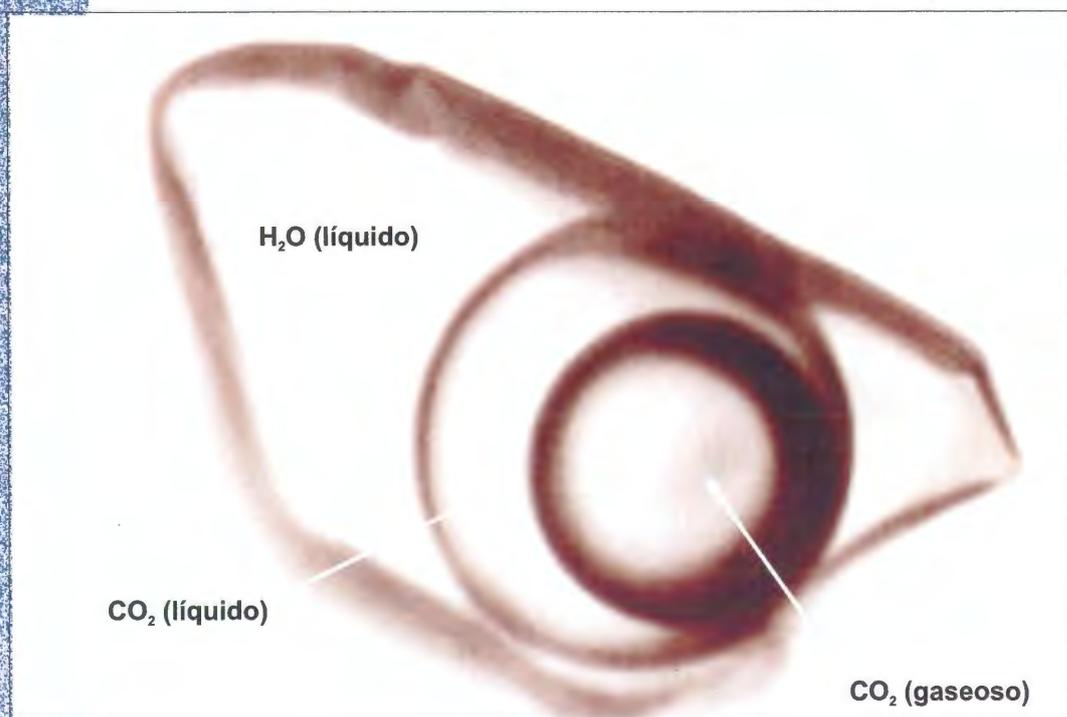


*Inclusiones fluidas  
aplicadas a la exploración minera*

Lidia Inés Korzeniewski

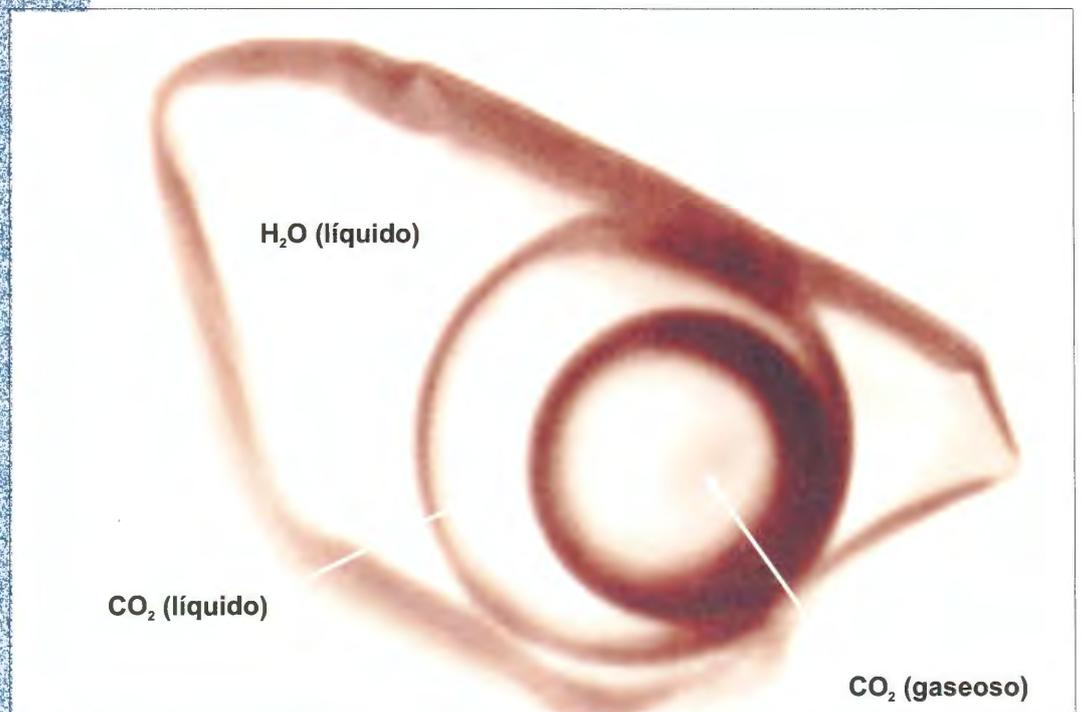
Inclusión fluida trifásica



*Inclusiones fluidas  
aplicadas a la exploración minera*

Lidia Inés Korzeniewski

Inclusión fluida trifásica





*Inclusiones fluidas  
aplicadas a la exploración minera*

Lidia Inés Korzeniewski

SECRETARÍA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y MINERÍA

Buenos Aires, 2002

**Presidente del SEGEMAR**  
Lic. Roberto F. N. Page

**Secretario Ejecutivo del SEGEMAR**  
Lic. Juan C. Sabalúa

**Director del Instituto de Geología y Recursos Minerales**  
Lic. José E. Mendía

---

**SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO**  
**INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES**

Avenida Julio A. Roca 651 – 10° piso  
(C1067ABB) Buenos Aires  
República Argentina

---

Es propiedad del Instituto de Geología y Recursos Minerales  
Prohibida su reproducción

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	5
METODOLOGÍA .....	5
DEFINICIONES .....	5
Inclusiones vítreas.....	9
INFORMACIÓN QUE SE OBTIENE DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS	
Temperatura .....	9
Presión .....	11
Densidad y Composición .....	11
EL ESTUDIO DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS	
Aplicaciones.....	12
Restricciones del método .....	12
Minerales utilizados en estudios de inclusiones fluidas .....	14
Muestras para el estudio de inclusiones fluidas.....	14
CARACTERÍSTICAS DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS POR TIPO DE DEPÓSITO	14
Yacimientos epitermales .....	14
De baja sulfuración (adularia-sericita) .....	15
De alta sulfuración (tipo sulfato ácido) .....	15
Yacimientos transicionales .....	15
Yacimientos mesotermales .....	17
Yacimientos tipo pórfiro clásicos (Cu-Mo, Cu) .....	17
Yacimientos relacionados a batolitos y cúpulas (Sn-W, W-Mo, Mo) .....	17
Greisen y vetas asociadas .....	17
Skarns .....	18
Pegmatitas .....	18
Sulfuros masivos .....	18
Sulfuros masivos volcanogénicos (VMS).....	18
Yacimientos sedimentario-exhalativos (Sedex) .....	18
Yacimientos tipo Mississippi Valley (MVT).....	19
Conclusiones .....	19
REFERENCIAS .....	19
ANEXO I. PLANILLA DE SOLICITUD DE ESTUDIO DE IF.....	21

# INCLUSIONES FLUIDAS APLICADAS A LA EXPLORACIÓN MINERA

Lidia I. Korzeniewski

## INTRODUCCIÓN

La promoción del empleo de nuevas tecnologías en el campo de la exploración geológica y minera constituye uno de los objetivos del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). En este contexto, el SEGEMAR ha capacitado profesionales para el estudio de inclusiones fluidas (IF) aplicado a la exploración geológica-minera, y en el año 2000 ha incorporado una platina de enfriamiento-calentamiento para difundir sus aplicaciones en dicho ámbito.

El estudio de IF es una herramienta valiosa para la exploración, cuya eficacia aumenta cuando se tiene identificado el problema que se quiere resolver y el contexto geológico en el que este ocurre. Al iniciar un estudio, es necesario tener en claro qué pueden aportar las IF a la solución del problema, cuáles son las preguntas que se pretenden responder o cuáles los procesos geológicos que se desean entender. Además, debe contemplarse el hecho que las IF no siempre resultan útiles, ya que en ciertos casos las muestras no son adecuadas para el análisis debido a que contienen numerosas generaciones de IF, o porque no son relevantes para la situación considerada.

En este trabajo se presenta un resumen breve de las ideas y conceptos básicos que se desarrollaron en el curso dictado por T.J. Reynolds, en junio del 2000 en el IGRM, con el fin difundir la utilidad de los datos de IF en la exploración minera.

## METODOLOGÍA

La platina Fluid Inc. empleada en el IGRM usa un gas, pre-calentado (aire) o pre-enfriado (nitrógeno), para cambiar la temperatura de la muestra. El flujo térmico es muy bajo, lo que permite producir variaciones controladas muy pequeñas de temperatura y trabajar con técnicas cíclicas para medir temperaturas de homogeneización. La temperatura es medida ubicando una fina termocupla directamente sobre la

muestra, que pueden tener un tamaño de hasta 20 mm de largo (Figura A).

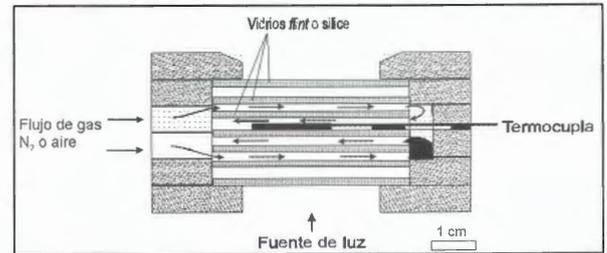


Figura A: Sección transversal de la platina de enfriamiento/calentamiento FLUID. INC.

El estudio de IF involucra un primer análisis petrográfico en donde se observan las características generales de la muestra (petrografía de inclusiones) lo que permite definir el ambiente de formación de los depósitos de mena. En ambientes bien conocidos, como los sistemas de vetas epitermales, la apreciación visual y disposición de las IF se usa para identificar las temperaturas de formación del depósito. De modo que, complementariamente con el estudio geotermométrico, también se necesita entender las posiciones relativas de las muestras dentro del depósito o comparar estas muestras con otras de depósitos que hayan sido bien estudiados.

## DEFINICIONES

Las IF son cavidades dentro de un mineral que pueden contener fluidos (líquidos y/o gaseosos) y sólidos. Cuando un cristal precipita desde un fluido, la superficie de crecimiento del cristal tiene imperfecciones. Estas imperfecciones forman huecos (Fotos 1 y 2) que se cierran con el propio crecimiento cristalino y que atrapan al fluido presente responsable de la precipitación (fluido primario) del mineral. A las IF generadas durante el crecimiento cristalino se las denomina *primarias* (Fotos 3, 4 y 5).

Después que el mineral ha precipitado, son comunes los procesos de deformación (dúctiles o frágiles) que generan pequeñas grietas,

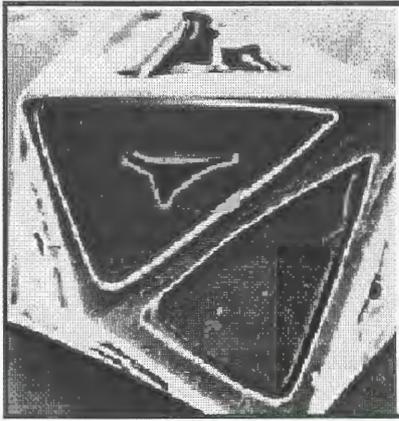


Foto 1. Estadios de formación de cavidades durante el crecimiento de cristales de cuarzo (tamaño de cristal 1 mm). Fotografía tomada con microscopio electrónico de barrido (tomado de Clocchiatti, 1974).

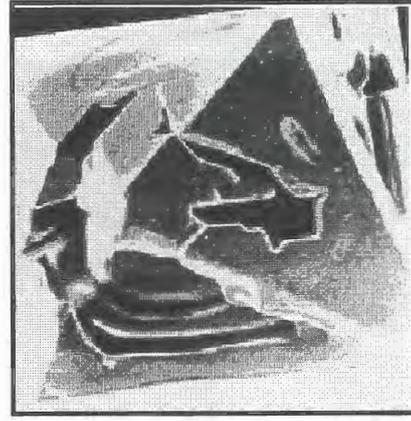


Foto 2. Formaciones complejas de cavidades en las que se puede reconocer la orientación cristalográfica principal de cuarzo  $\beta$  (tamaño 1 mm). Fotografía tomada con microscopio electrónico de barrido (tomado de Clocchiatti, 1974).

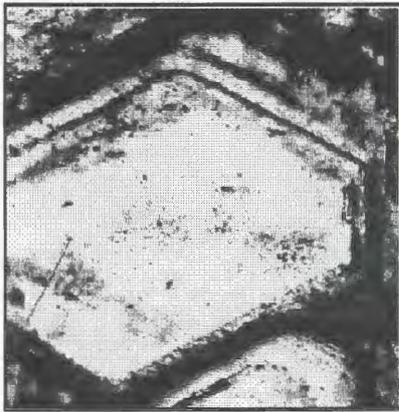


Foto 3. Zonas de crecimiento definidas por bandas oscuras de IF primarias. Fotografía en cuarzo euhedral (tomado de Bodnar *et al.*, 1985).

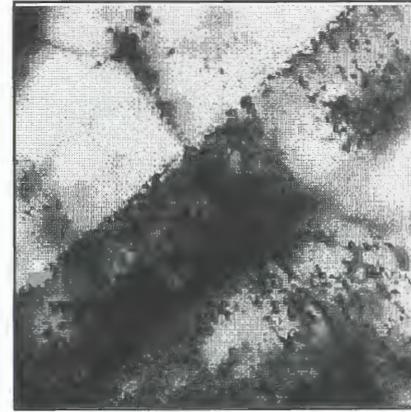


Foto 4. IF primarias en zonas de crecimiento. Las IF tienen forma irregular, la mayoría con relaciones líquido-vapor consistentes. Fotografía en cuarzo euhedral (tomado de Bodnar *et al.*, 1985).

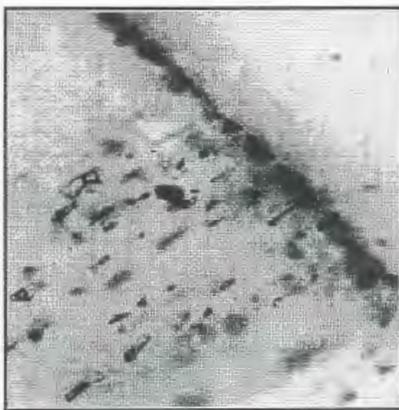


Foto 5. IF primarias en zonas de crecimiento. Idem fotografía 4.

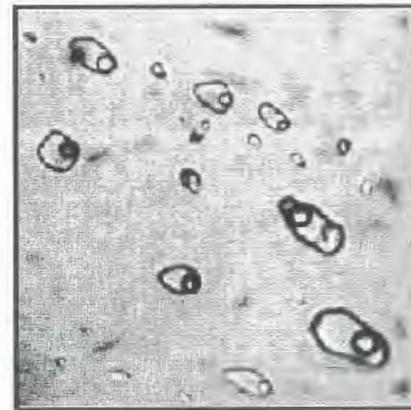


Foto 6: Plano de IF secundarias en cuarzo con relaciones líquido/vapor consistentes (tomado de Bodnar *et al.*, 1985).

fracturas o planos deformados. Al cerrarse las microfrazas se forman IF que atrapan pequeñas cantidades del fluido durante o después del evento de deformación. Las IF generadas por el sellado de microfrazas luego de que el cristal se formó por completo se denominan *secundarias* (Fotos 6, 7 y 8).

Las microfrazas y grietas que se cierran formando IF que atrapan el fluido presente antes que el mineral haya cristalizado completamente se denominan *pseudosecundarias* (Foto 9) y registran condiciones que existieron durante un periodo del crecimiento cristalino (Goldstein y Reynolds, 1994).

Un cristal puede tener IF primarias, secundarias, pseudosecundarias e incluso algunas de origen indeterminado.

Las IF primarias son identificadas por estar relacionadas a la zona de crecimiento del cristal. En estas zonas hay una distribución de inclusiones fluidas o sólidas (Foto 10) que "imitan" las terminaciones del cristal. Las inclusiones aisladas son normalmente interpretadas como de origen primario, es decir, formadas en ambientes permeables donde el flujo del fluido es rápido y los cristales tienden a crecer rápidamente.

Los grupos de inclusiones formadas por la cicatrización de microfrazas y que llegan e incluso cortan la superficie del cristal se interpretan como inclusiones secundarias y aquellos grupos de inclusiones que terminan en el borde del cristal o en anillos de crecimiento se interpretan como pseudosecundarias (Figura B).

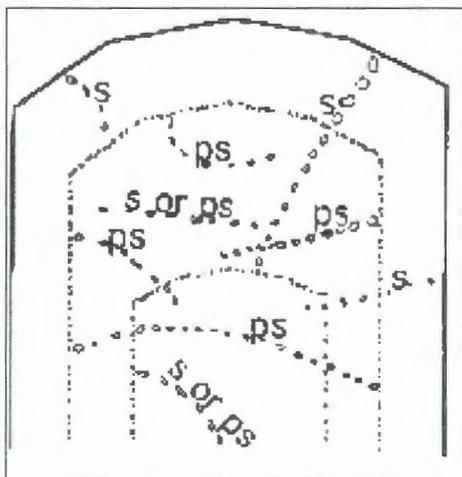


Figura B: Esquema donde se diferencian inclusiones secundarias (s) de pseudosecundarias (ps). (Goldstein y Reynolds, 1994)

El estudio de IF se sustenta en el principio que las inclusiones representan sistemas cerrados, sin cambios químicos y que el volumen fue constante a lo largo de su historia; para ello se asumen que: 1° - el fluido entrampado lo hizo en una fase homogénea, es decir que representa al fluido original formado por una fase única, 2° - no hubo pérdida de masa, las IF no se estrangulaban, y 3° - el volumen permaneció constante, las IF no se estiraron (Fotos 11 y 12).

Una IF puede estrangularse y dividirse en dos o más inclusiones por procesos de desmezcla durante el enfriamiento lento y natural, dando como resultado inclusiones con temperaturas de homogeneización y fluidos diferentes a la inclusión original. Los cambios de volumen pueden deberse a incrementos en la presión interna como respuesta a un aumento de temperatura, ya sea por eventos hidrotermales tardíos, posteriores o por profundización cortical, como así también por la disminución de la presión externa durante levantamientos corticales (Reynolds, 2000). En ambos casos (incremento en la presión interna o disminución de la presión externa) puede producirse el estallido (decrepitación) y migración parcial del fluido atrapado en la inclusión, además de permitir el ingreso de cualquier fluido contenido en los poros de la roca. Por lo tanto, para determinar el ambiente de depositación de una mena se debe realizar un reconocimiento minucioso de las muestras que fueron seleccionadas en el depósito y en las adyacencias del mismo.

Normalmente los datos geotermométricos se toman después que el estudio petrográfico inicial fue completado. Para ello se tiene en cuenta: abundancia, tamaños, formas, composición, orígenes y proporciones líquido-vapor en las inclusiones fluidas.

La abundancia y distribución de IF en los cristales son una función de la cinética de crecimiento y de la estabilidad de las caras del cristal huésped. En general, la población de las IF ocupa menos 0,1% del volumen total de un cristal (Shepherd *et al.*, 1985). El crecimiento temprano de un mineral se caracteriza por la abundancia de inclusiones. Las zonas de crecimiento y sobrecrecimiento del cristal tienden a tener menor cantidad de IF en relación con las partes internas del cristal. Los minerales de reemplazo raramente tienen inclusiones fluidas.

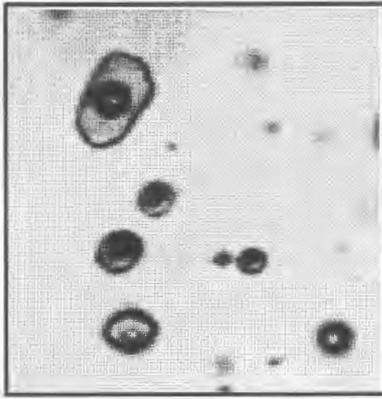


Foto 7. Plano de IF secundarias con relaciones líquido/vapor consistentes y formas regulares a cristal negativo.

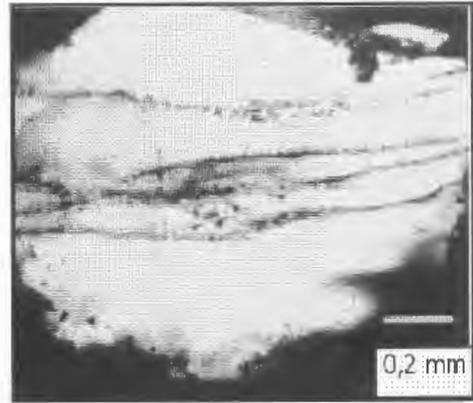


Foto 8. Inclusiones secundarias a lo largo de numerosas fracturas selladas en megacristales de cuarzo del granito greisenizado Panasqueira, Portugal (tomado de Kelly y Rye, 1979).

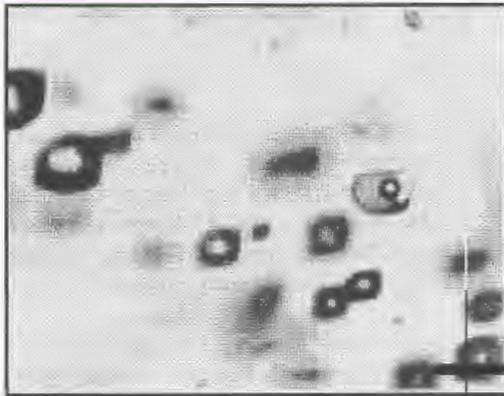


Foto 9. Inclusiones pseudosecondarias a lo largo de fracturas selladas en cuarzo de veta. Escala: 20  $\mu$ m (tomado de Kelly y Rye, 1979).

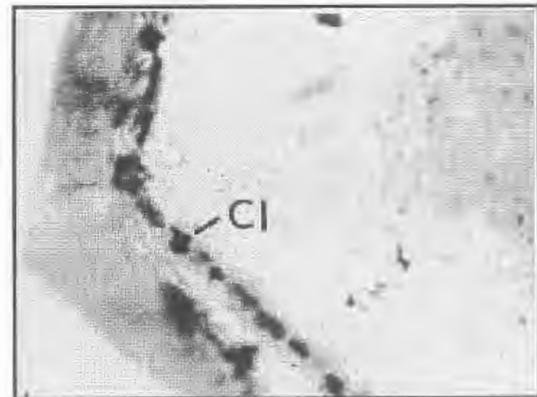


Foto 10. Inclusiones sólidas de clorita (Cl) en cristal de cuarzo (tomado de Kelly y Rye, 1979).

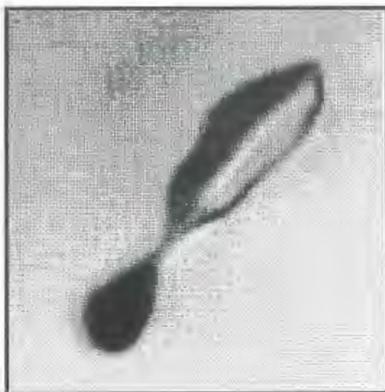


Foto 11. IF en cuarzo con evidencias de procesos de estiramiento.

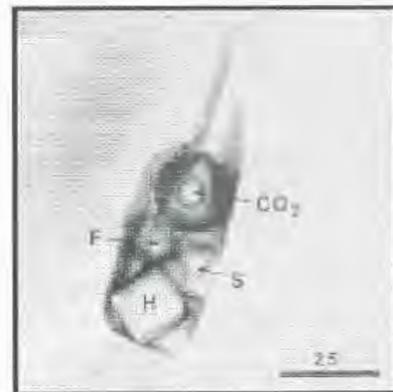


Foto 12: Inclusión probablemente estrangulada con  $\text{CO}_2$  (líquido + vapor) y múltiples cristales hijos. Escala en mm. H= halita; S=silvita; F=cloruro de hierro (?); (tomado de Richards, Krogh y Spooner, 1988).

Las formas que tienen las IF son altamente variables y controladas por la cristalografía propia del mineral huésped, temperatura, composición del fluido y el tiempo. Si bien la forma no es necesariamente diagnóstica del origen, en general se observa que una forma muy irregular está vinculada a un fluido estable tardío; IF con formas oblongas o esferoidales son comunes en cuarzo, mientras que las inclusiones tabulares se desarrollan mejor en minerales prismáticos como la apatita (Shepherd *et al.*, 1985).

Las relaciones líquido-vapor en las IF deben ser estudiadas petrográficamente antes de efectuar las mediciones geotermométricas. Si la relación líquido-vapor es consistente, la medición de temperaturas de homogeneización y salinidades serán válidas. Si las relaciones líquido-vapor son variables, podría deberse a procesos post-formacionales como estiramientos o estrangulamiento, entonces las mediciones no serán válidas. Las inclusiones estranguladas de baja salinidad pueden servir sólo si la burbuja de vapor es consistente y está presente en cada una de las inclusiones fluidas del mismo grupo. La salinidad y las temperaturas de homogeneización en inclusiones sobresaturadas en sales solamente deben medirse si exhiben relaciones líquido-vapor consistentes.

El grado de inmiscibilidad determina la coexistencia de dos o más fases fluidas en el equilibrio. Como en el caso del sistema  $\text{CO}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$ , la solubilidad cambia considerablemente con la temperatura y la composición del fluido; por lo tanto, un fluido con los dos componentes homogéneos a la temperatura de entrapamiento se separará al enfriarse formando dos fases inmiscibles, una rica en  $\text{CO}_2$  y otra en  $\text{H}_2\text{O}$ . Las fases inmiscibles frecuentemente preservadas en inclusiones son: 1) fundidos silicáticos/ $\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{CO}_2(\text{g})$ , 2) soluciones acuosas/ $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  o  $\text{N}_2$  (g) y 3) soluciones acuosas/hidrocarburos (Roedder, 1984).

Hay diferentes clasificaciones de inclusiones fluidas. Una de las más simples (Figura C) está basada en la cantidad de fases presentes observables a temperatura ambiente (Nash, 1976), en inclusiones primarias, secundarias y/o pseudo-secundarias. Los tipos I y II corresponden a inclusiones con dos fases de baja salinidad (<23,3% peso equiv. NaCl y sin cristales hijos) que se dividen en los tipos: a. ricos en líquidos y b. ricos

en vapor de agua. Las inclusiones del tipo III están saturadas en sales (>23% peso equiv. NaCl) y se dividen petrográficamente en dos clases de acuerdo con el tamaño relativo de la burbuja de vapor y el cristal de sal presente (tipos IIIa y b). Las inclusiones tipo IV son aquellas que contienen  $\text{CO}_2$  y pueden tener dos o tres fases. Las inclusiones con hidrocarburos son birrefringentes y constituyen el tipo V. Finalmente, las inclusiones tipo VI con  $\text{CH}_4$  (o  $\text{N}_2$ ) tienen una fase de vapor o dos fases líquidas  $\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{CO}_2$ .

### Inclusiones vítreas

Además de las IF hay inclusiones vítreas en cristales de rocas volcánicas, cuya formación es similar a la de las IF. En las inclusiones vítreas queda entrampado en las imperfecciones de las caras cristalinas, vidrio correspondiente a la composición del magma al momento de la formación de los fenocristales (Fotos 13 A y 13 B). Su estudio, basado en principios físicos similares al de las IF, permite mediante la determinación de la temperatura de desaparición de la burbuja, formada por contracción o degasificación, identificar la temperatura de cristalización de la lava. Para su estudio se requieren platinas de enfriamiento/calentamiento que permitan alcanzar valores de hasta  $1500^\circ\text{C}$ .

### INFORMACIÓN QUE SE OBTIENE DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

Independientemente de su origen e historia, las inclusiones representan muestras concretas de los fluidos que conformaron el sistema del depósito mineral o que circularon por él en algún momento de la historia geológica. El estudio de las IF proporciona una técnica valiosa, muy versátil, para determinar temperatura, presión, densidad y composición de los fluidos en los procesos geológicos involucrados.

#### Temperatura

Las IF son usadas para estimar la temperatura de formación del mineral con diferentes niveles de precisión dependiendo del tipo de IF presentes en la muestra. Los datos obtenidos proveen información con respecto a la mínima temperatura de formación del mineral. Esta aplicación consiste en apreciar la contracción diferencial por enfriamiento natural del mineral hospedante y del fluido desde la

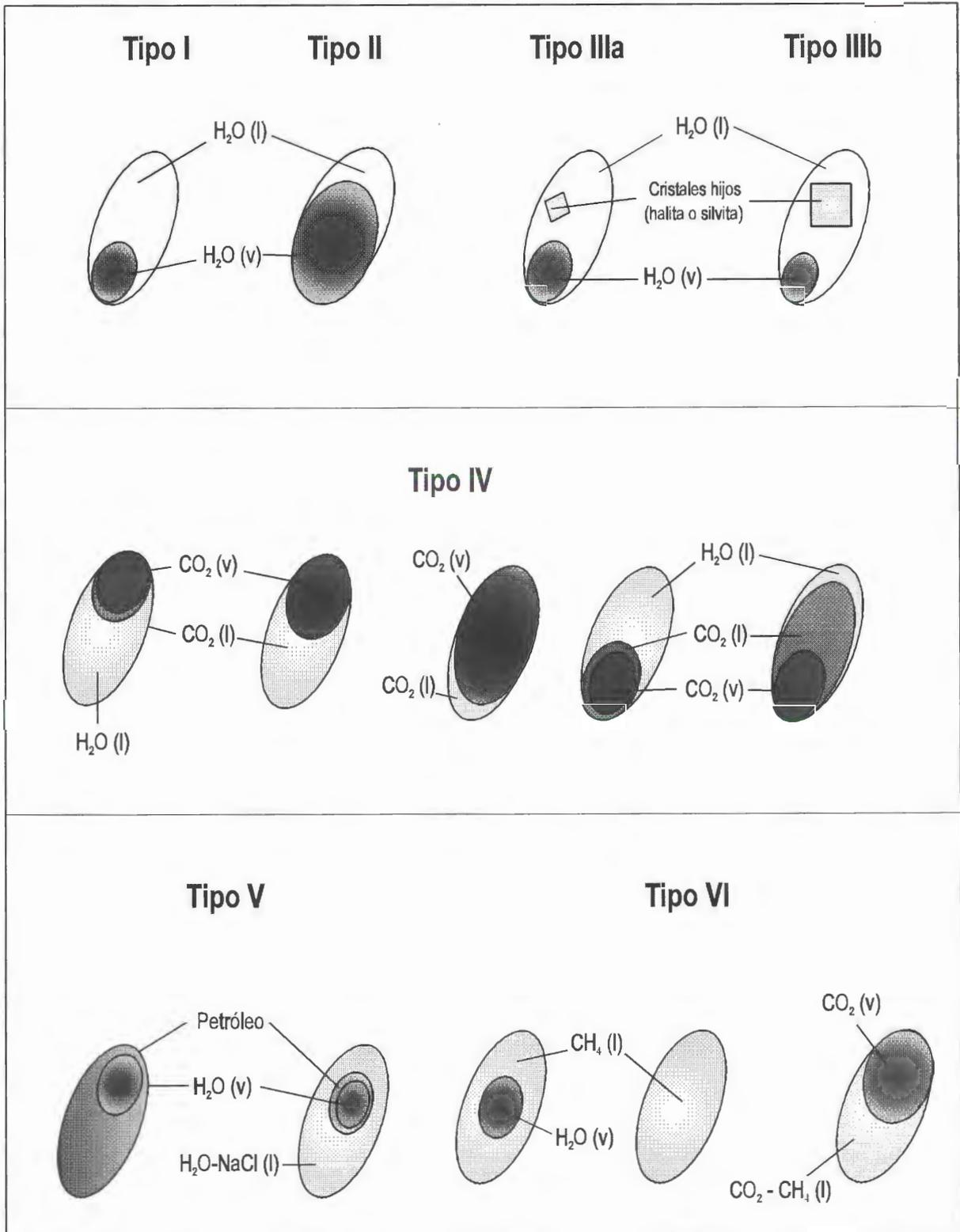


Figura C: Clasificación de inclusiones fluidas observadas a temperatura ambiente (Reynolds, 2000, modificado de Nash, 1976)

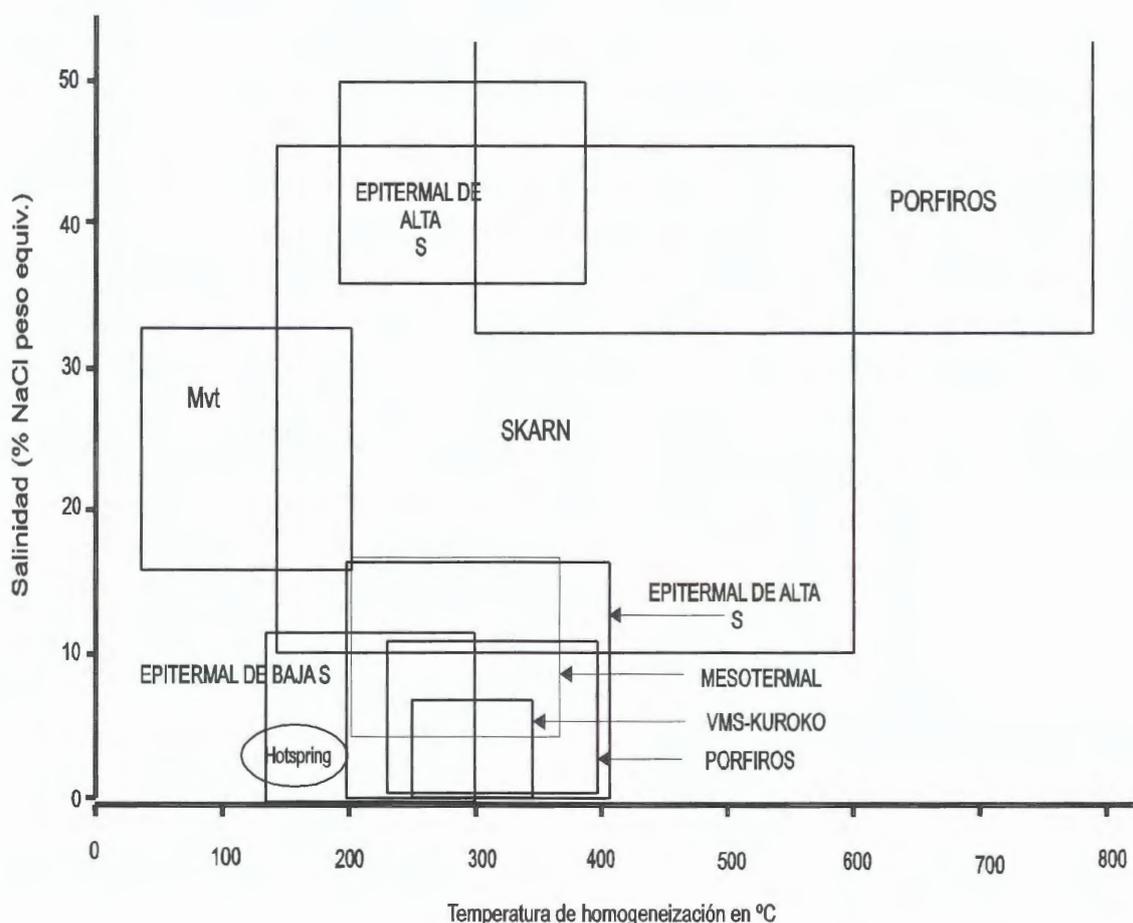


Figura E: Rangos de temperatura de homogeneización y salinidad relacionados a IF asociados a algunos tipos de depósitos. (Lattanzi, 1994; modificado por Reynolds, 2000).

temperatura de entrapamiento ( $T_e$ ) hasta aquella temperatura de observación (temperatura ambiente). Durante este proceso el fluido se contrae mucho más que el mineral hospedante generándose una burbuja en el fluido. Entonces es necesario revertir el proceso por calentamiento de la muestra hasta que la burbuja desaparece (el fluido homogeneiza). Esta temperatura se denomina temperatura de homogeneización ( $T_h$ ). En este punto se obtiene la temperatura a la cual la burbuja apareció por primera vez en su historia geológica. Las temperaturas medidas pueden variar entre aquellas mayores a  $1000^\circ\text{C}$  (obtenidas para muchas de las inclusiones silicáticas) y la temperatura ambiente o aún más bajas.

### Presión

El estudio de IF brinda información sobre la presión del sistema en el momento de entrapamiento. Se utilizan varios procedimientos basados en datos experimentales de las

propiedades termodinámicas de fluidos similares, y en general proveen información sobre la presión mínima de formación de la inclusión. Las presiones determinadas a partir de las IF se interpretan como representativas de la presión litostática o hidrostática del sistema. La presión local en el momento del entrapamiento se considera hidrostática ya que es una presión de fluidos.

### Densidad y Composición

Una de las aplicaciones comunes del estudio de IF es la determinación de la salinidad de los fluidos acuosos responsables de la precipitación mineral.

En el estudio de IF se manejan varias técnicas para obtener información cualitativa, semicuantitativa y aún cuantitativa sobre la composición de las inclusiones. Estas técnicas incluyen la identificación y determinación de la concentración de los principales iones presentes en la solución.

En general en las IF se encuentran líquidos de baja viscosidad y una burbuja de gas o vapor. En la mayoría de los casos el líquido es una solución acuosa con menos del 10% en peso de solutos, aunque dichas concentraciones pueden variar entre 50% y prácticamente 0%. Los solutos consisten principalmente en Na, Cl, K, Ca, Mg, y  $\text{SO}_4$  y en menor proporción otros iones. La presencia de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  líquidos o gaseosos es común y en algunos ambientes pueden ser los más abundantes.

Si el fluido entrampado es una solución acuosa, la burbuja generada por contracción diferencial será vapor de agua. En cambio, si el fluido era originalmente homogéneo en el momento del entrampamiento con gases altamente comprimidos y disueltos en el líquido, la burbuja será probablemente de gas. También puede ocurrir que fluidos homogéneos en el momento de entrampamiento se separen en dos fluidos inmiscibles durante el enfriamiento, generando IF con la burbuja de contracción y dos fluidos inmiscibles. Algunos autores denominan a estas inclusiones trifásicas, aunque el término designa en sentido estricto inclusiones formadas por tres fases (líquido, vapor y sólido).

Si el fluido entrampado estaba sobresaturado en una sal soluble ( $\text{NaCl}$  o  $\text{KCl}$ ), al enfriarse desde la temperatura de entrampamiento hasta la temperatura ambiente, la sal cristalizará formando uno o varios cristales de halita o silvita, que se denominan *cristales hijos* (Fotos 14 y 15).

## EL ESTUDIO DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

### Aplicaciones

- En la exploración minera y en estudios metalogenéticos, permite conocer los parámetros físicos y químicos que regularon la depositación mineral.
- En gemología, en la exploración de los depósitos de gemas, en la identificación de ellas y en el reconocimiento entre piedras preciosas naturales y sintéticas.
- En estratigrafía y sedimentología se utiliza para reconocer sistemas diagenéticos, analizar la evolución de la porosidad (reducción y/u oclusión).
- En la búsqueda de petróleo. Ayuda a mejorar la interpretación de la migración de los hidrocarburos. Las inclusiones conteniendo

hidrocarburos y/o agua proveen información sobre la tectónica y la evolución de la temperatura y presión de las cuencas petrolíferas antes, durante y después de la migración de los hidrocarburos.

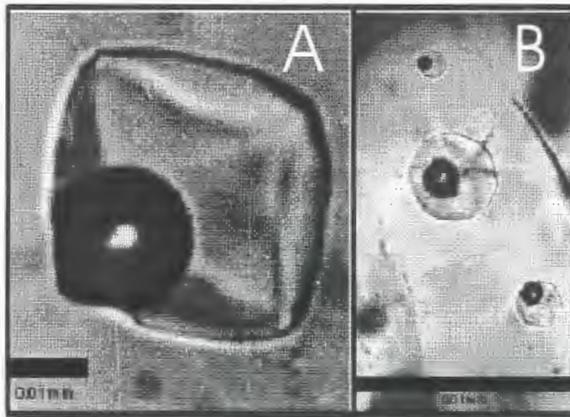
- En los sistemas geotermales activos pueden guiar las perforaciones proveyendo datos sobre temperatura en profundidad. Estos datos son útiles tanto en las etapas de exploración como durante el desarrollo de un campo geotermal.

### Restricciones del método

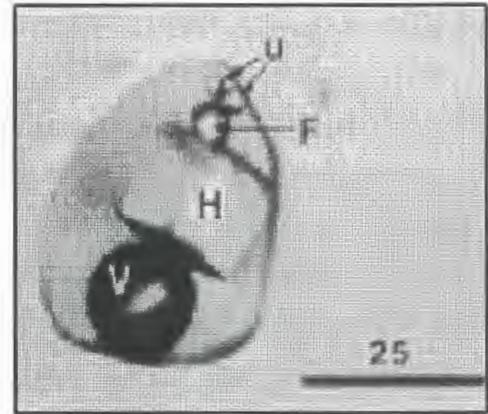
Hay tres requisitos previos para el uso de la petrografía de IF en la exploración minera: 1) los datos de inclusiones fluidas deben ser colectados en minerales de mena y ganga que estén vinculados con la misma paragénesis mineral; 2) el origen de las IF debe ser bien determinado (primario, secundario, pseudosecundario o indeterminado) y 3) en los sistemas complejos donde hay más de un fluido se deben realizar estudios adicionales que completen el análisis de todos los componentes del fluido.

La salinidad es expresada en porcentaje de equivalentes de  $\text{NaCl}$ . El sistema  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  es el más conocido desde el punto de vista termodinámico por lo que es usado como modelo para interpretar puntos de fusión del hielo. La mayoría de los fluidos hidrotermales contienen principalmente  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , aunque también se ha reconocido la presencia subordinada de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , por lo que se admite un error en las determinaciones de hasta un 5% al interpretar los datos en el sistema  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ . Para la descripción e interpretación de ambientes de depositación, la salinidad se enuncia como: **baja** (<10% peso equiv.  $\text{NaCl}$ ), **moderada** (10 al 35% peso equiv.  $\text{NaCl}$ ) o **alta** (>35% peso equiv.  $\text{NaCl}$ ).

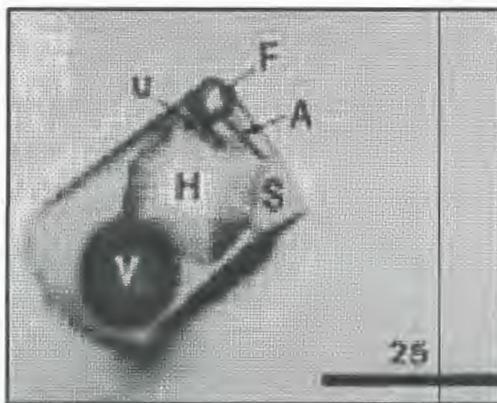
Los datos de IF no pueden ser tratados rutinariamente por métodos estadísticos. Cada dato puntual en un histograma es real. La manipulación de datos geotermométricos en razones y desviaciones standard puede alterar la interpretación del conjunto de datos. No se puede tratar cada IF por separado sino en conjunto (Goldstein and Reynolds, 1994). La interpretación de IF está basada en la suposición de que una fase homogénea fue atrapada y que la inclusión no sufrió cambios post-entrampamiento



Fotos 13A y 13B: Inclusiones vítreas (cristal negativo) donde se observa la burbuja de contracción en cuarzo. En la foto 13B se observa principio de devitrificación.



Fotos 14. Inclusiones fluidas primarias de vetas de cuarzo-hematita, con cristales hijos. Escala en micrómetros. V=burbuja de vapor; H= halita; Hm=hematita; F=cloruro de hierro (?); u=mineral no identificado (tomado de Richards, Krogh y Spooner, 1988).



Fotos 15. Inclusiones fluidas primarias de vetas de cuarzo-hematita, con cristales hijos. Escala en micrómetros. V=burbuja de vapor; H= halita; Hm=hematita; F=cloruro de hierro (?); A= anhidrita; S= silvita; u=mineral no identificado (tomado de Richards, Krogh y Spooner, 1988).

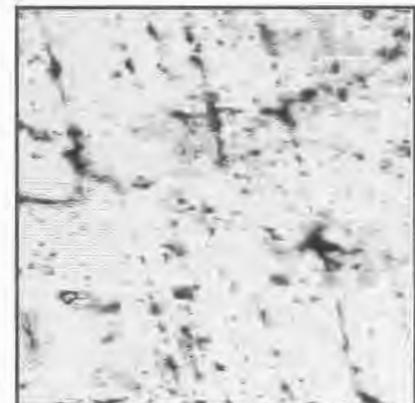


Foto 16. Fotografía en cuarzo, mostrando la textura tipo "escoba" formada por inclusiones fluidas de origen secundario (10X)

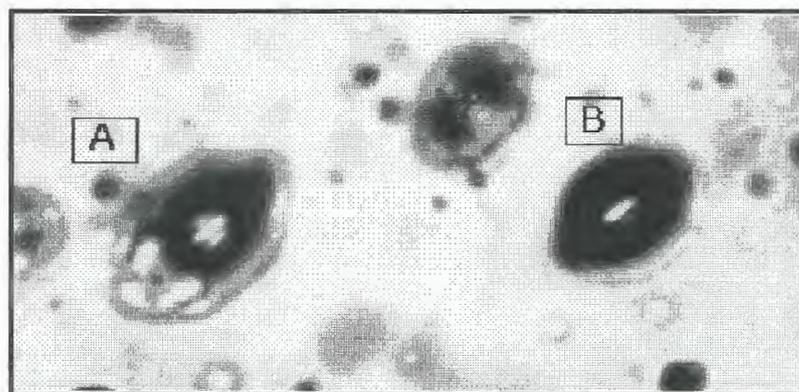


Foto 17. Plano con IF secundarias en cuarzo donde se observan IF con formas de cristal negativo con líquido + vapor + cristales hijos (A) y rellenas de vapor (B), Agua Rica, Catamarca.

(la densidad y composición del fluido permanecieron constantes). Los datos de IF no son interpretables cuando el fluido inicial fue heterogéneo o cuando las IF sufrieron estiramientos (*stretching*) o escape de fluido (*leaking*).

### Minerales utilizados

El mineral más utilizado para el estudio de IF es el cuarzo, debido a que está presente en la mayoría de los depósitos minerales. En depósitos hidrotermales además se usan fluorita, calcita y, cuando son translúcidos, también esfalerita, scheelita y casiterita; pueden servir para determinar la composición y la temperatura de los fluidos responsables de la mineralización de mena. Otros minerales empleados en los estudios de IF son apatita y dolomita. Minerales como baritina y calcita se utilizan cuando no hay otro mineral presente, ya que son muy susceptibles a los cambios post-entrapamiento.

### Muestras para el estudio de inclusiones fluidas

La primera etapa en el estudio de IF es el reconocimiento del mayor número posible de muestras, lo que permite seleccionar aquellas con el tipo de inclusiones aptas para efectuar el trabajo de detalle, ya que no todas las IF presentes son útiles para realizar mediciones. Para ello se utilizan, secciones delgadas de 90 a 150 $\mu$  de espesor y sin cubierta de vidrio o grano suelto. Durante el reconocimiento se evalúa: la presencia o ausencia de inclusiones, tamaños, formas, origen, relaciones líquido/vapor y tipos de inclusiones. Si la identificación resulta positiva, se preparan las secciones gruesas bipulidas para efectuar las mediciones. El tamaño de muestra de mano requerido es el común para cualquier estudio petrográfico (aproximadamente 1dm<sup>3</sup>).

De acuerdo con el tipo de depósito, el muestreo tiene que incluir vetas, venillas o minerales de mena/ganga, vinculados con el evento principal de mineralización que se pretende caracterizar. Hay que precisar si la muestra es del borde de la veta o si es del centro, si es de superficie o de profundidad. Es importante identificar a qué pulso de mineralización corresponde cada muestra, si es que hay más de uno (ver planilla Anexo I). Se recomienda seleccionar muestras frescas con relaciones espaciales, paragenéticas y temporales

bien definidas, de vetas y vetillas discordantes, vetas bandeadas o vetas pequeñas con el menor número de minerales presentes, lo que puede requerir alejarse del yacimiento principal o buscar en la roca de caja.

En los sistemas geotermales las inclusiones se buscan en los minerales hidrotermales de vetas o cavidades. En general, el mineral más frecuente es cuarzo, pero muchas IF se encuentran también en carbonatos, sulfatos, fluorita y una gran variedad de silicatos incluyendo epidoto, prehnita, datolita, wairakita, adularia, actinolita, etc..

## CARACTERÍSTICAS DE INCLUSIONES FLUIDAS POR TIPO DE DEPÓSITO

La mayoría de los depósitos minerales se pueden caracterizar mediante la petrografía de inclusiones fluidas. Composición, forma, tamaño, relación entre líquido-vapor y origen son parámetros utilizados para diferenciar muestras originadas en profundidades someras (<1 km), intermedias (1 a 4 km) y profundas (>4 km).

La geotermometría es usada principalmente para chequear el modelo metalogénico del depósito y estimar las temperaturas mínimas de formación como así también la salinidad del fluido.

Los rangos de temperatura y presión de formación de muchos de los depósitos minerales están bien acotados y pueden verse en las figuras D y E.

### Yacimientos epitermales

Las IF de sistemas epitermales tienen características diagnósticas de ambientes corticales superficiales. Típicamente presentan baja salinidad, tienen dos fases (líquido y vapor) y son ricas en agua. En cantidades menores, pueden estar presentes inclusiones con dióxido de carbono.

A partir de la mineralogía de las vetas y las alteraciones asociadas, el estudio de inclusiones fluidas se ha demostrado efectivo para diferenciar depósitos de baja o alta sulfuración. Los minerales utilizados para el estudio de las IF en estos sistemas son: cuarzo, calcita, fluorita y esfalerita.

Las inclusiones fluidas en cuarzo microcristalino tienen formas irregulares,

relaciones líquido-vapor inconsistentes y homogeneizan a temperaturas menores a los 200°C. Es virtualmente imposible ver inclusiones fluidas en calcedonia bandeada. Esta textura se forma a temperaturas menores a 140°C, por lo que su presencia brinda importante información con respecto al sistema hidrotermal.

En cuarzo cristalino, las zonas de crecimiento del mineral están definidas por IF primarias. En estas zonas de crecimiento las IF pueden tener forma irregular pero con relaciones líquido-vapor consistentes homogeneizando entre 200° y 240°C. En zonas de crecimiento similares, las inclusiones pueden tener formas más definidas homogeneizando entre 240° y 260°C mientras que las inclusiones que tienen formas de cristal negativo homogeneizan a temperaturas mucho mayores que los 260°C (Bodnar *et al.*, 1985).

Los eventos de ebullición en sistemas hidrotermales son propuestos como uno de los más eficientes mecanismos de depositación de Au y Ag (Drummond y Ohmoto, 1985). El estudio petrográfico de IF permite reconocer la existencia de condiciones de ebullición en el sistema, que están representadas por IF llenas de vapor y por estar acompañadas de otras inclusiones llenas de líquido/vapor. Otra evidencia es la presencia de inclusiones llenas de vapor en microfracturas que indican ebullición en algún lugar del sistema hidrotermal (Bodnar *et al.*, 1985; Hayba *et al.*, 1985).

Si se puede demostrar la existencia de condiciones de ebullición en el sistema, entonces la temperatura de homogeneización resulta equivalente a la temperatura de entrampamiento del fluido (Bodnar *et al.*, 1985).

#### **De baja sulfuración (adularia-sericita)**

Los depósitos epitermales ricos en metales de Base (Pb, Zn, Cu) y preciosos (Au, Ag) de baja sulfuración son los clásicos sistemas asociados con una fuente de calor distal. Estos sistemas son posteriores a la roca de caja (generalmente volcánica) y están caracterizadas por brechamiento y por el relleno de espacios abiertos.

En estos sistemas las IF son abundantes, la mayoría de origen primario y presentan dos fases: H<sub>2</sub>O líquida y H<sub>2</sub>O vapor. Las temperaturas de homogeneización son menores a 300°C y

tienen baja salinidad (< 12% peso equiv. NaCl, generalmente <2%).

#### **De alta sulfuración (tipo sulfato ácido)**

Los depósitos epitermales de alta sulfuración están relacionados espacial y genéticamente con magmatismo y comúnmente son coetáneos con su roca hospedante. Estos depósitos se caracterizan por la presencia de cuarzo poroso y alteración arcillosa avanzada que contiene alunita y enargita-pirita±tetraedrita con una ausencia notable de adularia y clorita.

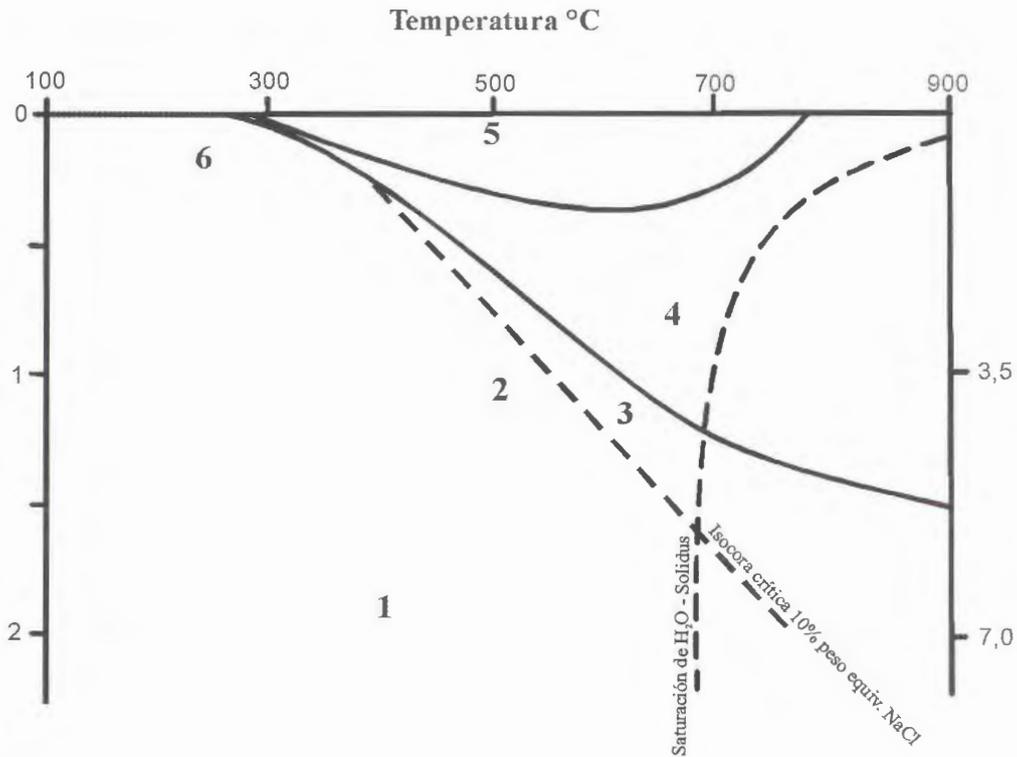
Los datos de IF para depósitos de este tipo son limitados porque generalmente las muestras de vetas tienen pocas inclusiones. Sin embargo las evidencias aportadas por el estudio de inclusiones sugieren que estos sistemas epitermales se desarrollan en la parte superior de ambientes porfíricos, encontrándose una completa transición entre el ambiente epitermal y los pórfiros (Hedenquist *et al.*, 1998).

En los sistemas epitermales de alta sulfuración se reconocen fluidos tempranos y tardíos. Los primeros están representados por IF con bajas a moderadas salinidades (<15% peso equiv. NaCl) y temperaturas de homogeneización menores a 400°C. Los fluidos tardíos son más salinos y tienden a generar IF ricas en vapor que homogeneizan a <350°C y contienen cristales hijos (35 a 50% peso equiv. NaCl).

#### **Yacimientos transicionales**

Se entiende por transicional a aquel depósito cuyas características están entre pórfiros y epitermales (Panteleyev, 1990) y son transicionales en cuanto a la profundidad de emplazamiento, mineralogía y texturas entre mesotermiales y epitermales. Estos depósitos se emplazan en ambientes donde hay una transición térmica en zonas con regímenes entre cizalla dúctil y frágil (Nesbitt, 1988).

Las características de las inclusiones en este tipo de depósitos no están aún bien determinadas. Los ejemplos de IF estudiados muestran al microscopio texturas del tipo "escoba" (*wispy textures*) (Foto 16) que indican ambientes de formación profundos. Este tipo de textura corresponde a pequeñas inclusiones (<5 micras) contenidas en millones de microfracturas que se cortan entre sí.



Ambientes		Tipo de IF	Origen de IF	Th (°C)	Salinidad (peso equiv. NaCl)	
<b>1</b>	Rocas metamórficas de bajo grado (Au mesothermal).	I, II, IV, VI, raramente III	Secundarias	200 a 400	Tipicamente <15% Raramente 35%	
	Batolitos, cúpulas de batolitos, stocks pequeños asociados a batolitos (U, Sn, Sn-W, W-Mo, Mo).	I, IV			<10%	
<b>2 y 3</b>	Pórfiros profundos (Butte, Escondida, El Salvador)	III, IV	Secundarias	350 a 800	>35%	
	<b>4</b> Pórfiros someros (Climax, Henderson)	I, II, III,			220 a 400	<15%
	<b>5</b> Pórfiros muy someros (faja aurífera Maricunga)	I, II			>220	>35%
<b>6</b>	Epitermales de baja sulfuración	I, II, III	Primarias	<200 a 300	<2% hasta 12%	
	Epitermales de alta sulfuración	I, II, IIIb	Primarias	<200 <400	<2% hasta 50%	

Figura D: Diagrama de fases H<sub>2</sub>O-NaCl con respecto a los diferentes ambientes de formación del mineral (Reynolds, 2000).

### Yacimientos mesotermales

Las vetas mesotermales generalmente se desarrollan en ambientes profundos (>4 km) emplazadas en casi todos los tipos de rocas. Una de las características principales de las IF de estos depósitos son las bajas temperaturas de homogeneización y salinidades bajas a moderadas (<35% peso equiv. NaCl) donde raramente hay cristales hijos salinos. Las inclusiones son acuosas y tienen un alto contenido en dióxido de carbono. Si la concentración de CO<sub>2</sub> es suficientemente elevada, entonces las IF tienen una fase vapor y una fase líquida de CO<sub>2</sub>.

Las IF de depósitos mesotermales se distinguen de las IF de epitermales por su alto contenido en gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>) y el predominio de inclusiones secundarias a lo largo de microfracturas selladas que desarrollan texturas tipo "escoba", características de ambientes profundos.

### Yacimientos tipo pórfiro clásicos (Cu-Mo, Cu)

Los fluidos hidrotermales responsables de la mineralización y de la alteración zonal alrededor y por encima de los plutones son de origen magmático y meteórico. Los datos obtenidos de isótopos estables, sustentan la idea de que los fluidos tempranos en un sistema porfirico serían esencialmente de origen magmáticos y que los fluidos meteóricos contribuirían de manera importante, especialmente en las etapas tardías del sistema y en las áreas externas del pórfiro (Lattanzi, 1994).

Las inclusiones relacionadas a fluidos magmáticos en los depósitos de cobre porfirico varían en composición (salinidad) y en temperaturas de homogeneización, en función principalmente de las diferentes presiones (profundidades) de emplazamiento del magma y de la etapa durante la cristalización en la cual el fluido fue atrapado (Bornar, 1995). Las características generales de las inclusiones que atraparon fluidos magmáticos son: altas temperaturas de homogeneización (400° a 800°C), altas salinidades (30 a 40% peso equiv NaCl) y cantidades significativas de CO<sub>2</sub> (<3% molar) que coexisten con un número menor de inclusiones ricas en vapor. Las IF altamente salinas pueden contener, a temperatura ambiente, uno o más cristales hijos (NaCl ± KCl ± CuFeS<sub>2</sub>, etc.).

Las IF que tienen temperaturas de homogeneización menores que 400°C y bajas

salinidades (<15% peso equiv. NaCl) son probablemente de origen meteórico (aún cuando fluidos magmáticos de baja salinidad o condensados fueron identificados en algunos sistemas) y se pueden asociar con vetas y alteraciones tardías. El cuarzo en estos sistemas se caracteriza por contener abundantes inclusiones ricas en fase vapor (Fotos 17 y 18) y por que son escasas las inclusiones trifásicas CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O típicas de ambientes profundos. En los sistemas de este tipo las inclusiones primarias son raras mientras que las inclusiones secundarias son abundantes, independientemente de la profundidad a la cual se desarrollan.

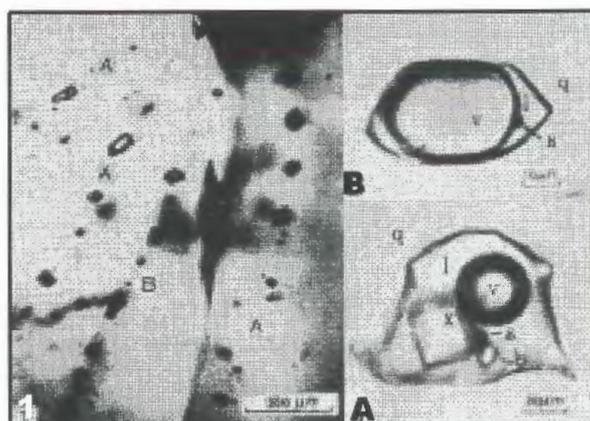


Foto 18: Fotografía de los dos tipos de inclusiones secundarias más comunes en Bingham, de vetas de cuarzo-molibdenita. En la foto de la izquierda (1) cuatro fracturas selladas, delineadas por inclusiones fluidas. Cada una de las fracturas generalmente contienen inclusiones del tipo A y B. Las de tipo A contienen únicamente líquido saturado (l), burbuja de vapor (v), un cristal hijo de mineral opaco rojo, presumiblemente hematita (s) (especularita) y un gran cristal de halita (x). Algunas de las inclusiones contienen un mineral pequeño, birrefringente que posiblemente sea anhidrita (b). Las de tipo B contienen un pequeño cristal opaco que presumiblemente sea hematita, líquido de baja salinidad y una gran burbuja de gas comprimido (tomado de Roedder, 1971).

### Yacimientos relacionados con batolitos y cúpulas (Sn-W, W-Mo, Mo)

#### Greisen y vetas asociadas

Los depósitos de greisen y vetas se caracterizan por poseer inclusiones con CO<sub>2</sub> y un amplio rango de salinidades. Las temperaturas de homogeneización en las inclusiones ricas en CO<sub>2</sub> son del orden de 200° a 400°C. Las inclusiones ricas en agua poseen baja salinidad (<10% peso equiv. NaCl) y temperatura de homogeneización relativamente baja, del orden de 200° a 300°C.

En estos depósitos la composición de los fluidos cambia con la evolución del sistema, los

fluidos cambia con la evolución del sistema, los fluidos tempranos son típicamente salinos (>50% peso equiv. NaCl) y las inclusiones tienen temperaturas de homogeneización mayores a 500°C, hacia los estadios tardíos ambos parámetros del fluido disminuyen progresivamente (temperatura y salinidad). Los datos combinados de isótopos estables e IF sugieren una mezcla de salmueras magmáticas con fluidos meteóricos diluidos. La presencia de CO<sub>2</sub> (± CH<sub>4</sub>) es además ubicua, y esto es una evidencia común de separación de fases inmiscibles ricas en H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub> (Lattanzi, 1994).

### Skarns

Los *skarns* constituyen una asociación de silicatos de Ca-Fe-Mg-Mn formados a partir del reemplazo de rocas carbonáticas en ambientes de metamorfismo de contacto o regional. Los componentes principales en la mayoría de los sistemas de *skarns* son H<sub>2</sub>O y en menor cantidad CO<sub>2</sub> (Einaudi *et al.*, 1981). Los datos de temperatura y composición de las IF en los minerales del *skarn*, típicamente granates, piroxenos y scheelita en la mena (fluidos progradantes), muestran salinidades entre 10 y 45% peso equiv. NaCl, con bajo contenido de CO<sub>2</sub> (<0,1 mol%). La presencia de tremolita-actinolita, epidoto y clorita sugiere que los fluidos acuosos tardíos dominaron las fases retrógradas. Las IF en scheelita y minerales de hierro, cobre y oro, confirman que los fluidos tardíos de baja salinidad depositaron minerales a temperaturas entre 150°C hasta 450°C. Algunos estudios muestran que los fluidos tardíos son también más ricos en CO<sub>2</sub>.

Las IF en los depósitos de este tipo contienen fluidos con un rango extremadamente variable de temperaturas de homogeneización y salinidades, que reflejan además los cambios composicionales ocurridos desde los fluidos magmáticos (± metamórficos) en estadios tempranos hacia los fluidos meteóricos en estadios tardíos. Los estudios de IF sobre muestras de *skarns* son difíciles de realizar porque las inclusiones primarias son escasas en minerales de reemplazo y porque la temperatura de formación de estos depósitos excede la temperatura máxima que permite la platina (750°C).

### Pegmatitas

Las pegmatitas generalmente se forman

en profundidades mayores a 4 km a partir de un magma rico en volátiles y de baja viscosidad. En general las IF se caracterizan por tener abundantes cristales hijos (pueden llegar a tener entre 10 a 25 cristales por inclusión) con una alta salinidad (aprox. 85% peso equiv. NaCl) y altas temperaturas de homogeneización (aprox. 650°C). Cuando las inclusiones son ricas en CO<sub>2</sub>, entonces tienen baja salinidad y temperaturas del orden de los 250° a 450°C.

### Sulfuros masivos

Los depósitos de sulfuros masivos se forman por la descarga de fluidos hidrotermales en el fondo marino. Este tipo de depósitos se dividen en dos categorías: sulfuros masivos volcanogénicos (VMS) y sedimentarios exhalativos o tipo sedex. Los VMS se encuentran en zonas con rocas volcánicas marinas o sedimentarias, principalmente cerca de márgenes de placas convergentes o divergentes (Lydon, 1984; Sawkins, 1990). Son clasificados por el contenido en metales (Pb-Zn-Cu, Cu-(Zn)-(Pb)) o por la posición tectónica. Los depósitos tipo sedex se desarrollan en cuencas intracratónicas; son estratiformes con pirita, esfalerita y galena como minerales principales.

### Sulfuros masivos volcanogénicos (VMS)

Las IF en VMS son similares a las encontradas en sistemas epitermales de baja sulfuración. Las IF se forman en niveles altos del sistema, cercanas a la superficie y no se asociandirectamente con un sistema porfírico en profundidad. Los estudios en depósitos como Chipre y Kuroko en Japón han mostrado que los depósitos de Cu-Zn tienen fluidos de composición similar a los del agua de mar (<3,5% peso equiv. NaCl, para Chipre) pero los depósitos de Pb-Zn son más salinos (4 a 8% peso equiv. NaCl, para Kuroko). Las temperaturas de formación están entre 250° y 350°C (Spooner, 1981).

### Yacimientos sedimentario-exhalativos (Sedex)

Las inclusiones fluidas en depósitos tipo sedex se forman a bajas presiones y son similares en composición y texturas a los depósitos epitermales de baja sulfuración. Las rocas en este tipo de ambientes son generalmente de grano muy fino lo que dificulta el estudio de inclusiones fluidas. El cuarzo de venas de texturas tipo

*stockwork* en la base de cuerpos de sulfuros masivos registran temperaturas bajas a moderadas (200° a 300°C) y moderadas salinidades (15 a 30% peso equiv. NaCl) (Goodfellow *et al.*, 1997).

#### Yacimientos tipo Mississippi Valley (MVT)

Los depósitos tipo MVT son grandes cuerpos con importantes contenidos en Zn ( $\pm$ baritina y fluorita) emplazados en rocas carbonáticas. Se forman en ambiente de plataforma con poca actividad tectónica o eventos ígneos. Estos depósitos tienen una génesis dual: relleno de espacios abiertos por procesos kársticos y reemplazo. Los fluidos asociados con estos depósitos son densos, altamente salinos (>30%), temperaturas bajas (50° a 200°C) y comúnmente contienen hidrocarburos.

Las inclusiones tienen alta concentración total de sales (>15% peso equiv. NaCl) pero careciendo NaCl como cristales hijos. Es común el entrapamiento de petróleo y metano a bajas temperaturas (entre 100° y 150°C) que raramente superan los 200°C.

#### Conclusiones

Los fluidos que circulan por microfracturas y espacios porales en los minerales de la corteza terrestre y la parte superior del manto son preservados en las inclusiones fluidas, pudiéndose obtener información directa sobre paleofluidos entrapados en las inclusiones fluidas. El análisis de las IF permite una mejor descripción de la interacción fluido-roca-líquido silicático ya que se pueden reconstruir las paleocondiciones de circulación de los mismos.

El ambiente de depositación de mena puede ser interpretado a partir de la evaluación de la textura y naturaleza de las inclusiones fluidas. En la figura D se resumen las diferencias petrográficas entre los distintos tipos de depósitos. En la mayoría de los casos, básicamente la petrografía de inclusiones provee los principales medios que permiten identificar y caracterizar los diferentes tipos de depósitos sin conocer ni la salinidad ni la temperatura de homogeneización. Las relaciones entre microfracturas, los datos de composición simples y las evidencias de ebullición son identificados y determinados por petrografía de inclusiones.

Los estudios de IF en depósitos minerales son de gran importancia cuando éstos forman

parte y se integran a los estudios texturales y de campo que se estén abordando, además de estar asociados con técnicas complementarias como isótopos estables y/o técnicas de química mineral.

#### REFERENCIAS

- Bodnar, R., 1994.** "Philosophy of Fluid Inclusion Analysis". In: Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications. De Vivo, B. and Frezzotti, M. (Eds.). Short Course of the Working Group (IMA) "Inclusions in Minerals". Pontignano-Siena, pags: 1-7.
- Bodnar, R., 1995.** "Fluid-Inclusion Evidence for a Magmatic Source for Metals in Porphyry Copper Deposits". In: Magmas, Fluids, and Ore Deposits. Thompson, J.F.H. (Ed.). Mineralogical Association of Canada. Short Course Series, vol 23: 139-152.
- Bodnar, R., Reynolds, T. and Kuhen, C., 1985.** "Fluid-Inclusion Systematics in Epithermal systems". In: Berger, B.R. and Bethke, P.M. (Eds.): Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, v. 2: 73-98.
- Brown, K., 1999.** "Fluid Inclusion Modeling for Hydrothermal Systems". In: Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology. Richards, J. and Larson, P. (Eds.). Reviews in Economic Geology, v10: 151-171.
- Clocchiatti, R., 1974.** "Les Inclusions Vitreuses des Cristaux de Quartz: Etude Optique, Thermo-Optique et Chimique. Applications Geologiques". These presentee Universtite de Paris-Sud Centre D'Orsay pour obtenir Le Grade de Docteur Es-Science. Orsay N° 1390.
- Drummond, S. and Ohmoto, H., 1985.** "Chemical Evolution and Mineral Deposition in Boiling Hydrothermal Systems". Economic Geology, v. 80: 126-147.
- Einaudi, M., Meinter, L. and Newbrry, R., 1981.** "Skarn Deposits". Economic Geology 75<sup>th</sup> Aniversary Volume: 317-391.
- Goldstein, R. and Reynolds, T. J., 1994.** "Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals". Society for Sedimentary Geology. Short Course 31, 199 p.
- Goodfellow, W., Lydon, J. and Turner, R. J., 1997.** "Geology and Genesis of Stratiform Sediment-Hosted (SEDEX) Zinc-Lead-Silver Sulphide Deposits". In: Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. and Duke, J.M. (Eds.). Mineral Deposits Modeling: Geological Association of Canada, Special Paper 40: 201-251.
- Hayba, D., Bethke, P., Heald, P. and Foley, N., 1985.** "Geologic, Mineralogic and Geochemical

- Characteristics of Volcanic-Hosted Epithermal Precious-Metal Deposits". In: Berger, B. and Bethke, P. (Eds.). *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, V 2: 129-167.
- Kelly, W. and Rye, R., 1979.** "Geologic, Fluid Inclusion, and Stable Isotope Studies of the Tin-Tungsten Deposits of Panasqueira, Portugal". *Economic Geology*, Vol 74: 1721-1822.
- Lattanzi, P., 1991.** "Applications of Fluid Inclusions in the Study and Exploration of Mineral Deposits". *European Journal Mineralogic*, v 3: 689-701.
- Lattanzi, P., 1994.** "Fluids in Ore Deposits: Evidence from and Applications of Fluid Inclusions". In: *Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications*. De Vivo, B. and Frezzotti, M. (Eds.). Short Course of the Working Group (IMA) "Inclusions in Minerals". Pontignano-Siena, pp: 297-309.
- Lydon, J., 1984.** "Volcanogenic Massive Sulphide Deposits, Part 1: A Descriptive Model". *Geoscience Canada*, V 11(4): 195-202.
- Nash, J., 1976.** "Fluid Inclusion Petrology-data from Porphyry Copper Deposits and Applications to Exploration". U.S. Geological Survey, Professional Paper 907-D, 16 p.
- Nesbitt, 1988.** "Gold Deposit Continuum: A Genetic Model for Lode Au Mineralization in the Continental Crust". *Geology*, v 16: 1044-1048.
- Panteleyev, A., 1990.** "Gold in the Canadian Cordillera: A focus on Mesothermal and Epithermal Environments". In: *Ore Deposits, Tectonics and Metallogeny in the Canadian Cordillera*. Geological Association of Canada, MAC, Short Course notes. 44p.
- Rankin, A. and Alderton, D., 1983.** "Fluid Inclusion Petrography of SW England Granites and its Potential in Mineral Exploration". *Mineralium Deposita*, v 18: 335-347.
- Reynolds, T. J., 2000.** "Notas del Seminario-Taller de Inclusiones Fluidas". SEGEMAR-IGRM. Inédito.
- Richards J.P., Krogh T.E. and Spooner, E.T., 1988.** "Fluid Inclusion Characteristics and U-Pb Rutile Age of Late Hydrothermal Alteration and Veining at the Musoshi Stratiform Copper Deposit, Central African Copper Belt, Zaire". *Economic Geology*, Vol 83, pp: 118-139.
- Roedder, E., 1971.** "Fluid Inclusion Studies on the Porphyry-Type Ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado". *Economic Geology*, Vol 66, pp: 98-120.
- Roedder, E., 1984.** "Fluid Inclusions". *Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy*, vol. 12, 646 pp.
- Sawkins, F., 1990.** "Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics". Second Edition. Springer-Verlag. 461 p.
- Shepherd, T. and Rankin, A., 1999.** "Fluid Inclusion Techniques of Analysis". In: *Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology*. Richards, J. and Larson, P. (Eds.). *Reviews in Economic Geology*, v10: 125-149.
- Shepherd, T., Rankin, A. and Alderton, D., 1985.** "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies". Chapman and Hall, 237 p.