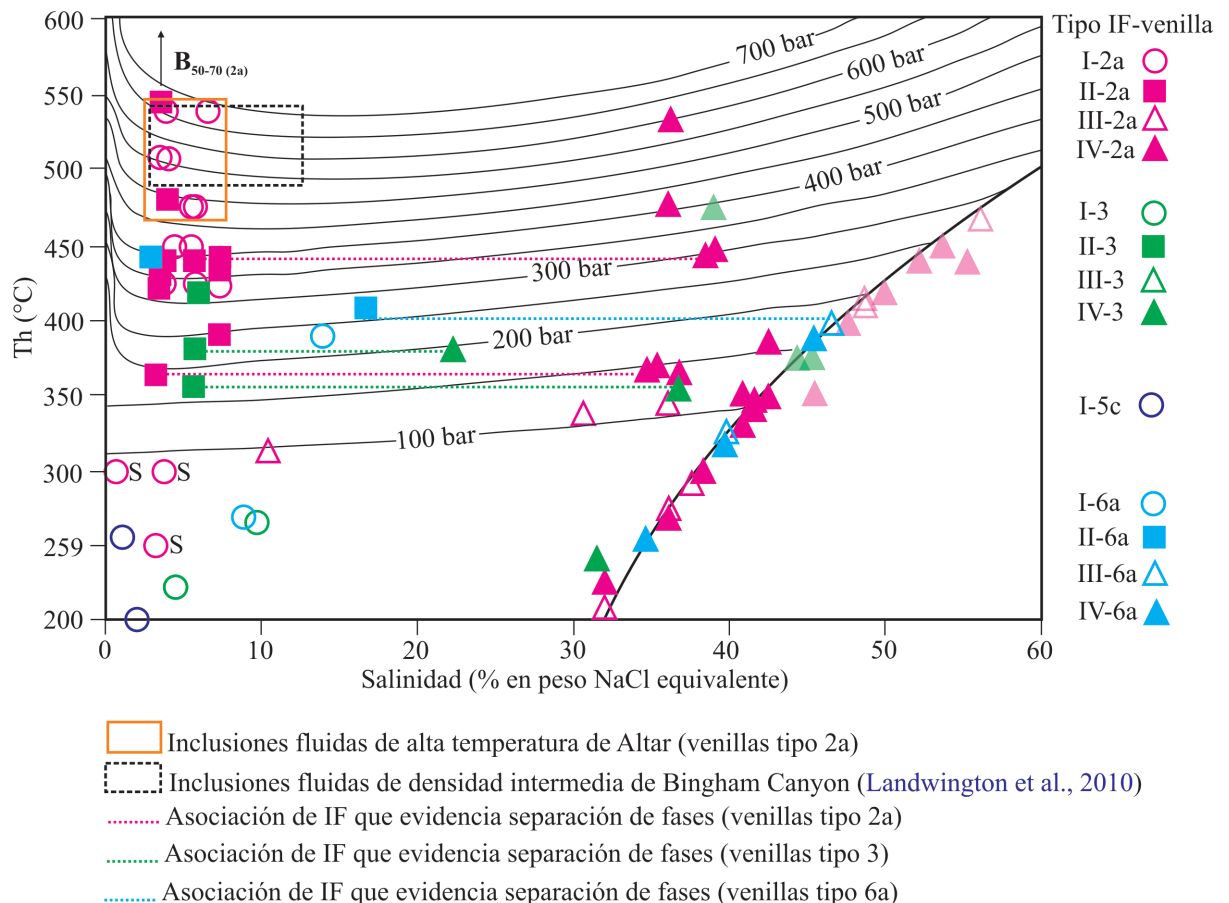


Figura 6. Síntesis de las mediciones realizadas en las inclusiones fluidas de las venillas analizadas. Los datos de temperaturas de homogeneización y de salinidad (% en peso de NaCl equivalente) se comparan con las superficies de estabilidad de dos fases (“solvus”) del sistema NaCl-H₂O (isobaras de Driesner y Heinrich, 2007). Esto permite determinar las presiones de entrapamiento reales para las asociaciones de inclusiones fluidas que evidencian un episodio de separación de fases y las presiones de entrapamiento mínimas para las asociaciones de inclusiones fluidas que no evidencian un proceso de separación de fases.

Un fluido que homogeneiza por disolución del cristal de halita no puede ser entrapado en equilibrio con una fase vapor en el sistema H₂O-NaCl (Roedder y Bodnar, 1980; Bodnar, 1994). Algunas inclusiones fluidas tipo III y IV homogeneizaron por disolución del cristal de halita a temperaturas significativamente mayores a la temperatura de desaparición de la burbuja de vapor y se sugiere que estas inclusiones habrían sufrido modificaciones posteriores al entrapamiento del fluido en la cavidad (ver Eastoe, 1978), es decir que las salinidades y temperaturas obtenidas para estas inclusiones no son representativas de los fluidos hidrotermales que fueron entrapados en ellas. No obstante, algunas inclusiones fluidas

muestran la desaparición simultánea del cristal de halita y de la burbuja de vapor, confirmando condiciones de saturación de halita en el fluido y de desmezcla de fluidos a $\sim 350^\circ$ y a 150 bares de presión.

Los sulfuros depositados durante el primer pulso de mineralización de Cu-Au se asocian al cuarzo de la venilla 2b (Cz-2_(2b)) (Fig. 5) que precipitó en los espacios dejados por la disolución del cuarzo de la venilla 2a (Cz-1_(2a)). La figura 7 muestra los rangos de temperaturas (400 - 350 °C) y las presiones (< 300 bares) en los que se produce la disolución del cuarzo siempre en presencia de fluidos de baja salinidad (ver Fig. 7; Kennedy, 1950 y Fournier, 1983). Estos rangos de presiones y temperaturas son similares a los determinados para las asociaciones de inclusiones fluidas que evidencian desmezcla de fluidos en las venillas 2a. Se sugiere que en este rango de temperaturas y presiones se habría producido la disolución del cuarzo Cz-1_(2a) y en estos espacios precipitó el cuarzo Cz-2_(2b) junto a los sulfuros de Cu-Fe con Au.

En las inclusiones tipo II (bifásicas ricas en vapor) y en las inclusiones tipo IV (multifásicas) se identificaron cristales de calcopirita, lo que indica que ambas fases (líquido y vapor) deben haber actuado como medios eficientes para transportar el Cu.

4.1.2 Venillas tipo 3

En las venillas tipo 3, que se correlacionan con el pulso de mineralización de Mo en el pórfido 4 (Fig. 5), también se reconocieron asociaciones de inclusiones fluidas tipo IV (subtipo B₂₀₋₃₀Sn₍₃₎) y tipo II (subtipo B₈₀₋₉₀₍₃₎) que homogeneizaron a similares temperaturas y que sugieren un proceso de desmezcla del fluido hidrotermal (Tabla 1). Para estas asociaciones se determinaron temperaturas y presiones de entrapamiento absolutas de 350 a 380°C y de 150 a 200 bares (Fig. 6). Estos rangos de temperatura y presión son levemente inferiores a los medidos en las inclusiones fluidas de las venillas 2a. Cabe destacar que la molibdenita precipita en contacto con el cuarzo más tardío de la venilla de menor temperatura de acuerdo a su baja luminescencia en las imágenes CL.

4.1.3 Venillas tipo 5

Las venillas 5 se formaron en equilibrio con la alteración filica y en condiciones hidrostáticas. Las imágenes CL del cuarzo que rellena las venillas 5b muestran texturas de disolución, fracturamiento y varias generaciones de cuarzo debido a las fluctuaciones de la presión entre litostática e hidrostática. Como en el caso de las venillas 2 y 3, los fluidos

debieron evolucionar hacia salinidades menores y temperaturas en el rango de 400 a 350 °C a presiones < 300 bares, para producir la disolución retrógrada del cuarzo.

Los fluidos entrampados en el cuarzo y en la anhidrita de las venillas 5c son diferentes y es factible que estos minerales no hayan precipitado al mismo tiempo. Las inclusiones primarias acuosas, ricas en vapor y salinas en el cuarzo de estas venillas que homogeneizaron entre los 330 y 400° C, indican que la presión ocasionalmente disminuyó por debajo del “*solvus*” permitiendo la desmezcla del fluido. Probablemente este cuarzo corresponda a una venilla reabierta. Anhidrita parece haber precipitado a temperaturas y presiones mínimas de 270 - 200 °C y 100 bares, respectivamente, a partir de fluidos con salinidad baja a moderada (2,8- 11,7% en peso NaCl equivalente).

4.1.4 Venillas tipo 6a

En los núcleos del cuarzo de las venillas tipo 6a, relacionadas al segundo pulso de Cu-Au en el pórfido 4, también se hallaron asociaciones de inclusiones fluidas tipo I, II y IV (Tabla 1), que homogeneizaron a similares temperaturas y que sugieren la desmezcla de los fluidos. Las temperaturas y las presiones de entrampamiento determinadas para estas asociaciones son de 370 - 410 °C y ~170 bares (Fig. 6). Considerando estas temperaturas y presiones y la condición de no equilibrio con tennantita, se considera que estas inclusiones fluidas han sido entrampadas en estadios previos donde el cuarzo constituiría el relleno de venillas tempranas (posiblemente tipo 2a) que sufrieron reapertura. En consecuencia, estos datos no corresponden a los fluidos que precipitaron la tennantita+ pirita + Au y que produjeron la alteración argílica avanzada de sus paredes para formar los halos de dickita/caolinita.

Disolución de cuarzo y precipitación de la mineralización

Las imágenes de catodoluminiscencia muestran que todas las venillas estudiadas tienen una compleja historia de crecimiento, revelada por la existencia de numerosas generaciones de cuarzo (Fig. 5) y texturas que indican reaperturas, disolución, corrosión y microfracturamiento (ver Rusk y Reed, 2002). En las venillas tipo 2a y 3, el cuarzo que precipita en los espacios dejados por disolución del cuarzo previo es el que está en contacto con los sulfuros. Esto indica que el descenso de la presión y de la temperatura de los fluidos promovió la precipitación de la mineralización.

Las texturas de disolución y corrosión del cuarzo de las venillas analizadas indican que en el sistema hidrotermal dominaban los fluidos en fase vapor por sobre los fluidos salinos (ver Landwington et al., 2010). Experiencias recientes han demostrado que los enlaces

volátiles de S (H_2S y SO_2) en la fase vapor pueden actuar como agentes portadores del Cu y del Au (e.j. Nagaseki y Hayashi, 2008). El H_2S reconocido en algunas inclusiones fluidas de Altar por microespectrometría Ramman (Tabla 2) podría haber actuado como un complejo portador de Au (ver Gammons y Williams-Jones, 1997; Stefánsson y Seward, 2004). La descompresión y expansión del vapor, por fluctuaciones de presión como los reconocidos en las venillas de Altar, causan la rápida disminución de la solubilidad de los metales transportados por el vapor (ver William-Jones et al., 2002), lo que estaría relacionado a la precipitación del pulso Cu- Au de las venillas 2a. En los procesos de desmezcla, el Mo posiblemente tiende a ser transportado por el líquido salino (ver Heinrich, 1999; William-Jones y Heinrich, 2005) y esto explicaría la distinta distribución espacial entre las más altas leyes de Cu-Au y las más altas leyes de Mo en el sistema Altar.

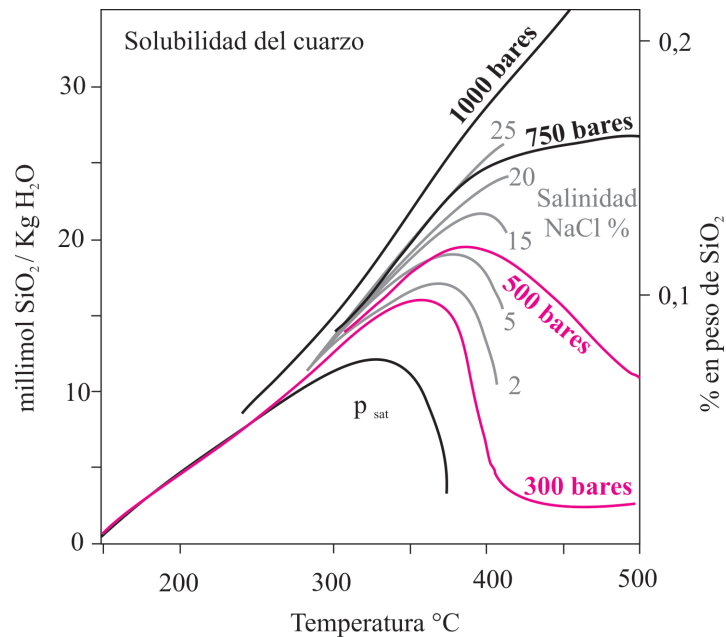


Figura 7. Solubilidad del cuarzo en función de la presión, la temperatura y la salinidad del fluido (según datos de Kennedy, 1950 y de Fournier, 1983).

5. CONCLUSIONES

El análisis de las inclusiones fluidas de las venillas mineralizadas del pórfido 4, apoyado por imágenes de catodoluminiscencia de las texturas de cuarzo, ha permitido obtener información preliminar sobre las características de los fluidos hidrotermales del sistema Altar. Todas las venillas analizadas muestran una compleja historia de crecimiento, revelada por la existencia de numerosas generaciones de cuarzo y texturas que indican reaperturas, disolución, corrosión, microfracturamiento, precipitación de minerales y de venillas más nuevas en las antiguas. Esta compleja historia de los fluidos magmáticos cuyas T y P fluctuaron entre un sistema cerrado y abierto, quedaron registradas en las IF alojadas en los minerales de las venillas, en especial en el cuarzo. En un sistema de esta naturaleza, es difícil

obtener datos representativos de las composiciones y temperaturas a las cuales los fluidos fueron entrampados originalmente, sin que se hayan modificado con posterioridad.

Los datos de inclusiones fluidas sugieren la existencia de un primer fluido acuoso exsuelto del magma a presiones litostáticas (> 450 - 650 bares) y temperaturas (>425 a >550 °C), portador de CO₂ y sales disueltas (NaCl-CaCl₂-MgCl₂).

Al ascender este fluido magmático y descender su temperatura y presión se habría producido un proceso de desmezcla en un fluido salino (“*brine*”) y en un vapor de baja densidad entre los 420 a 450 °C y ~300 bares. En condiciones de presión hidrostática, estos parámetros se corresponden con una profundidad de 3 km, a la que se habrían formado las venillas 2a. Hay evidencias de otro episodio de desmezcla a los 350 y 370°C y ~150 bares, consistente con la historia compleja de crecimiento de estas venillas.

En el rango de temperatura entre 400 y 350 °C y a una presión <300 bares de los fluidos, que corresponde al campo de disolución retrógrada del cuarzo Cz-1 (2a), precipitó el cuarzo Cz-2 (2b) junto a los sulfuros de Cu-Fe con Au del primer pulso de mineralización Cu-Au.

Las inclusiones fluidas del cuarzo Cz-1 de las venillas tipo 3 reflejan un episodio de desmezcla de fluidos entre 350 y 380°C y 150 a 200 bares en condiciones hidrostáticas levemente inferiores a las de las venillas 2a. La molibdenita precipita junto a un cuarzo de menor temperatura, en las cavidades de disolución del cuarzo previo.

Los procesos de disolución retrógrada del cuarzo y la precipitación de nuevas generaciones de este mineral, obedecen a la disminución de la presión y de la temperatura de los fluidos y están directamente relacionados a la precipitación de sulfuros en las venillas tipo 2a y 3, y también se reconocen en las venillas 5b.

Las inclusiones fluidas en anhidrita de las venillas 5c reflejan temperaturas y presiones mínimas de 270 - 200 °C y 100 bares, respectivamente. Este mineral debe haber precipitado a partir de fluidos con salinidad baja a moderada (2,8- 11,7% en peso NaCl equivalente).

REFERENCIAS

- Bodnar, R.J., Burnham, C.W., y Sterner, S.M., 1985. Synthetic fluid inclusions in natural quartz. III. Determination of phase equilibrium properties in the system H₂O-NaCl to 1000°C and 1500 bars: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 1861–1873.
- Bodnar, J.R., y Vityk, M.O., 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions, in De Vivo, B., and Frezzotti, M.L., eds., *Fluid Inclusions in minerals: Methods and applications*: Blacksburg, VA, Virginia Technical Institute, 117–130.

- Bodnar R.J., 1994. Synthetic fluid inclusions: XII. The system H₂O– NaCl. Experimental determination of the halite liquidus and isochores for 40 wt.% NaCl solution. *Geochim Cosmochim Acta*, 58, 1053–1063.
- Borisenko A. S., 1977. Study of the salt composition of solutions in gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. *Soviet Geology and Geophysics*, 18, 11-19.
- Brown y Lamb, 1986, 1987, 1989. Fórmulas utilizadas en el programa FLINCOR.
- Burnham, C.W., 1979. Magmas and hydrothermal fluids, in Barnes, H.L.,ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed.: New York, Wiley and Sons, 71–136.
- Cline, J.S., y Bodnar, R.J., 1991. Can economic porphyry copper mineralization be generated by a typical calc-alkaline melt?: *Journal of Geophysical Research*, 96, 8113–8126.
- Driesner, T., y Heinrich, C.A., 2007. The system H₂O-NaCl. Part I: Correlation formulae for phase relations in temperature-pressure-composition space from 0° to 1000°C, 0 to 5000 bars, and 0 to 1 X-NaCl: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 4880–4901.
- Eastoe, C.J., 1978. Fluid inclusion study of the Panguna porphyry copper deposit. Bougainville, Papua-New-Guinea: *Economic Geology*, v. 73, p. 721–748.
- Fournier, R.O., 1983. A method of calculating quartz solubilities in aqueous sodium-chloride solutions: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 579–586.
- 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.
- Gammons, C.H., y Williams-Jones, A.E., 1997. Chemical mobility of gold in the porphyry-epithermal environment: *Economic Geology*, 92, 45–59.
- Goldstein y Reynolds, 1994. Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals, SEPM Short Course 31. Society of Sedimentary Geology.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A., y Reynolds, T.J., 1998. Evolution of an intrusion centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines: *Economic Geology*, 93, 373–404.
- Heinrich, C.A., Günther, D., Audétat, A., Ulrich, T., y Frischknecht, R., 1999. Metal fractionation between magmatic brine and vapor, determined by microanalysis of fluid inclusions: *Geology*, 27, 755–758.
- Kennedy, G.C., 1950. A portion of the system silica-water: *Economic Geology*, v. 45, p. 629–653.
- Landtwing, M., Furrer, C., Redmond, P., Pettke, T., Guillong, M. y Heinrich, C., 2010. The Bingham Canyon Porphyry Cu-Mo-Au Deposit. III. Zoned Copper-Gold Ore Deposition by Magmatic Vapor Expansion. *Economic Geology*, 105, 91–118.

- Nagaseki, H., y Hayashi, K.I., 2008. Experimental study of the behavior of copper and zinc in a boiling hydrothermal system: *Geology*, 36, 27–30.
- Nash J.T., 1976. Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and application to exploration. U. S. Geology Survey Prof. paper 907-D.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions: *Reviews in Mineralogy*, v. 12, 644 p.
- Roedder E, Bodnar R.J., 1980. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 8, 263–301
- Rusk, B.G. y Reed, M.H., 2002. Scanning electron microscope-cathodoluminescence analysis of quartz reveals complex growth histories in veins from the Butte porphyry copper deposit, Montana. *Geology*, 30, 727-730.
- Rusk, B. G., Lowers, H.A., Reed, M.H., 2008. Trace elements in hydrothermal quartz: Relationships to cathodoluminescent textures and insights into vein formation. *Geology*, 36; 547-550.
- Shepherd T, J., Rankin A. H y Alderton D. H. M, 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie and Son, New York.
- Stefánsson, A., y Seward, T.M., 2004. Gold complexing in aqueous sulphide solutions to 500°C at 500 bar: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 68, p. 4121–4.
- Williams-Jones, A.E., Migdisov, A.A., Archibald, S.M., y Xiao, Z.F., 2002. Vapor-transport of ore metals: *Geochemical Society Special Publication 7*, p. 279–305.
- Williams-Jones, A.E., y Heinrich, C.A., 2005. Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits: *Economic Geology*, 100, 1287–1312.

Tabla 1. Resumen de las características de las IF de las venillas del pórfido 4

Tipo de venilla	Origen	Tipo IF	Subtipo	fases sólidas	Salinidades % Cl/Na eq.	Th (° C)	Modo	Ebullición	Presión (bars)
2a	P	I	B ₂₀ (2a)	ninguna	3,52 - 7,31	425 - 540	L		500-700 (mín)
2a	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	ninguna	3,5 - 7,3	420 - 480	V	X	150-350 (real)
2a	P	II	B ₅₀₋₇₀ (2a)	ninguna	3,9 - 6,5	>550			500-650 (mín)
2a	P	III	B _{10-30H} (2a)	halita	30,5 - 48,5	340 - 410	L - dis de hal.	X	
2a	P	III	B _{70-80OP} (2a)	opaco - anhidrita	n.a	390 - 450	V		
2a	P	III	B _{60-70OP} (2a)	opaco	n.a	>550			
2a	P	IV	B _{5-40Sn} (2a)	halita, anhidrita, hematita, calcopirita, silvita	32 - 70	300 - 550	L - dis de hal.	X	300 (real), 150 (real)
2a	S	I	B ₁₀ (2a)	ninguna	0,66 - 3,7	250 - 300	L		
3	P	I	(B ₂₀) (3)	ninguna	4,3 - 9,5	220 - 264	L		<100 (mín)
3	P	II	(B ₈₀₋₉₀) (3)	ninguna	6,2 - 6,3	380 - 450	V	X	150-200 (real)
3	P	III	B _{20-40s} (3)	anhidrita, halita	n.a	380	L	X	
3	P	IV	B _{20-30Sn} (3)	halita, anhidrita, hematita, silvita, calcopirita	22 - 45	370 - 473	L - dis de hal.	X	150-200 (real)
5c	P	I	B _{10-20(5c)}	ninguna	3,2 - 11,7	200 - 260	L		< 100 bares (mín)
5c	P	II	B _{80-90(5c)}	ninguna	2,8	385 - 388	V		
5c	P	III	B _{10-20S(5c)}	halita, opaco indiferenciado	n.a	230 - 400	L		
6a	P	I	B _{20(6a)}	ninguna	9,1 - 13,9	360 - 390	L		
6a	P	II	B _{80-90(6a)}	ninguna	3,2	380 - 440	V	X	250 bares (real)
6a	P	III		halita, hematita, opaco	39,8 - 46,4	270 - 395	L - dis de hal.	X	250 bares (real)
6a	P	IV		halita, silvita, anhidrita, opacos	34 - 45	250 - 386	dis de hal.	X	

Notas: dis de hal: disolución del cristal de halita; L: fase líquida; V: fase vapor; P: primaria; S: secundaria; n.a: no analizado; Th: temperatura de homogeneización. (mín): presión mínima de entrapamiento; (real): presión real de entrapamiento.

Tabla 2. Resumen de los resultados de los análisis de IF con el microespectroscopio Raman

Muestra	N° Venilla	Tipo de IF	Subtipo de IF	CO2	anhidrita	HS	N	hematita
A-43-730	1	2a	I	B ₂₀ (2a)	X	...	...	...
A-43-730	2	2a	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	X	...	...	...
A-55-635	3	3	II	(B ₈₀₋₉₀)(3)	...	...	...	...
A-55-635	4	3	IV	B _{20-30Sn} (3)	...	...	...	...
A-53-111	5	6a	III	...	X	...	...	X
A-53-111	6	6a	IV	...	X	...	...	...

Apéndice 1. Microtermometría de Inclusiones Fluidas - Venillas tipo 2a - Inclusiones Tipo I

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	Congelamiento			Calentamiento			Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
								Te	Tm	Th CO ₂	ThL (°C)	Tm clarato	Salinidad % eq. NaCl		
1	A-43-730	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	regular	10µ	-62	-2,3	25	425	8,0	3,89	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
2	A-43-730	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,9-0,1	ovoide	10µ	-60,4	-2,2	22	540	8,0	3,90	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
3	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	regular	10µ	-55	1	24	425	7,0	5,68	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
4	A-43-730	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	ovoide	20µ	-51	-2,3	24	509	8,2	3,52	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
5	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	regular	10µ	-63	-28	22,3	450	7,7	4,43	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
6	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	ovoide	10µ	-63	-30	25,9	475,5	7,2	5,33	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
7	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,9-0,1	regular	10µ	-54	-30	26	425	6,0	7,37	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
8	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	ovoide	10µ	-63	-30	24	540	6,5	6,54	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
9	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,9-0,1	irregular	10µ	-48	-30	24	425	8,0	3,89	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
10	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,9-0,1	regular	10µ	-60	-28	24	509	8,0	3,89	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
11	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,7-0,3	regular	10µ	-56	-25	24,5	450	7,1	5,5	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
12	A-46-261	P	I	B ₂₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	regular	10µ	-53	-26	22,3	475,5	8,2	5,52	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
13	A-57-672	S	I	B ₁₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	ovoide	10 µ		-2		250		3,2	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
14	A-57-672	S	I	B ₁₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	ovoide	5 µ		-0,4		300		0,66	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
15	A-57-672	S	I	B ₁₀ (2a)	L+V 0,8-0,2	ovoide alargada	<10 µ		-2,3		300		3,7	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)

Abreviaturas: L, líquido; V, vapor; ha: halita; o: opaco; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apéndice 2. Microtermometría de Inclusiones Fluidas -Venillas tipo 2a - Inclusiones Tipo II

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	Th CO ₂	ThV (°C)	Tm clatrato	Calentamiento Salinidad % eq. NaCl	Sistema	Fórmula calculo de salinidad
1	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	ovoide	20µ	23,5	430	6,0	7,37	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
2	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,6-0,4	regular	10µ	22,3	440	8,0	3,89	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
3	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	ovoide	10µ	23,5	420	8,2	3,52	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
4	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	ovoide	10µ	25	440	7,0	5,68	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
5	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	ovoide	10µ	22,3	427	8,2	3,52	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
6	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	ovoide	20µ	25,9	440	6,0	7,3	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
7	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	ovoide	10µ	20	480	8,0	3,89	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
8	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,5-0,5	ovoide	10µ		505				
9	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,7-0,3	regular	20µ		198				
10	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	regular	10µ		400				
11	a-43-730	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	regular	10µ		505				
12	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	regular	20 µ		310				
13	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	crystal negativo	20 µ		306				
14	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	crystal negativo	20 µ		310				
15	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	crystal negativo	10 µ		400				
16	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,95-0,05	crystal negativo	20 µ		401,2				
17	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	regular	20 µ		422				
18	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	regular	20 µ	22	355	8,0	3,89	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
19	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	regular	15 µ		376				
20	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,7-0,3	crystal negativo	10 µ		546				
21	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	regular	10 µ		500				
22	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	crystal negativo	10 µ		360,2				
23	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,7-0,3	regular	60 µ		499				
24	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	rectangular	10 µ		380				
25	A-57-672	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,9-0,1	regular facetada	20 µ		373				
26	A-57-673	P	II	B ₈₀₋₉₀ (2a)	V+L 0,8-0,2	regular facetada	20 µ		455				
27	A-57-672	P	II	B ₅₀₋₇₀ (2a)	V+L 0,5-0,5	regular facetada	10 µ	22	>550	8,0	3,90	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
28	A-57-672	P	II	B ₅₀₋₇₀ (2a)	V+L 0,7-0,3	regular	10 µ	22	>550	8,2	3,52	H ₂ O-CO ₂ -NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
29	A-57-672	P	II	B ₅₀₋₇₀ (2a)	V+L 0,6-0,4	regular	20 µ		>550				
30	A-57-672	P	II	B ₅₀₋₇₀ (2a)	V+L 0,5-0,5	crystal negativo	10 µ		>550				
31	A-57-672	P	II	B ₅₀₋₇₀ (2a)	V+L 0,5-0,5	crystal negativo	10 µ		>550				

Abreviaturas: L, líquido; V, vapor; ha: halita; o: opaco; sm: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apéndice 3. Microtermometría de Inclusiones Fluidas - Venillas tipo 2a - Inclusiones Tipo III

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	fases hijas	Congelamiento			Calentamiento			Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
									Te	Tm	ThV (°C)	ThL (°C)	Tdesa p bur. (°C)	2° TmS ha (°C)			Salinidad % eq. NaCl
1	a-43-730	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+ha 0,7-0,3	ovoide	10µ	halita	-56	-4,6		260	410	48,5	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1994
2	a-43-730	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+ha 0,85-0,1-0,05	irregular	20µ	halita	-55	-2,2		250	289	37,4	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1994
3	a-43-730	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+ha 0,85-0,1-0,05	regular	20µ	halita				200	412	48,5	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1995
4	a-43-730	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+ha+V 0,85-0,1-0,05	ovoide	10µ	halita				190	410	48,5	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
5	a-43-730	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+ha+V 0,85-0,1-0,05	ovoide	10µ	halita			405					
6	a-43-730	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+ha+V 0,5-0,3-0,2	regular	10µ	halita								
7	A-57-672	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	V+L+Ha 0,5-0,4-0,1	regular	10µ	halita				205,9		31,9	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1994
8	A-57-672	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	V+L+Ha 0,5-0,3-0,1	regular facetada	10µ	halita				275		36	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1995
9	A-57-672	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+Ha 0,5-0,4-0,1	regular	10µ	halita				345		36	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
10	A-57-672	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+Ha 0,6-0,35-0,05	regular	20µ	halita						55,8	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1995
11	A-57-672	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+Ha 0,6-0,3-0,1	crystal negativo	20µ	halita			(-)	339		170	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
12	a-46-261	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+s 0,85-0,1-0,05	regular	10µ	halita			-55					
13	a-46-261	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+s 0,85-0,1-0,05	ovoide	10µ	halita			-44					
14	a-46-261	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+s 0,85-0,1-0,05	regular	10µ	halita			-49					
15	a-46-261	P	III	B ₁₀₋₃₀ H ^(2a)	L+V+s 0,7-0,3	ovoide	10µ	halita			-6					
10	a-43-730	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	L+V+s 0,7-0,3-tr	regular	10µ	anhidrita			420					
11	a-43-730	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	L+V+s 0,7-0,3-tr	regular	10µ	anhidrita			415					
12	a-43-730	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	L+V+s 0,8-0,2-tr	regular	10µ	anhidrita			410					
14	a-43-730	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,9-0,1-tr	ovoide	10µ	opaco			390					
15	A-57-672	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,8-0,2-tr	crystal negativo	20µ	opaco indif			400					
16	a-43-730	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,8-0,2-tr	ovoide	20µ	opaco			450					
28	A-57-672	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,8-0,2	regular	10µ	opaco indif			455					
29	A-57-672	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,8-0,2-tr.	regular	20µ	opaco indif			404					
23	A-57-672	P	III	B ₇₀₋₈₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,7-0,3	regular facetada	10µ	opaco indif			401					
22	A-57-672	P	III	B ₆₀₋₇₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,6-0,4	regular	10µ	opaco indif			>550					
24	A-57-672	P	III	B ₆₀₋₇₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,6-0,4-tr	regular	10µ	opaco indif			>550					
25	A-57-672	P	III	B ₆₀₋₇₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,6-0,4	regular	20µ	opaco indif			>550					
26	A-57-672	P	III	B ₆₀₋₇₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,6-0,4	regular facetada	20µ	opaco indif			>550					
27	A-57-672	P	III	B ₆₀₋₇₀ OP ^(2a)	V+L+o 0,6-0,4	crystal negativo	20µ	opaco indif			>550					

Abreviaturas: L, líquido; V, vapor; ha, halita; o, opaco; s, fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P, primarias; S, secundarias

Apéndice 4. Microtermometría de Inclusiones Fluidas - Venillas tipo 2a - Inclusiones Tipo IV

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	fases hijas	Forma	tamaño	Congelamiento			Calentamiento			Sistema	Fórmula calculo de salinidad
									Te	Tm	THV (°C)	THL (°C)	1° Tm (°C)	2° TmS (°C)			Salinidad % eq. NaCl
1	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+ha+V	0,85-0,1-0,05	halita-hematita	ovoides	20µ	-57	31	250	330	330	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
2	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Sn	0,6-0,2-0,2	5 transparentes-1 opaco	regular	10µ	-62	19,8	350	334	350	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1998
3	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Sn	0,85-0,1-0,05	halita, sil, 3 transparentes-opaco	regular	10µ	-61	-28	322	270	380	H ₂ O-NaCl-KCl	Roedder 1984
4	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Sn	0,7-0,2-0,1	halita-hematita-opaco	regular	10µ	-63	-21	320	340	380	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997
5	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Sn	0,6-0,3-0,1	3 opacos-transparente	irregular	20µ	-63	-21	320	340	350	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1998
6	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Sn	0,7-0,2-(0,1)	halita-transparente-3 opacos	irregular	10µ	-63	-21	325	380	380	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997
7	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+ha+o	0,6-0,2-(0,2)	halita, hematita, transp bajo rel.	regular	20µ	-63	-21	385	350	350	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1998
8	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+ha+o	0,8-0,1-0,1	halita-opaco	regular	10µ	-63	-21	331	348	348	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1999
9	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+ha+o	0,85-0,1-0,05	halita-opaco	regular	20µ	-63	-21	364	340	280	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1998
10	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+ha+hem	0,6-0,2-(0,2)	halita-hematita	regular	10µ	-63	-21	250	340	340	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1999
11	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Sn	0,8-0,1-0,1	halita-transp-hem	regular	20µ	-63	-21	255	280	340	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1999
12	A-43-730	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Sn	0,5-0,3-(0,2)	transparente- 2 opacos	regular	10µ	-63	-21	370	260	260	H ₂ O-NaCl-KCl	Roedder 1984
13	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	V+L+Ha+Sil	0,9-0,1	halita-silvita	regular	20 µ	-63	-21	392	376	376	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1995
14	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	V+L+Ha+Sil	0,9-0,1	halita-silvita	regular	20 µ	-63	-21	340	340	340	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997
15	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Ha+o	0,5-0,3-0,1-0,1	halita-opaco indif	regular	10 µ	-63	-21	339	200	200	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997
16	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Ha+o	0,5-0,3-0,2	halita-opaco indif	regular	20 µ	-63	-21	225	31,9	31,9	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997
17	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+Ha+o	0,4-0,3-0,2-0,1	halita-opaco	regular	20 µ	-63	-21	360	345	345	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
19	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+2o	0,6-0,4	opacos indif	rectangular	10 µ	-63	-21	330	271	271	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997
20	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	L+V+o	0,6-0,4	opaco indif	ovoides	20 µ	-63	-21	346	41,5	41,5	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
21	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	Ha+L+V+o	0,4-0,3-0,3-tr.	halita-opaco indif	regular	10 µ	-63	-21	242	36	36	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997
22	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	Ha+L+V+Sil	0,4-0,3-0,25-0,05	halita-opaco indif	regular	10 µ	-63	-21	330	250	250	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
23	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	Ha+L+V+o	0,4-0,3-0,2-0,1	halita-opaco indif	regular	10 µ	-63	-21	368	34,7	34,7	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
24	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	Ha+L+V+Sil	0,4-0,3-0,2-0,1	halita-silvita	regular	20 µ	-63	-21	310,5			H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996
25	A-57-672	P	IV	B ₅₋₄₀ sn (2a)	Sn+V+L	0,4-0,3-0,3	halita-silvita-opaco indif	regular	10 µ	-63	-21				H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996

Abreviaturas: L, líquido; V, vapor; ha, halita; hem, hematita; o, opaco; sil, silvita; s, fase sólida; sn, múltiples fases sólidas; P, primarias; S, secundarias

Continuación Apéndice 4. Microtermometría de Inclusiones Flúidas - Venillas tipo 2a - Inclusiones Tipo IV

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	fases lijas	Forma	tamaño	Congelamiento			Calentamiento			Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
									Tc	Tm	ThL (°C)	Tdesap bur.	1° Tm (°C)	2° Tm (°C)			Salinidad % eq. NaCl
26	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+ha+V	0,85-0,1-0,05	halita-transp	regular	10µ		160	418	418	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1995	
27	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+Sn+V	0,85-0,1-0,05	halita-silvita	regular	20µ		340	430	430	H ₂ O-NaCl-KCl	Roedder 1984	
28	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+ha+V+sn	0,5-0,3-0,2	halita-hematita-opaco	regular	10µ		315	398	398	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	
29	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+ha+V+sn	0,5-0,3-0,2	halita-hematita-2 opacos	regular	10µ		315	397	397	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
30	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,8-0,1-(0,1)	halita-transparente-opaco	irregular	10µ		365	418	418	H ₂ O-NaCl-KCl	Roedder 1984	
31	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,6-0,2-0,2	2 transparentes	regular	20µ		360	418	418	H ₂ O-NaCl-KCl	Roedder 1985	
32	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+ha+hem	0,7-0,2-(0,1)	halita-hematita	regular	10µ		410	418	418	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
33	A-57-672	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	Sn+V+L	0,4-0,3-0,4	halita-silvita-2 opacos indif	regular	20µ		410	410	410	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
34	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,6-0,2-0,2	7 transparentes	ovoide	10µ	-59	30,9	450	450	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
35	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+ha+V+sn	0,5-0,3-0,2	halita-silvita-hematita	regular	10µ		365	454	454	H ₂ O-NaCl-KCl	Roedder 1984	
36	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,7-0,2-0,1	anhidrita-opaco	regular	10µ	-64	-25	430	450	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
37	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+ha+o+hem	0,7-0,2-(0,1)	halita-hematita-opaco	regular	10µ	-60	-19	430	450	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1999	
38	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,5-0,4-(0,1)	halita-3 transparentes	irregular	10µ	-56	-0,8	430	450	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1999	
39	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,7-0,3-tr	2 transparentes-opaco	regular	20µ		480	480	480	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
40	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,7-0,3-tr	2 transparentes-2 opacos	regular	20µ		480	480	480	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
41	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,5-0,3-(0,2)	hematita-anhidrita-2 opacos	regular	10µ		362	300	300	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1997	
42	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,6-0,2-(0,2)	halita-opacos	regular	10µ		453	440	440	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1998	
43	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,5-0,3-0,2	4 transparentes	regular	10µ		435	440	440	H ₂ O-NaCl-KCl	Roedder 1984	
44	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,8-0,1-0,1	halita-hematita-opaco	irregular	10µ		453	260	260	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	
45	A-43-730	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+ha+V+sn	0,5-0,2-0,05	halita-hematita-opaco	regular	10µ		435	260	260	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	
46	A-46-261	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Sn	0,75-0,2-0,05	3 transparentes	irregular	10µ	-61		435	435	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	
47	A-57-672	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	V+L+o+Ha	0,5-0,4-0,1	opaco indif-halita	regular	10µ	(-4)		540	275	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	
48	A-57-672	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+Ha+o	0,4-0,3-0,3-tr,	halita-opaco indif	regular	20µ		474	270	270	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	
49	A-57-672	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+2o+Ha	0,4-0,3-0,2-0,1	halita-calcopirita-opaco indif	regular	80µ	(-5)		310	310	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	
50	A-57-672	P	IV	B ₂₋₄₆ sn (2a)	L+V+o	0,6-0,4-tr,	opaco indif	ovoide	20µ		500	500	500	H ₂ O-NaCl	Bodnard and Vityk 1996	

Abreviaturas: L, líquido; V, vapor; ha: halita; hem: hematita; o: opaco; sil: silvita; s: fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apéndice 5. Microtermometría de Inclusiones Fluidas - Venillas tipo 3 - Inclusiones Tipo I y II

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	Congelamiento				Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
								Te	Tm	ThV (°C)	ThL (°C)			Salinidad % eq. NaCl
3	A-55-635	P	I	B ₂₀ (3)	L+V 0,8-0,2	irregular	10µ	-48	-6,3	406	264	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
4	A-55-635	P	I	B ₂₀ (3)	L+V 0,8-0,2	regular	10µ	-62	-2,7	406	220	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
5	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,8-0,2	regular	10µ			424		H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
6	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,8-0,2	regular	10µ		4	423		H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
7	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,8-0,2	regular	10µ		3,8	433		H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
8	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			434			
9	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			435			
10	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			441			
11	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			391			
12	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			449			
13	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			359			
14	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,7-0,3	regular	10µ			381			
15	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			412			
16	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			418			
17	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,9-0,1	regular	10µ			420			
18	A-57-551	P	II	B ₈₀₋₉₀ (3)	V+L 0,6-0,4	regular	10µ						

Abreviaturas: anh: anhidrita; epy: calcopirita; L, líquido; V, vapor; ha: halita; hem: hematita; o: opaco; sil: silvita; s: fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apéndice 6. Microtermometría de Inclusiones Fluidas – Venillas tipo 3 – Inclusiones Tipo III y IV

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	fases hijas	Congelamiento				Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
									Te	Tm	ThL (°C)	2° Tms ha (°C)			Salinidad % eq. NaCl
20	A-55-635	P	III	B _{20-40s} (s)	L+V+s	0,6-0,4-tr	regular	20µ	anhidrita	-46	380	380	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
21	A-55-635	P	III	B _{20-40s} (s)	L+V+ha	0,6-0,2-0,2	regular	10µ	halita	-62				
22	A-55-635	P	III	B _{20-40s} (s)	L+V+ha	0,6-0,2-0,2	regular	10µ	halita	-55				
23	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+o	0,6-0,3-0,1	rectangular	10µ	opaco	264				
24	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+o	0,6-0,3-0,1	rectangular	10µ	opaco	406				
25	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+(ha+anh)	0,55-0,35-0,1	regular	20µ	halita-anhidrita	473	313	313	H ₂ O-NaCl	Bodhard and Vityk 1994
26	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+(ha+hem)	0,5-0,3,0,2	regular	20µ	hematita-halita	237	190	190	H ₂ O-NaCl	Bodhard and Vityk 1995
27	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+(ha+sn)	0,5-0,3,0,2	irregular	20µ	halita-sulfato?-otra fase sol?	-63				
28	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+Sn+V	0,4-0,3-0,2	ovoide	10µ	halita-hematita-anhidrita-opacos		300			
29	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+Sn+V	0,4-0,3-0,2	regular	10µ	halita-silvita-calcopirita	353	286	286	H ₂ O-NaCl	Bodhard and Vityk 1994
30	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+Ha+V+o	0,4-0,3-0,2-0,1	regular	10µ	halita-opaco	292	?	?		
31	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+Ha+V+cpy+s	0,5-0,3-0,2-0,1	regular	20µ	halita-epy-transp-opaco	243	380	380	H ₂ O-NaCl	Bodhard and Vityk 1994
32	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+Ha+V+o	0,5-0,3-0,2	regular	10µ	halita-epy-transp-opaco	269	370	370	H ₂ O-NaCl	Bodhard and Vityk 1995
33	A-57-551	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	Ha+L+V+s	0,5-0,3-0,2	regular	20µ	halita-otro transp	264				
34	A-55-635	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+sn	0,6-0,3-0,1	irregular	10µ	transparentes	-50	19,9	380	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
35	A-55-635	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+o	0,8-0,2-tr	regular	10µ	opacos	-48	20	380	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
36	A-55-635	P	IV	B _{20-30s} SH ₃	L+V+sn	0,8-0,2-tr	irregular	10µ	transparentes	-62	19	380	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)

Abreviaturas: anh: anhidrita; cpy: calcopirita; L, líquido; V, vapor; ha: halita; hem: hematita; o: opaco; sil: silvita; s: fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apéndice 7. Microtermometría de Inclusiones Fluidas - Venillas tipo 5c - Inclusiones Tipo I

N°	Muestra	Origen	Mineral	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	Congelamiento			Calentamiento			Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
									Te	Tm	ThV (°C)	ThL (°C)	1° Tm (°C)	2° Tm (°C)			Salinidad % eq. NaCl
1	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,5-0,5	regular	10µ		2	255			H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)	
2	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,85-0,15	ovoide	40µ		2	254			H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)	
3	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,85-0,15	regular	30µ		8	199			H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)	
4	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,7-0,3	regular	40µ			198			H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)	
5	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,95-0,05	regular	20µ			390					
6	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,6-0,4	regular	30µ			261					
7	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,8-0,2	regular	20µ								
8	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,65-0,35	irregular	30µ								
9	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,9-0,1	regular	20µ								
10	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,8-0,2	regular	20µ								
11	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,6-0,4	rectangular	7µ			270					
12	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,6-0,4	rectangular	7µ			270					
13	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,6-0,4	rectangular	7µ			269					
14	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,8-0,2	rectangular	20µ								
15	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,8-0,2	rectangular	40µ								
16	A-46-271	P	anh	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,6-0,4	irregular	10µ								
17	A-46-271	P	cz	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,9-0,1	triangular	30µ			400					
18	A-46-271	P	cz	I	B _{10,20} (6s)	L+V 0,6-0,4	regular	20µ			>400					

Abreviaturas: anh: anhidrita; cpy: calcopirita; L, líquido; V, vapor; ha: halita; hem: hematita; o: opaco; sil: silvita; s: fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apéndice 8. Microtermometría de Inclusiones Flúidas - Venillas tipo 5e - Inclusiones Tipo II, III y IV

N°	Muestra	Origen	Mineral	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	fases hijas	Congelamiento			Calentamiento			Sistema	Fórmula cálculo de salinidad NaCl
										T _c	T _m	ThV (°C)	ThL (°C)	T _m ²	T _{mS} ²			Salinidad % eq.
1	A-46-271	P	anh	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,9-0,1	regular	15µ								
2	A-46-271	P	anh	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,9-0,1	regular	20µ								
3	A-46-271	P	anh	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,6-0,4	rectangular	10µ								
4	A-46-271	P	anh	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,7-0,3	regular	10µ								
5	A-46-271	P	anh	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,9-0,1	rectangular	10µ								
6	A-46-271	P	anh	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,9-0,1	rectangular	5µ								
7	A-46-271	P	cz	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,6-0,4	regular	10µ		1,6	385			2,8	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
8	A-46-271	P	cz	II	B _{80,90} (5s)	V+L	0,9-0,1	rectangular	10µ		1,8	388			2,9	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
9	A-46-271	P	anh	III	B ₁₀ OP (5s)	L+V+op	0,8-0,2-Tr,	ovoide	20µ	opaco							
10	A-46-271	P	anh	III	B ₁₀ OP (5s)	L+V+op	0,9-0,1-tr,	regular	10µ	opaco			237				
11	A-46-271	P	anh	III	B ₁₀ OP (5s)	L+V+op	0,7-0,2-0,1	regular	10µ	opaco							
12	A-46-271	P	cz	III	B _{10,20} H (5s)	L+V+Ha	0,9-0,1-tr,	irregular	20µ	halita							
13	A-46-271	P	cz	IV		L+ha-op+V	0,9-0,05-0,05	regular	20µ	halita-opaco							
14	A-46-271	P	cz	IV		L+V+ha-sil+top		regular	10µ	halita-silvita ² -opaco							

Abreviaturas: anh: anhidrita; epy: calcopirita; L, líquido; V, vapor; ha: halita; hem: hematita; o: opaco; sil: silvita; s: fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apéndice 9. Microtermometría de Inclusiones Fluidas - Venillas tipo 6a - Inclusiones Tipo I y II

N°	Muestra	Origen	Tipo	Subtipo	Proporc.	Forma	tamaño	Congelamiento					Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
								Te	Tm	ThV (°C)	ThL (°C)	1° Tm (°C)			2° TmS ha (°C)	Salinidad % eq. NaCl
1	A-53-111	P	I	B ₂₀	L+V 0,95-0,05	regular	10µ	-6	270			9,1	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
2	A-53-111	P	I	B ₂₀	L+V 0,8-0,2	ovoide	10µ		368					
3	A-53-111	P	I	B ₂₀	L+V 0,8-0,2	ovoide	10µ		367					
4	A-53-111	P	I	B ₂₀	L+V 0,8-0,2	regular	10µ	-10	390			13,9	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
5	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,9-0,1	ovoide	20µ							
6	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,95-0,05	ovoide	20µ		430					
7	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,5-0,5	ovoide	20µ	-63	440			3,2	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
8	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,9-0,1	regular	20µ	-62	410			3,5	H ₂ O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
9	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,6-0,4	regular	10µ		430					
10	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,9-0,1	regular	10µ		390					
11	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,9-0,1	ovoide	20µ		370					
12	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,95-0,05	ovoide	20µ		395					
13	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,95-0,05	regular	10µ		395					
14	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,9-0,1	ovoide	20µ		400					
15	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,9-0,1	regular	10µ		390					
16	A-53-111	P	II	B ₈₀₋₉₀	V+L 0,9-0,1	regular	10µ		390					

Abreviaturas: anh: anhidrita; cpy: calcopirita; L, líquido; V, vapor; ha: halita; hem: hematita; o: opaco; sil: silvita; s: fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

Apendice 10. Microtermometría de Inclusiones Fluidas - Venillas tipo 6a - Inclusiones Tipo III y IV

N°	Muestra	Origen	Tipo	Proporc.	Forma	tamaño	fases hijas	Congelamiento			Calentamiento			Sistema	Fórmula cálculo de salinidad
								Te	Tm	ThV	ThL	Tdesap bur.	1° Tm (°C)			2° Tm (°C)	Salinidad % eq. NaCl
1	A-53-111	P	III	L+V+o 0,8-0,2-tr	ovoide	10µ	opaco	-49	-6	270				H2O-NaCl	Brown & Lamb (FLINCOR)
2	A-53-111	P	III	L+V+t 0,5-0,4-0,1	regular	20µ	transparente			280					
3	A-53-111	P	III	L+V+o 0,8-0,2-tr	regular	10µ	opaco								
4	A-53-111	P	III	L+V+hem 0,7-0,2-0,1	irregular	10µ	hematita								
5	A-53-111	P	III	V+L+t 0,6-0,3-0,1	regular	10µ	transparente								
6	A-53-111	P	III	L+V+ha 0,6-0,2-0,2	regular	10µ	halita								
7	A-53-111	P	III	L+ha+V 0,6-0,3-0,1	regular	10µ	halita								
8	A-53-111	P	III	L+V+ha 0,8-0,1-0,1	regular	10µ	halita								
9	A-53-111	P	III	L+V+ha 0,8-0,1-0,1	regular	10µ	halita			367					
10	A-53-111	P	III	L+V+ha 0,8-0,1-0,1	regular	10µ	halita			368					
11	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,8-0,2-tr	ovoide	10µ	opacos			270					
12	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,8-0,1-0,1	regular	5µ	transparentes								
13	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,5-0,3-0,2	regular	10µ	halita-hematita			230					
14	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,6-0,3-0,1	regular	10µ	transparentes			235					
15	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,7-0,2-0,1	regular	10µ	transparentes								
16	A-53-111	P	IV	L+V+ha 0,8-0,1-0,1	regular	10µ	opaco-halita								
17	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,6-0,3-0,1	irregular	10µ	transparentes								
18	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,8-0,2-tr	regular	10µ	opacos								
19	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,6-0,3-0,1	irregular	20µ	transp opacos								
20	A-53-111	P	IV	L+V+sn 0,8-0,1-0,1	regular	10µ	transp opacos								
21	A-53-111	P	IV	L+S+V 0,6-0,3-0,1	regular	10µ	halita-silvita			235	150	250	34,7		
22	A-53-111	P	IV	L+S+V 0,6-0,3-0,1	ovoide	10µ	halita-opaco			260	318	318	39,8		

Abreviaturas: anh: anhidrita; epy: calcopirita; L, líquido; V, vapor; ha: halita; hem: hematita; o: opaco; sil: silvita; s: fase sólida; sn: múltiples fases sólidas; P: primarias; S: secundarias

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES

Altar (31° 29'S, 70° 28'O), un pórfido de Cu-(Au-Mo) con vetas epitermales de Au-(Ag-Cu), es uno de los numerosos prospectos recientemente descubiertos en el departamento de Calingasta (provincia de San Juan) que forman un “*cluster*” con gran potencial minero. Entre ellos, Altar es el que cuenta con la exploración más avanzada y hasta la actualidad ya se ha confirmado la presencia de un recurso mineral que totaliza 802 millones de toneladas con leyes de Cu de 0,42% y de Au de 0,059 g/t, considerando un “*cut-off*” de 0,30% Cu equivalente.

Las técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), permitieron generar un “mapa geológico base” de la zona del prospecto Altar (14 x 14 km) y un modelo de elevación digital del terreno. Mediante el mapeo de los afloramientos en el campo, se confeccionó el primer mapa geológico de detalle del distrito minero a escala 1:1000 (7 x 5 km) que, junto con el “mapa geológico base”, constituyen información inédita para la geología de la zona. Las rocas volcánicas, volcanoclásticas y subvolcánicas de la región se han agrupado en dos ciclos magmáticos: el más antiguo del Mioceno temprano y el más moderno del Mioceno medio-tardío, separados por una discordancia.

Las rocas volcánicas-volcanoclásticas del Complejo Volcánico Inferior (CVI) - andesitas basálticas, andesitas, dacitas y riolitas- representan un arco volcánico del Mioceno temprano (21,6-20,8 Ma) formado sobre una zona de subducción normal. Sus magmas se equilibraron con una asociación residual dominada por plagioclasa y piroxeno y experimentaron procesos de cristalización fraccionada y contaminación cortical. Las altas razones isotópicas de Pb de las andesitas basálticas del CVI pueden obedecer a una contaminación de una fuente mantélica por fluidos acuosos ricos en Pb procedentes de los sedimentos subductados. Los análisis isotópicos de las rocas del CVI de Altar, más enriquecidos que las rocas contemporáneas de la Zona Centro Sur del segmento de subducción horizontal y de El Teniente, señalan para el Mioceno temprano, una corteza continental algo más gruesa en la región de Altar que más al sur.

Las andesitas y las dacitas de la Suite Subvolcánica Superior (SSS) representan el arco magmático del Mioceno medio-tardío (11,75-8,9 Ma) emplazado sobre una zona de subducción más somera. Todos los cuerpos subvolcánicos porfíricos tienen firmas geoquímicas e isotópicas similares, y parecen provenir de una misma cámara magmática que tuvo actividad ígnea durante un lapso de ~3 Ma. Estas rocas requieren de una mineralogía

residual con hornblenda que indica condiciones de pH_2O altas en el sitio de generación de los fundidos.

En la zona de Altar, la ausencia de magmatismo entre el emplazamiento de las rocas del CVI y de la SSS, se correlaciona con las altas tasas de compresión documentadas para este período, que deben haber favorecido el almacenamiento de los magmas de la SSS en reservorios de la corteza. En este período, los fundidos de la cámara magmática de la SSS habrían experimentado procesos de mezclas, almacenamiento y homogeneización tipo MASH. Sus firmas isotópicas homogéneas indican aportes del manto y en menor medida de la corteza en los magmas.

Se sugiere que las firmas geoquímicas e isotópicas de “tipo adakita” reconocidas en las rocas de la SSS de Altar y en otros pórfidos fértiles de la Zona Centro-Sur del segmento de subducción horizontal, que fueron emplazados luego de que los magmas se equilibraron con hornblenda u hornblenda \pm granate, implican un mayor grado de hidratación en el sitio de origen y de almacenamiento del magma, y un proceso de profundización de las cámaras magmáticas debido a mayores esfuerzos compresivos en la corteza. Las diferencias observadas en sus firmas isotópicas reflejan el incremento de las cantidades de componentes corticales incorporados en los magmas de sur (El Teniente) a norte (El Indio), que se correlaciona con el aumento del espesor cortical en el Mioceno.

Las nuevas edades U-Pb de las rocas ígneas de Altar confirman la conexión temporal entre la colisión y subducción de la dorsal de Juan Fernández, los cambios geoquímicos entre las rocas del CVI y la SSS y la mineralización en esta zona del segmento de subducción horizontal. Se concluye que desde el Mioceno medio-tardío, el manto y la corteza inferior debieron haber sido hidratados por fluidos procedentes de la losa y de la dorsal Juan Fernández, favoreciendo la generación de los magmas. A estas latitudes, la colisión del segmento O-E de la dorsal con la trinchera a los ~ 11 Ma y la subducción de la dorsal debajo de Altar a los $\sim 11-10$ Ma, deben haber propiciado cambios en el régimen de esfuerzos tectónicos, que permitieron a los magmas de la SSS ascender a niveles más someros de la corteza. Esta hipótesis explicaría la ubicación del “cluster” de pórfidos de Cu-Mo contemporáneos.

En el proyecto se diferenciaron dos centros magmáticos-hidrotermales con mineralización, localizados en el valle este y en el filo central, y tres intrusivos (pórfidos 2, 3 y 4) que aportaron fluidos hidrotermales y generaron alteraciones y mineralización en un intervalo de $\sim 1,27$ Ma. En primer lugar se emplazó el pórfido 1 (pre-mineral) que no produjo

alteración y mineralización hidrotermal, y que parece haberse intruido luego de un evento de recarga en la cámara magmática por un magma menos evolucionado (zonación inversa en las plagioclasas).

Luego de un período de $\sim 0,13$ Ma, se intruyó el pórfido 2 relacionado a un sistema hidrotermal que generó, en profundidad, alteración-mineralización de tipo pórfido de Cu-(Au-Mo) y el emplazamiento de brechas magmática e hidrotermal y, en los niveles superficiales, las vetas epitermales de Au-(Ag-Cu) con salbandas de alteración argílica avanzada. Los núcleos de cuarzo “poroso” en algunas vetas resultaron de la lixiviación de las rocas de caja (rocas del CVI y pórfido 1) por fluidos muy ácidos ($\text{pH} < 2$; $T < 250^\circ \text{C}$) que ascendieron a través de fallas desde el centro hidrotermal del pórfido 2. Estos fluidos por lo general se originan durante la absorción de los volátiles magmáticos de baja densidad que contienen SO_2 y HCl por aguas meteóricas. El relleno de las vetas epitermales está constituido por cuarzo (calcedonia) y por enargita \pm cuarzo \pm alunita con un halo interno de cuarzo + alunita + S nativo, un halo intermedio de cuarzo + caolinita y un halo externo de alteración propilitica, que reflejan la progresiva neutralización de los fluidos por las rocas de caja y su enfriamiento. En conjunto, el pórfido 2 mineralizado, las brechas y las vetas epitermales forman el centro magmático-hidrotermal del sector este (11,75-11,62 Ma U-Pb).

Luego de $\sim 0,49$ Ma, en el filo central se emplazó el pórfido 3 y después de $\sim 0,78$ Ma, el pórfido 4 y las brechas magmática e hidrotermal que forman el centro magmático-hidrotermal del filo central (11,13-10,35 Ma U-Pb). Los sistemas hidrotermales asociados generaron -en un período de 0,78 Ma- las zonas de alteración y mineralización de tipo pórfido de Cu-(Au-Mo) en estos intrusivos.

Un modelo de sistema hidrotermal “unidireccional” no es aplicable a Altar, dado que una secuencia similar de alteraciones hidrotermales, mineralización diseminada y de 8 variedades de venillas, asociada a los tres pórfidos mineralizados (pórfidos 2, 3 y 4), se habría repetido al menos tres veces en el tiempo. Las alteraciones y mineralizaciones se distribuyen en zonas elongadas en sentido vertical, lo que permite inferir que los pórfidos se habrían emplazado a profundidades intermedias a superficiales. La ausencia de relaciones de corte inversas entre las venillas puede obedecer a la relación de aspecto elongada en sentido vertical entre los distintos complejos magmáticos-hidrotermales, su espaciamiento y un similar nivel de emplazamiento.

El primer pulso de mineralización de Cu-(Au) se asocia a sulfuros diseminados y a venillas de calcopirita + pirita con oro tipo 2b, posteriores a las de cuarzo tipo 2a de paredes muy irregulares y sin simetría interna (similares a las venillas tipo “A”) que en niveles intermedios y superficiales tienen paredes rectas. El segundo estadio de mineralización

introdujo Mo (\pm Cu) en el sistema en venillas tipo 3 de cuarzo + molibdenita similares a las venillas tipo "B". Son complejas y tienen más de un pulso de apertura y relleno. Las venillas 5, 6 y 7 y sus variedades son similares a las venillas tipo "D", con salbandas de alteración fílica (tipo 5) y argílica avanzada (tipo 6). Entre ellas, el tercer estadio de mineralización importante introdujo sulfosales de Cu y Au nativo en las venillas tipo 6 y en sus salbandas mineralizadas en los niveles profundos, intermedios y superficiales de los pórfidos 3 y 4, en tanto que el pórfido 2 carece de venillas tipo 6, excepto en un sector muy fracturado. El último estadio de mineralización de Zn-Pb se correlaciona con las venillas tipo 7 de esfalerita y galena ubicadas en zonas de fracturas tardías de ambos centros mineralizados. El enriquecimiento de Cu supergénico en los dos centros mineralizados, ocasionó el reemplazo de los sulfuros - sulfosales hipogénicos por digenita \pm covelina.

Los estadios de mineralización de Cu-Au-Mo, tipos de venillas y halos de alteración similares en los intrusivos 2, 3 y 4, sugiere la exsolución de fluidos hidrotermales que experimentaron evoluciones similares desde su generación hasta su etapa final de enfriamiento y agotamiento en los dos centros mineralizados. A continuación, se resumen las conclusiones de las observaciones geológicas, del análisis de las asociaciones minerales en equilibrio y del estudio de las inclusiones fluidas de las venillas del pórfido 4, para proponer el siguiente modelo genético.

Fluidos magmáticos de salinidad baja (3-11% NaCl equivalente) y altas temperaturas (>425 a >550 °C) exsolviéron del pórfido que estaba cristalizando a presiones litostáticas de >450 - 650 bares. Estos fluidos eran químicamente complejos y contenían CO₂, además de otras sales disueltas (NaCl-CaCl₂-MgCl₂).

Los fluidos experimentaron fluctuaciones de la presión entre litostática e hidrostática debido a la reiterada propagación de las fracturas y sus sellados y, al descender la temperatura y la presión e interceptar el "solvus", se desmezclaron en un fluido salino y en un vapor de baja densidad. A temperaturas mayores de 400 °C, los fluidos reaccionaron con el cuerpo ígneo aún no solidificado completamente (comportamiento dúctil), y con las rocas de caja para formar la alteración potásica (cz + bio \pm anh \pm ab \pm ksp \pm rt \pm mt) y precipitaron el relleno de las venillas tipo 1 (bio + cz \pm mt \pm rt) y el Cz-1 de las venillas tipo 2a (cz \pm anh \pm ksp). A temperaturas próximas a los 400°C, en las que las rocas son frágiles, los fluidos rellenaron las fracturas de las venillas 2a más jóvenes y de paredes rectas. Al descender la temperatura de los fluidos desde los 400 a los 350°C y a presiones <300 bares, se habría producido la disolución del cuarzo Cz-1_(2a) y la precipitación del cuarzo Cz-2_(2b) junto a los sulfuros del primer pulso de mineralización de Cu-Au. Este pulso consiste de calcopirita \pm pirita de grano fino -ambas con trazas de Au- diseminadas en las rocas con alteración

potásica, en el “*stockwork*” de venillas tipo 2a reabiertas y en las venillas finas a capilares tipo 2b (cpy ± ksp ± cz ± bio ± anh ± py), que representan un estado de sulfuración intermedio. El aumento del H₂S en los fluidos al desproporcionarse el SO₂ luego de reaccionar con el agua, debió provocar la precipitación de los sulfuros.

A medida que los fluidos exsolvían del cuerpo ígneo, ascendían y experimentaban episodios de desmezcla. A temperaturas mínimas de 350 a 380°C y presiones de 150 a 200 bares en condiciones hidrostáticas, precipitaron el relleno de cuarzo Cz-1 de las venillas 3 (cz ± mo ± cpy ± py). Luego, es posible que ya en la transición potásica-fílica, el predominio de H₂S en los fluidos hidrotermales, un pH algo más ácido y el descenso de la presión y de la temperatura de los fluidos, provocaron la disolución del cuarzo Cz-1₍₃₎ y la precipitación de cuarzo + molibdenita del segundo estadio de mineralización de Mo (± Cu).

Los fluidos progresivamente más fríos (<400 °C) y más ácidos formaron primero la alteración clorítica (chl + ms/ill + cz ± rt ± hm) que no produjo cambios significativos en la mineralización y con el aumento de la acidez y la disminución de la temperatura, precipitaron el relleno de las venillas tipo 5a (cz + py + cpy ± ms/ill ± tour), que representan un tercer pulso débil de mineralización de Cu, 5b (py + cz ± ms/ill ± anh ± cpy), 5c (anh ± cz ± cpy ± py) y 5d (tour ± cz), todas con halos de alteración fílica (cz + ms/ill ± rt ± tour). En las zonas próximas a las fracturas, los fluidos disolvieron a los sulfuros previos y al enfriarse los volvieron a precipitar incorporando Pb, Zn, Ag con As y Sb como elementos traza. Las fluctuaciones de la presión y de la temperatura a medida que se formaban las venillas 5, produjeron disolución parcial, fracturamiento, corrosión y nueva precipitación de cuarzo. Es posible que durante este estadio la actividad magmática se haya renovado a menor profundidad, con episodios de fragmentación hidráulica, exsolución de los volátiles desde la cámara magmática, formación de brechas magmáticas e hidrotermales y precipitación de abundante turmalina en las brechas y en las venillas tardías.

Luego del brechamiento y del fracturamiento, la mayor permeabilidad de las rocas debe haber permitido el ingreso de fluidos externos al sistema hidrotermal y su mezcla con los fluidos magmáticos. Fluidos oxidados que pudieron resultar de esta mezcla, parecen ser los responsables de la alteración hidrolítica y del lavado de los cationes alcalinos de los filosilicatos a menores temperaturas (<300 °C), pH y fS_2 y mayor fO_2 , generando los halos de alteración argílica avanzada (dick/caol ± cz ± rt) y las venillas 6a (tn + py ± tt ± Au) y 6b (py ± cz) asociadas a estos halos. Estos fluidos, que contenían Au, Sb y As, además de Cu, precipitaron la mayor concentración de Au en el sistema pórfido (cuarto estadio de mineralización de Cu-Au). La disminución del pH y el aumento de la fO_2 deben haber promovido la precipitación del oro transportado en los fluidos como bisulfuro. La mineralogía

de las venillas 6c (py + en ± cz) reflejan el aumento de la fS_2 en los fluidos. En las etapas finales de sistema, los fluidos se enfriaron y diluyeron lo suficiente como para precipitar el Zn y el Pb como esfalerita y galena (quinto estadio de mineralización de Zn-Pb) con anhidrita y calcita (venillas 7 y 8) en zonas de fallas tardías.

Durante la alteración supergénica, fluidos descendentes de pH muy ácido (pH <2) liberaron el Cu por la disolución de los sulfuros hipogénicos y lo precipitaron como digenita ± covelina según sulfuros-sulfosales hipogénicos de Cu en la zona de enriquecimiento supergénico, que corresponde al sexto estadio de mineralización de Cu.

En la etapa de formación del centro mineralizado del sector este predominaron los esfuerzos inducidos por la intrusión del magma desde la cámara magmática subyacente, y no hubo superposición de la mineralización epitermal sobre el sistema profundo de tipo pórfido. Durante la formación del centro magmático-hidrotermal del filo central, los esfuerzos compresivos regionales tuvieron mayor importancia en el control del emplazamiento de los pórfidos 3 y 4. El alzamiento por deformación (pliegues y fallas) y la consiguiente denudación del terreno, deben haber ocasionado la superposición (“*telescoping*”) de las venillas tardías portadoras de sulfosales y de oro sobre las venillas tempranas y profundas.

Luego se emplazaron la andesita intrusiva, el pórfido 5 y la brecha magmática tardía, todos post-minerales. Entre el emplazamiento del pórfido 1 y el 5, la cámara magmática parece haber experimentado un proceso incipiente de diferenciación magmática. El lahar que aflora en el filo norte del distrito minero tiene una edad miocena tardía o posterior. La erosión glacial expuso la transición entre ambientes porfíricos subvolcánicos y las vetas epitermales superficiales de alta-sulfuración.

El enfoque integral de este estudio, que emplaza la geología y la mineralización del depósito dentro del contexto geológico y tectónico regional, permitió identificar procesos favorables a escalas regionales y locales, previas y contemporáneas a la formación de los pórfidos fértiles en esta región de la Cordillera Principal. Algunos factores que deben haber favorecido la formación del depósito de pórfido de Cu-(Au-Mo) y las vetas epitermales de Au-(Ag-Cu) Altar se detallan a continuación:

- El desarrollo y acumulación de magmas oxidados y con un alto contenido de agua en cámaras magmáticas profundas, durante períodos de compresión en la corteza continental.

- El ascenso de estos magmas y formación de una cámara magmática superficial de larga vida (~ 3 Ma) que alimentó a numerosos cuerpos intrusivos porfíricos y a brechas magmáticas y experimentó al menos un evento de recarga por un magma menos evolucionado.

- La interacción entre un magma más máfico y otro más félsico debe haber actuado como un método efectivo para aumentar el contenido de volátiles y de metales en la cámara

magmática, generando inestabilidades térmicas y químicas que favorecieron la exsolución de metales, volátiles y fluidos.

-El suministro de fluidos y volátiles desde la cámara magmática durante un período prolongado de tiempo (~1,27 Ma) para generar actividad magmática e hidrotermal.

-El sistema hidrotermal estuvo controlado por repetidos sucesos de fracturación hidráulica y relleno de fracturas, que provocaron fluctuaciones de la presión y la temperatura de los fluidos. Estos episodios generaron un complejo sistema de fracturas registrado en un “*stockwork*” y en 8 variedades de venillas.

-Las fluctuaciones de la presión y de la temperatura de los fluidos, los episodios de desmezcla de los fluidos en una fase líquida salina y una fase vapor y la disolución-precipitación de cuarzo son factores que se vinculan directamente con la precipitación de la mineralización hipogénica de Cu-Au y de Mo.

-Las fracturas controlaron y focalizaron el ascenso de los fluidos que transportaban los metales en solución. Estos fluidos serían principalmente fluidos poco salinos, para permitir la solubilidad retrógrada del cuarzo que posibilitó la precipitación de nuevo cuarzo y sulfuros.

-La mayor parte de la mineralización está alojada en “*stockworks*” de venillas y en disseminaciones en las rocas alteradas.

-Se plantea que una precipitación diferencial del Cu-Au desde la fase vapor y el Mo desde la fase líquida pueden explicar la distinta distribución espacial del Cu-Au y Mo en el sistema Altar.