

Petrografía y termometría de las inclusiones fluidas de la manifestación wolframífera de Angulos, Sistema de Famatina (La Rioja, Argentina).

F. G. Sardi⁽¹⁾, G. Mas⁽²⁾ y L. Bengochea⁽²⁾

(1) Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán, Miguel Lillo 205, 4000 - San Miguel de Tucumán, Argentina.

(2) Depto. de Geología, Universidad Nacional de San Juan - CONICET, San Juan 670, 8000 - Bahía Blanca, Argentina.

RESUMEN

Las vetas lenticulares portadoras de minerales de wolframio de la zona de Angulos, conocida como "Badillo" o "Suri", están localizadas en la parte suroccidental del cerro Potrerillos en el Sistema de Famatina (La Rioja, Argentina). La mineralogía hipogénica del depósito consiste principalmente en wolframita y pequeñas cantidades de scheelita, molibdenita y casiterita. El Granito Potrerillos, que constituye la roca de caja del yacimiento wolframífero, se caracteriza por presentar muscovitización en la biotita y plagioclasa, y albitización que afecta al microclino. La alteración muscovítica también se encuentra en los filones mineralizados.

En este trabajo, se analizan las características petrográficas y los resultados termométricos de las inclusiones fluidas encontradas en el cuarzo de las vetas mineralizadas y en el cuarzo del Granito Potrerillos. Las inclusiones tienen tamaño variables (máximo de 30 μ) y han sido reconocidas tres tipos principales de acuerdo al número y tipo de fases presentes a temperatura ambiente: trifásicas (esencialmente H₂O líquida - CO₂ líquido y vapor); bifásicas (H₂O líquida y vapor); y multifásica (con una fase sólida en H₂O líquida). Las dos primeras son muy abundantes en los filones y en el granito.

La salinidad de la fase líquida, entre 4 y 15% NaCl eq., puede considerarse media a alta. Este factor habría favorecido el transporte del wolframio, mientras que el componente gaseoso CO₂ habría tenido importancia en el control de las condiciones físico-químicas del medio.

La homogeneización de las inclusiones vinculadas genéticamente con la mineralización de los filones y alteración del granito ha registrado una temperatura media de 279,2°C y 328,2°C, respectivamente. La mayor temperatura de homogeneización de las inclusiones presentes en los filones se ha definido en el rango de 270-330°C y en el Granito Potrerillos se dieron valores hasta 450°C. Los casos de decrepitación, sin homogeneización previa, fueron muy comunes.

Palabras clave: Inclusiones fluidas, Wolframita, Sistema de Famatina, Argentina.

Petrography and thermometry of fluid inclusions in the wolfram bearing lenses in Angulos, Famatina System (La Rioja, Argentina).

ABSTRACT

The tungsten-bearing quartz lens of Angulos (known as "Badillo" or "Suri") is located in southwestern part of Potrerillos range within the Famatina System (La Rioja, Argentina). The mineralogy of the quartz lens is mainly constituted by wolframite and small amounts of scheelite, molybdenite and cassiterite. The Potrerillos Granite (Devonian) is altered by muscovitization and albitization, being placed surrounding the ore deposit. The origin of the latter is related with hydrothermal solutions from Potrerillos Granite.

In this paper, the petrographic and thermometric characteristic of fluid inclusions in quartz veins (lenses) and quartz of the Potrerillos Granite are studied. They have variable size (max.: 30 μ) and three main types were recognized: a three-phase (essentially H₂O liquid-CO₂ liquid and vapor), a two-phase (H₂O liquid and vapor) and a multiphase (with a solid-phase). The first two are very abundant in the ore deposits and the granite.

The salinity of the liquid fase, between 4 to 15% NaCl eq., can be considered medium to high. This property would have helped the tungsten migration, while the CO₂ component would have been important in the control of the physicochemical conditions of the environment.

The homogenization of the fluid inclusions genetically related with the mineralization in the quartz veins and the alteration of the granite have registered an average temperature of the 279,2°C and 328,2°C, respectively. The higher homogenization temperature in the quartz veins was between 270°-330°C and, in the Potrerillos Granite up to 450°C. The cases of decrepitation, without pre-homogenization, were also very common.

Key words: Fluid inclusions, Wolframite, Sistema de Famatina, Argentina.

INTRODUCCIÓN

En la región centro-oriental del Sistema de Famatina se destaca un pequeño yacimiento de wolframio acompañado en forma subordinada por estaño y molibdeno. Es conocida como "Badillo" (o "Suri") y se ubica en las estribaciones suroccidentales del Cerro Potrerillos, el cual a su vez constituye el sector noroccidental de la Cadena de Paimán. Se encuentra a unos 2 Km al NE de la localidad de Angulos, provincia de La Rioja (Argentina).

La manifestación estudiada se ubica en la Provincia Metalogénica de Sierras Pampeanas según el esquema de Angelelli y Fernández Lima (1980) y está incluida en la Hoja Geológica 15d de Famatina (Turner, 1971) y en el mosaico 33c del mapa geológico económico de La Rioja (Marcos y Petrelli, 1971). Este depósito tiene un origen hidrotermal formado a partir de soluciones derivadas del Granito Potrerillos (Valonia, 1963), el cual constituye la roca de caja del yacimiento. La asociación paragenética del yacimiento descrita preliminarmente por Sardi (1996), tanto en su composición metalífera como los componentes de la ganga, sustenta también la hipótesis hidrotermal anterior.

El Granito Potrerillos, de edad Devónica, tiene un aspecto leucocrático y petrográficamente consiste en un monzo a sienogranito con menos de un 5% de biotita y trazas de fluorita y muscovita. Presenta textura variable, equigranular a porfírica, con facies aplíticas, granofíricas e incluso diques subvolcánicos (Pérez, 1991). Las alteraciones postmagmáticas ocurridas en la cúpula granítica consisten principalmente en moscovitización, la cual se asocia a veces con rutilo y wolframita, y albitización que afecta a la microclina del granito (Sardi y Rossi de Toselli, en

prensa). Geoquímicamente, el Granito Potrerillos presenta caracteres peraluminosos a metaaluminosos y tendencia calcoalcalina; es una roca muy ácida con bajos contenidos de MnO, MgO y CaO, y rica en álcalis. Los elementos trazas Ba y Sr, y los granitófbos como V y Cr se encuentran en bajas cantidades, mientras que Rb, tierras raras y F (importante para el transporte del W y Sn) presentan valores importantes.

Una falla regional originada probablemente durante los movimientos andinos pone en contacto la unidad granítica precedénte con rocas metapelíticas y metapsamíticas de bajo a muy bajo grado de metamorfismo regional agrupadas bajo el nombre de Formación La Aguadita portadora de material paleontológico lo que ha permitido asignar a la sedimentación una edad Precámbrico superior-Cámbrico inferior (Durand y Aceñolaza, 1990).

El yacimiento wolframífero Badillo consiste en filones lenticulares de pocos metros de extensión, y potencia del orden de los decímetros. Estos filones cuarzosos son generalmente de color blanco aunque se presentan algunos, menos frecuentes, de color gris. También se han encontrado filones de cuarzo-albita. Las observaciones de campo indican que los distintos tipos de lentes mineralizadas tienen, en general, una baja inclinación alojados en el techo del granito sin que se haya podido establecer una clara y evidente relación entre ellos.

En general, la textura de los filones se caracteriza por un entramado xenomórfico compuesto esencialmente de cuarzo, y minerales hipogénicos accesorios consistentes principalmente en wolframita, scheelita, molibdenita, y en forma subordinada casiterita, pirlita y covelina. Entre los minerales no metálicos se destacan feldespatos

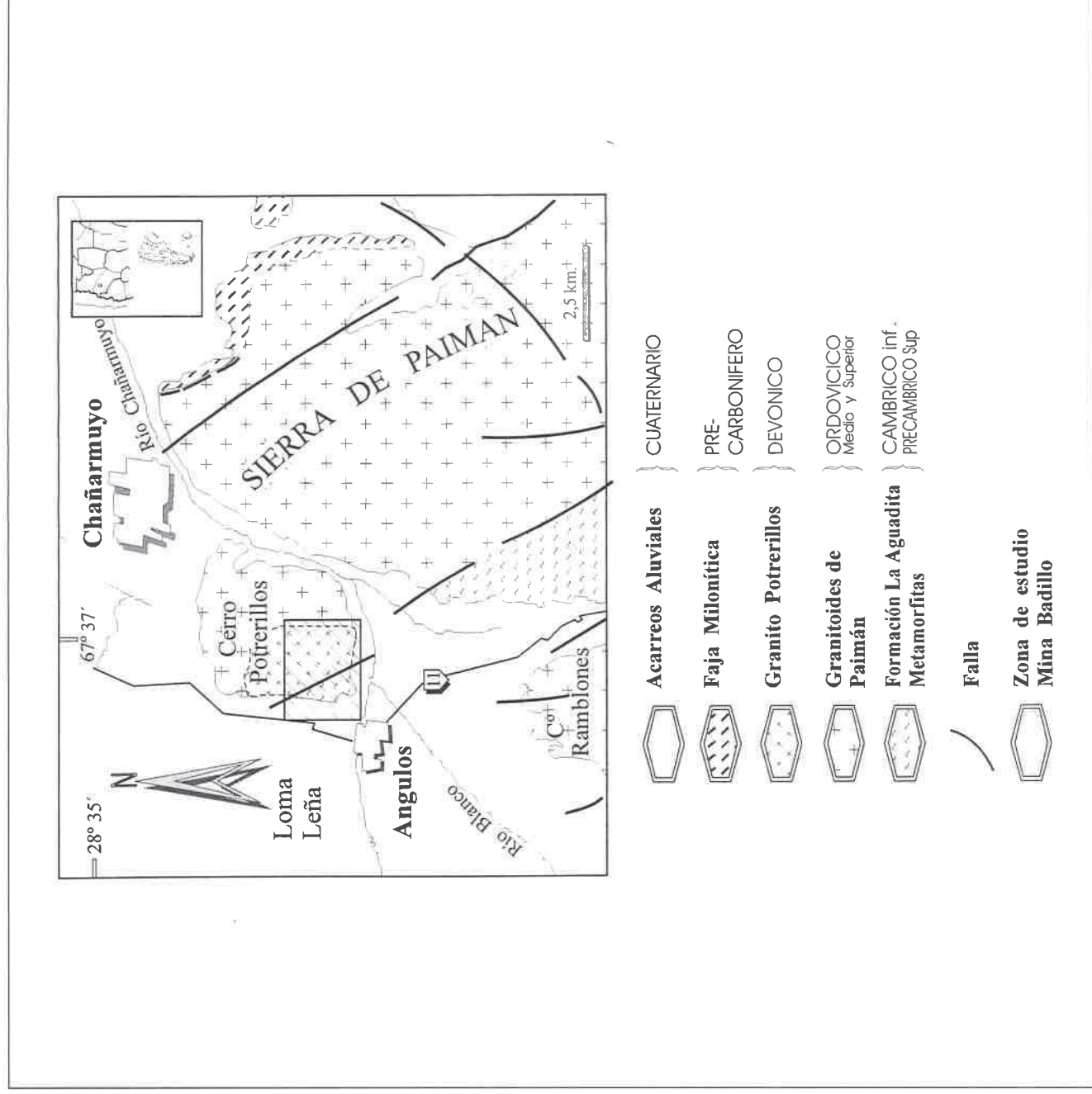


Figura 1. Mapa geológico de la zona de estudio.

potásico, muscovita, apatito, circón y berilo muy escaso (Sardi, 1996).

El depósito ha sido explotado en forma muy rudimentaria, en algunos casos con pequeñas labo-

res subterráneas durante la primera mitad y mediados del siglo XX.

Se han hallado inclusiones fluidas en el cuarzo de los distintos filones mineralizados originadas

coetáneamente con la formación de ese mineral, y en el cuarzo del Granito Potrerillos las que habrían tenido vinculación genética con la alteración hidrotermal en la unidad. En el presente trabajo se describen las características petrográficas de las inclusiones fluidas y la termometría práctica sobre las mismas (enfriamiento-calentamiento) brinda datos físicos y químicos de los fluidos entrapados.

PETROGRAFÍA DE LAS INCLUSIONES

Las observaciones de inclusiones fluidas fueron realizadas en secciones bipulidas de cuarzo, tanto de los filones como en el Granito Potrerillos. En ambos tipos litológicos se ha podido determinar la presencia de inclusiones pseudosecundarias, secundarias, y en mucha menor proporción, primarias siguiendo los criterios de Roedder (1984). Como primarias, se han clasificado aquellas inclusiones con distribución errática, tridimensional, a través del cristal. Su presencia es aislada, lejos de otras inclusiones, a una distancia aproximada de ≥ 5 veces el diámetro de la inclusión. Las de origen secundario, se presentan como grupos planares delineando fracturas selladas (clivajes u otras) que atraviesan dos o más cristales individuales. Las inclusiones pseudosecundarias tienen la misma forma de presentarse que las secundarias, pero los extremos de las fracturas terminan dentro del cristal (generalmente un extremo termina en una zona de crecimiento).

Así, se han considerado relacionadas al evento de la mineralización del depósito aquellas inclusiones primarias y pseudosecundarias presentes en el cuarzo de los filones, mientras que sólo éstas últimas estarían vinculadas a la alteración del Granito Potrerillos. Las secundarias no se consideran en este trabajo coetáneas con ninguno de sendos procesos.

Con respecto al tamaño, las inclusiones mayores miden entre 10 y 20 μ , y ocasionalmente pueden llegar hasta unos 30 μ . Sin embargo, las más pequeñas son las más abundantes. La morfología de las inclusiones es variada predominando aquellas con bordes redondeados sobre los angulosos.

De acuerdo al número y tipo de fases presentes a temperatura ambiente, contamos con los siguientes tipos de inclusiones:

Tipo I.- Trifásicas: están compuestas de H₂O líquida y un gas inmiscible líquido y vapor, que según los posteriores resultados termométricos determinaron que es esencialmente CO₂ con contenidos variables de otros gases insolubles. Los filones mineralizados son muy ricos en inclusiones trifásicas, excepto en los filones de cuarzo gris donde son más escasas. En el Granito Potrerillos las inclusiones de este tipo, con alto contenido de CO₂ y de mayor tamaño predominan en los sectores más alejadas de las lentes cuarzosas disminuyendo en la proximidad de los mismos, lo que se atribuye a una pérdida de ese gas y reducción del tamaño de las inclusiones probablemente durante la intrusión de los filones.

El tipo I siempre caracterizó a las inclusiones denominadas anteriormente como primarias y pseudosecundarias por lo que estarían vinculadas genéticamente con los procesos de alteración y mineralización del área.

Tipo II.- Bifásicas: (líquido-vapor). Estas inclusiones acuosas se presentan tanto en el cuarzo del Granito Potrerillos como en los filones mineralizados, siendo más abundantes en los del tipo de cuarzo gris. El porcentaje de la fase vapor es muy variable ocupando entre el 10% de la cavidad hasta el 90% de la misma. Por esto, este grupo es dividido en dos subgrupos:

- Subtipo IIa.- *Bifásicas líquidas:* con un volumen de vapor menor o igual al 50%.

- Subtipo IIb.- *Bifásicas vapor:* con volumen de vapor mayor al 50%.

En muchos casos y sobre todo en las del subtipo IIb, la interfase líquido-gas es muy marcada y la burbuja en general se observa con alto relieve. Algunas inclusiones de éste subtipo resultaron ser trifásicas ya que a bajas temperaturas (-80°C/-100°C) se produce la nucleación de una pequeña cantidad de gas inmiscible de baja densidad.

El tipo II es el grupo de inclusiones más comunes en el yacimiento Badillo.

Tipo III.- Polifásicas: corresponden a este grupo aquellas inclusiones cuya fase líquida contiene un cristal hijo. Algunos presentan un comportamiento anisótropo, y otros, en menor proporción, son isótropos considerados como halita. Este tipo de inclusiones no son abundantes en el yacimiento, menos aún en la roca de caja.

El cuadro 1 resume las características petrográficas de las inclusiones fluidas del Granito Potrerillos alterado hidrotermalmente y de los filones mineralizados el área de Angulos.

TERMOMETRÍA

Se llevaron a cabo mediciones termométricas sobre todas las inclusiones presentes mediante una platina de calentamiento-enfriamiento del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur (Argentina). Las densidades y salinidades fueron calculadas mediante el programa FLINCOR Versión 1-2-1 (Brown, 1988). El cuadro 2 muestra los resultados obtenidos.

Se deja aclarado que, de acuerdo a los valores

obtenidos en las prácticas termométricas especialmente durante el enfriamiento, se ha deducido que el gas inmisible presente en las inclusiones tipo I se trata esencialmente de CO₂.

Resultados - Inclusiones Trifásicas (tipo I)

El valor medio de la temperatura de homogeneización del CO₂ en el Granito y en los filones es similar, aproximadamente de 17°C, si bien en estos últimos se ha registrado el extremo más bajo (+7,9°) y el más alto (+24,2°). En la mayoría de las inclusiones analizadas, la densidad del CO₂ es mayor que la crítica, y sólo excepcionalmente algunas inclusiones homogeneizaron a vapor.

De acuerdo a la figura 2, en muestras del granito cercanas a los filones mineralizados se determinaron temperaturas de homogeneización de CO₂ muy poco variables, entre 13°C y 14°C con densidad media de 0,83 g/cc, mientras que en las más alejadas predominan valores entre 17°C y 22°C con densidad promedio de 0,75 g/cc. En los filones por su parte, se han determinado dos poblaciones de datos termométricos que serían cerca-

LITOLOGIA	MINERAL	ORIGEN	TAMAÑO (µ)	TIPO	OBSERVACIONES
Granito Potrerillos	Cerca de filón	* Pseudosec. (+++) * Secundarias (++)	* Mayores: 12,5-8, (+) Ocasional/: 30. * Menores: -8 (+++)	* I (+). A veces, con 65% de CO ₂ . * IIa (+++). 10-30% vapor * IIb (++) . hasta 90% vapor * III (+).	* Generalmente las IF mayores, que a veces se encuentran en intersección de trenes, son de formas angulosas.
	Lejos de filón	* Secundarias (+++) * Pseudosec. (++)	* Mayores: 20-15 (+) * Medianas: 15-7 (++) * Menores: -7 (+++)	* IIa (+++). 20-40% vapor * I (+). 30-60% CO ₂ * IIb (+). 50-60% vapor * III (+). 25% vapor	* Idem * Algunas IF tienen formas alargadas paralelas a trenes (fracturas). * Las III son grandes y con alto contenido de CO ₂ .
	Algo Deformado.	* Pseudosec. (+++) * Secundarias (++)	No alcanzan los 10. Esporádicamente, 20.	* I (+++) * IIa y b (++) * III (+)	* La roca contiene microvenillas de cuarzo por rotura de granos mayores que cedieron a los esfuerzos.
Cuarzo Blanco	Granos de cuarzo de diferentes tamaño.	* Secundarias (+++) * Pseudosec. (+++) * Primarias (++)	* Mayores: 15-10 (+). A veces, hasta 20. * Menores: -10 (+++)	* IIa (+++). 10-40% vapor * IIb (+++). 55-65% vapor. Algunas, hasta 90% * I (+++). 30-80% CO ₂ * III (+). 10-25% vapor	* Son muy abundantes las IF pequeñas sobre todo cuando son secundarias y pseudosec. * Algunos trenes ocupan espacios intergranulares.
Cuarzo Gris	Granos de cuarzo.	* Secundarias (+++) * Pseudosec. (+++) * Primarias (++)	* Mayores: 18-12 (+) * Menores: -12 (+++)	* IIa (+++). 10-30% vapor * IIb (++) . más 70% vapor * I (+). 10-30% CO ₂ * III (+). 30-50% vapor	* En intersección de trenes son más grandes. Algunos de ellos son intergranulares.
Cuarzo - Albita	Cuarzo.	* Pseudosec. (+++) * Secundarias (+++) * Primarias (+) ?	* Mayores: 14-8 (+) * Menores: -8 (+++)	* I (+++). 50% CO ₂ * IIa (+++)// 10-20% vapor * IIb (++) // 50-70% vapor	* En intersecciones de trenes se observan tipo II en general. * Las I son comunmente grandes.

Referencias: IF: inclusiones fluidas. Pseudosec.: pseudosecundarias. (+++): muy abundante. (++): abundante. (+): escaso.

Cuadro 1. Características petrográficas de las industrias fluidas del yacimiento Badillo, Angulosos, La Rioja (Argentina).

	TRIFASICAS										BIFASICAS			
											Bif. líquidas		Bif. Vapor	
	ThL CO ₂	ThV CO ₂	ThL	Td	Tm CO ₂	Tm H ₂ O	Tm Clit.	ThL	Td	Tm ₀ H ₂ O	Tm _f H ₂ O	ThL	Td	
////	n	15	--	--	3	2	3	49	--	5	10	--	--	
////	x	17.5	--	--	-58.0	-4.5	3.6	252.3	--	-41.7	-5.55	--	--	
////	δ	3.09	--	--	--	--	5.6	91.4	--	--	3.18	--	--	
////	Max	21.8	--	--	-57.3	--	1.8	450.3	--	-32.3	-1.8	--	--	
////	Min.	13.1	--	--	-59.1	--	--	106.3	--	-49.8	-9.7	--	--	
////	n	89	3	10	19	16	8	63	3	11	12	1	3	
////	x	17.1	17.6	248.3	301.4	-57.5	4.15	221.8	--	-30.1	-5.45	316.1	--	
////	δ	4.1	--	--	37.2	0.7	--	53.3	--	--	--	--	--	
////	Max	24.2	23.3	284.4	381.4	-56.7	6.9	317.6	375.0	-20.1	-2.9	--	428.0	
////	Min.	7.9	13.0	222.7	239.3	-58.9	0.0	103.7	218.5	-40.7	-8.4	--	255.7	

Cuadro 2. Mediciones termométricas de inclusiones trifásicas y bifásicas del yacimiento Badillo (las unidades están expresadas en °C). En este cuadro, se incluyen también valores obtenidos en inclusiones bifásicas secundarias, no consideradas coetáneas con los procesos de alteración y mineralización.

Referencias:

ThLCO₂: temperatura de homogeneización del CO₂ a líquido.

ThVCO₂: *idem* a vapor.

ThL: temperatura de homogeneización total a líquido.

Td: temperatura de decrepitación.

TmCO₂: temperatura de fusión del CO₂.

TmH₂O: temperatura de fusión del hielo; O: inicial; f: final

TmClit: temperatura de fusión del clatrato.

n: número de mediciones.

δ: varianza.

Max: valor máximo de las mediciones.

Min: valor mínimo de las mediciones.

nos a los anteriores, y que guardan relación con el tipo de cuarzo presente en ellos. Es posible observar en estas poblaciones diferencias significativas: la población de temperaturas de homogeneización más bajas, entre 8 y 14°C, se manifiesta claramente en los filones blanco y gris, y es escasa en los filones de cuarzo-albita; las temperaturas entre 17 y 24°C están marcadamente expuestas en los filones blancos y en los de cuarzo-albita, y no son relevantes en el filón gris.

La temperatura de homogeneización del CO₂ a fase líquida tiene relación inversa a la densidad del mismo: a mayor temperatura es menor la densidad de dicho gas. Así, las inclusiones tipo I entrampadas en el filón grisáceo tienen CO₂ de mayor densidad que el existente en las de

cuarzo-albita, comprendido entre 0,80 y 0,88 g/cc y 0,73 y 0,80 g/cc, respectivamente. En los filones blancos, dominantes en el yacimiento, se presenta CO₂ con densidades variables.

La figura 3 muestra la tendencia decreciente entre la cantidad de CO₂ y su temperatura de homogeneización a líquido.

Por su parte, la homogeneización final (CO₂-H₂O) siempre ocurre a la fase acuosa y en muchos casos se produjo la decrepitación de las inclusiones antes de su homogeneización total. Así, los resultados graficados en figura 4 indican que la temperatura de homogeneización, para inclusiones cuya cantidad de CO₂ es siempre inferior a 50%, oscila entre los 220 y 270°C. La decrepita-

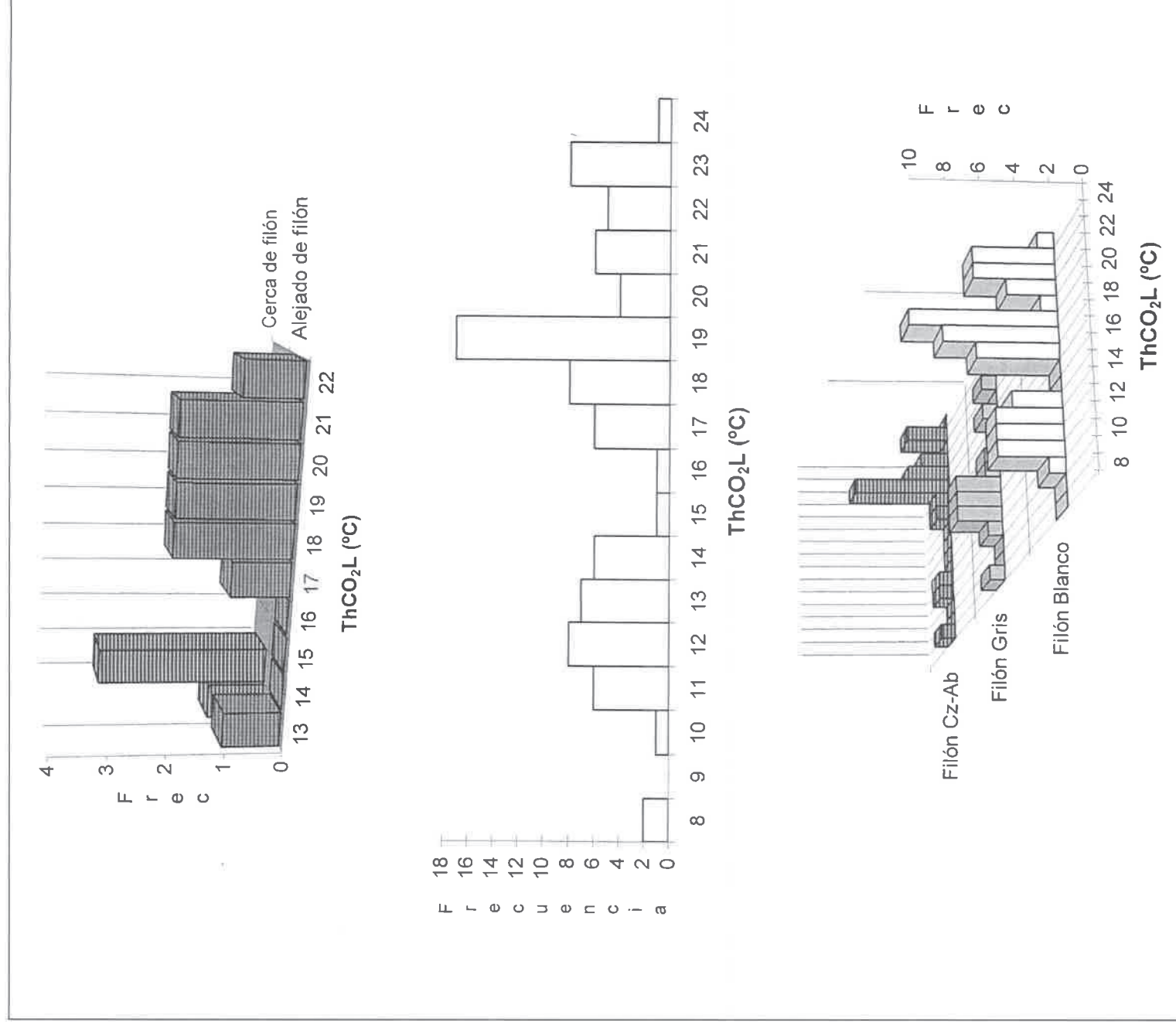


Figura 2. Inclusiones trifásicas (tipo I). Temperatura de homogenización del CO₂.
 Arriba: Granito Potrerillos.
 Centro: Filones mineralizados.
 Abajo: Filones mineralizados discriminado por tipo de filón.

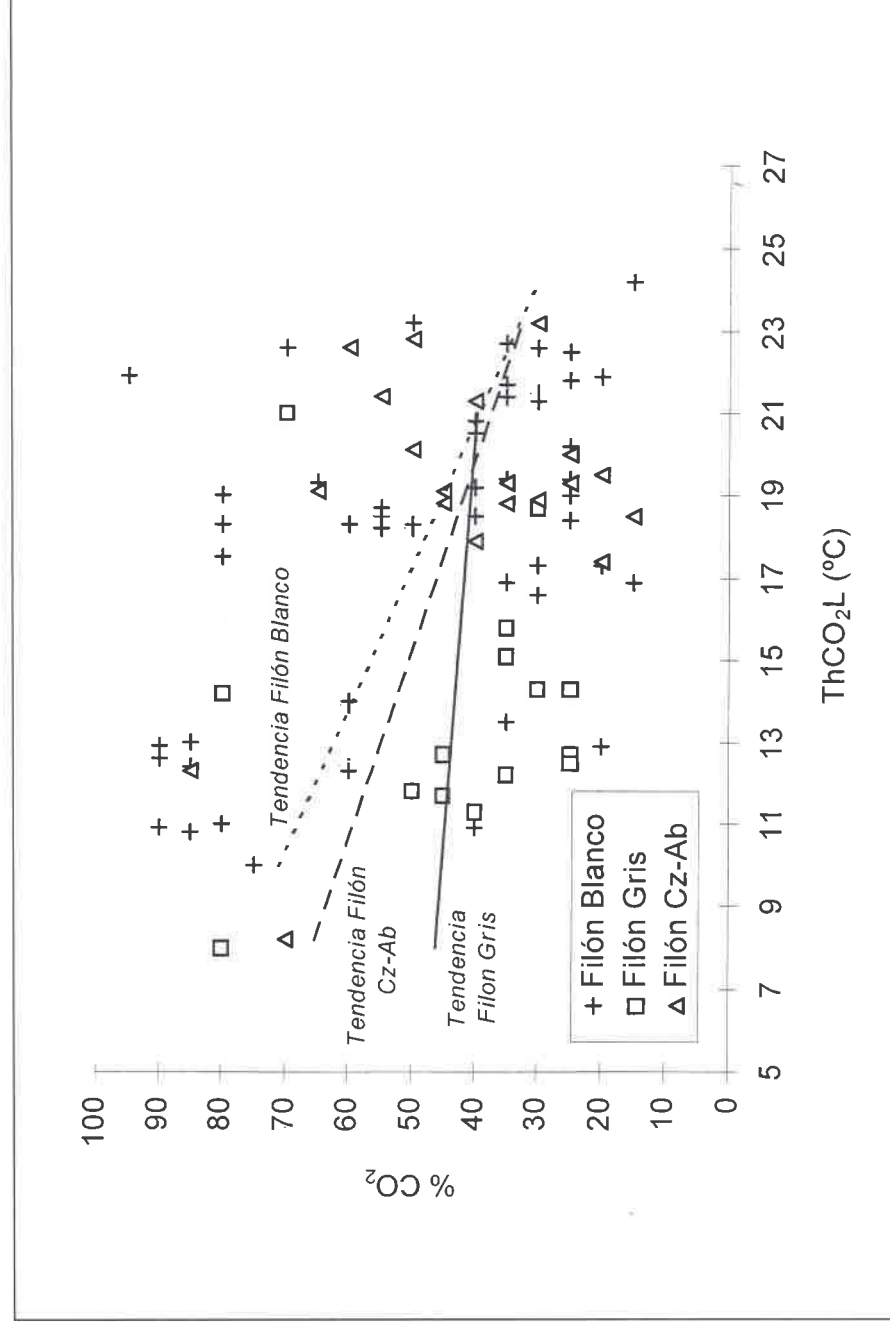


Figura 3. Inclusiones trifásicas (tipo I). Relación %CO₂-ThCO₂L en filones mineralizados.

ción, debido a una presión interna mayor que la externa, ocurre predominantemente en inclusiones con altas proporciones de CO₂ y a temperaturas superiores a la de homogeneización, llegando en algunos casos hasta casi los 400°C.

En las inclusiones trifásicas se han medido, además, la temperatura de fusión del CO₂ (TmCO₂). Los resultados obtenidos representados en la figura 5, muestran valores constantes entre -56,6 y -59,0°C siendo el valor medio de -57,5°C el cual coincide con el pico máximo de la gráfica. En inclusiones del Granito Potrerillos se logró medir un promedio de -58,0°C, resultado que varía muy poco con los referidos a los filones de cuarzo.

Cabe señalar que el punto de fusión teórico del CO₂ es -56,6°C, y una depresión en esta temperatura, tal como ocurre con nuestro ejemplo de

Angulos, señala indirectamente su impureza influyendo la posible presencia de otros gases no condensables, probablemente CH₄.

Para conocer la salinidad de la fase acuosa en las inclusiones trifásicas, se recurrió a la medición de la temperatura de fusión del clatrato o hidrato de CO₂ (CO₂* 5,75 H₂O). Esta sustancia se compone de cristales formados por el agua y el dióxido de carbono y se le visualiza en la interfase entre el líquido y el gas.

Sobre un total de tres mediciones en inclusiones del Granito Potrerillos se obtuvo un promedio de 3,6°C, y en los filones, sobre 8 mediciones un valor medio de 4,15°C siendo el mínimo y el máximo de 0,0°C y 6,9°C, respectivamente. Por lo tanto, las salinidades corresponden, para la roca de caja, un promedio de 11,15% en peso de NaCl

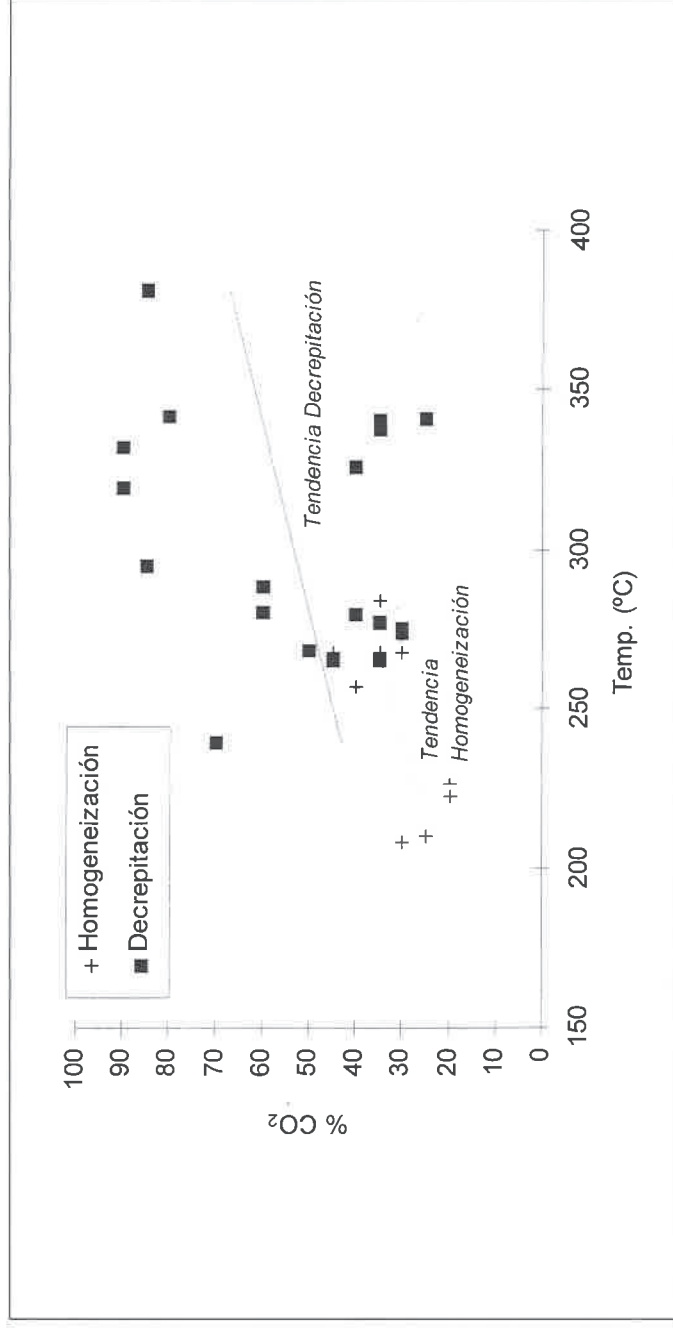


Figura 4. Inclusiones trifásicas (tipo I). Relación %CO₂-temperatura de homogeneización y decrepitación en filones mineralizados.

equivalente, y para los filones de cuarzo, varía en un rango comprendido entre 5,94 y 15,52% en peso de NaCl eq. con un valor medio de 10,36%, el cual es levemente inferior al obtenido para la roca de caja.

Con respecto a la densidad total del fluido entrampado se han determinado valores similares en inclusiones de la roca de caja y de los filones, siendo de 0,91 a 0,95 g/cc y de 0,90 a 0,97 g/cc, respectivamente.

Resultados - Inclusiones Bifásicas (tipo II)

Las inclusiones bifásicas son abundantes en el yacimiento Badillo. En la roca de caja, han homogeneizado a mayores temperaturas que en los filones mineralizados, obteniendo en el primero valores hasta de 450°C y en los segundos hasta unos 320°C. El fenómeno de decrepitación ocurrió con mayor frecuencia en la roca de caja a muy altas temperaturas y preferentemente en aquellas inclusiones con un alto porcentaje de vapor similarmente como en las inclusiones trifásicas.

Tanto en los filones como en el Granito Potrerillos, las más bajas temperaturas de homogeneización corresponden a inclusiones de origen secundario no contemporáneas con la mineralización de W-Mo-Sn y con la alteración muscovítica de la unidad granítica.

En la figura 6 se observa la temperatura de homogeneización final de inclusiones trifásicas y bifásicas (incluidas también las de tipo secundarias), y además discriminado por tipo de filón en éstas últimas. Los resultados señalan dos grupos importantes de mediciones los cuales están representados en los distintos filones: uno entre 200°C y 240°C ± 10°C y otro a mayor temperatura entre 280°C y 320°C ± 10°C.

Para conocer el contenido salino en las inclusiones bifásicas se hicieron mediciones de la temperatura de fusión del hielo (TmH₂O). La temperatura media de la fusión inicial del hielo en el Granito Potrerillos y en los filones, es de -41,7°C y -30,1°C respectivamente, lo cual es inferior a la temperatura eutéctica en el sistema H₂O-NaCl. Esto señala, esencialmente, que el agua en las inclusiones contiene otros iones además del Cl⁻ y

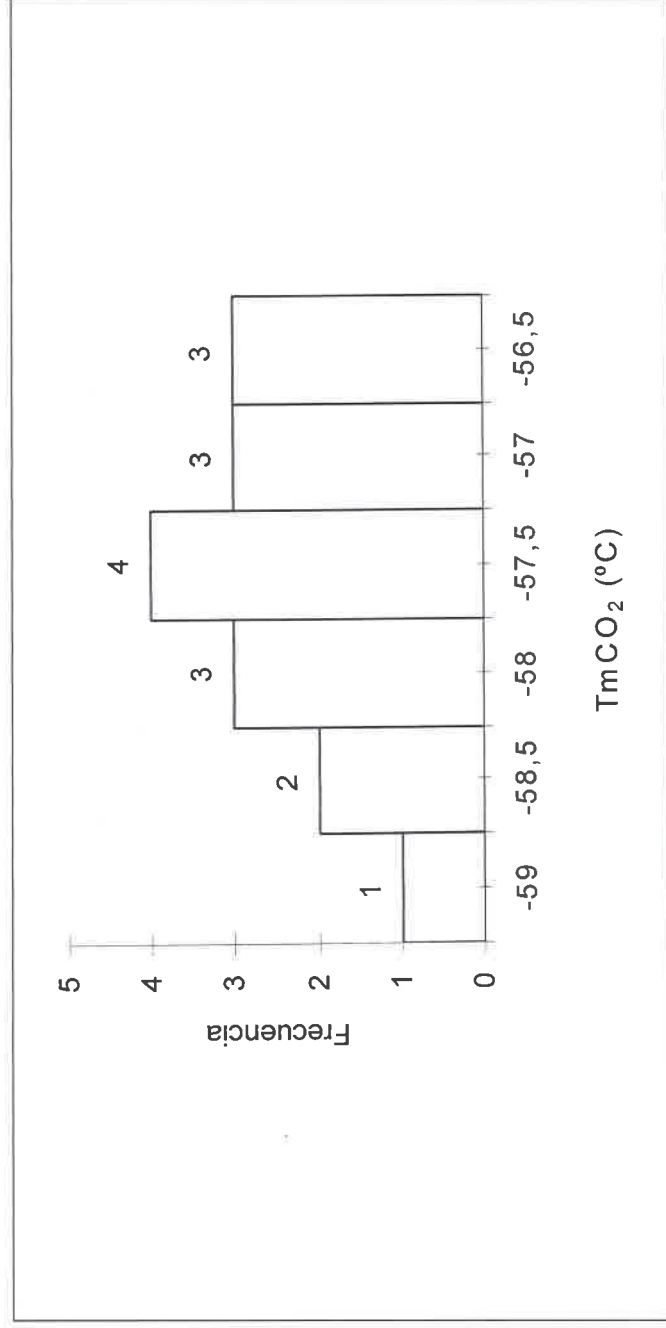


Figura 5. Inclusiones trifásicas (tipo I). Temperatura de fusión del CO₂ en filones mineralizados.

Na⁺. La temperatura final indica un registro medio similar en ambos tipos litológicos igual a -5,5°C, siendo el mínimo de -1,8 y -2,4°C y el máximo de -9,7 y -8,8°C para el Granito Potrerillos y los filones, respectivamente.

En inclusiones bifásicas del Granito Potrerillos, se determinó un contenido salino que oscila entre los 3 a 13,6% en peso de NaCl eq. y una densidad total de 0,82 a 0,92 g/cc. En tanto, para los filones de cuarzo, se estima de acuerdo a la temperatura de homogeneización variable que la mineralización no se habría desarrollado durante un único período de mineralización. Sin embargo, no se determinaron diferencias extremas en lo referente a las características físico-químico de los fluidos, obteniéndose para las probables etapas, un contenido salino que varía entre 3,92 y 12,63% en peso de NaCl eq. y una densidad total variable entre 0,78 y 0,93 g/cc.

CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Las mediciones termométricas de temperatura, salinidad y densidad realizadas en inclusiones del Granito Potrerillos alterado en etapas post-

magmática y en los filones mineralizados de Angulos registran valores semejantes. No se han encontrado diferencias significantes en las características fisico-químicas del fluido atrapado en inclusiones de ambos grupos litológicos.

Descartando los resultados obtenidos para las inclusiones secundarias y teniendo en cuenta las mediciones sobre inclusiones primarias y pseudocundarias genéticamente vinculadas a los procesos de mineralización en los filones y de alteración en el granito Potrerillos, la temperatura media de homogeneización (considerada como la temperatura mínima de entrapamiento de los fluidos) es de 279,2°C y 328,2°C, respectivamente. Se han obtenido máximos valores de homogeneización en las inclusiones trifásicas y bifásicas de los filones mineralizados en el rango de 270-330°C, el que se asemeja al rango más frecuentemente encontrado para la formación de wolframitas, de acuerdo al sistemático estudio de Ivanova (1986). Por otra parte, los fenómenos de decrepitación, sin homogeneización previa, fueron muy comunes ocurridos especialmente sobre inclusiones ricas en CO₂ (tipo I).

La composición química de la fase gaseosa es

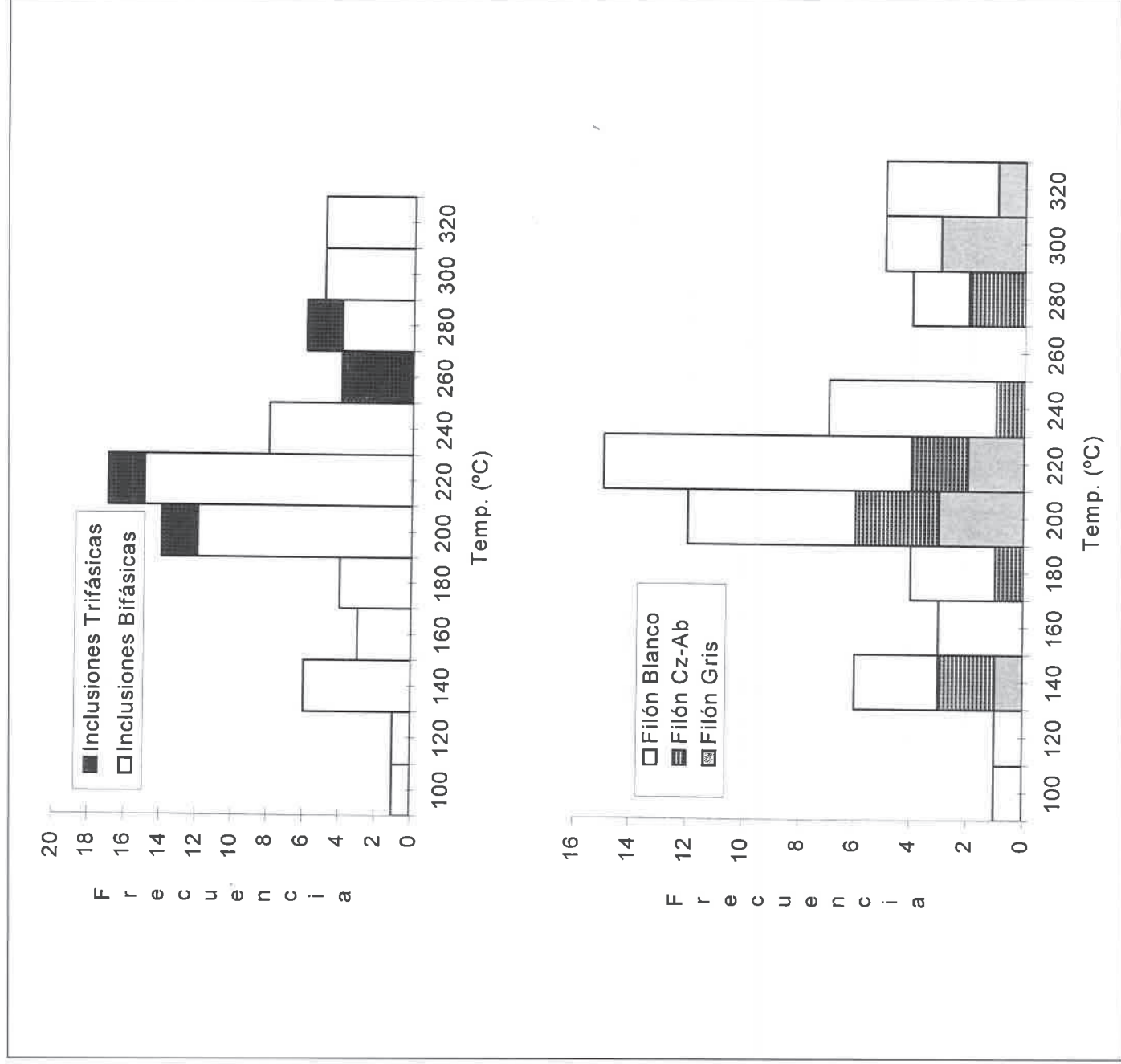


Figura 6. Temperatura de homogeneización total de las inclusiones.

Arriba: Inclusiones trifásicas (tipo I) y bifásicas (tipo II)

Abajo: Inclusiones bifásicas (tipo II) en los distintos filones mineralizados

fundamentalmente CO₂, con una pequeña participación de otros componentes gaseosos probablemente CH₄. De acuerdo a Higgins (1985), el

CO₂, que tendría un marcado efecto sobre el pH, es un componente que cumple un papel muy importante en el transporte y deposición de

wolframio en el ambiente hidrotermal. Las inclusiones trifásicas compuestas principalmente de $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ son muy frecuentes en yacimientos primarios relacionados a intrusivos graníticos y sus fluidos se consideran vinculados con la mineralización, comúnmente de W, Sn, \pm Mo (So & Yun, 1994; Vindel *et al.*, 1995; Gómez & Aliotta, 1997).

La salinidad de la fase líquida, a juzgar por la temperatura obtenida por la fusión del hielo en inclusiones bifásicas y del clatrato en inclusiones trifásicas, se compone esencialmente de Na^+ y Cl^- y por cantidades subordinadas de otros iones. En general, los valores del contenido salino de las inclusiones varían entre 3 y 15% NaCl eq. Cabe agregar, además, la presencia de cristales hijos consistentes en cristales isótopos (probablemente halita) y también anisótopos. Estos valores de media a alta salinidad es importante para la migración del wolframio, ya que algunos autores (Zarasky, 1994; Wesolowski *et al.*, 1984) han demostrado experimentalmente una relación directa para ello.

La densidad total del fluido es muy variable registrándose valores entre 0.70 y 0.97 g/cc.

Con respecto a la evolución de los fluidos, se

interpreta en base a la información obtenida, que en las primeras etapas de formación mineral, el fluido era rico en CO_2 con una fase gaseosa y otra líquida inmiscibles, no homogéneo, y a medida que la temperatura disminuía, se transformaba en netamente acuoso, libre de CO_2 y con una salinidad y una densidad total cada vez menor. Una probable explicación de esta tendencia es la mezcla progresiva de los fluidos primarios con aguas meteóricas frías y diluidas.

En la figura 7 se ha construido un diagrama P-T para las inclusiones presentes en el yacimiento de Angulos. La línea isocórica se define como una línea que une puntos de igual densidad en un diagrama P-T (presión-temperatura).

El nivel de emplazamiento y la temperatura de cristalización del Granito Potrerillos determinado por Pérez (1991) mediante el empleo de los diagramas de Pichavant & Manning (1984) y Tuttle & Bowen (1958), es menor de 2 Kbars y entre 730° y 690°C , respectivamente. Ajustado al valor de la presión y teniendo en cuenta la temperatura de homogeneización media (sin considerar las de origen secundaria) se marca las condiciones mínimas de P y T más probables de entrapamiento del fluido mineralizante.

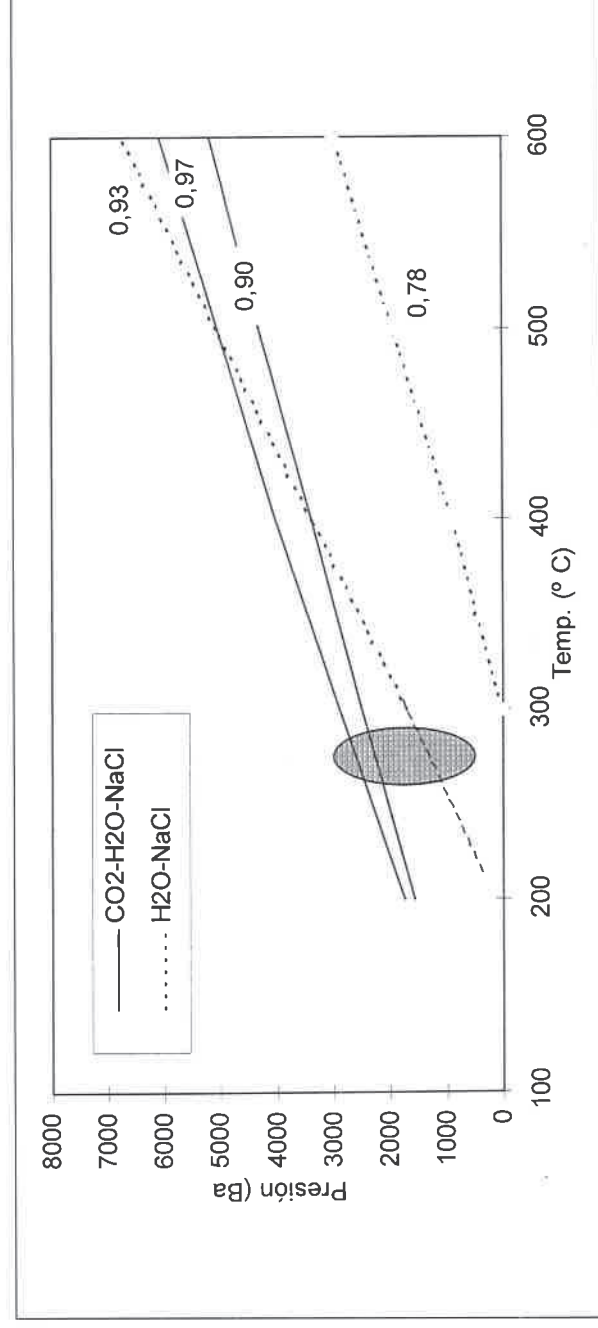


Figura 7. Curvas isocóricas para inclusiones fluidas del yacimiento Badillo. Se señala las condiciones mínimas de entrapamiento.

REFERENCIAS

- Angelelli, V. y Fernández Lima, J. C. (1980). I.- Reseña de los ciclos metalogénicos de la República Argentina. II.- Provincias metalogénicas. II Simposio de Geología Regional Argentina. *Academia Nacional de Ciencias*, Córdoba 2, 1603-1640.
- Brown, P. (1988). FLINCOR. *Wisc-Ware*. Package N° 81. University of Wisconsin.
- Durand, F. y Aceñolaza, F. G. (1990). Caracteres faunísticos, paleoecológicos y paleogeográficos de la Formación Puncoviscana (Precámbrico superior-Cámbrico inferior) del Noroeste Argentino. El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino. *Serie de Correlación Geológica*, 4, 71-112.
- Gómez, C. y Aliotta, G. (1997). Hydrothermal fluid evolution in the W San Martín deposit, Argentina. *En: BOIRON, M. y PIRO-NON, J. (Eds.). XIV ECROFI - Proceedings of the XIV Th European Current Research on Fluid Inclusion*, Nancy, Francia, Abstracts, 130-131.
- Higgins, N. C. (1985). Wolframite deposition in a hydrothermal vein system: The Grey River Tungsten prospect, Newfoundland, Canada. *Econ. Geol.*, 80, 1297-1327.
- Ivanova, G. F. (1986). Geochemistry of tungsten. *En: BEUS, A. (Ed.) Geology of tungsten. Earth Sc. International Geological Correlation Programme*, Project 26 MAWAM. UNESCO. 11-43.
- Marcos, O y Petrelli, H. (1971). Descripción del Mosaico 33 C del Mapa Geológico Económico de la Provincia de La Rioja. Plan La Rioja, D. N. G. M. (inédito).
- Pérez, W. (1991). *Contribución a la petrología y geoquímica de los granitoides y gabroides del norte de la Sierra de Paimán, Prov. de La Rioja*. Facultad de Cs. Naturales e Inst. Miguel Lillo (UNT). Tesis Doctoral inédita. 231 p.
- Pichavant, M. y Manning, D. A. (1984). Petrogenesis of tourmaline granites and topaz granites: the contribution of experimental data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 35, 31-50.
- Roedder, E. (1984). Fluids inclusions. Mineralogical Society of America *Reviews in Mineralogy*, 12, 1-644.
- Sardi, F. G. (1996). Estudio Geológico y mineralógico preliminar del Yacimiento wolframífero de Badillo, Sistema de Famatina, La Rioja. *XIII Cong. Geol. Arg. y III Cong. de Explor. de Hidrocarburos*, III, 173-179. Buenos Aires.
- Sardi, F. G. y Rossi de Toselli, J. (En prensa). Caracteres petrográficos del stock granítico de Potterillos y su depósito de W-Mo-Sn asociado, Sistema de Famatina, La Rioja, Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*.
- So, C. y Yun, S. (1994). Origin and Evolution of W-Mo Producing Fluids in a Granitic Hydrothermal System. Geochemical Studies of Quartz Vein Deposits around the Susan Granite, Hwanggangri District, Republic of Korea. *Econ. Geol.*, 89, 246-267.
- Turner, J. C. (1971). Descripción Geológica de la Hoja 15d, "Famatina", La Rioja. *Direc. Nac. de Geol. y Minería*, Boletín, 126.
- Tuttle, O. F. y Bowen, N. (1958). Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O . *Memoir of the Geological Society of America*, 74, 153 p.
- Valania, J. (1963). Inventario minero de la provincia de La Rioja, zona de Famatina. Dirección Provincial de Minería. La Rioja. (inédito).
- Vindel, E., López, J. A., Boiron, M., Cathelinou, M. y Prieto, A. C. (1995). P-V-T-X- fO_2 evolution from wolframite to sulphide depositional stages in intragranitic W-veins. An example from the Spanish Central System. *Eur. J. Mineral.*, 7, 675-688.
- Wesolowski, D., Drummond, S., Mesmer, R. y Ohmoto, H. 1984. Hydrolysis equilibria of tungsten (VI) in aqueous sodium chloride solutions at 300°C. *Inorg. Chemistry*, 23, 1120-1132.
- Zarasky, G. (1994). The influence of acidic fluoride and chloride solutions on the geochemical behaviour of Al, Si and W. *En: SHMULOVICH, K., YARDLEY, B. y GONCHAR, G. Fluids in the crust: equilibrium and transport properties*

Original recibido: Diciembre 1999.

Original aceptado: Febrero 2000.